

Lineamientos generales para formular estrategias de evaluación de los proyectos integradores (Capstone Design) en la Escuela de Ingeniería Civil.

Yudi Andrea Hernández Barrera y Laura Vanessa Murillo Ortega

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero(a) Civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

Doctorado en ingeniería – Especialidad en Gerencia de Proyectos de Construcción

Codirector

Oscar Humberto Portilla

Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físicomecánica

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

Queremos dedicar este trabajo a aquellos que han sido fundamentales en nuestra vida, brindándonos un apoyo incondicional y motivándonos constantemente. A nuestros padres, cuyo aliento y amor nunca han faltado; a nuestros amigos, cuyas palabras de ánimo nos han sostenido en los momentos más complicados; y a todos aquellos que han influido en nuestro desarrollo tanto académico como personal. Reconocemos que este logro también les pertenece, ya que han sido parte esencial en nuestro camino.

### **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecemos a nuestros padres por el apoyo tanto económico como emocional, a nuestro director y codirector de pasantía en investigación, a cada uno de los docentes que hicieron parte de nuestra formación académica y personal, a nuestros amigos, compañeros y cada una de las personas que estuvieron brindándonos una mano amiga y motivándonos a cumplir con el objetivo principal: Ser Ingenieras Civiles UIS.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Objetivos y alcance .....	13
1.1 Objetivo general .....	13
1.2 Objetivos específicos .....	13
2. Metodología .....	13
3. Resultados y discusión .....	19
3.1 Periodo 1991-2006.....	20
3.1.1 Evaluación a nivel de curso .....	20
3.1.2 Evaluación a nivel de curricular .....	21
3.2 Periodo 2007-2016.....	22
3.2.1 Evaluación a nivel de curso .....	23
3.2.2 Evaluación a nivel de curricular .....	25
3.3 Periodo 2017-2022.....	26
3.3.1 Evaluación a nivel de curso .....	27
3.3.2 Evaluación a nivel de curricular .....	29
4. Propuestas para implementar en los cursos y programas.....	30
4.1 Evaluación a nivel de curso .....	30
4.2 Evaluación a nivel de curricular .....	33
5. Conclusiones .....	35
6. Agradecimientos .....	37
Referencias Bibliográficas .....	38

Anexos ..... 42

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Periodos de análisis. Fuente: elaboración propia. ....	15
Figura 2. Análisis por tipo de documento. Fuente: elaboración propia .....	17
Figura 3. Análisis por periodos – categoría Article. Fuente: elaboración propia. ....	18
Figura 4. Análisis por periodos – categoría Conference Paper. Fuente: elaboración propia.....	18
Figura 5. Análisis por clasificación categoría assessment. Fuente: elaboración propia. ....	19

**Lista de Anexos**

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Flujo de identificación y selección de los documentos estudiados. Fuente: elaboración propia. ....	42
Anexo 2. Resultados de la evaluación a nivel curso y a nivel curricular a través del tiempo. Fuente: elaboración propia.....	43
Anexo 3. Tabla de preguntas ejemplo de una encuesta usada para evaluar parte de cursos de experiencias de diseño. Fuente: Adaptado de (Cecilia & Leon, 2019).....	43
Anexo 4. Preguntas ejemplo para evaluar los cursos de experiencia de diseño por medio de entrevistas. Fuente: adaptado de (Gerlick & Trevisan, 2010; Jones & Jones, 2010) .....	45
Anexo 5. Muestra de rúbrica ejemplo aplicada para cursos de experiencias de diseño. ....	46
Anexo 6. Formato de encuesta y/o cuestionario. Fuente: elaboración propia. ....	47
Anexo 7. Escala de calificación de evaluación al plan de estudios. Fuente: elaboración propia. 47	

## Glosario

**“Capstone Design”:** Se refiere al proyecto final o culminante que los estudiantes realizan al final de su educación en diferentes disciplinas académicas, especialmente en campos como ingeniería, diseño, tecnología y negocios.

**Cursos de diseño final:** Se refieren a programas educativos o de formación que se centran específicamente en la etapa final del proceso de diseño, donde los proyectos o productos están siendo preparados para su producción, implementación o publicación definitiva. Estos cursos están diseñados para proporcionar a los participantes las habilidades, técnicas y conocimientos necesarios para perfeccionar y preparar sus diseños de manera adecuada y profesional antes de que se conviertan en productos finales.

**Evaluación en ingeniería:** Se refiere al proceso de analizar y medir la calidad, el rendimiento y la viabilidad de proyectos, productos o sistemas dentro del campo de la ingeniería.

### Resumen

**Título:** Lineamientos generales para formular estrategias de evaluación de los proyectos integradores (Capstone Design) en la Escuela de Ingeniería Civil.

**Autor:** Yudi Andrea Hernández Barrera y Laura Vanessa Murillo Ortega

**Palabras Clave:** “*Capstone Design*”, Evaluación en ingeniería, Cursos de diseño final

**Descripción:** “Capstone Design” se refiere a un proyecto de diseño final o culminante que los estudiantes realizan al final de su programa de estudios. Constituye una oportunidad invaluable para que los estudiantes apliquen y demuestren los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de su carrera. Este tipo de proyectos implica trabajar en equipos multidisciplinarios con el propósito de abordar un problema o desafío del mundo real. Las experiencias de investigación y aplicación se centran en el desarrollo de proyectos integrales relacionados con el campo de la ingeniería, en donde el objetivo principal es fomentar el desarrollo de competencias y habilidades clave, como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la toma de decisiones. En esta investigación se llevó a cabo una revisión sistemática usando la base de datos de Scopus con el objetivo de analizar la evaluación “Capstone Design” a nivel curso y programa. Durante este análisis, se identificaron y examinaron los métodos evaluativos como encuestas, entrevistas, rúbricas y cuestionarios que han sido desarrollados y aplicados en otras instituciones educativas. Estos métodos ofrecen perspectivas valiosas que podrían implementarse en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de potenciar el aprendizaje y desarrollo integral de los estudiantes en el ámbito de las ingenierías.

### Abstract

**Title:** General guidelines for formulating evaluation strategies for integrative projects (Capstone Design) in the School of Civil Engineering.

**Author(s):** Yudi Andrea Hernandez Barrera y Laura Vanessa Murillo Ortega

**Key Words:** “*Capstone Design*”, Engineering evaluation, Final design courses.

**Description:** “*Capstone Design*” refers to a final or culminating design project that students undertake at the end of their degree program. It is an invaluable opportunity for students to apply and demonstrate the knowledge and skills acquired throughout their career. These types of projects involve working in multidisciplinary teams for the purpose of addressing a real-world problem or challenge. The research and application experiences focus on the development of integral projects related to the field of engineering, where the main objective is to promote the development of key competencies and skills, such as effective communication, teamwork, problem solving and decision making. In this research, a systematic review was carried out using the Scopus database with the aim of analyzing the “Capstone Design” evaluation at course and program level. During this analysis, evaluation methods such as surveys, interviews, rubrics, and questionnaires that have been developed and applied in other educational institutions were identified and examined. These methods offer valuable perspectives that could be implemented in the School of Civil Engineering of the Universidad Industrial de Santander to enhance the learning and integral development of engineering students.

## Introducción

El “Capstone Design” es una actividad académica-curricular que ofrece una serie de beneficios significativos para el aprendizaje de los estudiantes. Esta actividad proporciona un entorno ideal para que los estudiantes implementen proyectos prácticos, donde desarrollen habilidades y competencias como la resolución de problemas, la colaboración en equipo, la comunicación efectiva y la toma de decisiones, entre otras. Además, permite a las diferentes instituciones educativas introducir métodos pedagógicos innovadores para mejorar el aprendizaje de los estudiantes (Budinoff, 2021).

Se ha observado un interés por parte de las instituciones educativas, educadores y la industria en implementar el “*Capstone Design*” o proyecto integrador, como una experiencia final de diseño (Zheng, 2021). Las experiencias de diseño incentivan la colaboración multidisciplinaria y trabajo en equipo, con el fin de encontrar solución a problemas del mundo real relacionados con el ejercicio profesional. Por lo tanto, es clave garantizar que los estudiantes puedan desempeñarse de forma efectiva en un equipo, para trabajar colaborativamente en equipo (Parker et al., 2019) ya que, el conocimiento y habilidades disciplinarias se han considerado insuficientes para abordar problemas del mundo real en la sociedad moderna (Zheng, 2021).

En la formación de los estudiantes de ingeniería se presentan algunas falencias que afectan su desempeño profesional. Entre ellas, se destaca la falta de experiencia de trabajo colaborativo, problemas de comunicación asertiva y ausencia de liderazgo al asumir roles asignados dentro de un trabajo en equipo (Dillon, 2009). Esta situación se debe a que los estudiantes se enfocan únicamente en cumplir con sus tareas sin importar la manera en que se haga, lo cual en muchas oportunidades limita el desarrollo de conocimiento integral y promueve la adquisición de conocimientos fragmentados e incompletos (Jones & Jones, 2010).

Actualmente, un buen desempeño profesional de los ingenieros que participan en proyectos de ingeniería es esencial; por ende, la formación profesional de los estudiantes se debe garantizar con el desarrollo de competencias y habilidades relacionadas con experiencias de diseño y construcción, ya que, esto permitirá afrontar con éxito los desafíos que se presenten en su carrera profesional. Aunque es importante implementar cursos tipo “*Capstone Design*” dentro de los programas de ingeniería, basados en proyectos, en la vida práctica surgen interrogantes relacionados con los métodos, estrategias, calidad y efectividad de la evaluación de dichos cursos. Es necesario al menos responder algunas preguntas básicas como ¿Cuáles serían los criterios y estándares de evaluación más adecuados para proyectos “*Capstone Design*”, y cómo se pueden desarrollar y validar estos criterios en diferentes disciplinas y contextos? Adicionalmente, ¿Cómo se podría evaluar y medir la calidad y efectividad de los proyectos “*Capstone Design*” en términos de su impacto en el aprendizaje, la preparación profesional y el desarrollo de habilidades de los estudiantes? Finalmente, sería interesante saber cómo se podría involucrar de manera efectiva a los estudiantes en el proceso de evaluación de los proyectos “*Capstone Design*”, y cómo se podría utilizar los resultados de la evaluación para mejorar y optimizar el aprendizaje y la enseñanza en futuras iteraciones del proyecto.

