

Evaluación del entendimiento de gráficas de cinemática utilizando un test de opción múltiple en español

G. Zavala

*Tecnologico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Monterrey, México,
Universidad Andres Bello, Facultad de Ingeniería, Santiago, Chile.
genaro.zavala@tec.mx*

P. Barniol

*Tecnologico de Monterrey, Escuela de Humanidades y Educación, Monterrey, México.
pablo.barniol@tec.mx*

S. Tejeda

*Tecnologico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Monterrey, México.
stejeda@tec.mx*

Received 10 December 2018; accepted 26 January 2019

El “Test of Understanding of Graphs in Kinematics (TUG-K)”, es el test de opciones múltiples más importante diseñado hasta la fecha para evaluar el entendimiento de estudiantes universitarios en gráficas de cinemática. En este estudio se presenta una modificación significativa de este test en español. El test fue implementado en 124 estudiantes que terminaban un curso de mecánica basado en cálculo en una universidad privada mexicana. Los cuatro objetivos del presente artículo son; (1) presentar el test en español y su proceso de rediseño, (2) mostrar que es un instrumento de evaluación confiable con poder discriminatorio adecuado, (3) exponer un análisis detallado del entendimiento de los estudiantes en los conceptos evaluados en el test, y (4) establecer recomendaciones específicas, basadas en los análisis previos, para la instrucción de estos conceptos. De esta forma, este artículo ofrece un análisis exhaustivo de dificultades de entendimiento, recomendaciones basadas en investigación y un examen disponible en el apéndice que pueden ser empleados por investigadores del área de la enseñanza de la física, y por profesores que enseñen el tema de gráficas de cinemática en cursos de física en países hispanohablantes.

Descriptores: Test de gráficas de cinemática; test de opción múltiple; análisis de confiabilidad; análisis de entendimiento.

The “Test of Understanding of Graphs in Kinematics (TUG-K)”, is the most important multiple-choice test designed to date to evaluate the understanding of university students in kinematics graphs. In this study, we present a significant modification of this test in Spanish. We administered the test to 124 students who finished a mechanics-based course in a private Mexican university. The four objectives of this article are: (1) to present the test in Spanish and its redesign process, (2) to show that it is a reliable evaluation instrument with adequate discriminatory power, (3) to present a detailed analysis of students’ understanding on the concepts evaluated in the test, and (4) to establish specific recommendations, based on the previous analyzes, for the instruction of these concepts. In this way, this article offers a comprehensive analysis of understanding difficulties, research-based recommendations and the test available in the Appendix that can be used by researchers in the field of physics education, and by teachers who teach the subject of graphics of kinematics in physics courses in Spanish-speaking countries.

Keywords: Kinematics graph test; multiple choice test; reliability analysis; analysis of understanding.

PACS: 01.40.Fk; 01.40.G

DOI: <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.65.162>

1. Introducción

Los tests de opción múltiple son muy valorados en el área de la educación de la física, ya que son muy útiles para evaluar el aprendizaje conceptual de una población grande de estudiantes y el análisis estadístico de los datos recabados permite una mayor generalización de los hallazgos [1,2]. Estos tests deben cumplir con un proceso de diseño adecuado [1] y con pruebas estadísticas de confiabilidad y poder discriminatorio [3]. En el área de la educación de la física se han diseñado varios tests de este tipo para evaluar el entendimiento conceptual en: vectores [4,5], fuerzas [6], movimiento [7], momento y energía [8], electricidad y magnetismo [9].

En 1994, Beichner [1] presentó el “Test of Understanding of Graphs in Kinematics (TUG-K)”, que es el test más impor-

tante diseñado hasta la fecha para evaluar el entendimiento de estudiantes universitarios en gráficas de cinemática. Este test ha sido muy utilizado en el área de la educación de la física (ver por ejemplo [10-12]). Al analizar el TUG-K, se pudo constatar que tenía algunos puntos que podían ser mejorados para evaluar de manera más completa el entendimiento de los estudiantes en los diferentes objetivos relacionados (dimensiones) del test, lo cual se explicará más adelante. En un estudio nuestro anterior [13] se presentó una modificación significativa de este test en inglés que cubría esta necesidad. En el presente estudio se presenta la versión modificada del test en español.

