

13. Diseño, revisión, validación y evaluación de un caso vinculante de física e ingeniería

LUIS JORGE BENÍTEZ BARAJAS*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.219.13>

Resumen

Se presenta la primera fase de la investigación, cuyo objetivo es diseñar un caso relacionado con la ingeniería de forma sistematizada y responder a la pregunta: ¿cómo construir, revisar, validar y evaluar un caso que involucre tópicos de física? El caso considerado es el del colapso de la línea dorada del metropolitano de la Ciudad de México. El proceso de diseño del caso consistió en la siguiente estructura: antecedentes, situación y prospectiva; validación por jueces expertos, de las dimensiones: claridad, coherencia, relevancia y suficiencia, para cada parte del caso; cálculo del estadístico de Aiken y triangulación de datos; y pilotaje por evaluación de alumnos de las mismas dimensiones. La metodología utilizada en la indagación es cualitativa. La investigación se llevó a cabo en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

Palabras clave: *método del caso, ley de Hooke, ingeniería, física, diseño de un caso.*

* Doctor en Ciencias de la Arquitectura. Profesor-investigador en la Sección de Estudios de Posgrado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA), unidad Tecamachalco, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4038-8623>

Introducción

Según Malavé [1], existen dificultades que afrontan los estudiantes de Ingeniería en el Aprendizaje de Física, como la comprensión conceptual y de principios de física. También, según Brenzini y Martínez [2], los efectos de la falta de comprensión de estos principios en los estudiantes provoca deficiencia en la adquisición de competencias interpretativas y de análisis conceptual-teórico, y con ello deficiencias en la aplicación efectiva de conocimientos durante la resolución circunstancial de problemas prácticos. Un ejemplo *ad hoc* de acuerdo con el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM) [3] es el colapso del tramo de la línea 12 del metropolitano de la Ciudad de México; en su tramo Tezonco-Olivos, columnas 12 y 13, acontecido el día 3 de mayo de 2021, AGN [4]. Además, la falta de comprensión de “conceptos físicos nucleares”¹ es uno de los factores que genera mala ejecución de proyectos de estructuras ingenieriles. Para DNV [5] esta es una de las causas generatrices en fallas de diseño, construcción y planeación en diversas obras civiles y arquitectónicas. Sin embargo, para Luna [6] y Manpower [7] este problema trae consigo también la falta de confiabilidad de egresados de escuelas superiores, las cuales avalan la adquisición de competencias genéricas y específicas, según sus planes y programas de estudio, abocadas a un diseño curricular que satisfaga la demanda social, empresarial y tecnológica. Por lo tanto, se propone explorar e implementar la metodología educativa de “análisis de caso”, y con ello no solo generar conexión entre la física como disciplina y por consiguiente con las ingenierías, también indagar la eficacia del “método de caso” para la mejora de comprensión conceptual y de argumentación de principios de física en alumnos inmersos en aprendizaje de mecánica estructural.

Así pues, la relevancia de este trabajo de investigación radica en inquirir y generar conocimiento en relación con el fenómeno: comprensión y aplicación de la física a la ingeniería, y con ello se pretende mitigar las consecuencias que se derivan de la falta de comprensión de principios de

¹ “Conceptos físicos nucleares” designa al conjunto de principios o leyes que sustentan las teorías que dan razón científica de la noción de fuerza como trabajo al deformarse la materia, Carcavilla [8].

física en el aprendizaje de tópicos de mecánica estructural, como falta de empleabilidad de egresados universitarios, lo cual según Manpower [7] y QS [9] no solo afecta la economía de las sociedades, también puede evitar pérdida de recursos materiales y de vidas humanas, por colapsos estructurales en obras civiles y arquitectónicas. Además, el método del caso probablemente podría aumentar la construcción conceptual apegada a la realidad; también a través del diálogo fundamentado podría disminuir la distorsión conceptual por preconceptos imaginarios. Como aspecto de la metodología del caso, este promueve la comunicación entre actores del proceso enseñanza-aprendizaje y con ello aumentan las estrategias para la solución certera de problemas, eventualmente reduce el aprendizaje mecanizado y poco reflexivo.

Objetivos de la investigación

El objetivo general es describir y analizar el proceso sistemático de diseño de un caso aplicable a cursos de estructuras del área de la física, en estudios profesionales. El objetivo específico de la investigación es implementar el proceso de diseño del caso para verificar su viabilidad en ingenierías, considerando como muestra la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional en México y como caso de estudio considerado, el del colapso de la línea dorada del metropolitano de la Ciudad de México; lo anterior puede resultar útil para desarrollar una segunda etapa de investigación en la cual se genere diseño didáctico e instrumentos de evaluación de aprendizajes al vincular el caso diseñado con la metodología del caso como estrategia didáctica.