Las respuestas a estas preguntas y otras relacionadas con la evaluación de los “*Capstone Design*”, brindarían algunas orientaciones para implementar estrategias de evaluación en los programas de ingeniería. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como propósito analizar la literatura especializada sobre evaluación del “*Capstone Design*” para identificar algunas directrices que permitan plantear recomendaciones a la hora de implementarlos en los programas académicos de ingeniería.

## 1. Objetivos y alcance

Para responder a los interrogantes de investigación planteados, el presente trabajo propuso los siguientes objetivos:

### 1.1 Objetivo general

Proponer estrategias y métodos de evaluación para los proyectos tipo “*Capstone Design*” para que puedan ser implementados en las asignaturas de construcción y, programación y costos de la Escuela de Ingeniería civil, de la Universidad Industrial de Santander.

### 1.2 Objetivos específicos

- Identificar las tendencias de evaluación para los proyectos tipo “*Capstone Design*” con base en la literatura especializada de educación en ingeniería.
- Diseñar estrategias y métodos más apropiados para la evaluación de los proyectos tipo “*Capstone Design*” en las asignaturas de construcción y, programación y costos.

## 2. Metodología

Este estudio se apoyó en una revisión sistemática de literatura sobre artículos académicos publicados en revistas y conferencias, de forma tal que permita identificar, adaptar y diseñar estrategias, herramientas y métodos de calificación y evaluación para los cursos tipo “*Capstone Design*” que puedan ser implementados en programas de ingeniería.

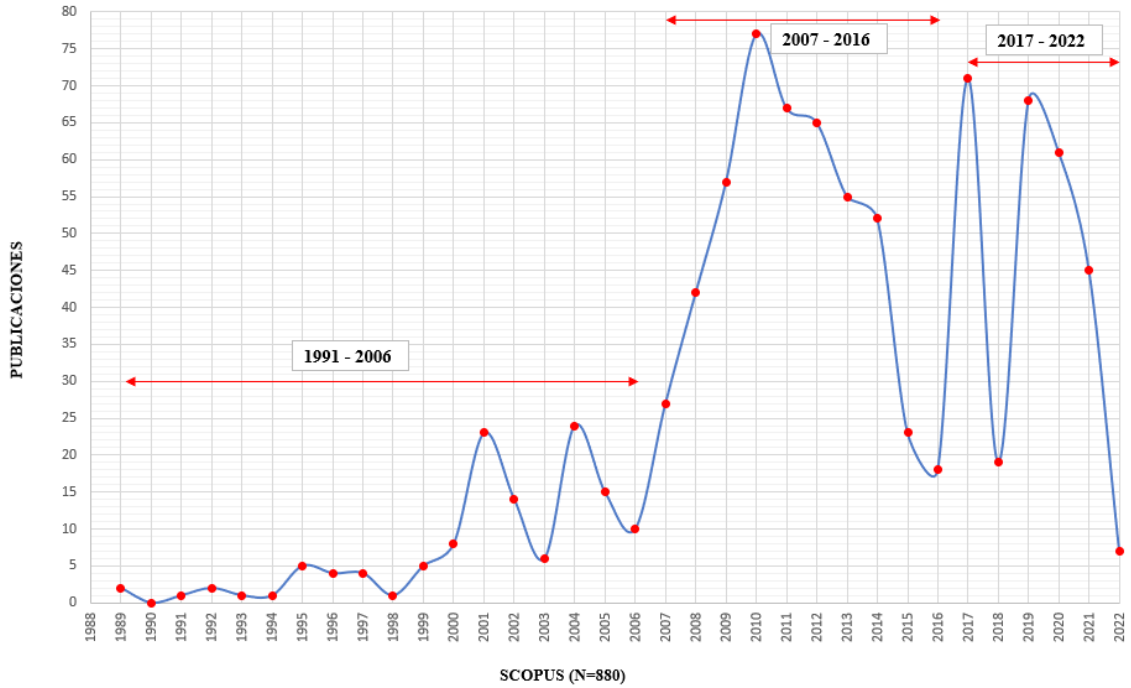
Con el fin de conocer el desarrollo de la investigación sobre las herramientas o métodos de evaluación que han sido utilizadas en los “*Capstone Design*”, se realizó una búsqueda preliminar en la base de datos SCOPUS. Dicha búsqueda fue realizada el 24 de septiembre del 2022 con base en la siguiente ecuación booleana: TITLE-ABSTRACT-KEYWORDS (("CAPSTONE DESIGN" OR "MAJOR DESIGN EXPERIENCE") AND "ENGINEERING EDUCATION" ) AND (LIMIT-

TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Capstone Design Course") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Capstone Design") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Capstone Design Projects") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Senior Design Project") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Senior Design") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Senior Capstone") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Capstone Experience") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Engineering Design Process") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Capstone Senior Design") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Capstone Design Courses") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Engineering Design Course") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Engineering Design Projects"))).

Con la ecuación de búsqueda se obtuvo una muestra inicial de 879 documentos, en la cual, se identificaron tres periodos de análisis, con características particulares de volumen de publicación sobre el tema: Publicaciones realizadas entre 1991-2006; publicaciones entre 2007-2016; y publicaciones entre 2017-2022. A partir del 2006 se puede observar un aumento en la atención sobre el tema de “*Capstone Design*” en educación en ingeniería, mostrando que el interés en los últimos 16 años ha incrementado (ver [figura 1](#)).

**Figura 1.**

*Periodos de análisis. Fuente: elaboración propia.*



Por estas razones se realizó un análisis de agrupamiento temático apoyados en la herramienta de “Bibliometrix R”(K-Synth Srl, 2023) a partir de los artículos identificados en Scopus. Este análisis permitió identificar los temas tendencia de proyectos tipo “*Capstone Design*” que han sido relevantes, encontrándose lo siguiente:

- Proyectos tipo “*Capstone Design*” implementados para cambios curriculares.
- Proyectos tipo “*Capstone Design*” implementados para beneficio del aprendizaje de los estudiantes, categorizado “learning”.
- Implementados para mejorar la educación en la ingeniería donde los docentes tienen un rol importante, categorizado “teaching”.

- Instrumentos de evaluación, categorizados “assessment” en diferentes ámbitos relacionados con proyectos “*Capstone Design*”.

Con el total de 879 documentos clasificados en categorías como Assessment, curricular, learning y teaching se procedió a realizar una revisión exhaustiva del propósito y las palabras clave de cada uno, con el objetivo de determinar su contenido y verificar si estaba relacionado con la evaluación de “*Capstone Design*”.

También, se hizo un reconocimiento manual del tipo de ingeniería en el cual se estaba basando cada artículo descargado de la base de datos, de modo que permitiera tener una visión amplia del cómo está avanzando la implementación de experiencias de proyectos “*Capstone Design*” en la educación en Ingeniería.

Después de la clasificación de los documentos y la selección de la muestra relacionada con la evaluación “*Capstone Design*”, se llevó a cabo un análisis detallado, se examinaron los documentos descargables para identificar la metodología y estrategias de evaluación utilizada en cada uno de ellos y los resultados obtenidos. Esta revisión permitió obtener una comprensión más clara de cómo se implementaba la evaluación del aprendizaje en el contexto de los programas y cursos de ingeniería, así como de las diversas herramientas y técnicas utilizadas para este propósito.

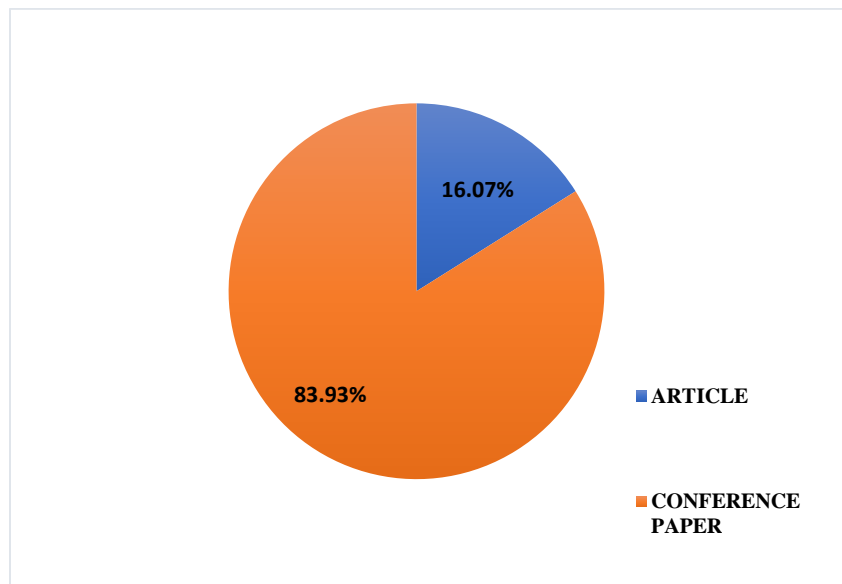
A partir de este proceso, se seleccionó una muestra de 67 documentos pertenecientes a la categoría "assessment", de los cuales, solo 56 documentos permitieron su descarga y, 10 documentos no relacionaban temática acorde a la evaluación “*Capstone Design*”. Finalmente, se revisaron los documentos descargados utilizando herramientas como “*Atlas.ti*”(Atlas.Ti, n.d.) y “*WordCloud*” para codificarlos, plantear nuevas categorías y destacar los aspectos más importantes de los artículos. Como resultado, se obtuvo una muestra final de 46 artículos dentro

de la categoría "assessment", clasificados en "curricular curso", para aquellos artículos que evaluaban el curso de "Capstone Design" en alguna ingeniería, y en "curricular programa", para aquellos artículos que implementaban métodos de evaluación de programas o planes de estudios de ingeniería en general (ver Anexo 1).

