



Análisis de las capacidades de la inteligencia artificial en el ámbito de Teoría de Máquinas y Mecanismos para diferentes niveles de la taxonomía de Bloom

Antonio Pérez González¹, Víctor Roda Casanova¹, José L. Iserte Vilar¹, Javier Andrés de la Esperanza¹

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, aperez@uji.es, vroda@uji.es, jiserte@uji.es, fandres@uji.es

En los últimos años se han desarrollado considerablemente diversas herramientas de inteligencia artificial (IA) basadas en modelos de procesamiento de lenguaje natural, que son capaces de contestar preguntas y resolver problemas diversos. En el ámbito educativo, falta todavía explorar en detalle las posibilidades y fiabilidad que estas herramientas ofrecen como complementos a la labor docente realizada por los profesores. En este trabajo se analizan y comparan las capacidades de tres herramientas representativas de este tipo (ChatGPT, Gemini, Claude) para resolver cuestiones y problemas en el ámbito de la Teoría de Máquinas y Mecanismos (TMM).

Para ello, se generó una batería de cuestiones relacionadas con TMM, clasificadas de acuerdo a la taxonomía de Bloom revisada. El conjunto estaba formado por un total de 48 cuestiones, ocho por cada una de las seis dimensiones de la taxonomía (D1-recordar, D2-comprender, D3-aplicar, D4-analizar, D5-evaluar y D6-crear). Las cuestiones fueron elaboradas por los autores, profesores del área de ingeniería mecánica de la Universitat Jaume I, todos con experiencia en la docencia en TMM. Cada cuestión fue planteada exactamente igual a cada una de las IAs por uno de los participantes. Las respuestas anonimizadas de cada una de las IAs fueron luego evaluadas por otros dos participantes en este trabajo, según un reparto en el que cada profesor realizó el mismo número de interacciones con las IAs y evaluaciones en cada nivel de la taxonomía. La evaluación se realizó utilizando una rúbrica que consideraba tres aspectos: A1) calidad técnica de la respuesta, A2) precisión y completitud de la misma, y A3) redacción y ortografía, siguiendo una escala de valoración de Likert de 1 a 5 (1-muy mal, 2-necesita mejorar, 3-satisfactoria, 4-buena, 5-excelente). Se analizó estadísticamente la valoración conseguida por las IAs en los diferentes aspectos valorados y en las diferentes dimensiones de la taxonomía de Bloom.

Los resultados indican diferencias significativas en las puntuaciones medias entre las IAs en los tres aspectos valorados: calidad técnica de la respuesta (A1: ChatGPT 3.8, Gemini 3.3, Claude 3.0), precisión y completitud (A2: ChatGPT 4.0, Gemini 3.4, Claude 3.3), redacción y ortografía (A3: ChatGPT 4.6, Gemini 4.5, Claude 4.2). La valoración de las IAs también depende significativamente de la dimensión de la taxonomía de Bloom de la pregunta, especialmente en A1 y A2, con los mejores resultados en la dimensión D1 (recordar) y los peores en D6 (crear). Se observaron diferencias significativas entre evaluadores al evaluar la precisión de la respuesta (A2) y la redacción (A3), pero no al evaluar la calidad técnica de la respuesta (A1).

1. Introducción

El desarrollo de la inteligencia artificial (IA) ha crecido exponencialmente en la última década, teniendo como punto culminante la puesta a disposición del público en general de ChatGPT [1] en noviembre del año 2022. Su rápida adopción por los usuarios queda reflejada en el hecho de que sólo necesitó cinco días para llegar al millón de usuarios, superando los registros precedentes, y que en octubre de 2024 ya contaba con más de mil millones de visitas mensuales [3]. ChatGPT, desarrollado por la empresa OpenAI, se basa en modelos de aprendizaje automático que usan redes neuronales transformadoras (GPT viene de *Generative Pre-training Transformer*) y permiten realizar tareas de procesamiento de lenguaje natural (PLN), generando texto de respuesta a una instrucción o *prompt* específico de entrada en cuestión de segundos. Por esta manera de interactuar, también se denomina IAs conversacional. En paralelo, otras aplicaciones similares están en desarrollo por parte de otras empresas como Google, Microsoft o Antropic, entre otras.

Diversos trabajos recientes han explorado las posibilidades que estas herramientas ofrecen como apoyo al autoaprendizaje de los estudiantes de secundaria y universitarios [3-5]. Li et al. [3] concluyeron que ChatGPT puede ser una buena herramienta de apoyo para la metodología de clase invertida en matemáticas, comprobando que era capaz de responder correctamente a 54 de 60 preguntas de matemáticas, en temas variados y con diferente nivel de complejidad, de una prueba nacional de nivel de educación secundaria en Taiwan, lo que supondría una calificación de 9 sobre 10 en dicho examen. Además, el análisis de las respuestas de ChatGPT por cinco profesores con experiencia concluyó que las respuestas dadas eran comparables en su narrativa a las explicaciones de los profesores y más detalladas que las que aparecen en los libros de texto de referencia. Sánchez et al. [4] evaluaron el uso de ChatGPT en un curso universitario de matemáticas, comprobando su eficacia para comprender los problemas de álgebra y de cálculo integral, y explicar la solución teórica de los mismos, pero sus limitaciones en la obtención correcta de la solución numérica. En una revisión sistemática de diversos estudios, Almarashdi et al. [5] también destacan las limitaciones observadas por otros estudios en ChatGPT para la resolución de problemas complejos geoméricamente o que impliquen derivación matemática, al tiempo que señalan estudios que han demostrado un aumento de la motivación de los estudiantes con su uso, y sus posibilidades como herramienta de apoyo a nivel tutorial y de preparación de cursos.

Algunos trabajos han analizado de forma específica las posibilidades de uso y prestaciones de la IA en el campo de la ingeniería mecánica [6-9]. Vuletic [6] exploró las posibilidades de diferentes herramientas de IA, incluido ChatGPT, en diseño mecánico, incluyendo las fases de definición de especificaciones, diseño conceptual y optimización de forma, y concluye con recomendaciones sobre la visión crítica que debe tenerse ante las limitaciones propias de la herramienta, por ejemplo, para considerar aspectos como la normativa y los principios de diseño. En el mismo estudio se constata la importante dependencia de la respuesta del texto de entrada introducido, o *prompt*, por lo que la utilidad de la respuesta fue dependiente de información contextual. Es lo que ya se denomina en este contexto *prompt engineering*. Frenkel [7] analizó las prestaciones de ChatGPT en una selección de preguntas del examen sobre ingeniería mecánica de la prueba nacional de fundamentos de ingeniería en EEUU, previa a la consecución de la licencia. Los resultados indicaron respuestas correctas al 51% con ChatGPT-3.5 (lanzada en noviembre de 2022) y del 76% con ChatGPT-4 (lanzada en marzo de 2023), aunque también enfatizan las limitaciones de la herramienta para problemas que requieran entradas visuales como diagramas e imágenes, y en cuanto a la fiabilidad de los cálculos numéricos. Desde el punto de vista de sus usos docentes, el trabajo valora su utilidad para autoaprendizaje dada la fácil interacción y para la preparación de material formativo personalizado, y concluye con recomendaciones sobre el diseño de las tareas que limiten la posibilidad de uso fraudulento por los estudiantes. Huang y Lu [8] analizaron la capacidad para el razonamiento de ChatGPT en dos problemas concretos de ingeniería mecánica: demostrar la fórmula para la rigidez de una viga a tracción y demostrar la expresión de la aceleración centrípeta. Los resultados de este estudio indican serios errores de razonamiento en los pasos y resultados pedidos, por lo que los autores concluyen que no es posible el uso de esta herramienta sin supervisión, especialmente para estudiantes de primeros cursos de ingeniería, que aún no han desarrollado una base suficiente para el razonamiento crítico. En nuestro ámbito más cercano, Puig-Ortiz et al. [9] realizaron análisis de las posibilidades de ChatGPT en diversas tareas en el ámbito de la ingeniería mecánica, como recordar información, traducir o resumir textos, resolver problemas o interpretar el comportamiento real de sistemas físicos. En línea con otros trabajos citados, se constataron las dificultades de la herramienta en la resolución de problemas que impliquen razonamientos mecánicos o cálculos de cierta complejidad, aunque se reconocen sus prestaciones para recordar información y para resumir o traducir textos en ingeniería mecánica.