Metodología

La indagación parte de un enfoque cualitativo, en el que se llevó a cabo un proceso descriptivo analítico del diseño del caso: “Física ignorada como insuficiencia de diseño colapso línea Dorada del Metro”; esto para dar respuesta a la pregunta: ¿cómo diseñar un caso que involucre tópicos de física?;

En el proceso del diseño del caso se realizó una lectura de los siguientes casos: Decodificando el ADN del sistema de producción de Toyota, ver caso [10]; Elephant Pumps, ver caso [11]; California Products, ver caso [12]; revisión de peritajes y contexto del accidente, DNV [5]; redacción del primer borrador del caso; discusión entre pares a través de un blog en Wordpress, en el cual se registraron 16 hilos de discusión en relación con el caso, Wordpress [13]; ajustes y reestructuración del caso; validación del caso por jueceo de expertos y evaluación de estudiantes, adaptado de Escobar y Cuervo [14]. Lo anterior con la siguiente estructura según HBS [15], Harvard [16] y DNV [5]: causa necesaria, causa raíz, causa inmediata, prevención, aplicación metódica de técnica de análisis causal sistemático basado en barreras y método de procesamiento de evidencia (*vid.* cuadro 13.1, fases 1 y 2). Como resultado del diseño del caso se podría derivar una segunda etapa complementaria de metodología cuantitativa, y verificar “¿cómo los alumnos modifican la comprensión de conceptos de física relacionados con la ley de Hooke, a través del aprendizaje mediado por el método del caso?”. Y al implementar “metodología mixta”, los actores involucrados podrán dar razón del ser conceptual y generarán participación activa, diálogo y crítica del conocimiento; sin embargo, el reto es tener *a priori* un caso para ingeniería diseñado sistemáticamente (*vid.* cuadro 13.1, fase 3).

Cuadro 13.1. *Corrientes teóricas que soportan metodología y pregunta de investigación*

<i>Fase 1: Didáctica</i>	<i>Fase 2: Objeto de estudio</i>	<i>Fase 3: Prueba</i>
A. Metodología educativa análisis (casos): <ul style="list-style-type: none"> • Leer, escribir y discutir casos de estudio, escuela de negocios de Harvard • Aprender método de caso Harvard Press B. Métodos sistemáticos de procesamiento de evidencia y técnica de análisis causal sistemático basado en barreras: <ul style="list-style-type: none"> • Der Norske Veritas, Inc. C. Modelos educativos: <ul style="list-style-type: none"> • Constructivismo, estructuralismo y educación 4.0 	<i>Mecánica estructural</i> <ul style="list-style-type: none"> A. Tres leyes del movimiento de Newton B. Ley de la elasticidad y ecuación de la deformación: <ul style="list-style-type: none"> • Hooke, Euler, Laplace, Módulo elástico, Young C. Cálculo estructural elástico: <ul style="list-style-type: none"> • Estática estructural 	<i>Diseño, revisión, validación, evaluación e indagación</i> <ul style="list-style-type: none"> A. Trabajo de caso B. Comprensión conceptual lectora C. Argumentación discursiva escrita D. Estadística descriptiva y correlaciones

Fuente: elaboración propia.

La física involucrada en tres tipos de deformación en estructuras

Según la FGJ [17], Belfort [18] y la SGIRYPC [19] el caso del colapso de la línea dorada implicó falta de comprensión y aplicación de las leyes del movimiento de Newton: a toda acción hay una reacción, a toda causa un efecto, a una fuerza un trabajo, a una carga un esfuerzo, a un esfuerzo una fatiga, a una fatiga una deformación, a una deformación una disfunción y a una disfunción un colapso, DNV [5] y Cusba [20]. Aunado a estas condiciones, Viadas [21] comenta como factores causales la presencia en las dos vigas de carga del tramo de tres tipos de deformación: flexión, torsión y cortante (*vid.* cuadro 13.1, fase 2), de las cuales se derivan teorías estructurales de esfuerzos y deformación, y las fórmulas al cálculo correspondiente; se indican entre corchetes las unidades de las variables algebraicas:

$$Ar = [cm^2] = \frac{Pu[kg]}{fy \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}; fy \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = \frac{Pu[kg]}{Ar[cm^2]} \quad (1)$$

$$e = \frac{fy \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{E \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}; e = \frac{\Delta u[cm]}{L[cm]} \quad (2)$$

donde:

Ar = área

Pu = carga

e = módulo Young

fy = esfuerzo

E = esfuerzo máximo

En las fórmulas (1) y (2) Ar equivale al área resistente de la viga IR, Pu es carga puntual, fy esfuerzo involucrado, e es módulo de Young y E es esfuerzo madre antes de ruptura (límite plástico).

$$e = \frac{fy\left[\frac{kg}{cm^2}\right]}{E\left[\frac{kg}{cm^2}\right]}; E = \frac{fy\left[\frac{kg}{cm^2}\right]}{e}; E = \frac{\frac{Pu\left[\frac{kg}{cm^2}\right]}}{Ar\left[\frac{kg}{cm^2}\right]}; E = \left[\frac{kg}{cm^2}\right] = \frac{Pu[kg]*L[cm]}{Ar[cm^2]*\Delta u[cm]} \quad (3)$$

$$\Delta u[cm] = \frac{(Pu[kg]*L[cm])}{(Ar[cm^2]*E\left[\frac{kg}{cm^2}\right])}; \Delta u[cm] = \frac{(kg*cm)}{(cm^2*\frac{kg}{cm^2})} \quad (4)$$

donde:

Δur = deformación resistente

$\Delta uact$ = deformación actuante

L = claro

En las fórmulas (3) y (4) se aprecia el proceso de deducción de la fórmula para el cálculo de deformación Δu en cm; involucrando carga, claro, área de la sección estructural y módulo de elasticidad máximo.