Se realizó un análisis a la composición de la muestra final de 46 documentos teniendo en cuenta el tipo de documento, para ello, se clasifican en dos categorías: Article y Conference Paper (ver figura 2), además, se identificaron tres periodos de análisis, en los que se destacaron la distribución de los documentos entre las categorías de Article y Conference Paper (ver figura 3 y 4); por último, se analizó la cantidad de documentos para la categoría assessment, clasificada en curricular curso y programa (ver figura 5).

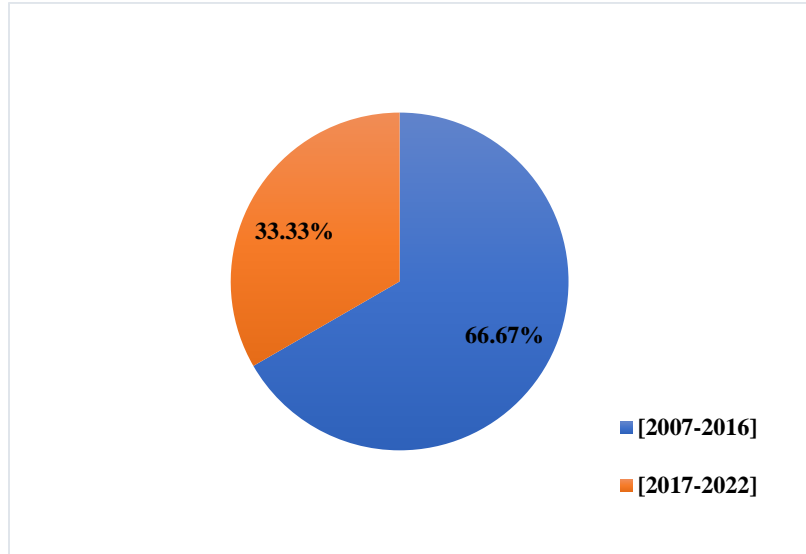
### Figura 2.

*Análisis por tipo de documento. Fuente: elaboración propia.*



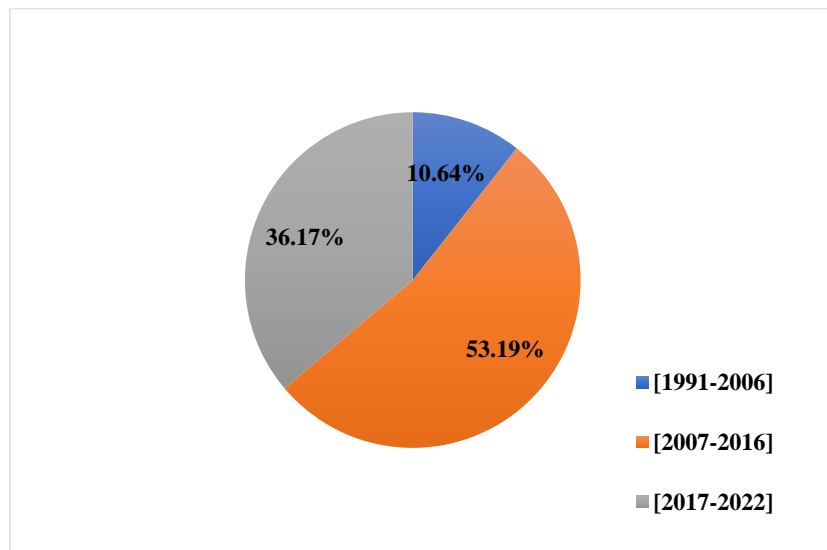
**Figura 3.**

*Análisis por periodos – categoría Article. Fuente: elaboración propia.*



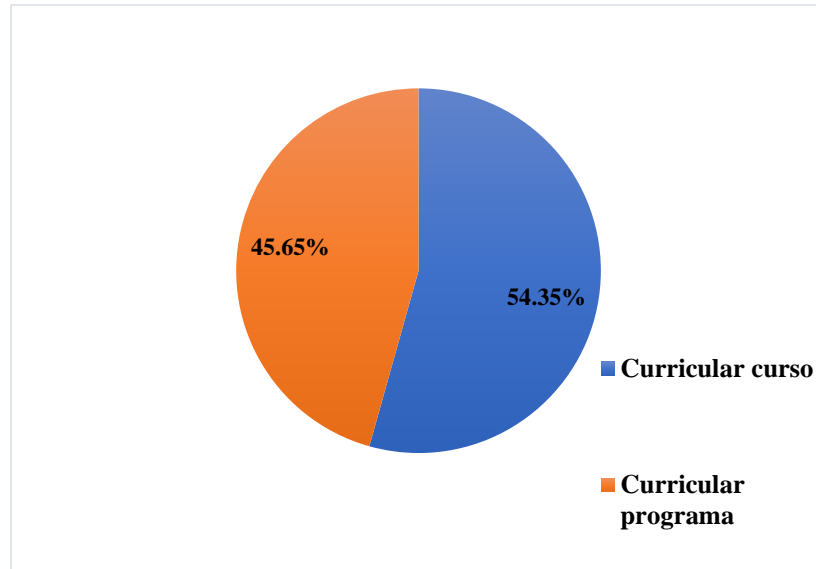
**Figura 4.**

*Análisis por periodos – categoría Conference Paper. Fuente: elaboración propia.*



**Figura 5.**

*Análisis por clasificación categoría assessment. Fuente: elaboración propia.*



### 3. Resultados y discusión

En los programas de ingeniería, los proyectos tipo “*Capstone Design*” han adquirido una importancia significativa como una herramienta esencial para preparar a los estudiantes de cara al mundo laboral, ya que brindan la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos, adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería, a situaciones prácticas, al mismo tiempo que fomentan el desarrollo de habilidades fundamentales como el liderazgo, comunicación y trabajo en equipo (IEEE Education Society & Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018)

A lo largo del tiempo, se han realizado diversas investigaciones con el objetivo de evaluar la efectividad de los proyectos “*Capstone Design*” en la formación de los estudiantes de ingeniería. Los resultados de este estudio se presentan de acuerdo con tres períodos (Ver [Anexo 2](#)): a) 1991-2006; b) 2007-2016; y c) 2017-2022. A su vez, se identificaron dos categorías para describir las tendencias metodológicas: evaluación-curso, que recoge propuestas relacionadas con la evaluación

a nivel del curso, o a nivel micro curricular; y evaluación-curricular, que recoge las propuestas a nivel micro curricular.

### **3.1 Periodo 1991-2006**

Entre 1995 y 2000, ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc.), implementó reformas significativas a los criterios de acreditación utilizados para evaluar los programas de ingeniería. Esto llevó a un mayor interés en la acreditación y en las experiencias de diseño como componentes importantes del plan de estudios de ingeniería. Como resultado, muchas universidades comenzaron a implementar cambios en sus sistemas de educación y desarrollaron nuevas herramientas curriculares y de análisis para satisfacer los criterios de acreditación ABET. Estos cambios dieron lugar a desafíos institucionales y educativos, lo que llevó al surgimiento del término "*Capstone Design*".

#### **3.1.1 Evaluación a nivel de curso**

Diversos aspectos relevantes relacionados con la evaluación de cursos universitarios se han observado durante este período. En el año 2004, en la Universidad Estatal de New York en Binghamton, se llevaron a cabo cursos multidisciplinarios de ingeniería que lograron completar proyectos importantes en tiempo y dentro del presupuesto, abordando problemáticas sociales y ambientales. Estos cursos requerían que los estudiantes aplicaran sus conocimientos en ciencias de la ingeniería y gestión de proyectos mediante la ejecución de trabajos académicos basados en el mundo real, lo que permitió obtener resultados sobre las fortalezas y debilidades del programa de ingeniería existente (Catalano D, 2004). Sin embargo, se identificaron diversos desafíos, como la falta de una política formal para el reclutamiento de asesores docentes y la necesidad de mejorar las habilidades de escritura de los estudiantes.

En el año 2006, surgió la importancia de adaptar la evaluación de los cursos existentes para reflejar el crecimiento de los estudiantes a través de una rúbrica estandarizada. Se adaptaron herramientas para evaluar los cambios en el desempeño de los estudiantes y su crecimiento cognitivo en disciplinas de ingeniería, utilizando cuestionarios que revelaran la dinámica del grupo (Green & Caso, 2006). Estas medidas contribuyeron a la formación de ingenieros más productivos en las instituciones educativas. Además, se desarrollaron herramientas digitales en otras instituciones para documentar el conocimiento y evaluar el aprendizaje de manera formativa y sumativa, reforzando el proceso de enseñanza-aprendizaje. Estas herramientas proporcionaron una prueba de percepción tanto para los estudiantes como para los profesores, y se obtuvieron puntuaciones promedio de mejora basadas en una rúbrica. Se resaltó la importancia de involucrar activamente a los estudiantes en el proceso de evaluación para mejorar su formación académica y habilidades sociales, estableciendo la evaluación grupal activa (Racicot & Pezeshki, 2006). Los resultados obtenidos apuntaron a la necesidad de continuar trabajando para demostrar los beneficios de los planes de estudio basados en equipos en diferentes entornos de aula y externos.

Como resultado, para lograr una educación universitaria de alta calidad, en este periodo se comenzaron a considerar factores como la colaboración multidisciplinaria, el mejoramiento de habilidades específicas, la adaptación de la evaluación a las necesidades de los estudiantes y la promoción de la evaluación activa que involucre activamente a los estudiantes en el proceso de aprendizaje. La implementación de estas recomendaciones puede tener un impacto significativo en el aprendizaje y en la formación de estudiantes exitosos en el mundo profesional.