La capacidad de ChatGPT para resolver diferentes tipos de pruebas oficiales ha sido estudiada en diversos campos, por las implicaciones éticas y de fiabilidad de dichas pruebas. Pursnani [10] estudió las prestaciones de ChatGPT en una prueba sobre conocimientos de ingeniería medioambiental realizada por ordenador como parte del examen nacional de fundamentos de ingeniería que se realiza en EEUU como paso previo a la consecución de la licencia profesional como ingeniero. Observó que la precisión de las respuestas sobre una selección de 134 preguntas del examen fue superior al 65% para la versión ChatGPT-4-base. En el ámbito médico, Gilson et al. [11] comprobó también una precisión por encima del 60% de ChatGPT-3 (lanzada en junio de 2020) sobre un conjunto de 120 preguntas representativas del examen estadounidense para la licencia médica. En un metaestudio realizado sobre

diversos trabajos publicados [12], se indican rangos de precisión entre 36% y 77% para ChatGPT-3.5, y entre 64.4% y 100% para ChatGPT-4 en exámenes para licencias de diferentes países para medicina, farmacia, odontología y enfermería.

A pesar de todos estos trabajos previos, se necesitan más estudios que puedan aportar información sobre los puntos débiles y fuertes de las herramientas de IA en general y, en particular, en educación, y más concretamente en el ámbito de la ingeniería mecánica. Aunque algunos trabajos previos descritos han analizado problemas que exigen diferentes niveles o dimensiones cognitivas (recordar, aplicar, analizar, etc), con diferente nivel de complejidad, no se han encontrado estudios que comparen las prestaciones de las herramientas de IA en cada uno de dichos niveles de forma separada. Por otra parte, dado el creciente número de IAs conversacionales similares a ChatGPT que van apareciendo, también es interesante comparar las prestaciones de dichas herramientas entre sí.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es comparar las prestaciones de tres IAs diferentes del tipo de procesamiento de lenguaje natural en el ámbito de la ingeniería mecánica y, más concretamente, de la Teoría de Máquinas y Mecanismos (TMM), analizando también sus resultados en los diferentes niveles cognitivos de la taxonomía de Bloom revisada [13]. La taxonomía de Bloom, propuesta originalmente en 1956, posteriormente revisada en 2001[13] y ampliamente utilizada en programación educativa, propone una clasificación de las diferentes dimensiones del conocimiento sobre una materia. Los seis niveles cognitivos del aprendizaje que considera esta taxonomía son, en orden de menor a mayor nivel de complejidad: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear. Si bien existen discrepancias en la literatura sobre si dichos niveles son secuenciales o jerárquicos, lo que sí parece es que requieren diferentes exigencias cognitivas y capacidad de razonamiento, por lo que el análisis de las IAs según las diferentes dimensiones de la taxonomía podría aportar información más estructurada sobre sus capacidades, prestaciones reales y sobre sus limitaciones.

2. Metodología

2.1. IAs seleccionadas

Para este estudio se seleccionaron tres IAs conversacionales de la rama de procesamiento de lenguaje natural (PLN). En concreto se seleccionaron ChatGPT [1], Gemini [14] y Claude [15], que se encuentran entre las más empleadas en el momento de realización de este trabajo y corresponden a desarrollos de diferentes empresas: OpenAI, Google y Anthropic, respectivamente. Se utilizaron las versiones gratuitas disponibles en abierto para estas aplicaciones en noviembre de 2024 (GPT-4o, Gemini 1.5 Flash, y la versión 3.5 Haiku en el caso de Claude, que en estas fechas permitía elegir entre ésta y la versión posterior 3.5 Sonnet).

2.2. Elaboración de preguntas

De cara a la evaluación de las capacidades de las diferentes IAs, en este trabajo se preparó un conjunto de 48 preguntas diferentes en español, propias de la TMM, 8 preguntas para cada una de las 6 dimensiones o niveles cognitivos de la taxonomía de Bloom revisada [13]: D1-recordar, D2-comprender, D3-aplicar, D4-analizar, D5-evaluar y D6-crear. Se elaboraron las preguntas tratando de conseguir variedad entre los diferentes temas habitualmente incluidos en los programas de las universidades españolas en esta materia. La Tabla 1 presenta una matriz con la clasificación del número de preguntas incluidas por ámbito temático principal y dimensión cognitiva de Bloom. Las cuestiones fueron elaboradas por los autores, profesores del área de ingeniería mecánica de la Universitat Jaume I, todos con experiencia en la docencia en TMM. La clasificación de las preguntas entre los diferentes temas y dimensiones de Bloom se realizó por acuerdo entre los autores.

Tabla 1: Clasificación de las 48 preguntas elaboradas

Ámbito temático principal	Dimensión de la taxonomía de Bloom						Total
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	
Movilidad de mecanismos	1	1					2
Cinemática de mecanismos			3	1	1	1	6
Dinámica de mecanismos, equilibrado	2	1	1	2	1	1	8
Ciclo cinemático, energía, regularidad	3	2	1	1	2	1	10
Mecanismos de engranaje	1	1	2		2		6
Mecanismos de tornillo				1			1
Mecanismos de leva				2	2		4
Mecanismos flexibles: correas, cadenas		2	1				3
Síntesis de mecanismos y máquinas	1	1		1		5	8
Total	8	8	8	8	8	8	48

En el Anexo 1 se recogen los enunciados de las 48 preguntas elaboradas, que fueron codificadas con un número de dos cifras donde la primera cifra indica la dimensión cognitiva de la taxonomía de Bloom y la segunda el número de orden de la pregunta dentro de dicha dimensión.

Las preguntas se diseñaron para no incluir figuras en su enunciado, dado que no todas las IAs incluían la opción de adjuntar figuras en el momento del estudio. En aquellos casos necesarios, se incluyó en la pregunta la explicación geométrica requerida para la correcta interpretación de la misma.