Revisión del caso

Cuadro 13.2. *Etapas de revisión del caso*

Fase 1	Fase 2	Fase 3
a) Se redujo la extensión del caso de 8591 a 6064 palabras; de 58 a 24 cuartillas.	a) Se disminuyeron fuentes hemerográficas, solo para figuras ilustrativas. Se conservan fuentes técnicas para respaldar figuras, tablas y gráficos.	a) Se estimó promedio de lectura de 200 a 300 palabras/min, lectura caso de 20 a 30 min.
b) En los apartados se procuró comenzar con preguntas para realizar el abordaje en la lectura.	b) Se corrigieron errores en la designación de unidades.	b) Se sintetizó el apartado de introducción para hacer el contenido del caso más sucinto.
c) Se eliminaron porciones de texto y tablas no esenciales (e.gr. la sección de historia del metropolitano y la alusiva a la "causa inmediata" dentro del diseño del caso).	c) En la sección "causa raíz" del diseño del caso, substituyó la infografía por cuadro conceptual que resumiera de manera gráfica el contenido.	c) Se incorporaron referencias técnicas del reglamento, título VI "Seguridad estructural".
d) Todas las abreviaturas de términos técnicos y asociaciones son referenciadas con texto completo.	d) En el apartado "causa raíz" se eliminó cuadro de síntesis y se mantuvo el análisis de las 23 causas que originaron el siniestro.	

Fuente: AGN [4], DNV [5], Escobar y Cuervo [14], FGJ [17], Belfort [18], Viadas [21].

Validación del caso

Se tomó como referente a Escobar y Cuervo [14] en la propuesta de las cuatro dimensiones de validación por jueces del caso del colapso de la línea dorada. Se utiliza Google Forms para administrar de modo eficiente las respuestas, y se envió formulario vía correo electrónico; los criterios de validación se relacionan con categorías numéricas expresadas en escala ordinal para cada dimensión y sección del caso.

Cuadro 13.3. *Aplicación, dimensiones, validación, sección introducción, formulario*

<i>Dimensión Introducción (escala de 4 rubros polarizados: uno negativo, dos intermedios y uno positivo)</i>	
1. Categoría claridad	La sección es clara, tiene semántica y sintaxis adecuada
2. Categoría coherencia	La sección se encuentra completamente relacionada con la situación técnica descrita
3. Categoría relevancia	La sección es muy relevante y debe ser incluida
4. Categoría suficiencia	Todas las secciones del caso son suficientes

Fuente: DNV [5], Escobar y Cuervo [14].

Se usan cinco preguntas para indagar relevancia didáctica-profesional del caso; se usa escala de Likert.

Cuadro 13.4. *Preguntas adicionales, trascendencia metacognitiva*

<i>Preguntas adicionales (en escala de Likert)</i>
1. El caso está relacionado con la realidad laboral.
2. El caso será atractivo para alumnado de física e ingeniería.
3. No toda la información necesaria para analizar el caso está en el texto.
4. Los lectores del caso tendrán que hacer algunas investigaciones, inferencias, juicios y argumentos basados en la información aprendida.
5. El caso tiene más de una perspectiva de análisis y propuesta de solución aceptable.

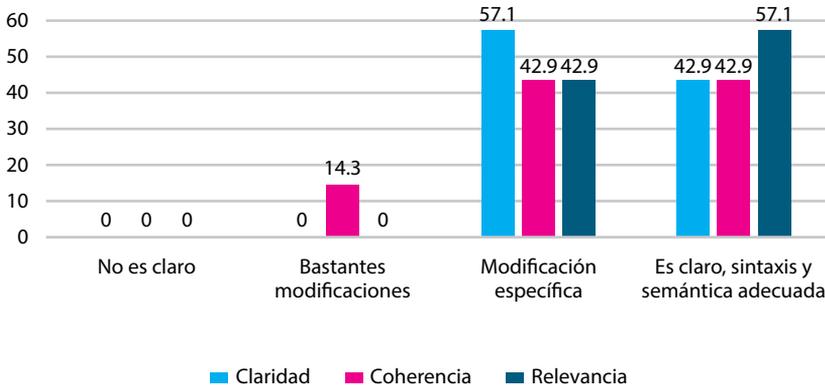
Notas: 1 = Totalmente de acuerdo; 2 = De acuerdo; 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 = Totalmente en desacuerdo.

Fuente: Brenzini y Martínez [2], Luna [6], Escobar y Cuervo [14].

Resultados, validación y evaluación

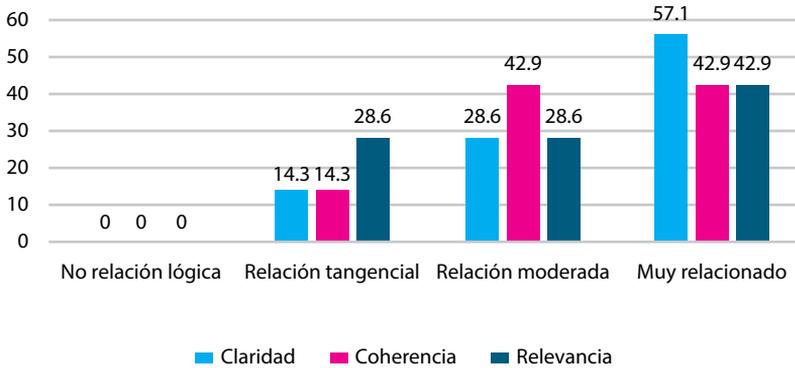
Con base en las validaciones realizadas por siete jueces, ingenieros y cate- dráticos de nivel superior se presentan los siguientes resultados. Aplicando escala de medición de Likert-polarizada, de un rubro negativo ubicado a la izquierda y uno positivo a la derecha y dos intermedios, que se relacio- nan con escala ordinal de cuatro rubros (0, 1, 2, 3), según criterio de va- lidación.

Figura 13.1. Valoración sección Introducción



Fuente: elaboración propia.