### **3.1.2 Evaluación a nivel de curricular**

Durante este periodo de tiempo, se han evidenciado avances significativos en los métodos de evaluación del “*Capstone Design*” desde principios de 1993 centrandose en objetivos claros y

seleccionando un plan de diseño adecuado, contando con la asesoría de facultades e instructores de clase, aplicando de manera efectiva la metodología de diseño a través de informes escritos, presentaciones orales y criterios mínimos para evaluar los proyectos, los cuales se basan en la calidad y el alcance del trabajo realizado, siguiendo un formato estandarizado por la facultad (Devgan et al., 1993)

Sin embargo, en el año 2004, en otras universidades de Estados Unidos se llevó a cabo un esfuerzo para comprender mejor la naturaleza y el alcance de las prácticas de evaluación en los cursos finales de diseño en todas las disciplinas de ingeniería. Para ello, se realizó una encuesta nacional dirigida a las disciplinas de ingeniería con programas acreditados, con el objetivo de medir en qué medida las prácticas actuales se alinean con las expectativas establecidas por la ABET EC 2000. A través de esta encuesta, se formularon diversas preguntas dirigidas a los docentes de estas instituciones, y se identificó incertidumbre por parte de muchos miembros del cuerpo docente en relación con las prácticas de evaluación y el control adecuado de la medición del rendimiento de los estudiantes. Este estudio contribuyó a una mejor comprensión de las prácticas de evaluaciones finales de diseño y a determinar hasta qué punto se ajustan a las expectativas establecidas por la ABET. Además, se recomendó que los profesores colaboren con colegas de todo el país en la evaluación, el desarrollo y el uso del diseño final (Mckenzie et al., 2004).

### **3.2 Periodo 2007-2016**

A partir del 2007, ABET comenzó a evaluar programas de ingeniería fuera de los Estados Unidos, lo que llevó a una mayor atención en la reforma de los planes de estudio en universidades de todo el mundo. Se implementaron estrategias de investigación para integrar el diseño final de ingeniería en los ámbitos curriculares, de enseñanza, aprendizaje y evaluación, y se describieron

los cursos de proyectos finales ofrecidos y las metodologías para asignar estudiantes a proyectos y conformar equipos multidisciplinarios. También se vio la necesidad de expandir el aprendizaje de “*Capstone Design*” a la comunidad de educadores y miembros de la industria, y se desarrollaron rúbricas de evaluación para cursos culminantes y métodos para integrar los enfoques de la industria en los programas de diseño, así mismo, para preparar a los estudiantes de ingeniería con habilidades prácticas para enfrentar problemas del mundo real mientras trabajan en equipo.

### **3.2.1 Evaluación a nivel de curso**

En el transcurso de este periodo, los profesionales de la ingeniería en el siglo XXI enfrentan desafíos complejos con limitaciones sociales, políticas, ambientales, éticas y limitación de recursos, es por esto, que deben crear soluciones innovadoras, prácticas y responsables. El objetivo de los artículos en este periodo fue presentar herramientas y métodos para evaluar el diseño y la práctica reflexiva en los cursos de diseño de ingeniería de culminación (Beyerlein et al., 2009); consecuentemente, enseñar el proceso de diseño, replicar la práctica profesional y proporcionar una estructura alrededor de la cual los estudiantes puedan aprender de manera efectiva (Dillon, 2009). Si bien el curso de diseño final de ingeniería proporciona una excelente oportunidad para que los estudiantes adquieran experiencia en diseño, la experiencia por sí sola no garantiza el aprendizaje de habilidades y conocimientos, ni la capacidad de transferir estos conocimientos a nuevas situaciones, por consiguiente, se utilizó un enfoque cualitativo para estudiar las prácticas reflexivas de los estudiantes en proyectos de diseño final. El estudio utilizó entrevistas, observaciones y revisiones de documentos para recopilar datos (Gerlick & Trevisan, 2010).

Cabe mencionar, que un curso de diseño final involucra múltiples variables y complejidades que hacen que su enseñanza sea notablemente desafiante, por ejemplo, en esta cita se describe un enfoque holístico para evaluar de manera justa y precisa individualmente a los

estudiantes de equipos multidisciplinarios en un curso de diseño final. El enfoque abarca la evaluación de habilidades de comunicación, participación en equipo, proceso de diseño y los resultados del proyecto, tomando en cuenta la retroalimentación de los estudiantes y patrocinadores para calibrar las evaluaciones realizadas por los instructores. (Steiner et al., 2010), debido a lo anterior, la evaluación del proceso de diseño, los productos de diseño, el trabajo en equipo y la práctica profesional son elementos esenciales en un curso de diseño final de ingeniería.

Por otra parte, los cursos finales basados en proyectos para personas mayores tienen como objetivo fundamental brindar a los estudiantes la oportunidad de aplicar las herramientas y conocimientos adquiridos en cursos anteriores, al mismo tiempo que trabajan en la resolución de problemas de ingeniería del mundo real. En esta cita se presenta un método para usar House of Quality (HoQ) como herramienta principal de gestión de proyectos y métrica de evaluación de diseño para cursos finales (Sherrett & Parmigiani, 2011), por ende, los proyectos de diseño de Capstone son ampliamente reconocidos como una etapa crucial en la transición entre el entorno académico y la práctica de la ingeniería en el mundo laboral actual (IEEE Education Society et al., 2014). Adicionalmente, aunque no se plantea como la única herramienta para medir el logro de los resultados, el curso de diseño final puede ser un mecanismo valioso para evaluar el desempeño de los estudiantes en relación con los resultados establecidos (Wilczynski & Foley, 2014). Cabe resaltar, que un proyecto de diseño final es un trabajo extenso que requiere actividad y pensamiento creativo. Brinda una oportunidad única para que los estudiantes demuestren sus habilidades, destrezas y experiencias que se obtienen a lo largo de un programa en ingeniería, por consiguiente, en esta cita se propone un marco de evaluación unificado para cursos de diseño final en programas

de ingeniería informática. Este marco integra criterios, indicadores, rúbricas analíticas extensas y una formulación estadística sumativa (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015).

### **3.2.2 Evaluación a nivel de curricular**

Durante este periodo la importancia de los cursos de diseño final, han tenido un gran impacto en la evaluación curricular. En los documento, el objetivo principal es proporcionar información a profesores y administradores interesados en construir, expandir o mejorar sus propios programas finales (Chang & Olin, 2008); adicionalmente, los cursos de diseño final de ingeniería se reconocen como “una experiencia culminante” que permite a los estudiantes conectar la teoría y la práctica en el proceso académico final de desarrollo de habilidades profesionales de diseño y relaciones personales a través del trabajo en equipo (Dixon, 2012); a medida que los educadores de ingeniería reconsideran la estructura y el valor de los cursos finales, han recurrido a aplicaciones prácticas para enriquecerlos. Una forma de mejorar estos cursos es mediante la integración de charrettes, que son sesiones prácticas y colaborativas en las que las partes interesadas llegan a un consenso de diseño. Estas sesiones ofrecen oportunidades para que los estudiantes desarrollen habilidades de comunicación, evaluación técnica, trabajo en equipo, evaluación entre pares y profesionalismo (Oswald & Oswald, 2012).

Por otra parte, durante los últimos cinco años, los autores han utilizado un enfoque en el cual los estudiantes son encuestados de manera anónima al final de cada semestre para obtener sus opiniones sobre el logro de los resultados de aprendizaje del curso. Para cada resultado de aprendizaje, se les pregunta a los estudiantes si lo lograron completamente, en parte o si no lo lograron en absoluto (Mcgoron et al., 2013); de igual manera, se analiza un proceso para mapear y evaluar los resultados del programa Indicadores de Rendimiento (PI) mediante el uso de una rúbrica por parte de un mentor del cuerpo docente del proyecto (Stone, 2013).

En 2005, el Departamento de Ingeniería Civil del Instituto de Tecnología Rose Hulman (RHIT) decidió incorporar un componente internacional en su curso final de diseño superior, se trata de implementar una evaluación anual sobre el impacto a corto y largo plazo de los proyectos de diseño internacional. El documento empleó un método de encuesta para recopilar datos de exalumnos que participaron en proyectos de diseño internacionales. La encuesta se realizó en dos fases: la primera para evaluar el impacto a corto plazo de los proyectos de diseño final, y la segunda para evaluar el impacto a largo plazo (Aidoo et al., 2013); dado que, los educadores de diseño actuales enfrentan tres desafíos principales: clases numerosas, estudiantes con escaso conocimiento práctico y personal docente con poca experiencia en diseño o comprensión de la práctica de la ingeniería, diversas instituciones educativas, educadores y las mismas industrias han aportado sugerencias sobre cómo se pueden superar estos desafíos, centrándose especialmente en el uso de rúbricas de autoevaluación (Trevelyan, 2015).

En conclusión, a lo largo de este periodo de tiempo, se ha destacado la importancia del “*Capstone Design*” en la ingeniería, así mismo, la experiencia adquirida por los estudiantes al desarrollar sus proyectos de diseño final, lo cual les permite demostrar sus habilidades, competencias, destrezas y la adquisición de nuevos conocimientos.

### **3.3 Periodo 2017-2022**

ABET fue innovador en la academia al centrarse en los procesos de aprendizaje, debido a esto, cada vez más universidades están acreditadas con planes de estudio que satisfacen sus criterios. No obstante, surgieron desafíos en la incorporación del diseño en los cursos, como proyectos “*Capstone Design*” mal estructurados y una enseñanza ineficiente. En este periodo de tiempo, se incrementa la investigación para encontrar buenas metodologías para implementar proyectos “*Capstone Design*”, comprender la motivación y el valor de la industria al patrocinar

cursos culminantes de ingeniería, mejorar los planes de estudio de ingeniería y descubrir vacíos en las metodologías efectivas y los métodos de evaluación utilizados para medir la validez del proyecto implementado.

### **3.3.1 Evaluación a nivel de curso**

Durante este período, se ha dado especial atención a la mejora continua de la evaluación de cursos educativos y herramientas de aprendizaje para estudiantes de ingeniería.