2.3. Interacción con las IAs y evaluación de las respuestas

Para la interacción con las IAs y la posterior evaluación de sus respuestas se elaboró un plan de distribución entre los cuatro autores de este trabajo, con el fin de anonimizar la evaluación y minimizar el efecto del evaluador. Para ello, cada uno de los cuatro autores realizó la interacción con las IAs para 12 de las preguntas, 2 de cada una de las dimensiones de la clasificación de Bloom. Posteriormente, la misma persona que interactuó con las IAs para cada pregunta, anonimizó las respuestas y las compiló en un orden aleatorio en un documento único en formato *Latex*. La evaluación de la respuesta para cada pregunta fue realizada de forma independiente por dos de los profesores participantes en el trabajo, diferentes al que realizó la interacción con las IAs y la anonimización posterior. De este modo cada autor evaluó 24 respuestas de cada una de las 3 IAs, 4 respuestas dentro de cada una de las dimensiones de la taxonomía de Bloom. Cada pregunta realizada a las IAs fue introducida precedida de una frase de encabezado de contextualización, de tal forma que el *prompt* introducido fue: “*En el contexto de Teoría de Máquinas y Mecanismos en estudios de Ingeniería Mecánica responde lo más detalladamente posible, como experto en este ámbito, a la siguiente pregunta: <pregunta>*”, donde *<pregunta>* corresponde al enunciado de la pregunta correspondiente, tal como se indica en el Anexo 1. No se realizó interacción posterior con las IAs para matizar la respuesta. Una vez realizadas las evaluaciones de las respuestas, éstas fueron etiquetadas con la IA a la que correspondían, de acuerdo a la anonimización realizada, para el posterior análisis de resultados.

Las respuestas fueron evaluadas utilizando una escala de Likert de 1 (Muy mal) a 5 (Excelente) en tres aspectos diferentes: A1) calidad técnica de la respuesta; A2) precisión y completitud de la respuesta; A3) calidad de la redacción de la respuesta. La rúbrica de evaluación utilizada se muestra en el Anexo 2.

2.4. Análisis de resultados

Para recopilar los resultados de la evaluación se elaboró un formulario de Google. Tras la evaluación, la hoja de cálculo generada se exportó a Matlab, donde se realizó el análisis estadístico de los resultados. Se realizaron análisis de varianza ANOVA, utilizando la función de Matlab ‘*anovan*’, para analizar el efecto de cada uno de los factores independientes (IA, dimensión de la taxonomía de Bloom, evaluador) y sus interacciones de primer orden, sobre la calificación obtenida en cada uno de los tres aspectos evaluados. Cada aspecto se analizó de forma independiente. Posteriormente se realizaron análisis post-hoc mediante la función de Matlab ‘*multcompare*’ para determinar la significación de las diferencias entre niveles dentro de cada factor, utilizando el test HSD de Tukey. Los análisis asumen la hipótesis de normalidad en la distribución. Se asume que esto sería así si el número de preguntas fuera suficientemente grande y con todo el rango de posible complejidad de las mismas dentro de cada categoría, aunque no necesariamente se cumpla sobre el limitado grupo de preguntas realizadas. En cualquier caso, estudios previos indican la robustez del análisis ANOVA ante falsos positivos incluso en casos de no normalidad de los datos [16]. Para reforzar las conclusiones, se analizaron también los datos con el test de Kruskal-Wallis, que es válido para datos que no se ajustan a la distribución normal, aunque sólo para análisis de varianza con una variable independiente en cada análisis.

3. Resultados y discusión

La calificación media, y su desviación típica, de cada una de las IAs en cada aspecto evaluado se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados medios (desviación típica) de cada IA en cada aspecto evaluado

	ChatGPT	Gemini	Claude
Calidad técnica	3.84 (1.13)	3.25 (1.29)	3.05 (1.28)
Precisión y completitud	4.05 (1.03)	3.45 (1.06)	3.25 (1.11)
Redacción	4.55 (0.77)	4.50 (0.73)	4.17 (1.04)

La figura 1 muestra los resultados de los análisis ANOVA realizados sobre cada uno de los tres aspectos evaluados. Se observa que la IA y la dimensión de la categoría de Bloom son factores estadísticamente significativos en los tres aspectos evaluados ($p < 0.05$). El evaluador no afecta significativamente en la valoración de la calidad técnica de la respuesta (Figura 1a), pero sí en la valoración de la precisión y completitud (Figura 1b), y la redacción (Figura 1c). El factor más influyente en los resultados para los aspectos de calidad técnica (A1), y de precisión y completitud (A2) es la IA, seguido de la dimensión de la taxonomía de Bloom, como se puede apreciar por los valores más altos del cuadrado medio o el parámetro F. En cambio, en la evaluación de la redacción, resulta claramente más influyente el evaluador. Las interacciones entre factores resultan no significativas, salvo en la valoración de la redacción.

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Dimensión de Bloom	47.819	5	9.5639	7.07	0
IA	32.59	2	16.2951	12.05	0
Evaluador	6.903	3	2.3009	1.7	0.1674
Dimensión de Bloom*IA	12.576	10	1.2576	0.93	0.5064
Dimensión de Bloom*Evaluador	26.764	15	1.7843	1.32	0.1908
IA*Evaluador	8.576	6	1.4294	1.06	0.3893
Error	332.757	246	1.3527		
Total	467.986	287			

(a)

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Dimensión de Bloom	32.458	5	6.4917	6.4	0
IA	33.521	2	16.7604	16.52	0
Evaluador	16.528	3	5.5093	5.43	0.0012
Dimensión de Bloom*IA	5.646	10	0.5646	0.56	0.8484
Dimensión de Bloom*Evaluador	13.181	15	0.8787	0.87	0.6032
IA*Evaluador	7.035	6	1.1725	1.16	0.331
Error	249.632	246	1.0148		
Total	358	287			

(b)

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Dimensión de Bloom	3.823	5	0.7646	2.31	0.0444
IA	8.396	2	4.1979	12.7	0
Evaluador	102.233	3	34.0775	103.13	0
Dimensión de Bloom*IA	8.688	10	0.8688	2.63	0.0047
Dimensión de Bloom*Evaluador	7.33	15	0.4887	1.48	0.1133
IA*Evaluador	5.715	6	0.9525	2.88	0.0098
Error	81.285	246	0.3304		
Total	217.469	287			

(c)

Figura 1: Resultados de los análisis ANOVA sobre los tres aspectos evaluados: a) calidad técnica, b) precisión y completitud, c) redacción

El análisis post-hoc (test HSD de Tukey), cuyos detalles se omiten aquí, indica que ChatGPT es significativamente superior a Gemini y Claude en la calidad técnica de la respuesta (A1) y en la precisión y completitud de la misma (A2). En el aspecto de redacción (A3), Claude es significativamente inferior a ChatGPT y Gemini. Las conclusiones en cuanto a significación o no de cada variable independiente en cada uno de los aspectos analizados no cambian apenas al realizar la prueba de Kruskal-Wallis, que es válida aunque los datos no sigan una distribución normal. La única diferencia es que para el aspecto de redacción (A3) esta prueba concluye que ChatGPT es significativamente superior a las otras dos IAs.