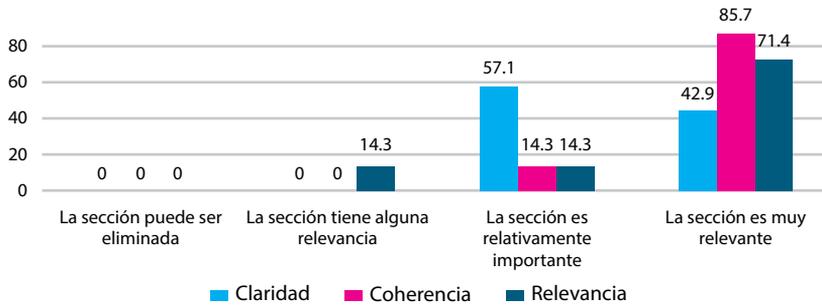
Figura 13.2. Valoración sección Historia



Fuente: elaboración propia.

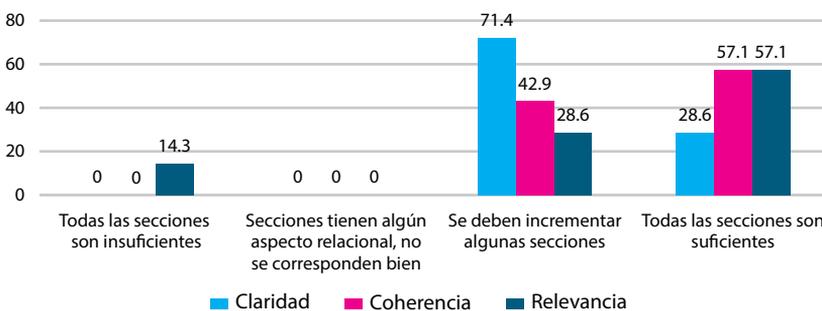
Dado que en la figura 13.1, el 57.1% responde que la introducción requiere modificación específica y el 42.9% dice que tiene semántica y sintaxis adecuada se infiere que la sección es clara. El 42.9% señala que la introducción tiene relación moderada y el 42.9% que está muy relacionada con la situación descrita, por tanto, la sección tiende a ser coherente. El 42.9% dice que la introducción es relativamente importante y el 57.1% señala que es muy relevante y debe ser incluida, se infiere que la sección es relevante. En la figura 13.2, el 28.6% señala que la sección requiere una modificación específica, el 57.1% que tiene semántica adecuada, entonces la historia es clara. Dado que el 42.9% señala que la sección tiene relación moderada con la situación técnica, y el 42.9% dice que está completamente relacionada, se infiere que es coherente. El 28.6% afirma que la sección es relativamente importante y el 42.9% que es muy relevante y debe ser incluida, entonces se infiere que la historia tiende a ser relevante.

Figura 13.3. Validación sección Causa raíz



Fuente: elaboración propia.

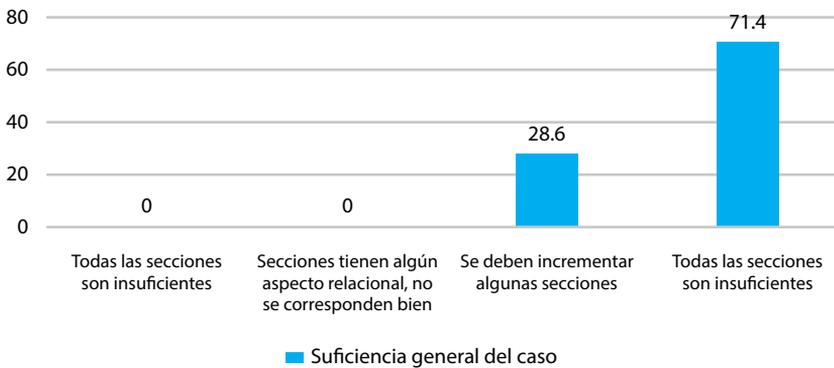
Figura 13.4. Validación sección Estrategia



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13.3, el 57.1% señala que la sección requiere una modificación específica, y el 42.9% que la causa raíz tiene semántica y sintaxis adecuada, entonces la causa raíz tiende a ser clara. Dado que el 85.7% responde que la sección está totalmente relacionada con la situación técnica que mide, se infiere que la causa raíz es coherente. Y el 71.4% dice que la sección es muy relevante y debe ser incluida, entonces la causa raíz es relevante. En la figura 13.4, el 71.4% dice que la sección requiere una modificación específica y el 28.6 señala que tiene semántica, se infiere que la estrategia futura tiende a ser clara. El 42.9% señala que la sección tiene relación moderada con la situación técnica descrita y el 57.1% que está muy relacionada, se infiere que esta es relevante.

Figura 13.5. Validación, para todas las secciones



Fuente: elaboración propia.

Dado que el 71.4% señala que todas las secciones del caso son suficientes, se infiere que el caso tiene integridad de contenido. Aclarando que las tres dimensiones miden de manera singular a las secciones del caso, mientras que la dimensión suficiencia mide de manera general a las cuatro secciones del caso.

Para los valores de las cinco preguntas adicionales se encontraron tendencias de validación con porcentajes altos, entre rangos del 42.9%, 57.1% y 71.4%, relacionados con escala de Likert de: “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo”; se infiere que las cinco preguntas adicionales remarcan la funcionalidad del caso a nivel profesional y metacognitivo.

Al comparar las cuatro gráficas de las secciones del caso validadas para tres de sus dimensiones singulares se observan valoraciones positivas con tendencia ascendente y a la derecha de los histogramas, se infiere que el caso es claro, coherente y relevante. También se observó que los jueces validan entre rangos del 42.9% para cada uno de los últimos dos niveles positivos de la escala de Likert, lo que indica que el caso no es al 100% claro ni coherente, lo que representa la naturaleza de la realidad relatada en el caso, no lineal, causal, ni ordenada en su totalidad, Ellet [22].