Los cuatro objetivos del presente artículo son: (1) presentar el test en español y su proceso de rediseño, (2) mostrar que la versión modificada en español es un instrumento de

evaluación confiable con poder discriminatorio adecuado, (3) presentar un análisis detallado del entendimiento de los estudiantes en los conceptos evaluados en el test, y (4) establecer recomendaciones específicas, basadas en investigación, para la instrucción de estos conceptos.

La originalidad del presente artículo radica en dos puntos. El primer punto se centra en la necesidad apremiante de realizar un análisis del examen en su versión en español. Varios investigadores, como Lindell y Ding [14], han señalado la importancia de analizar la confiabilidad de los instrumentos de evaluación al realizar un cambio del idioma en estos instrumentos, como sucedió en el estudio de Barniol y Zavala [4]. En el presente artículo se da a conocer y analiza por primera vez la confiabilidad del examen TUG-K modificado en su versión en español. El segundo punto se centra en los análisis y las recomendaciones que pueden servir a investigadores y profesores de física de países hispanohablantes.

2. Revisión de literatura

La versión original del test (TUG-K) evalúa el entendimiento del concepto de pendiente y del concepto de área bajo la curva en gráficas de cinemática. En este test se espera, por ejemplo, que los estudiantes sean capaces de determinar la velocidad en un punto a partir de la gráfica de posición utilizando el concepto de pendiente, y deben de ser capaces de determinar el cambio de posición en un intervalo a partir de la gráfica de velocidad utilizando el concepto de área bajo la curva.

Varios investigadores han analizado el entendimiento de los estudiantes del concepto de pendiente en el contexto de la cinemática [1,15-19]. Beichner [1] clasificó exhaustivamente las tres dificultades que tienen los estudiantes al utilizar este concepto en el contexto de cinemática: (1) confusiones de intervalo/punto, en las cuales los estudiantes se enfocan en un solo punto en vez de en un intervalo; (2) confusiones de pendiente/altura en las que los estudiantes confunden la altura del gráfico con la pendiente; y (3) confusiones icónicas, en las que los estudiantes interpretan incorrectamente los gráficos como figuras o imágenes. También varios estudios han analizado la comprensión de los estudiantes sobre el

concepto de área bajo la curva en el contexto de la cinemática [1,15,18,19]. En este tema, Beichner [1] también presenta un análisis general de las dificultades de los estudiantes y las clasifica en tres categorías: (1) no reconocer el significado de las áreas bajo la curva, (2) calcular la pendiente en lugar del área, y (3) confusiones de área/altura en las que los estudiantes confunden la altura del gráfico en el último punto del intervalo con el área.

Relacionado con el TUG-K, varios estudios han utilizado este test en su versión original para evaluar la efectividad de nuevo material curricular. Entre estos nuevos materiales se encuentran, por ejemplo: análisis de videos [10], actividad tipo tutorial [11], y un módulo abierto interactivo “e-learning” [20]. Además, otros estudios, han utilizado el test para evaluar la relación entre la habilidad de interpretar gráficas de cinemática y otras variables de la población [21], y también para investigar el conocimiento de contenido pedagógico de instructores de física en el tema de gráficas de cinemática [12]. Por último, es importante notar que este tipo de estudios que han utilizado la versión original del test en el pasado podrían utilizar la versión modificada en idioma español que presentamos en el presente estudio en el futuro.

3. Metodología y proceso de rediseño del test

En esta sección se establece la metodología de la implementación del test y se cubre el primer objetivo de este estudio: presentar el test en español y su proceso de rediseño.

3.1. Participantes

Esta investigación se realizó en una universidad del noreste de México. Los participantes de este estudio son 124 estudiantes de ingeniería que terminaron un curso de mecánica basado en cálculo. En este curso se utiliza el libro de texto “Física para ciencias e ingeniería” de los autores Serway y Jewett [22]. Además, los estudiantes utilizan los “Tutoriales para Física Introdutoria” diseñados por McDermott y Shaffer [23]. El test modificado (TUG-K modificado en español) que se muestra en el apéndice se aplicó a los participantes después de haber llevado este curso.

TABLE I. Objetivos y conceptos evaluados en el TUGK original.