La tabla 3 muestra los resultados promedio por cada dimensión de la taxonomía de Bloom, para los tres aspectos evaluados, para cada IA y el resultado medio de las tres.

Tabla 3: Resultados medios de cada IA en calidad técnica de la respuesta (A1) en función de la dimensión de la pregunta dentro de la taxonomía de Bloom

Aspecto	Dimensión Bloom	ChatGPT	Gemini	Claude	Media
A1-Calidad técnica	D1-Recordar	4.31	4,00	3.50	3.94
	D2-Comprender	3.94	3.06	3.69	3.56
	D3-Aplicar	3.50	3.38	2.88	3.25
	D4-Analizar	4.00	3.50	3.19	3.56
	D5-Evaluar	4.25	3.06	2.81	3.37
	D6-Crear	3.06	2.50	2.25	2.60
A2-Precisión y completitud	D1-Recordar	4.38	3.69	3.50	3.86
	D2-Comprender	4.06	3.44	3.50	3.67
	D3-Aplicar	3.88	3.75	2.94	3.52

	D4-Analizar	4.31	3.38	3.56	3.75
	D5-Evaluar	4.38	3.69	3.44	3.84
	D6-Crear	3.31	2.75	2.56	2.87
A3-Redacción	D1-Recordar	4.56	4.19	4.44	4.40
	D2-Comprender	4.38	4.69	4.38	4.48
	D3-Aplicar	4.63	4.69	4.00	4.44
	D4-Analizar	4.50	4.50	4.13	4.38
	D5-Evaluar	4.63	4.63	4.44	4.57
	D6-Crear	4.63	4.31	3.63	4.19

Las Figuras 2 a 4 muestran estos mismos resultados en forma de gráfico polar, remarcando con un círculo la línea de valoración 3, correspondiente al promedio de la escala. Estos resultados indican que la calidad técnica de la respuesta es mejor para la dimensión D1-Recordar y peor para la dimensión D6-Crear, siendo también algo bajos en D3-Aplicar para Claude y en D2-Comprender para Gemini. El análisis post-hoc indica que la calidad técnica de la respuesta es estadísticamente superior para D1 que para D3 y D6 y que los resultados en D6 son inferiores a los obtenidos en el resto de dimensiones cognitivas excepto D3. ChatGPT supera la valoración promedio de 3 en todas las dimensiones, Gemini en todas menos D6 y Claude en todas menos D3, D5 y D6. La figura 2 muestra que ChatGPT supera a Gemini y Claude en calidad técnica de la respuesta para todas las dimensiones, siendo Gemini ligeramente superior a Claude en todas las dimensiones excepto D2. La figura 3 muestra que ChatGPT supera también en precisión y completitud a Gemini y Claude, cuyos resultados son muy similares, salvo para D3 donde Gemini está más cerca del resultado de ChatGPT que del de Claude. En cuanto a la redacción, las tres IAs obtienen resultados muy buenos, que se sitúan en general entre 4 y 5.

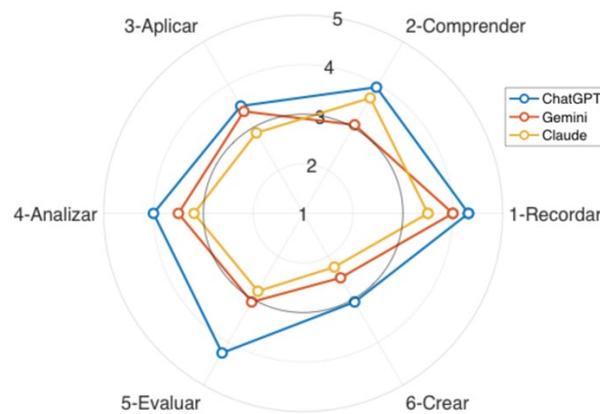


Figura 2: Resultados medios de cada IA en calidad técnica (A1) en función de la dimensión de Bloom

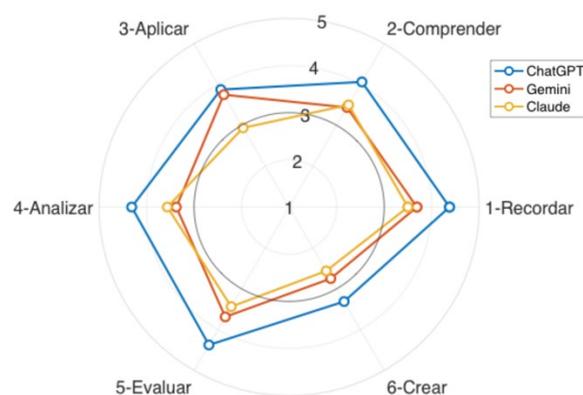


Figura 3: Resultados medios de cada IA en precisión y completitud (A2) en función de la dimensión de Bloom

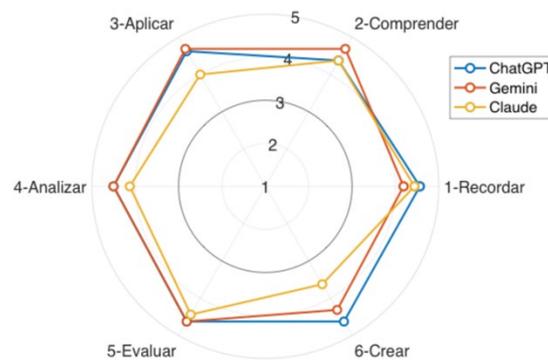


Figura 4: Resultados medios de cada IA en redacción (A3) en función de la dimensión de Bloom

La figura 5 muestra los resultados promedio para cada pregunta, considerando las tres IAs y los dos evaluadores, en el aspecto de calidad técnica (A1). Se observa que las mejores valoraciones promedio corresponden a las preguntas 31 y 38, calificadas como excelentes (5) para las tres IAs por los dos evaluadores. Los resultados más bajos corresponden a las preguntas 33 y 62, que obtienen promedios de 1.67. Los resultados son más homogéneos para el grupo de preguntas de la dimensión D1-Recordar (11 a 18) y, en cambio, presentan una mayor dispersión para la dimensión D3-Aplicar (31 a 38). Las preguntas de esta dimensión son las más parecidas a los habituales problemas de aplicación, que requieren cálculos específicos e interpretaciones geométricas, ampliamente utilizados en la metodología docente habitual en TMM. Un análisis ANOVA comparando la evaluación promedio de las tres IAs en calidad técnica (A1) de todas las preguntas que requieren cálculos, frente a aquellas que no los requieren, indicó que hay una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ambos grupos, con una valoración media de 3.64 en las preguntas que no requieren cálculos, frente a un 2.97 en las que los requieren. Los bajos resultados en algunas de las preguntas de esta dimensión (como 32 o 33) pueden atribuirse principalmente a problemas para la interpretación correcta de la geometría del problema y a la capacidad para aplicar adecuadamente los conocimientos o ecuaciones para contestar la pregunta. Este es un resultado esperado puesto que los modelos analizados están diseñados principalmente para procesar y producir lenguaje coherente y no tanto para realizar cálculos con precisión. De esta forma, carecen de un módulo interno que realice cálculos exactos, en la forma en la que lo haría una calculadora, sino que simplemente infieren los resultados a partir de los datos de entrada de forma estadística. La mayor dispersión se interpreta como un mayor efecto del nivel de complejidad de la pregunta sobre la capacidad de las IAs para dar la respuesta correcta en el caso de que haya cálculos involucrados. Esta dificultad para la realización de cálculos o la interpretación y aplicación de ecuaciones aparece ya reflejada en trabajos previos [4,5,8,9]. Por otra parte, los bajos resultados en las preguntas de la dimensión D6-Crear, y en algunas de las dimensiones D4-Analizar o D5-Evaluar, podrían deberse, en parte, a la dificultad para definir las preguntas con un nivel de detalle suficiente y también a las dificultades que implica evaluar las respuestas en preguntas más abiertas, con más de una posible solución válida o con múltiples factores implicados.