Los enfoques se centran en implementar marcos que permitan evaluar con precisión los resultados de los estudiantes, utilizando rúbricas claras y estructuradas para obtener resultados precisos de manera sencilla (Damaj & Yousafzai, 2019). Además, algunas instituciones han utilizado evaluaciones sistemáticas para medir el rendimiento de los estudiantes en los proyectos propuestos en los cursos de diseño e ingeniería. Por ejemplo, en la Universidad de Shagra se llevó a cabo una evaluación en un curso de diseño de ingeniería civil, donde se sometió a prueba un proyecto y se aplicó una encuesta al final del curso. Los resultados de la encuesta fueron analizados y recopilados estadísticamente para medir la eficacia del enfoque utilizado en el curso, evaluando criterios individuales y proporcionando un marco evaluativo sistemático para conocer el desempeño del estudiante en dicho proyecto (IEEE Education Society & Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018).

Posteriormente, en 2019, se encontró que las metodologías de evaluación revelaron que los proyectos finales colaborativos ayudan a los estudiantes de ingeniería a aplicar la teoría a situaciones prácticas, lo que los prepara para resolver problemas en entornos del mundo real con confianza. Esto promueve el pensamiento basado en datos, mejora las habilidades de comunicación y gestión del tiempo, y proporciona un conocimiento teórico más dinámico y realista, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos en su carrera profesional (Cecilia &

Leon, 2019). Además, otros estudios se enfocaron en los efectos del aprendizaje basado en la adaptabilidad y las habilidades de gestión de los estudiantes. Estos estudios llevaron a cabo evaluaciones en clases finales de últimos años, mediante cuestionarios de encuestas previas y posteriores a la evaluación de los estudiantes, mostrando una clara tendencia hacia la mejora de la adaptabilidad y las habilidades de gestión de los estudiantes a través de proyectos de diseño (Sirotiak et al., 2019).

En algunas universidades, se ha descrito el uso de Microsoft Teams como una herramienta para mejorar la capacidad de los estudiantes para trabajar en equipo en cursos de diseño (Kidd, 2021). Por otro lado, en la Universidad de Stanford se han presentado métodos propios de evaluación, como el uso de CATME, una herramienta de evaluación en el curso final de diseño de ingeniería mecánica. Mediante la evaluación y entrevistas a estudiantes, se ha demostrado la efectividad de esta metodología para mejorar la dinámica del equipo de diseño de los estudiantes (Towles, 2021).

Los resultados de diversas metodologías de evaluación de las experiencias de diseño indican que los estudiantes han mejorado su comprensión del proceso de diseño y han desarrollado habilidades en el uso de herramientas de diseño en casi todas las etapas del curso. En resumen, los cursos estructurados con evaluaciones de metodologías capstone parecen generar mayor comodidad en los estudiantes al utilizar herramientas de diseño (Brian & Novoselich, 2021).

En conclusión, durante este período de tiempo se ha hecho hincapié en mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje en ingeniería y diseño, implementando tecnología para complementar las metodologías de evaluación. Se han utilizado herramientas tecnológicas de fácil uso con el objetivo de mejorar la competencia y habilidades de los estudiantes en estas disciplinas.

### 3.3.2 Evaluación a nivel de curricular

Durante el periodo comprendido entre 2017 y 2022, se ha evidenciado un aumento en el interés por la evaluación en programas relacionados con el diseño final, como se ha señalado en los estudios revisados. En este sentido, se han abordado los desafíos asociados con la evaluación en el aula y se ha enfatizado la importancia de lograr coherencia y confiabilidad en el proceso evaluativo. Se ha sugerido incluso la combinación de evaluaciones directas e indirectas como una forma de identificar y evaluar adecuadamente aspectos relevantes para los profesores de diseño, tales como el trabajo en equipo, la comunicación, los esfuerzos de los estudiantes y los procesos (Brennan, 2017). Por esta razón, diversas universidades han desarrollado herramientas de evaluación que se implementan en la secuencia de cursos de diseño final en el año 2021 (Mynderse, 2021).

El objetivo de estas herramientas es abordar los diferentes resultados y permitir una identificación más precisa de las fortalezas y debilidades de los equipos de trabajo. Además, se ha puesto énfasis en la evaluación de habilidades específicas, como el liderazgo, a través de la implementación de herramientas de evaluación dedicadas que se utilizan durante el proceso de aprendizaje y desarrollo de dichas habilidades (Eggleston & Citadel, 2021).

Por otro lado, se han llevado a cabo investigaciones que analizan el impacto de los cambios en la entrega de los programas debido a la pandemia de COVID-19. Estos estudios se basan en encuestas en línea y evaluaciones del curso (Daniel Sherwin & Bidanda Ernest Roth Professor, 2021), y se centran en comprender cómo estos cambios han afectado la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

En resumen, durante el periodo comprendido entre 2017 y 2022, se han llevado a cabo diversos estudios que resaltan la necesidad de contar con herramientas de evaluación efectivas en

los cursos de diseño final. Estas investigaciones abordan desafíos específicos en este campo y enfatizan la importancia de evaluar la motivación de los estudiantes, la satisfacción de los patrocinadores del proyecto y promover una comunicación efectiva en el contexto de proyectos de equipo.

#### **4. Propuestas para implementar en los cursos y programas**

Dentro de las propuestas a implementar como evaluación del “*Capstone Design*” en la Escuela de Ingeniería civil, de la Universidad Industrial de Santander tanto a nivel curso como curricular, se plantean las siguientes ideas:

##### **4.1 Evaluación a nivel de curso**

- **Fomentar la retroalimentación y la comunicación:**

Se pueden implementar estrategias como reuniones regulares de equipo para discutir el progreso y compartir ideas, fomentar la participación activa de todos los miembros, utilizar herramientas de colaboración en línea, realizar sesiones estructuradas de retroalimentación, establecer canales de comunicación abierta con los profesores que supervisen el proceso del estudiante y evaluar la comunicación y retroalimentación como parte de la evaluación del proyecto, estas estrategias mejorarán la interacción y el intercambio de ideas dentro de los equipos de “*Capstone Design*”.

- **Evaluación:**

La propuesta de evaluación para el curso “*Capstone Design*” incluye diversas estrategias, en primer lugar se puede realizar una evaluación de la capacidad de los estudiantes para aplicar el proceso de diseño con instrucciones específicas, los docentes pueden utilizar rúbricas o escalas de evaluación para calificar la comprensión y aplicación del proceso de diseño por parte de los

equipos, también se puede evaluar la comprensión del proceso de diseño y su relación con las herramientas utilizadas, buscando fomentar la necesidad de retroalimentación y orientación por parte de los estudiantes para comprender el proceso de diseño, llevando a cabo una evaluación del trabajo en equipo y la colaboración efectiva dentro de los grupos, también evaluar la satisfacción de los docentes en relación al progreso de los estudiantes, estas evaluaciones proporcionarían una visión integral del desempeño de los estudiantes, identificando áreas de mejora y permitiendo brindar el apoyo necesario para garantizar el éxito en el proceso de diseño, algunas de las evaluaciones existentes que se proponen en este documento son las siguientes:

- **Encuestas:**

Una forma efectiva para evaluar el “*Capstone Design*” y de las más utilizadas es a través del uso de encuestas, las cuales permiten recopilar información valiosa sobre la experiencia de los estudiantes, su percepción del proceso de diseño y su satisfacción general con el proyecto.

Al implementar encuestas en el proceso de evaluación, se puede obtener retroalimentación directa de los estudiantes sobre diversos aspectos, como la calidad de la instrucción recibida la efectividad del equipo de trabajo, la colaboración con los patrocinadores del proyecto y la adquisición de habilidades relevantes para su futura carrera profesional, las encuestas pueden ser diseñadas de manera que abarquen diferentes aspectos del proyecto incluyendo planificación y organización, el trabajo en equipo, habilidad adquiridas y expresar sus opiniones, sugerencias y áreas de mejora, un ejemplo o muestra de encuesta es la [tabla 1](#) (Ver [Anexo 3](#)) tomada de (Cecilia & Leon, 2019).

Para asegurar la participación de los estudiantes, es recomendable enfatizar la confidencialidad y anonimato de las respuestas, así como destacar que su participación en la encuesta no afectara su calificación final, También se puede considerar ofrecer algún tipo de

incentivo para motivar su participación, como la posibilidad de obtener retroalimentación personalizada.

Una vez recopilados los datos de las encuestas, se debe realizar un análisis detallado para identificar tendencias, puntos fuertes y áreas de mejora en el proceso de “*Capstone Design*”, Estos resultados pueden ser utilizados para realizar ajustes en el plan de estudios, mejorar la experiencia de los futuros estudiantes y fortalecer la colaboración con los patrocinadores del proyecto.

- **Entrevistas:**

Esta propuesta se enfoca en utilizar entrevistas como método de evaluación para investigar las prácticas de los estudiantes en los cursos de “*Capstone Design*”. Llevando a cabo entrevistas individuales y en grupo con los participantes seleccionados. Las entrevistas pueden abordar prácticas autodirigidas y reflexiones. Utilizando un enfoque analítico para analizar los datos recopilados y buscar patrones y temas recurrentes. Garantizando el consentimiento informado y la confidencialidad de los datos. Esta propuesta busca obtener información valiosa para mejorar los enfoques educativos y la alineación de las reflexiones de los estudiantes con los objetivos del curso.

En la [tabla 2](#) (Ver [Anexo 4](#)), se muestra un ejemplo de preguntas de entrevista que se pueden tener en cuenta en el proceso de entrevista en los cursos de “*Capstone Design*”, tomado de (Gerlick & Trevisan, 2010)

- **Rúbricas:**

Seguir una rúbrica en un curso de “*Capstone Design*” en ingeniería civil es importante porque proporciona claridad, orientación, evaluación justa y mejora del aprendizaje. Ayuda a los estudiantes a comprender las expectativas, mantenerse enfocados, recibir retroalimentación precisa y desarrollar habilidades relevantes para su campo de estudio.

En la [figura 6](#) (Ver [Anexo 5](#)) se presenta un ejemplo de rúbrica extraído del documento “Uso exitosos de rúbricas para evaluar el desempeño estudiantil en proyectos capstone” (Jones & Jones, 2010). Esta rúbrica ha sido utilizada con éxito en cursos de “*Capstone Design*” para evaluar los proyectos de los estudiantes.