El estadístico que se utiliza para cuantificar la validez del caso por jueces es el coeficiente de Aiken, adaptado de Escobar y Cuervo [14] y Ecurra [23] (*vid.* ecuación 5).

$$V = \frac{S}{[n * (c - 1)]} \quad (5)$$

La fórmula se compone de:

V = coeficiente de Aiken

S = suma valores numéricos asignados por cada juez, para cada criterio validado

Si = valor numérico específico, asignado por cada juez, para cada criterio

n = número de jueces

c = número de criterios evaluados

El número de jueces encuestados es siete, número de valores de la escala ordinal considerada para cada dimensión es de cuatro: 0, 1, 2, 3; y los valores de S y si son de la suma de valores numéricos asignados por jueces y valor numérico específico para cada criterio (*vid.* cuadros 13.5 y 13.6).

Cuadro 13.5. *Criterios evaluados a las cuatro secciones (Introducción, Historia, Causa raíz y Prospectiva)*

1. Claridad	2. Coherencia	3. Relevancia	4. Suficiencia
0 = No es claro	0 = No tiene relación lógica	0 = La sección puede ser eliminada	0 = Todas las secciones son insuficientes
1 = Requiere bastantes modificaciones	1 = Tiene relación tangencial	1 = La sección tiene alguna relevancia	1 = Todas las secciones no corresponden en su totalidad
2 = Requiere modificaciones muy específicas	2 = Tiene relación moderada	2 = Sección relativamente importante	2 = Se deben incrementar algunas secciones
3 = Es claro, tiene semántica y sintaxis	3 = Completamente relacionado	3 = Muy relevante y merece ser incluida	3 = Todas las secciones son suficientes

Fuente: Escobar [14].

Cuadro 13.6. *Descripción de las cinco preguntas adicionales*

Cinco preguntas adicionales al caso				
1. Relacionado con la realidad laboral	2. Atractivo alumnos Física e Ingeniería	3. No toda la información está en el texto	4. Con lo aprendido se harán juicios e investigación	5. Más de una propuesta de solución y análisis

Notas: 0 = Totalmente en desacuerdo; 1 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 2 = De acuerdo; 3 = Totalmente de acuerdo.

Fuente: Escobar y Cuervo [14].

A cada respuesta se le asignó un valor, según escala de Likert. Con estos valores se construye código de validación para cada sección del caso; los rangos de eficiencia para valoraciones obtenidas por coeficiente de Aiken son: de 0 a 0.30 deficiente, de 0.30 a 0.49 poco eficiente, 0.50 a 0.69 regularmente eficiente, de 0.70 a 0.85 eficiente, de 0.85 a 1.00 muy eficiente, Escobar y Cuervo [14]; consultar ligas estadísticas [24, 25, 26]. Ahora se presentan cuadros 13.7 y 13.8 de resultados de la indagación, Escurra [23]:

Cuadro 13.7. *Validaciones jueces y tabla resumen (sección 1)*

VALIDACIÓN DE JUECES	Criterios de evaluación	Juez 1	Juez 2	Juez 3	Juez 4	Juez 5	Juez 6	Juez 7	$\Sigma \times$ criterio	V (Aiken)	Valoración
$V = S / [n \times (c - 1)]$	Claridad	3	3	2	3	2	2	2	17	0.81	Eficiente
	Coherencia	3	3	2	2	1	2	3	16	0.76	Eficiente
Todas las secciones	Relevancia	3	3	2	2	3	2	3	18	0.86	Muy eficiente
	Suficiencia	3	3	3	2	3	2	3	19	0.90	Muy eficiente

<i>TABLA RESUMEN</i>	<i>Claridad</i>	<i>Coherencia</i>	<i>Relevancia</i>	<i>Suficiencia</i>
S	17	16	18	19
Si	x	x	x	x
n	7	7	7	7
c	4	4	4	4
V (Claridad)	0.80952381	0.81		
V (Coherencia)	0.76190476	0.76		
V (Relevancia)	0.85714286	0.86		
V (Suficiencia)	0.9047619	0.90		

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 13.8. *Validaciones de jueces (secciones 2-4) y preguntas adicionales*

<i>Sección</i>	<i>Criterios de evaluación</i>	<i>Valoración</i>
Historia	Claridad	Eficiente
	Coherencia	Eficiente
	Relevancia	Eficiente
Causa raíz	Claridad	Eficiente
	Coherencia	Muy eficiente
	Relevancia	Muy eficiente
Prospectiva	Claridad	Eficiente
	Coherencia	Muy eficiente
	Relevancia	Eficiente
Preguntas adicionales al caso	Realidad laboral	Muy eficiente
	Atractivo alumnos	Muy eficiente
	No toda información	Eficiente
	Se hará investigación	Eficiente
	Varias soluciones	Eficiente