Se debe indicar que se observaron errores importantes en algunas contestaciones que no pueden atribuirse a un uso incorrecto de la formulación o de los cálculos. Por citar algún ejemplo, Gemini afirmó en la pregunta 22, referida a las condiciones de engrane en un engranaje cilíndrico helicoidal entre ejes paralelos, que el “ángulo de hélice (β): debe ser igual en magnitud y sentido para ambos engranajes” añadiendo que “Puede ser derecho o izquierdo, pero debe ser el mismo para ambos engranajes”. En otro caso, en la respuesta a la pregunta 56 en la que se pregunta por la ubicación óptima de un volante en una transmisión reductora de varias etapas, Gemini afirmó incorrectamente, refiriéndose al eje con menor velocidad, que “al tener la menor velocidad angular, requiere el menor momento de inercia para una misma cantidad de energía almacenada, lo que implica una menor masa”. También Claude interpretó que “dado que la velocidad angular es menor en el eje de salida, para obtener la misma energía cinética que en el eje de entrada o intermedio, el momento de inercia I del volante de inercia en el eje de salida puede ser mucho menor. Esto se traduce en una masa más baja del volante de inercia”. Sin embargo, la respuesta de ChatGPT a esta pregunta 56 fue perfecta y bien razonada.

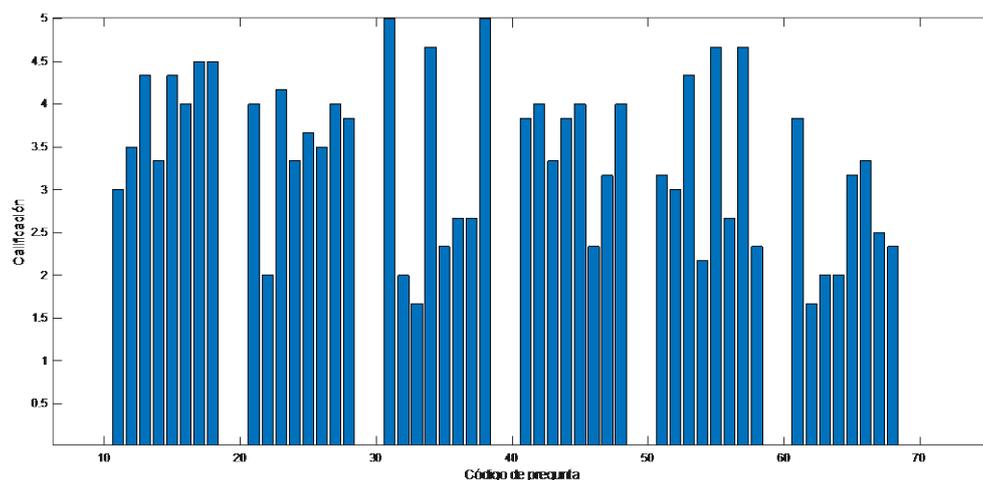


Figura 5: Resultados promedio de las tres IAs en cada pregunta en calidad técnica (A1)

Globalmente, los resultados del estudio indican un nivel de prestaciones aceptable para las IAs en TMM. En concreto, todas las respuestas de ChatGPT son calificadas en promedio por encima de la frontera satisfactoria (3), en cualquiera de las dimensiones y aspectos valorados, lo que permitiría considerar aceptable su uso como fuente de consulta a nivel docente, con las reservas adecuadas. En el caso de Gemini y Claude los resultados también son, en general, entre satisfactorios (3) y buenos (4), salvo en la dimensión cognitiva más elevada D6-Crear y en el caso de Claude también en la D3-Aplicar y D5-Evaluar. Es especialmente destacable la calidad de la redacción y estructuración de la respuesta realizada por las IAs, lo cual puede suponer un buen ejemplo para los estudiantes. Frente a la consulta directa a través de un navegador, la ventaja de la IA es que es más específica y directa en la respuesta, lo cual puede resultar cómodo y más eficiente para ayudar a los estudiantes a resolver dudas, aunque teniendo presente la necesaria actitud crítica ante la respuesta, dados los fallos observados en algunas de las contestaciones.

El hecho de que el evaluador sea un factor significativo en los aspectos de precisión y completitud, y en el de calidad de la redacción, se atribuye a un insuficiente nivel de definición en la rúbrica y al hecho de que dichos aspectos involucran una mayor cantidad de matices durante la evaluación y una mayor dispersión en el criterio de los profesores, comparados con el aspecto de la calidad técnica de la respuesta.

Este trabajo también suscita una discusión sobre el tipo de evaluación realizada principalmente en TMM en nuestro país. Es probable que una revisión de los métodos de evaluación a nivel nacional mostrara que un porcentaje muy elevado de las preguntas o trabajos evaluados impliquen principalmente la dimensión D3-Aplicar, y subsidiariamente las D1-Recordar y D2-Comprender. Podría ser interesante diseñar mejor los métodos docentes y de evaluación para que permitan desarrollar y evaluar de forma objetiva las capacidades de los estudiantes en cualquiera de las dimensiones cognitivas, pero en especial en las de un nivel más alto, como analizar, evaluar o crear, muchas veces infrarrepresentadas.

Independientemente de la validez de las respuestas de las IAs a día de hoy, los autores consideran que su uso debería potenciarse en la docencia en nuestro ámbito. Los estudiantes deberían interactuar con estas herramientas y ser conscientes de sus limitaciones y potencialidades, ya que todo apunta a que van a ser herramientas con las que van a convivir en su futuro profesional. Al mismo tiempo, es necesario un esfuerzo por parte de los profesores para el desarrollo de metodologías docentes útiles que impliquen el uso correcto de herramientas de IA. Por otra parte, las estrategias docentes utilizadas hasta el momento, deben revisarse a la luz de las posibilidades que brindan las IAs, para centrar el foco en las dimensiones cognitivas adecuadas. Finalmente, los métodos de evaluación deben estar diseñados adecuadamente para prevenir el fraude académico por parte de los estudiantes mediante el uso ilegítimo de estas herramientas.