Al mostrar la [figura 6](#) (Ver [Anexo 5](#)), se busca ilustrar cómo una rúbrica puede ser aplicada de manera práctica en la evaluación de proyectos y cómo puede proporcionar una guía clara para los estudiantes.

El implementar encuestas o entrevistas y demás técnicas propuestas, como método de evaluación en el “*Capstone Design*” proporciona una forma efectiva de recopilar retroalimentación de los estudiantes, identificar áreas de mejora y fortalecer la calidad del programa en general.

Es importante destacar que estos ejemplos de rúbricas, encuestas, preguntas de entrevista solo son una referencia y puede ser adaptado y personalizado según las necesidades y requisitos específicos del proyecto en cuestión. Sin embargo, su estructura y enfoque general pueden servir como punto de partida para desarrollar una rúbrica o un método evaluativo adecuado a las particularidades de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.

#### **4.2 Evaluación a nivel de curricular**

- **Encuestas y/o cuestionarios:**

Con opción de respuesta tipo selección múltiple, escala de Likert y pregunta abierta, en las cuales se tengan en cuenta temas como resultados del curso y plan de estudios, experiencia de aprendizaje, preferencias del estudiante como se muestra en la [tabla 3](#) (Ver [Anexo 6](#)).

- **Autoevaluación y evaluación por pares o de iguales:**

Con el fin de evaluar críticamente el propio desempeño dentro de un grupo, así mismo, ser evaluado por los compañeros, e identificar las habilidades desarrolladas y en las cuales se debe seguir trabajando.

- **Cuestionario:**

1. En el desarrollo de un curso de diseño final en ingeniería, ¿es necesaria la evaluación por pares?

2. ¿Qué tan eficiente es la autoevaluación y evaluación por pares en un curso de diseño final?

3. ¿Es difícil juzgar a los compañeros frente a la honestidad y sinceridad a la hora de ejercer evaluación de iguales?

4. En un curso de diseño final, a la hora de evaluar el desempeño del grupo ¿existe empatía frente a la formulación de las preguntas?

- **Escala de calificación de evaluación al plan de estudios**

Para la asignación de la calificación final, se tienen en cuenta los siguientes criterios:

A. Documento de diseño final 60% expuesto en la [tabla 4](#) (Ver [Anexo 7](#))

B. Trabajo en equipo 10%

C. Participación y asistencia a clase y asesorías 10%

D. Sustentación final 20%

Para obtener la calificación final se tendrán en cuenta los siguientes pasos para evaluar en la ecuación (1):

1. Sumatoria de los criterios A, B, C y D, según corresponda.

2. El valor obtenido en el paso 1 se multiplicará por 5/100, dicho valor se debe introducir sin el signo de % (cabe mencionar, que esta conversión se hace debido a que el sistema de evaluación a nivel académico maneja valores de calificación de 0 a 5)

$$Y = X * \left(\frac{5}{100}\right) \quad (1)$$

*Y: Calificación*

*X: Valor obtenido de la sumatoria de criterios (no tener en cuenta el signo %)*

## 5. Conclusiones

- A nivel curricular, se emplearon diversos métodos y estrategias para evaluar el logro de los resultados de aprendizaje del curso por parte de los estudiantes. Estos métodos incluyeron evaluaciones en el aula, evaluaciones basadas en el producto final y entrevistas a exalumnos. Además, durante el estudio realizado en los documentos de la muestra final, se identificó que uno de los métodos de evaluación utilizado para determinar la motivación de los estudiantes frente a su participación en un curso de diseño final de ingeniería fue la evaluación conceptual MTP (Motivación en Proyectos de Equipo). Esta evaluación consta de tres componentes: evaluación de actitudes motivacionales, evaluación de comportamientos motivacionales y evaluación del desarrollo motivacional.

Los hallazgos sugieren que la disposición de los estudiantes para llevar a cabo un proyecto final está relacionada con sus sentimientos y actitudes individuales. En otras palabras, el éxito en la ejecución de un proyecto no depende únicamente del conocimiento y dominio del tema, sino también del estado de ánimo tanto de los estudiantes como de los profesores.

- Durante la etapa académica, es común que se requiera el trabajo en equipo o colaborativo en diferentes cursos o asignaturas. En este contexto, la presencia de un líder se vuelve fundamental, dado que, es quien asigna roles, tareas y toma decisiones para llevar a cabo un proyecto final. Entre los métodos mencionados en los documentos estudiados, se destaca el modelo de evaluación y desarrollo de liderazgo. Este modelo se centra en evaluar las características y habilidades de cada miembro del grupo con el fin de identificar posibles candidatos para asumir roles de liderazgo. Un buen líder debe conocer los intereses y habilidades de su equipo de trabajo. Por lo tanto, los métodos y estrategias utilizados para identificar a un líder son de gran importancia, puesto que, contribuyen al resultado final al identificar a la persona más adecuada para asumir este papel fundamental.
- Es fundamental fomentar una comunicación efectiva y brindar retroalimentación constante dentro de los equipos de “*Capstone Design*”. Estrategias como reuniones periódicas, el uso de herramientas de colaboración en línea y la implementación de sesiones estructuradas de retroalimentación promoverán una mejor interacción y el intercambio de ideas entre los estudiantes.
- La evaluación del curso “*Capstone Design*” debe ser exhaustiva, abarcando múltiples aspectos del proceso de diseño. La utilización de métodos como rúbricas o escalas de evaluación para calificar la comprensión y aplicación del proceso de diseño, la valoración del trabajo en equipo y la colaboración efectiva, junto con la retroalimentación proporcionada por los profesores, permitirá obtener una visión completa del rendimiento de los estudiantes y facilitará la identificación de áreas de mejora.
- Las encuestas constituyen una herramienta efectiva para evaluar la experiencia de los estudiantes en el “*Capstone Design*”. Al recolectar información mediante encuestas, se obtiene

una retroalimentación directa acerca de diferentes aspectos del proyecto, como la calidad de la instrucción recibida, la efectividad del trabajo en equipo y la adquisición de habilidades relevantes. Estos resultados pueden utilizarse para realizar ajustes en el plan de estudios y fortalecer la colaboración con los patrocinadores del proyecto.

- Las entrevistas individuales y grupales representan una propuesta valiosa para comprender las prácticas y reflexiones de los estudiantes en los cursos de “*Capstone Design*”. Estas entrevistas proporcionan información detallada sobre las prácticas autodirigidas de los estudiantes y cómo se alinean con los objetivos del curso, lo cual contribuye a mejorar los enfoques educativos y fortalecer la experiencia de aprendizaje.

## **6. Agradecimientos**

En primer lugar, agradecemos a nuestros padres por el apoyo tanto económico como emocional, a nuestro director y codirector de pasantía en investigación, a cada uno de los docentes que hicieron parte de nuestra formación académica y personal, a nuestros amigos, compañeros y cada una de las personas que estuvieron brindándonos una mano amiga y motivándonos a cumplir con el objetivo principal: Ser Ingenieras Civiles UIS.

**Referencias Bibliográficas**

- Aidoo, J., Sipes, S. M., Hanson, J. H., & Lovell, M. D. (2013). Capstone design alumni survey. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2-19283>
- Atlas.ti*. (n.d.).
- Beyerlein, S., Thompson, P., & Howe, S. (2009). *Assessing design and reflective practice in capstone engineering design courses Student Success through Learning to Learn and Self-growth Development View project*. <https://www.researchgate.net/publication/239932522>
- Brian, L. C., & Novoselich, J. (2021). *Assessing the Impact of an Intro to ME Course on the Capstone Design Process*.
- Budinoff, H. D. (2021). *Asset-based Approaches to Engineering Design Education: A Scoping Review of Theory and Practice*.
- Catalano D, D. G. (2004). *Multi-disciplinary capstone two course sequence at the state university of New York at Binghamton*.
- Cecilia, H., & Leon, M. (2019). *Assessing the Impact of University-Industry collaborative Lean Six Sigma Capstone Projects on Engineering Management Students Assessing the Impact of Lean Six Sigma Capstone Projects on Engineering Management Students*.
- Chang, M., & Olin, F. W. (2008). *A blank slate: creating a new senior engineering capstone experience*.
- Damaj, I., & Yousafzai, J. (2019). Effective Assessment of Student Outcomes in Computer Engineering Programs using a Minimalistic Framework. *International Journal of Engineering Education*, 59–75. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32415.71841>

- Daniel Sherwin, M. P., & Bidanda Ernest Roth Professor, B. E. (2021). *Effects of Pedagogical Changes to an Engineering Capstone Course During the COVID-19 Pandemic*.  
<https://www.engineering.pitt.edu/People/Faculty/Profiles/Michael-Sherwin/>
- Devgan, S. S., Bodruzzaman, M., & Zein-Sabatto, M. S. (1993). Evaluating design projects in E. curriculum. *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*.  
<https://doi.org/10.1109/secon.1993.465777>
- Dillon, J. (2009). *Building the Team: Assessing Two Design Group Formation Methodologies*.
- Dixon, G. (2012). *Experiencing capstone design problem state-ments*.
- Eggleston, A. G., & Citadel, T. (2021). *Leader Development Model (LDM) Through Self-and Peer-assessment Across the Curriculum Leader Development Model (LDM) through Self and Peer Assessment across the Curriculum*.
- Gerlick, R., & Trevisan, M. (2010). *Reflective Practices of Engineering Capstone Design Teams*.  
[www.tidee.org](http://www.tidee.org)
- Green, M., & Caso, R. (2006). *Lessons Learned in Assessing Senior Engineering Capstone Design Course Learning with a Variation on the TIDEE Design Team Readiness Assessment I and II*.
- IEEE Education Society, Boğaziçi Üniversitesi, Annual IEEE Computer Conference, IEEE Global Engineering Education Conference 5 2014.04.03-05 Istanbul, Annual Global Engineering Education Conference 5 2014.04.03-05 Istanbul, & IEEE EDUCON 5 2014.04.03-05 Istanbul. (2014). *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2014 3-5 April 2014, Military Museum and Cultural Center, Harbiye, Istanbul*.