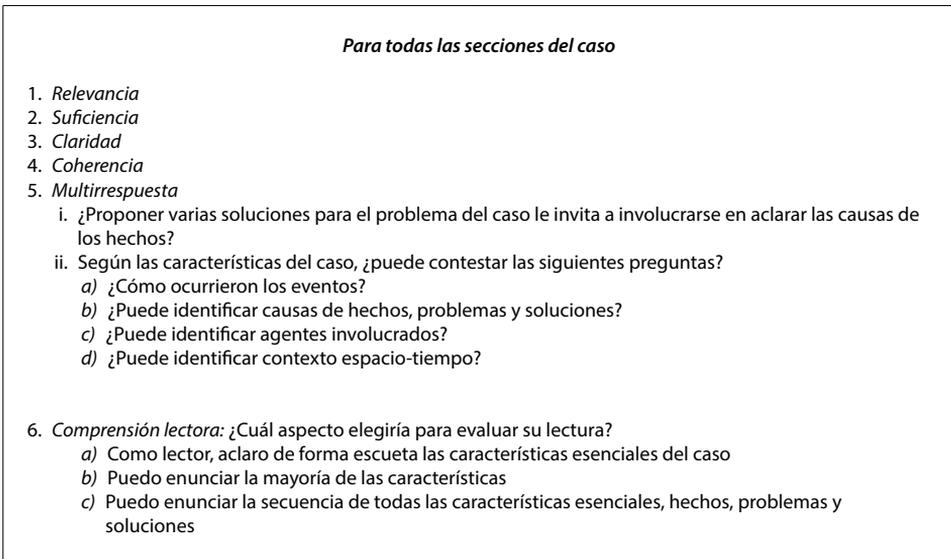
Fuente: elaboración propia.

Dado que los resultados obtenidos en los cuadros 13.7 y 13.8 para Introducción y secciones restantes del caso indican niveles de eficiencia, se infiere que el estadístico señala evaluaciones eficientes del caso muy similares a las de histogramas, lo cual indica suficiencia de comprensión y análisis de contenido.

Como parte del proceso de construcción del caso se requirió evaluación de usuarios; el instrumento para hacer esta medición tiene como base las características que debe tener un caso según Ellet [22]. Se evaluaron cuatro secciones, al encuestar muestra de 56 estudiantes de Ingeniería, con edades

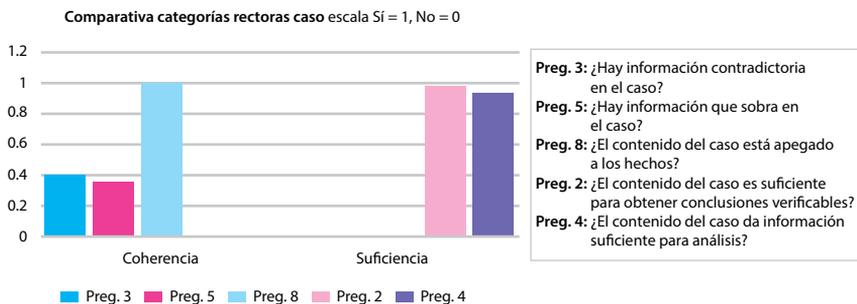
entre 18 y 25 años; mediante formulario Google Forms de seis dimensiones, de 12 preguntas, con opción de respuestas dicotómicas, Escobar y Cuervo [14]. En este proceso se repiten las mismas cuatro dimensiones de validación por jueces. Se usó escala dicotómica para comparaciones precisas del criterio de alumnos al evaluar; los valores de sí y no se codificaron con valores ordinales de 1 y 0, y se construyó labor cuantitativa liga [24].

Figura 13.6. Dimensiones y preguntas evaluación caso usuarios

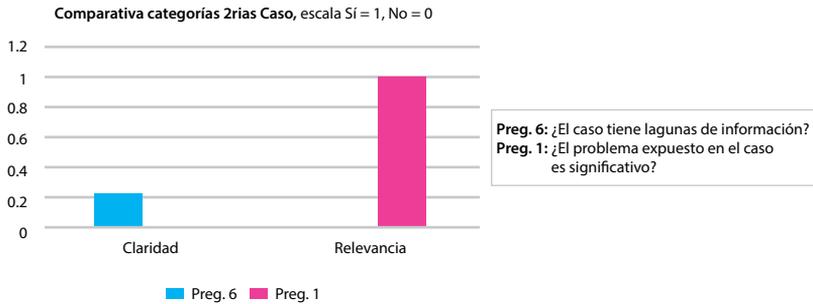


Fuente: Escobar y Cuervo [14] y Ellet [22].

Figura 13.7. Triangulación datos dimensiones Coherencia y Suficiencia

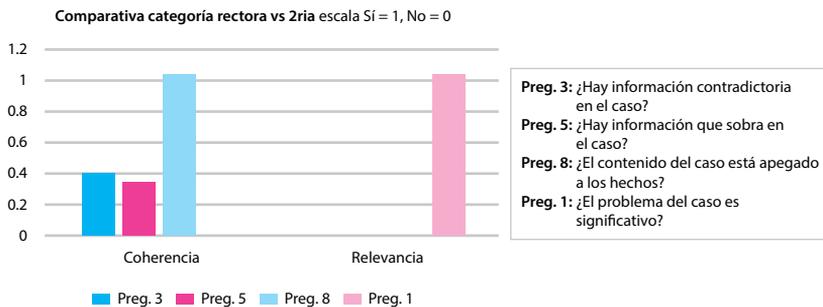


Fuente: elaboración propia con base en Cisterna [27].

Figura 13.8. *Triangulación datos dimensiones Claridad y Relevancia*

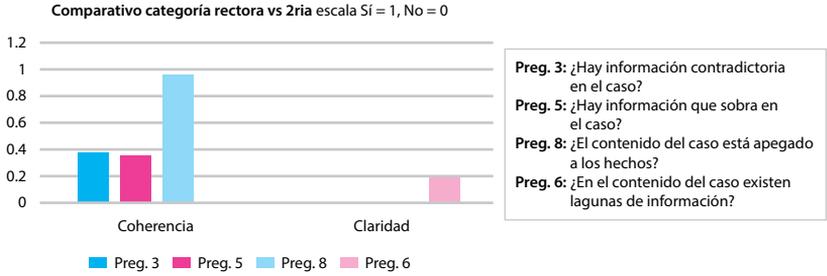
Fuente: elaboración propia con base en Cisterna [27].