4. Conclusiones

En este trabajo se analizaron, las capacidades o prestaciones de tres IAs (ChatGPT, Gemini y Claude) para responder preguntas relacionadas con la Teoría de Máquinas y Mecanismos correspondientes a diferentes niveles o dimensiones de la taxonomía de Bloom revisada (D1-recordar, D2-comprender, D3-aplicar, D4-analizar, D5-evaluar y D6-crear), valorándose los aspectos de calidad técnica de la respuesta (A1), precisión y completitud de la misma (A2) y calidad de redacción (A3). Las principales conclusiones del trabajo se resumen en:

- El nivel de prestaciones de las IAs se puede calificar en conjunto entre aceptable y bueno, aunque con diferencias significativas entre las tres, siendo claramente superior ChatGPT a Gemini y Claude en

calidad técnica y en precisión y completitud de la respuesta y Claude inferior a las otras dos en redacción. La redacción se valora entre buena y excelente, por encima de la precisión y completitud de la respuesta y ésta por encima de la calidad técnica de la respuesta.

- La capacidad de las IAs para responder correctamente a las preguntas depende significativamente de la dimensión de la taxonomía de Bloom a la que corresponde la pregunta. Los mejores resultados se obtienen en todas las IAs en la dimensión D1-recordar, y los peores en D6-crear, con valores algo más bajos a la media en D3-aplicar para Claude y en D2-Comprender para Gemini.
- La dispersión de resultados en la valoración de la calidad técnica de la respuesta fue superior en la dimensión D3-aplicar frente a las preguntas de otras dimensiones, encontrándose en esta dimensión la pregunta mejor valorada y también la peor valorada, lo que se atribuye a una mayor dificultad para responder correctamente preguntas que requieren cálculos y/o interpretaciones geométricas complejas.
- Estas herramientas IA pueden utilizarse como herramienta de apoyo a la docencia de Teoría de Máquinas y Mecanismos, aunque está por definir la mejor forma de utilizarlas en este ámbito y debe mantenerse la necesaria cautela y sentido crítico ante las respuestas, dados los fallos observados en algunas contestaciones, no relacionados únicamente con fallos de cálculo sino también con mala interpretación de conceptos.
- El efecto del evaluador no fue significativo en la valoración de la calidad técnica de la respuesta, pero sí en la valoración de la precisión y completitud y en la de la redacción.

5. Referencias

- [1] OpenAI. Introducing ChatGPT, <https://openai.com/index/chatgpt/>. (Consulta 2-ene-2025)
- [2] Number of ChatGPT users, Exploding Topics, <https://explodingtopics.com/blog/chatgpt-users>. (Consulta 2-ene-2025)
- [3] Li, P., Lee, H., Cheng, Y., Starčič, A. I., & Huang, Y. "Solving the self-regulated learning problem: Exploring the performance of ChatGPT in mathematics". In Y. M. Huang, & T. Rocha (Eds.), *Innovative Technologies and Learning. ICITL 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14099* (pp. 77- 86). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-40113-8_8, (2023)
- [4] Sánchez-Ruiz, L. M., Moll-López, S., Nuñez-Pérez, A., Moraño-Fernández, J. A., & Vega-Fleitas, E. "ChatGPT challenges blended learning methodologies in engineering education: A case study in mathematics". *Applied Sciences*, 13(10), Article 6039. <https://doi.org/10.3390/app13106039>, (2023)
- [5] Almarashdi, H.S., Jarrah, A.M., Abu Khurma, O., & Gningue, S.M. Unveiling the potential: "A systematic review of ChatGPT in transforming mathematics teaching and learning". *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, <https://doi.org/10.29333/ejmste/15739> (2024)
- [6] Vuletic, T., Ashcroft, A. "Exploring the usability of AI prompts for mechanical engineering design development", *26th International Conference on Engineering and Product Design Education*, Birmighan, Sept. (2024)
- [7] Frenkel, M.E.; Emara, H. "ChatGPT-3.5 and-4.0 and mechanical engineering: Examining performance on the FE mechanical engineering and undergraduate exams". *Comput. Appl. Eng. Educ.* e22781. <https://doi.org/10.1002/cae.22781> (2024)
- [8] Huang, B., & Lu, C. "Evaluating ChatGPT's Engineering-Reasoning Capabilities and Constraints Through Examples from Mechanical-Engineering Education", *Paper presented at 2024 ASEE Annual Conference & Exposition*, Portland, Oregon. 10.18260/1-2--47342 (2024)
- [9] Puig-Ortiz, J., Pàmies-Vilà, R., Jordi Nebot, L., "ChatGPT en el aula. Aplicación en Ingeniería Mecánica", *Actas del XXIV Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica I*, Las Palmas (2023)
- [10] Vinay Pursnani, Yusuf Sermet, Musa Kurt, Ibrahim Demir, "Performance of ChatGPT on the US fundamentals of engineering exam: Comprehensive assessment of proficiency and potential implications for professional environmental engineering practice", *Computers and Education: Artificial Intelligence, Volume 5*, 100183, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100183> (2023)
- [11] Gilson, A., Safranek, C.W., Huang, T., Socrates, V., Chi, L., Taylor, R.A., Chartash, D., 2023. "How Does ChatGPT Perform on the United States Medical Licensing Examination (USMLE)? The Implications of Large Language Models for Medical Education and Knowledge Assessment". *JMIR Medical Education* 9, e45312. <https://doi.org/10.2196/45312> (2023)

- [12] Jin, H.K., Lee, H.E. & Kim, E. “Performance of ChatGPT-3.5 and GPT-4 in national licensing examinations for medicine, pharmacy, dentistry, and nursing: a systematic review and meta-analysis”. *BMC Med Educ* **24**, 1013. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05944-8> (2024)
- [13] Anderson, L. W. & Krathwohl, D.R., et al. “A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom’s taxonomy of educational objectives”. New York: Longman (2001)
- [14] Google, Gemini, (2-ene-2025), <https://gemini.google.com/>
- [15] Antropic, Claude, (2-ene-2025), <https://claude.ai/new>
- [16] Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., and Bendayan, R. (2017). “Non-normal data: is ANOVA still a valid option?” *Psicothema* *29*, 552–557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383> (2017)

Anexo 1. Preguntas

D1-Recordar

11. Enuncia la fórmula de Grübler para el análisis de movilidad de mecanismos planos
12. ¿A qué mecanismos se les llama mecanismos cognados?
13. ¿Cómo se define la ventaja mecánica en un mecanismo?
14. ¿Cómo se define el ciclo cinemático en una máquina?
15. ¿Qué es un volante de inercia en una máquina?
16. ¿Cómo se define el módulo de un engranaje cilíndrico recto?
17. ¿Cómo se define el grado de irregularidad cíclica de una máquina?
18. ¿Qué expresión tiene la potencia entregada por un motor en función del par y la velocidad angular?