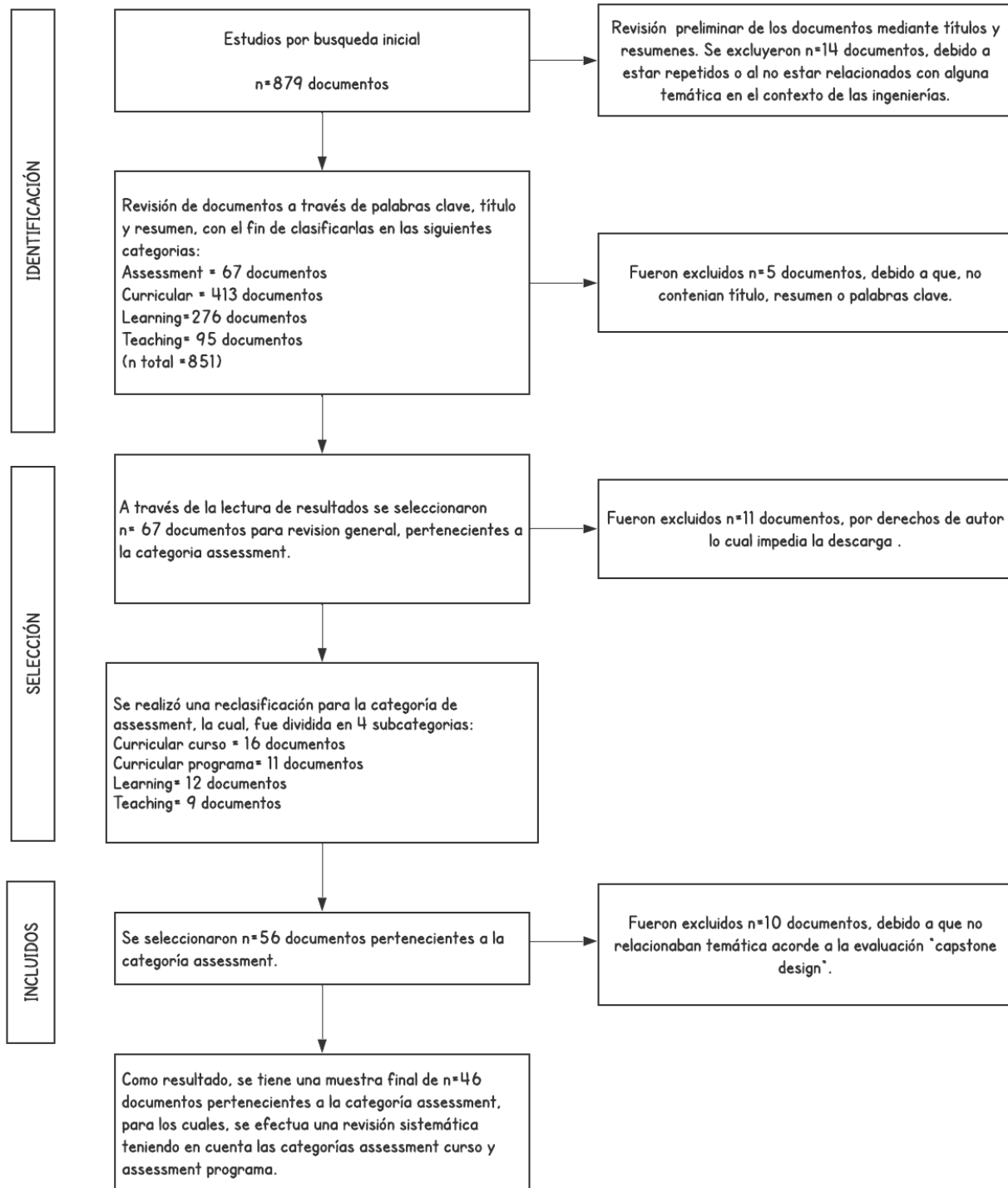
- IEEE Education Society, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2018). *Proceedings of 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) : date and venue: 17-20 April, 2018, Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands, Spain.*
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2015). *Proceedings of 2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) : date and venue: 18-20 March 2015, Tallinn University of Technology (TUT), Tallinn, Estonia,.*
- Jones, D., & Jones, D. K. (2010). *Successful Use of Rubrics to Assess Student Performance in Capstone Projects Introduction and Overview.*
- Kidd, R. (2021). *Microsoft Teams Utilization for Group Function in Maritime-Focused Mechanical Design Capstone.*
- K-Synth Srl, A. S.-O. of the U. of N. F. I. (2023). *Bibliometrix.*  
<https://www.bibliometrix.org/home/>.
- Mcgoron, A. J., Brown, M. E., Dennis Byrne, J., & Byrne, J. (2013). *Delivery and Assessment of the Biomedical Engineering Capstone Senior De-sign Experience.*
- Mckenzie, L. J., Trevisan, M. S., Davis, D. C., & Beyerlein, S. W. (2004). *Capstone Design Courses and Assessment: A National Study.*
- Mynderse, J. A. (2021). *Assessing ABET Student Outcome 5 (Teamwork) in BSME Capstone Design Projects.*
- Oswald, M. R., & Oswald, M. (2012). *Integrating the charrette process into en-gineering education: A case study on a civil engineer-ing design capstone course.*
- Parker, R., Sangelkar, S., Swenson, M., & Dyke Ford, J. (2019). *Launching for Success: A Review of Team Formation for Capstone Design\*.*

- Racicot, K., & Pezeshki, C. (2006). *Assessing Group Learning Using Wikis: An Application to Capstone Design*.
- Sherrett, B., & Parmigiani, J. P. (2011). *Implementation of the House of Quality as a Guiding Tool for Students and Faculty in Senior Capstone Design Courses*.
- Sirotiak, T., Asce, M., & Sharma, A. (2019). *Problem-Based Learning for Adaptability and Management Skills*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE))
- Steiner, M., Kanai, J., Alben, R., Gerhardt, L., & Hsu, C. (2010). *A Holistic Approach for Student Assessment in Project-based Multidisciplinary Engineering Capstone Design*.
- Stone, W. L. (2013). *An Evolving Capstone Course used in ABET Assessment*.
- Towles, J. (2021). *Work in Progress: First-time Use of CATME in a Design Course*.
- Trevelyan, J. (2015). *Incremental Self-Assessment Rubrics for Capstone Design Courses*.  
<http://www.mech.uwa.edu.au/jpt/>
- Wilczynski, V., & Foley, A. C. (2014). *Designing a capstone design course to achieve student outcomes*.  
<http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/conferences/asmep/83081/>
- Zheng, L. (2021). *A Systematic Review of Multidisciplinary Engineering Education: Accredited Programs, Educational Approaches, and Capstone Design*.

Anexos

Anexo 1.

Flujo de identificación y selección de los documentos estudiados. Fuente: elaboración propia.



**Anexo 2.**

*Resultados de la evaluación a nivel curso y a nivel curricular a través del tiempo. Fuente: elaboración propia.*



**Anexo 3.**

*Preguntas ejemplo de una encuesta usada para evaluar parte de cursos de experiencias de diseño.*

*Fuente: Adaptado de (Cecilia & Leon, 2019)*

PREGUNTAS	
<b>APRENDIZAJE</b>	
1	¿Sentí que el uso del proyecto final fue relevante para mi aprendizaje?
2	¿Sentí que lo que aprendí en mi proyecto final era aplicable a mi campo de estudio?
3	¿Mi proyecto final me ayudó a retener más del tema principal de mi proyecto?
4	¿Sentí que mi proyecto final fue una experiencia de aprendizaje optima?
5	¿Sentí que mi proyecto final me ayudo a comprender mejor como aplicar modelos o conceptos teóricos a situaciones del mundo real?
<b>PENSAMIENTO CRITICO</b>	
6	¿Mi proyecto final permitió una comprensión más profunda de los conceptos teóricos?
7	¿Mi proyecto final reunió material que había aprendido en otros cursos?

<b>8</b>	¿Mi proyecto final me ayudó a convertirme en un pensador más basado en datos?
<b>9</b>	¿Mi proyecto final me ayudó a convertirme en un mejor solucionador de problemas?
<b>10</b>	¿Mi proyecto final me permitió ver un problema desde múltiples perspectivas?
<b>11</b>	¿Pensé que el uso del proyecto semestral invitaba a la reflexión?
<b>COMPROMISO</b>	
<b>12</b>	¿Estaba más involucrado en clase cuando discutía mi proyecto final?
<b>13</b>	¿Mi proyecto final fue más entretenido que educativo?
<b>14</b>	¿Me sentí más inmerso en mi curso final que en otros cursos?
<b>15</b>	¿Asumí un papel más activo en el proceso de aprendizaje con mi proyecto final que con cualquier otra actividad del curso fuera del proyecto?
<b>16</b>	¿Mi proyecto final agregó más realismo al curso?
<b>TUTORIA DE INSTRUCTORES</b>	
<b>17</b>	¿Sentí que las reuniones de equipo con el instructor (o los talleres) eran mejor que las sesiones de clase?
<b>18</b>	¿Me sentí socialmente comprometido con mi instructor para recibir comentarios sobre mi proyecto?
<b>HABILIDADES PROFESIONALES</b>	
<b>19</b>	¿Sentí que mi proyecto final me ayudó a mejorar mis habilidades de comunicación oral?
<b>20</b>	Sentí que mi experiencia en proyectos finales me ayudo a ser más resiliente (por ejemplo, ser capaz de manejar los problemas que surgen día a día, superar obstáculos, etc....)
<b>21</b>	Sentir que mi experiencia en proyectos finales me ayudo a convertirme en un mejor líder/gerente de proyectos?
<b>22</b>	¿Sentí que la ejecución de mi proyecto final fue ineficiente (por ejemplo, perdí mi tiempo, mi dinero, hice un progreso lento, tuve que aprender de la manera difícil, no estaba encaminado, etc....)?
<b>EMPLEABILIDAD</b>	
<b>23</b>	¿Sentí que mi proyecto final me ayudó a conseguir el trabajo que quería?
<b>24</b>	¿Sentí que mi proyecto final me ayudó a discernir en que área quería trabajar después de graduarme?
<b>25</b>	¿Siento que mi experiencia en proyectos finales me ha ayudado a avanzar en mi carrera?
<b>26</b>	¿Sentí que mi experiencia en proyectos finales me ayudo a mejorar en las entrevistas de trabajo?