En la figura 13.7, preguntas 3 y 5, el 40% indica coherencia, existe disparidad con las preguntas 2 y 4 que indican 100% de relevancia, no hay triangulación; se infiere que el 40% percibe el caso superficial, el 60% dice que no es coherente con la realidad compleja. La pregunta 8 tiene nivel alto de triangulación con preguntas 2 y 4, el caso se apega a la realidad con suficientes datos para análisis. En la figura 13.8 hay nivel de triangulación bajo, ya que el 20% indica que el caso tiene lagunas de información y el 100% indica relevancia, se infiere que ese 20% leyó superficialmente.

Figura 13.9. *Triangulación datos dimensiones Coherencia y Relevancia*

Fuente: elaboración propia con base en Cisterna [27].

Figura 13.10. Triangulación datos dimensiones Coherencia y Claridad

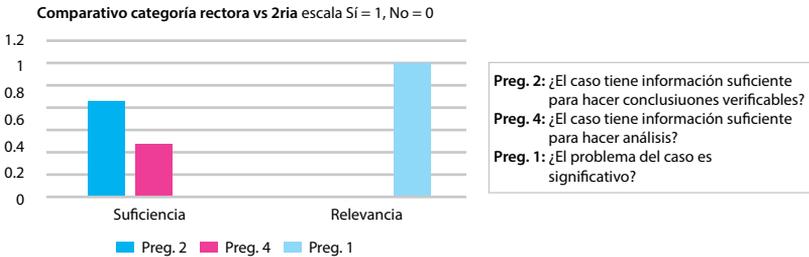


Fuente: elaboración propia, referente Cisterna [27].

En la figura 13.9 hay baja triangulación entre preguntas 3 y 5, y pregunta 1, ya que el 40% percibe el caso como contradictorio y coherente con la realidad multienfoque y en apariencia desordenada. El 60% realiza lectura superficial y dice que el caso no es coherente con esta realidad y sí coherente con una realidad lineal, ordenada e idealizada. Se infiere que el 100% percibe el caso como relevante, aun cuando no se involucró a profundidad. La figura 13.9 similar al triangular entre coherencia y claridad.

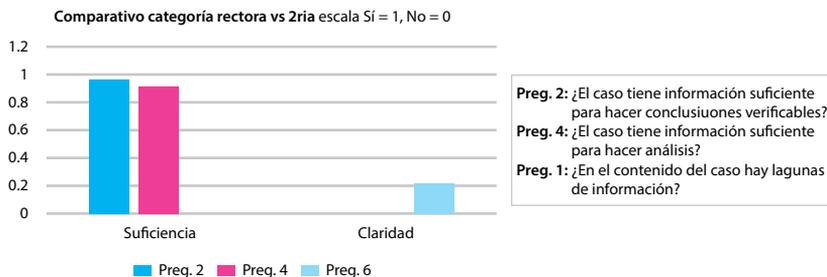
En la figura 13.11 Suficiencia y Relevancia están correlacionadas con 96 y 100%, y en la figura 13.12 el nivel de triangulación entre Suficiencia y Claridad es bajo, un 20% percibe lagunas de información vs. 80% que no.

Figura 13.11. Triangulación datos dimensiones Suficiencia y Relevancia



Fuente: elaboración propia con base en Cisterna [27].

Figura 13.12. Triangulación datos dimensiones Suficiencia y Claridad



Fuente: elaboración propia con base en Cisterna [27].

Cuadro 13.9. Nivel eficiencia características caso al indagar en usuarios, codificación intervalar

Característica Categoría	Justificación (codificación)	No. pregunta formulario Google (Resultado estad.)
1. El problema que se plantea en el caso es relevante. Codificación (relevancia) significación.	Si entre el 80 y 75 % de alumnos asignan un sí, entonces el caso lo están evaluando relevante	Pregunta 1 El 100% sí considera relevante el caso
2. Información suficiente sobre la cual se pueden derivar conclusiones. Codificación (suficiencia).	Si entre el 80 y 75 % de alumnos asignan un sí, entonces el caso lo están evaluando suficiente	Pregunta 2 El 96.4% = Sí suficiente Pregunta 4 El 92.9% = Sí suficiente
3. Hay varias alternativas de respuesta. Codificación (multirrespuesta) realidad multifactual.	Si entre el 80 y 75 % de alumnos asignan un sí, entonces el caso lo están evaluando como realidad multifactual	Pregunta 7 El 92.9% = Sí multirrespuesta Pregunta 9 El 92.9% = Sí multirrespuesta Pregunta 10 El 67.9% = Sí multirrespuesta
4. Organización no lineal-no causal. Codificación (desorganización aparente, (multidireccionalidad, simultaneidad) COHERENCIA	Si entre el 80 y 75 % de alumnos asignan un sí, entonces el caso lo están evaluando como coherente con la realidad (<i>vid. nota</i>)	Pregunta 3 El 40% = Sí coherencia con la realidad El 60% = Lo percibe ordenado e incoherente con la realidad Pregunta 5 El 35.7% = Sí coherencia por información sobrada, pero al final significativa Pregunta 8 El 98.2% = Sí coherencia por apego a los hechos reales
5. Se tienen lagunas de información, Codificación (no semántica, no sintaxis). CLARIDAD	Si entre el 80 y 75 % de alumnos asignan un no, entonces el caso lo están evaluando como claro	Pregunta 6 El 21.4% = No claro El 78.6% = Sí claro

Nota: En la categoría o dimensión de Coherencia, entre más alto es el porcentaje (%) encontrado; mejor según Ellet [22], ya que entonces el caso es más real, porque la realidad se nos presenta desordenada como un todo confuso que al profundizar en la comprensión gradual de sus partes, el nivel de comprensión de lo confuso y difuso se hace presente, y las partes cobran significado unas con otras, como partes de un todo con pleno sentido. Para Ellet, la incoherencia de un caso radica en su estructura altamente idealizada y poco apegada a la realidad.