D2-Comprender

21. ¿Por qué es importante el cumplimiento de la ley de Grashof en el diseño de mecanismos?
22. ¿Cuáles son las condiciones de engrane de una pareja de engranajes cilíndricos helicoidales de ejes paralelos?
23. ¿Qué tiene que verificarse en una máquina cíclica, en términos energéticos, para que esté funcionando en régimen permanente o estacionario?
24. ¿Por qué las bicicletas estáticas de spinning incorporan un disco metálico de gran masa que gira solidariamente con uno de los ejes de rotación?
25. En una transmisión por correa plana, ¿qué estrategias se pueden tomar para aumentar el par máximo transmisible (sin que se produzca deslizamiento polea/correa) sin incrementar la pretensión de la correa ni modificar la relación de transmisión?
26. ¿Por qué en una transmisión por cadena la relación de transmisión no es exactamente constante?
27. Explica la relación que existe entre el grado de movilidad de un mecanismo y el número de actuadores.
28. Considera un mecanismo de cuatro barras en reposo. ¿Qué ocurre si la barra seguidora está alineada con la barra acopladora y se aplica un par de entrada desde la barra impulsora?

D3-Aplicar

31. En un sólido rígido con movimiento de rotación alrededor de O, la velocidad de un punto A del sólido es 1 m/s, siendo OA perpendicular al eje de rotación. Si la velocidad angular del sólido es 1 rad/s ¿Cuál es la velocidad de otro punto B, situado en la prolongación de la línea OA, más alejado de O, siendo la distancia AB de 0.5 metros?
32. En un mecanismo de cuatro barras, el eslabón fijo (1), entre los puntos O_2 y O_4 , mide 10 cm, la manivela accionadora (2), que va de O_2 a A, mide 3 cm, el eslabón acoplador (3), que va de A a B, mide 12 cm, y el eslabón de salida (4), que va de B a O_4 , mide 6 cm. Determinar numéricamente la velocidad angular del eslabón de salida en rad/s cuando la manivela accionadora 2 gira a 1 rad/s en sentido contrario a las agujas del reloj y el punto A se encuentra situado en la línea entre O_2 y O_4 . Explicar los pasos y ecuaciones utilizados en el cálculo.
33. En un mecanismo biela-manivela centrado (o en línea), configurado en primera inversión, la manivela tiene una longitud de 3 cm y la biela de 5 cm. Aplicando el teorema de los tres centros de Kennedy, calcula la distancia entre el centro instantáneo de rotación de la biela (relativo a la bancada) y la articulación entre biela y deslizadera, para el instante en el que la manivela forma 45° con la dirección de deslizamiento de la deslizadera.
34. Una máquina funciona en régimen permanente. Su curva característica de par motor frente a velocidad viene dada por $M_m(w)=10 - w$, y su curva característica de par viene dada por $M_r(w)=w^2$, siendo w en ambos casos la velocidad angular media del motor en rad/s y estando ambas expresiones referidas al eje del motor. Determina el valor de la velocidad media del eje del motor en régimen permanente.
35. Considere una barra recta de 10 cm de longitud, cuyos extremos se denotan por los puntos A y B. Esta barra gira alrededor de un apoyo fijo situado en su extremo A, a una velocidad angular constante de 1 rad/s. En el

extremo B de la barra hay conectado un amortiguador lineal, con un coeficiente de amortiguación de 1 N/(mm/s) , que está anclado a un punto fijo C situado a 15 cm del apoyo fijo de la barra. Determina la potencia disipada por el amortiguador cuando la barra está inclinada 10 grados con respecto a la línea AC.

36. Considere un engranaje planetario formado por un sol interno A, un sol externo B y un planeta C. La entrada de potencia se produce a través del sol interno, y la salida de potencia se produce a través del brazo, estando el sol externo quieto. Si se desea obtener una reducción de 1:30, determine el número de dientes del sol externo si el sol interno tiene 25 dientes.

37. Un ciclista está pedaleando a 100 rpm con un plato de 50 dientes y un piñón de 12 dientes. Si la bicicleta tiene una rueda de 700 mm de diámetro exterior, ¿a qué velocidad, en km/h, está circulando?

38. En una transmisión reductora mediante engranajes, el par resistente aplicado sobre el eje de salida es de 100 Nm a 200 rpm. ¿Cuál es el par motriz en el eje de entrada si el rendimiento del sistema es del 96% y la relación de transmisión es de 1:4?

D4-Analizar

41. Considerando que en una máquina, en general, son necesarios un sistema de accionamiento, un sistema de transmisión, un sistema estructural y un sistema de control, analiza un coche y una bicicleta, identificando los elementos de estas máquinas que componen dichos sistemas.

42. En un mecanismo de tornillo de potencia, analiza cómo afectan el ángulo de hélice del tornillo y el coeficiente de rozamiento entre tornillo y tuerca, a la reversibilidad o irreversibilidad del sistema de transmisión.

43. Un alicate de presión incorpora un tornillo de ajuste que permite al usuario variar la longitud efectiva entre dos de las cuatro articulaciones de rotación de las que consta el mecanismo, de manera que la separación entre sus mordazas en la postura prehensión (cierre) puede ser prefijada por el usuario. Tras este ajuste, ¿por qué el alicate de presión es capaz de aprisionar y sujetar firmemente en dicha posición diversos objetos que abarquen el ancho al que se prefijó la separación de las mordazas, sin hacer fuerza con la mano?

44. La manivela que ejerce la función motriz de una máquina punzonadora cíclica aplica un par M variable. El ciclo cinemático de la máquina lo determina una vuelta completa de la manivela, cuya posición viene determinada por el ángulo θ . En la primera media vuelta (θ de 0 a 180° grados), el par motriz M sigue la función $M=A \cdot \sin(\theta)$, siendo A una constante. En la segunda media vuelta (θ de 180° a 360°) el par motriz aplicado es constante de 10 Nm. La salida de la máquina punzonadora (el punzón) ejerce un par resistente constante de 100 Nm la primera mitad del ciclo, y nada de resistencia durante la segunda mitad del ciclo. ¿Cuánto tiene que valer A para que la máquina funcione en régimen permanente?

45. En un sistema de leva-seguidor, analice las ventajas e inconvenientes de escoger un seguidor de cara plana o un seguidor de rodillo.

46. En un mecanismo dado, el movimiento se transmite entre dos sólidos A y B a través de un contacto puntual entre ambos sin fricción. Si ambos sólidos están articulados a la bancada, analice el efecto de la posición del centro instantáneo de rotación relativo entre los sólidos A y B (CIR-AB) sobre la ventaja mecánica de la transmisión.

47. Al colocar un neumático de coche en una máquina de equilibrado, se obtienen las siguientes reacciones dinámicas en los apoyos $R_1=-100i-100j$ (N), $R_2=-100i+100j$ (N). A partir de estos datos analiza el tipo de desequilibrio que tiene el neumático (estático y/o dinámico).

48. En el diseño de levas de placa con seguidor de rodillo, analiza cómo afecta el radio del círculo primario al ángulo de presión.

D5-Evaluar

51. Evalúa los principales sistemas mecánicos que pueden emplearse para transformar un movimiento de rotación continua en un movimiento de traslación alternativo, en función de su simplicidad y eficiencia, considerando más simples los mecanismos planos, con menos eslabones, menos pares cinemáticos y que usen preferentemente pares cinemáticos de tipo inferior.

52. Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas, justificando la respuesta: a) los engranajes cilíndricos helicoidales son menos ruidosos que los de cilíndricos rectos del mismo material, b) el engranaje de tornillo sinfín es más eficiente que el engranaje cónico, c) las correas trapezoidales pueden funcionar a mayores velocidades que las correas planas, d) los sistemas de transmisión por tornillo de potencia y husillo de bolas son habitualmente irreversibles.