**Anexo 4.**

*Preguntas ejemplo para evaluar los cursos de experiencia de diseño por medio de entrevistas.*

*Fuente: adaptado de (Gerlick & Trevisan, 2010; Jones & Jones, 2010)*

<b>PROTOCOLO DE ENTREVISTAS INDIVIDUALES</b>	
<b>1.</b>	<b>Proyecto y experiencias pasadas</b>
<b>1.1</b>	Describe brevemente el proyecto de su equipo y su rol específico en el equipo.
<b>1.2</b>	Justo antes del comienzo de la clase final, ¿Cuáles fueron sus pensamientos sobre trabajar en equipo con otros? (indicaciones: anticipaciones y reservas con respecto al trabajo en equipo).
<b>2.</b>	<b>Situación actual del trabajo en equipo</b>
<b>2.1</b>	Describe brevemente la dinámica actual de su equipo
<b>2.2</b>	De una breve descripción de algunos aspectos comunes del trabajo en equipo, discuta como se está desempeñando su equipo para cada uno de los siguientes:
<b>2.3</b>	Comunicación: escuchar activamente y compartir información apropiadamente con otros.
<b>2.4</b>	Participación: hacer una “parte justa” del trabajo, apoyar a otros, colaborar.
<b>2.5</b>	Coordinación: toma de decisiones, resolución de problemas, planificación.
<b>2.6</b>	Supervisión: cuidar activamente de los demás y del proyecto, dar/recibir feedback.
<b>2.7</b>	Valores: tener metas y expectativas compartidas para el proyecto
<b>2.8</b>	Actitud: tener una actitud positiva y de apoyo hacia los demás y el proyecto.
<b>3.</b>	<b>Reflexión sobre el trabajo en equipo</b>
<b>3.1</b>	Con base en estos o cualquier otro elemento del trabajo en equipo, ¿cuál es un problema de trabajo en equipo hasta ahora con respecto a su equipo? (indicaciones: situación, iniciador, proceso de pensamiento, papel de las emociones, factores que afectan, resolución, situación actual)
<b>3.2</b>	¿Qué es lo más importante que has aprendido hasta ahora sobre el trabajo en equipo? es decir, ¿qué te has llevado de este proyecto sobre el trabajo en equipo?
<b>3.3</b>	Describe la experiencia que provoco este aprendizaje, desde el inicio hasta la resolución.
<b>3.4</b>	¿Como se trató este problema colectivamente como equipo?
<b>3.5</b>	¿Como pensó en este tema antes de comenzar la clase final?
<b>3.6</b>	¿Como te afectara esto en tu próximo proyecto de equipo y por qué piensas esto?
<b>3.7</b>	Describe la experiencia que provoco este aprendizaje, desde el inicio hasta la resolución.
<b>3.8</b>	Guíeme a través de sus procesos de pensamiento al tratar este tema.
<b>3.9</b>	¿Cómo se trató este problema colectivamente como equipo?
<b>3.10</b>	¿Cómo pensó en este tema antes de comenzar la clase final?
<b>3.11</b>	¿Cómo te afectara esto en tu próximo proyecto de equipo y por qué piensas esto?
<b>3.12</b>	¿Qué fue algo que realmente te sorprendió mientras trabajabas en este equipo?
<b>3.13</b>	¿Cómo te afecto a ti y/o a tu equipo?
<b>3.14</b>	¿Me he perdido algo que me ayudaría a comprender como ha pensado hasta ahora en su proyecto sobre los problemas de trabajo en equipo, o hay algo que haya pensado a lo largo de esta entrevista que quiera discutir más o aclarar?

**Anexo 5.**

*Muestra de rúbrica ejemplo aplicada para cursos de experiencias de diseño. Fuente: Adaptado de (Jones & Jones, 2010)*

Atributo	1- No aceptable	2- Por debajo de las expectativas	3-Cumple con las expectativas	4-Ejemplar	Puntaje
<b>Profundidad técnica</b>	Poco uso de habilidades de nivel universitario, propuesta poco clara.	Falta de contenido técnico, las metas propuestas no se completaron.	Uso de habilidades de cursos junior y senior, objetivos propuestos completados	Visión avanzada, supera los objetivos del proyecto	
<b>Innovación</b>	No original, simple, contenido limitado a cursos de nivel inferior	Alcance limitado, reproduce conceptos/análisis existentes	Aplica ideas originales, diseño novedoso, perspicaz	Altamente innovador, investigación minuciosas, sofisticado.	
<b>Línea de tiempo</b>	Carece de ambición, propuesta de retrasos, semanas sin progreso.	Requiere motivación, posterga, se apresura al final del semestre.	Esfuerzo constante a lo largo del semestre, hitos documentados.	Esfuerzo superior en todo, cumple o supera los objetivos, amplía el alcance del proyecto.	
<b>Organización, pulcritud</b>	Ilógico, descuidado, poco claro	Incomodo, difícil de seguir	Lógico, bien documentado	Altamente profesional, alta calidad del texto.	
<b>Metodología</b>	Excluye datos, incomprendible, extremadamente vago, poco claro	Presenta datos sin explicación, no cuestiona los datos, el análisis es defectuoso o inapropiado.	Evalúa claramente los datos, explica minuciosamente el procedimiento, errores menores u omisiones	Justifica las decisiones, la documentación es completa, correcta y apropiada	
<b>Discusión</b>	Tergiversa, saca conclusiones incorrectas o no las saca, falta de comprensión	Conocimiento limitado, pasa por alto cuestiones clave, no concluyente	Identifica problemas críticos, sugiere mejoras	Evaluación exhaustiva, visión única, examina las inconsistencias.	
<b>Referencias, recursos</b>	No recopila información externa, fuentes irrelevantes, plagio, deshonestidad.	Investigación insuficiente, uso limitado de fuentes, investigación de antecedentes inadecuada	Presenta información útil de suficiente calidad y cantidad, correctamente formateada.	Recopila amplia información relevante de una amplia gama de fuentes, valida los hallazgos	
<b>Presentaciones orales</b>	Breve, no logra persuadir, falta de ilustraciones adecuadas	Malas interpretaciones, poco claro, ilustraciones pobres, centrarse en el trabajo de otros.	Persuasivo, comunicación clara, uso efectivo de ilustraciones	Claro, uso de multimedia de calidad, coherente, enfoque en nuevos entendimientos.	
<b>Reporte escrito</b>	Errores gramaticales, faltas de ortografía, breve, tergiversa la información.	Mala gramática, exceso de locuacidad, detalles insuficientes	Gramaticalmente correcto, explicaciones completas, directo.	Excelente combinación de explicaciones e ilustraciones, con todos los detalles	
<b>Trabajo en equipo</b>	Trabaja solo, discute sin buscar soluciones, no está dispuesto a cooperar, no completa las tareas	Contribuciones desiguales, dependencia excesiva de los demás, necesita que le recuerden.	Contribuye igualmente, coopera, trabaja hacia las metas del grupo, se motiva a si mismo.	Valora y alienta a todos los miembros, coordina esfuerzos, proporciona liderazgo apropiado.	

**Anexo 6.**

*Formato de encuesta y/o cuestionario. Fuente: elaboración propia.*

PREGUNTA	TIPO DE RESPUESTA
<b>Resultados del curso y plan de estudios</b>	
1. ¿Qué tan relevante fue este curso para prepararlo como ingeniero?	Escala de Likert
2. ¿Qué cursos o asignaturas de pregrado le fueron útiles para preparar su proyecto final?	Selección múltiple
2. ¿Consideró el uso y aplicación de estándares de ingeniería para su proyecto de diseño final?	Pregunta abierta
3. ¿Su proyecto final de ingeniería se puede clasificar como un problema complejo? ¿Por qué?	Pregunta abierta
<b>Experiencia de aprendizaje</b>	
1. ¿La virtualidad obstaculizó su aprendizaje? ¿Por qué?	Pregunta abierta
2. ¿Qué tan útil han sido los proyectos de diseño final para aprender a trabajar en equipo?	Selección múltiple
3. ¿Qué tan útil fue el desarrollo de su proyecto final de ingeniería para resolver un problema ingenieril de la vida real? ¿Por qué?	Selección múltiple y pregunta abierta
<b>Preferencias del estudiante</b>	
1. ¿Qué tan satisfecho se siente con el tema asignado para el desarrollo de su proyecto final de ingeniería?	Escala de Likert
2. ¿Qué tan satisfecho se siente con su grupo de trabajo?	Escala de Likert
3. Describa su experiencia frente al desarrollo de su proyecto de diseño final.	Pregunta abierta

**Anexo 7.**

*Escala de calificación de evaluación al plan de estudios. Fuente: elaboración propia.*

ÍTEMES PARA CALIFICAR EL PROYECTO DE DISEÑO FINAL	PUNTUACIÓN
a) Introducción y justificación para la selección del tema del proyecto.	4%
b) Análisis de mercado.	4%
c) Selección del equipo de trabajo.	4%
d) Asignación de roles.	4%
e) Descripción del proceso de diseño.	4%
f) Memoria de cálculos necesarios para el desarrollo del proyecto.	4%

g) Presentación de diseños del prototipo.	4%
h) Simulaciones	4%
i) Fabricación del prototipo.	4%
j) Especificaciones técnicas del prototipo fabricado.	4%
k) Experimentos y procedimientos de pruebas y resultados.	4%
l) Limitaciones del prototipo.	4%
m) Inconvenientes presentados con el equipo de trabajo.	4%
n) Resultados de aprendizaje.	4%
o) Conclusiones.	4%

Nota: La sumatoria de los ítems para calificar el proyecto de diseño final equivale al 60% que se menciona en el criterio A.