Fuente: Adaptación de Ellet [22].

Conclusiones

A través de los resultados encontrados a la luz de la metodología para el diseño sistemático de un caso de ingeniería se constata por descripción y análisis del proceso implicado que el caso es validado y evaluado con niveles aceptables de relevancia y suficiencia; tanto usuarios como jueces coinciden con valoraciones polarizadas, con disparidades aproximadas del 40-60%, de que el caso no es 100% coherente con una lógica inherente a una realidad sencilla, lineal, ordenada e idealizada, sino que el caso es coherente con una realidad compleja, multienfoque y en apariencia desordenada, pero al analizarse con profundidad se percibe contenido lógico con múltiples aristas, pero todas con sentido estructurador relacional. El trabajo de investigación no solo acredita la existencia de un proceder sistemático involucrado en el diseño de un caso de ingeniería, también resultados satisfactorios en su implementación, apegados a la naturaleza real de los fenómenos físicos e ingenieriles.

Agradecimientos

Gracias a la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN por todo el apoyo en el proyecto editorial.

Referencias

- [1] Malave, C. (2016). Análisis descriptivo de dificultades que afrontan estudiantes de ingeniería en aprendizaje de física. *Revista Lajpe*, 10(4).
- [2] Brenzini, D., y Martínez, M. (2012). Perfil del ingeniero civil. *Revista Orbis*, 8(22), 28-48.
- [3] Colegio Ingenieros Civiles de México (CICM) (2021). Dictamen estructural: Línea 12 Metro. CICM.
- [4] Archivo General de la Nación (AGN) (2022/1969). Inauguración del Metro vía el Periódico Oficial del Estado: El Nacional. AGN. <https://www.gob.mx>.
- [5] Der Norske Veritas (DNV). (2021). Dictamen técnico colapso paso elevado línea 12 tramo estaciones Olivos Tezonco columnas 12 y 13: Análisis causa raíz fase I y II. DNV.

- [6] Luna, S. (2015). Investigación y prospectiva en educación: Futuro aprendizaje siglo XXI. UNESCO.
- [7] Manpower (2019). Resolviendo escasez de talento: Resultados México. Manpower-México.
- [8] Carcavilla, A., y Puey, M. L. (2019). Reflexiones didácticas sobre algunos razonamientos lógicos con la primera ley de Newton y su relación con las ideas previas de los alumnos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(3), e20180277. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0277>.
- [9] Quacquarelli Symonds (QS). (2022). *Graduate employability rankings*. QS.
- [10] Ver caso 1 (1999). *Decoding the DNA of the Toyota Production Harvard Business School*.
- [11] Ver caso 2 (2008). *Elephant Pumps: Solution de Pump Aid a Problem Social*.
- [12] Ver caso 3 (2018). *California Products*. Edac e IPADE.
- [13] Wordpress (2022). [16 hilos de discusión entre pares, redacción primer borrador del caso “La física ignorada línea 12”]. <https://n9.cl/hilosdiscusioncasolineadorada> (Contraseña: lineadorada).
- [14] Escobar-Pérez, J., y Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio expertos: Una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, (6), 27-36. https://www.humanas.unal.edu.co/lab_psicometria/application/files/9416/0463/3548/Vol_6_Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf.
- [15] Harvard Business School (HBS) (2022). *La enseñanza con el método del caso Harvard Business School*.
- [16] Harvard (2019). *Enseñanza con el método del caso Learned Edmund P. y Fellows*. Harvard.
- [17] Fiscalía General de Justicia de la CDMX (FGJ) (2021). Informe de fallas estructurales línea 12.
- [18] Belfort, A. (2021). Análisis arquitectónico colapso línea 12 del Metropolitano Ciudad de México. X. https://x.com/AXL_BELFORT/status/1449024288389009420?mx=2.
- [19] Gobierno de la Ciudad de México, Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (SGIRYPC) (2021). Dictamen estructural colapso línea 12.
- [20] Cusba, M. (2011). *Estudio causas y soluciones estructurales colapso de puentes vehiculares y tramos elevados: Evaluación y consecuencias*. Universidad Javeriana.
- [21] Viadas, P. (2018). *Derrumbe línea 12 del metro CDMX: Hipótesis estructurales*.
- [22] Ellet, W. (2007). *The Case Study: How to Read, Discuss and Write Persuasively about Cases*. Harvard Business School.
- [23] Escurra, M. (1988). Cuantificación de la validez de contenido por criterio de jueces: Coeficiente de V de Aiken. *Revista de Psicología*, 6(1), 103-111.
- [24] Formulario de evaluación por usuarios (s/f). <https://forms.gle/Tes4zh5gSf4ruqm38>.
- [25] Formulario de validación por jueces (s/f). <https://forms.gle/PteTeiQWmykiFMzB8>.
- [26] Caso. (s/f). <https://drive.google.com/file/d/16C34y4pGzEYDMynlendGf4PWVOJ84vqR/view>.

- [27] Cisterna Cabrera, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 14(1), 61-71. <https://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a6.pdf>.