53. Evalúa, de manera crítica, las ventajas e inconvenientes de la aplicación de mecanismos de cuatro barras binarias articuladas en el diseño de mobiliario doméstico, citando sus ventajas y desventajas respecto a otros sistemas mecánicos para el guiado de movimiento, como deslizaderas o bisagras. Concluye tu evaluación con reflexiones en ejemplos concretos: mesa de centro elevable, cama canapé, armario de cocina.

54. Sea una máquina en régimen estacionario, con tres ejes de rotación: el primero, sobre el que actúa un par motriz senoidal, tiene un período de rotación de 9 s; el segundo, sobre el que actúa un par resistente constante, tiene un periodo de rotación de 36 s; sobre el tercero también actúa un par resistente constante y tiene un periodo de rotación de 18 s. ¿Es correcto decir que el periodo de la función velocidad angular del eje 3 es de 9 s?

55. ¿Cómo afecta la relación de contacto (grado de recubrimiento) de los engranajes cilíndricos rectos y helicoidales en el ruido que hace la transmisión durante su operación?

56. En una reductora de engranajes de dos etapas (con un eje de entrada, un eje intermedio y un eje de salida), en la que cada etapa tiene una relación de transmisión 1:2, ¿en qué eje es mejor situar el volante de inercia si se desea que la masa de este sea la menor posible?

57. De cara a obtener las ecuaciones diferenciales de la dinámica de un sistema mecánico, ¿qué ventajas y desventajas tienen las ecuaciones de Lagrange frente a las ecuaciones de Newton-Euler? ¿En qué casos es mejor aplicar unas que las otras?

58. Para un mecanismo de biela-manivela centrado (o en línea) evalúa la relación existente entre el movimiento de la deslizadera y el valor del cociente entre las longitudes de biela y manivela, considerando los casos límites dimensionales.

D6-Crear

61. Se quiere diseñar un elevador de personas que pueda usarse en hogares de dos plantas, para subir a una persona sentada desde la planta baja a la planta superior. El sistema debe funcionar accionado por la fuerza de los brazos de la persona que está sentada y debe ser irreversible, de modo que en caso de que el usuario deje de realizar fuerza, el sistema permanezca en posición, sin caer por efecto de la gravedad. Explica un posible diseño para esta máquina, indicando los componentes que mejor podrían conseguir una solución óptima y barata.

62. Diseñar un mecanismo plano sencillo que, actuado por dos motores giratorios, permita posicionar en altura e inclinación una mesa de dibujo. Explicar claramente cuántos eslabones se emplearían y con qué pares cinemáticos se unirían entre ellos, cómo se unirían al tablero de la mesa y a las patas o sistema estructural.

63. Se pretende diseñar un mecanismo simple que permita girar y trasladar una pieza de dimensiones 190 x 20 cm (largo x alto) que parte de una posición horizontal y que, según un movimiento plano, posibilite un giro de 40° y una traslación de 25 cm en horizontal y 5 cm en vertical de la esquina inferior e izquierda en dicha pieza. Se pide determinar las dimensiones de un mecanismo de cuatro barras válido para esta aplicación, cuya barra más corta tenga una longitud de al menos 20 cm.

64. Diseña un mecanismo de una cepilladora, accionada con un motor giratorio y con movimiento rectilíneo alternativo de ida y vuelta de su herramienta de salida, en la que el tiempo de retorno de dicha herramienta a la posición inicial sea la mitad del tiempo invertido en el movimiento desde la posición inicial a la final.

65. Diseña un equipo de laboratorio simple para estudiar el efecto de los productos de inercia no nulos sobre el comportamiento dinámico de ejes en rotación.

66. Diseña un sistema mecánico simple que, incorporado en la transmisión de un vehículo, permita almacenar energía cuando el vehículo está frenando y liberar energía cuando el vehículo está acelerando.

67. Utilizando un máximo de 6 eslabones y 2 motores, diseña un mecanismo que permita controlar el trazo de un rotulador sobre una región de un plano (no hace falta considerar la parte de control).

68. Define las dimensiones de un mecanismo de biela-manivela, accionado por un motor que gira a 1200 rpm que cumpla con los siguientes requisitos: a) la deslizadera debe tener una carrera de 80 mm, b) el valor aceleración angular máxima de la biela no debe superar los 5000 rad/s², c) el mecanismo debe ser lo más compacto posible.

Anexo 2. Rúbrica de evaluación

	5	4	3	2	1
	Excelente	Bueno	Satisfactorio	Necesita mejorar	Muy mal
Calidad técnica de la respuesta	Demuestra un conocimiento excepcional de los conceptos y principios clave. La información es completamente precisa, detallada y alineada con la teoría establecida. Los cálculos, cuando proceda, son correctos y las unidades son coherentes.	Demuestra un buen conocimiento de los conceptos y principios. La información es generalmente precisa, con algunos detalles menores. Los cálculos y unidades son en su mayoría correctos.	Demuestra un conocimiento básico de los conceptos y principios. La información es en su mayoría precisa, pero puede contener algunas imprecisiones o falta de profundidad. Los cálculos y unidades pueden tener algunos errores leves.	Demuestra un conocimiento limitado o impreciso de los conceptos y principios clave. La información contiene errores significativos o carece de detalles importantes. Los cálculos y unidades presentan errores graves.	Demuestra un desconocimiento casi total. La contestación incluye errores graves de concepto. Los cálculos son erróneos casi en su totalidad, hay ausencia o errores sistemáticos en las unidades.
Precisión y completitud de la respuesta	Aborda de manera exhaustiva y completa todos los aspectos importantes de la pregunta, sin omitir elementos relevantes ni incluir información accesorio o anecdótica.	Aborda la mayoría de los aspectos importantes de la pregunta, con algunos detalles menores omitidos o incluidos de manera innecesaria	Aborda los aspectos principales de la pregunta, pero puede omitir elementos relevantes o incluir información menos importante.	No aborda de manera adecuada los aspectos importantes de la pregunta, omitiendo elementos clave o incluyendo información irrelevante.	La contestación no guarda relación con la pregunta realizada.
Calidad de la redacción de la respuesta	Uso impecable del lenguaje, con una ortografía y gramática correctas. La terminología técnica se utiliza de manera precisa y coherente. La redacción es clara, concisa y fluida.	Uso correcto del lenguaje, con algunas pequeñas faltas ortográficas o gramaticales. La terminología técnica se utiliza de manera adecuada. La redacción es clara y comprensible.	Uso básico del lenguaje, con algunas faltas ortográficas o gramaticales. La terminología técnica se utiliza con cierta imprecisión. La redacción es comprensible, pero puede ser menos fluida.	Uso deficiente del lenguaje, con múltiples faltas ortográficas y gramaticales. La terminología técnica se utiliza de manera imprecisa o incorrecta. La redacción es confusa y dificulta la comprensión.	Uso incorrecto del lenguaje, con frecuentes errores gramaticales. La comprensión resulta difícil. La información está deslavazada o mal estructurada.