Objetivo	Descripción	Concepto
1	Determinar la velocidad en un punto a partir de la gráfica de o intervalo posición	Concepto de pendiente
2	Determinar la aceleración en un punto a partir de la gráfica de velocidad	en un punto
3	Determinar el cambio de posición en un intervalo a partir de la gráfica de velocidad	Concepto de área bajo la curva
4	Determinar el cambio de velocidad en un intervalo a partir de la gráfica de aceleración	en un intervalo
5	Seleccionar una gráfica correspondiente a partir de una gráfica dada	Concepto de pendiente y/ó concepto
6	Seleccionar descripción textual a partir de una gráfica dada	de área bajo la curva
7	Seleccionar una gráfica a partir de una descripción textual dada	

3.2. Descripción de la versión original del test

La versión original del test (TUG-K) evalúa el concepto de pendiente y el concepto de área bajo la curva en gráficas de cinemática. El test evalúa 7 objetivos. En la Tabla I se describen los objetivos y conceptos evaluados. Como se observa en la Tabla I, los objetivos 1 y 2 están directamente relacionados ya que evalúan el concepto de pendiente. El objetivo 1 evalúa la determinación de la velocidad en un punto a partir de la gráfica de posición, mientras que el objetivo 2, evalúa la determinación de la aceleración en un punto a partir de la gráfica de velocidad. Por otra parte, los objetivos 3 y 4 también están directamente relacionados ya que evalúan el concepto de área bajo la curva. El objetivo 3 evalúa la determinación del cambio de posición en un intervalo a partir de la gráfica de velocidad, mientras que el objetivo 4 evalúa la determinación del cambio de velocidad en un intervalo a partir de la gráfica de aceleración. Además, como se observa también en la Tabla I, los objetivos 5, 6 y 7 evalúan de distintas maneras el entendimiento del concepto de pendiente y/o el concepto de área bajo la curva. El objetivo 5 evalúa la selección de una gráfica correspondiente a partir de una gráfica. El objetivo 6 evalúa la selección de una descripción textual a partir de una gráfica. Por último, el objetivo 7 evalúa la selección de una gráfica a partir de una descripción textual.

3.3. Descripción de la versión modificada del test

Para realizar las modificaciones del test se siguió un proceso iterativo de varias implementaciones de diferentes versiones de tests durante dos años en una universidad del noreste de México. La última versión del ciclo se denominó "TUG-K modificado". En la Tabla II se muestra una visión general de los cambios realizados en esta última versión modificada del test. Como se observa, se realizaron dos cambios principales en el test: añadir nuevos ítems, y añadir nuevos distractores en ítems originales que se conservaron. Los ítems con el último cambio fueron agrupados en tres diferentes grupos: (1) ítems con cambios en gráfica del enunciado y cambios mayores y menores en distractores, (2) ítems con cambios mayores y menores en distractores, (3) ítems con sólo cambios mayores en distractores.

El cambio más importante que se realizó en el test fue el de añadir nueve ítems nuevos. Estos ítems fueron añadidos para cubrir dos puntos del test original que podían ser mejorados. El primer punto era la falta de paralelismo entre objetivos relacionados, y el segundo es el hecho de que algunos objetivos no evaluaban los cuatro posibles pasos de resolución de problemas de gráficas de cinemática y carecían de paralelismo entre los ítems contenidos dentro de ellos. Nótese que la versión modificada no evalúa más objetivos que la versión original del test, sino que evalúa los mismos 7 objetivos que evalúa la versión original, pero de manera más completa desde el punto de vista de lograr un paralelismo entre objetivos e ítems.

Además de los ítems añadidos, como se observa en la Tabla II, otra modificación importante fue el cambio en distractores por éstos fueron modificados principalmente para cubrir un punto del test original que podía ser mejorado: el hecho de que en algunos ítems no estuvieran representadas algunas de las concepciones alternativas más frecuente dentro de los distractores. Como se muestra en la tabla, se realizaron cambios mayores y menores en los distractores. Para ilustrar estos dos tipos de cambios, considérese por ejemplo el ítem 5, que es un ítem catalogado como ítem con cambios en gráfica del enunciado y cambios mayores y menores en distractores. Este ítem pide determinar el valor de una velocidad positiva en un punto a partir de la gráfica de posición. El cambio de la gráfica del enunciado consistió en una nueva curva que no pasara a través del origen, a diferencia de la versión original, con el fin de discriminar entre la respuesta correcta y un error muy frecuente que es calcular este valor como posición entre tiempo. Un cambio mayor en este ítem, fue precisamente la adición del distractor de posición entre tiempo. Por otra parte, un cambio menor en el distractor en este ítem fue el reajuste de la opción incorrecta que muestra el valor de la posición en el tiempo, debido al cambio en la gráfica.

En la Tabla III se presenta una descripción completa del TUG-K modificado en donde se agrupan los 26 ítems en los 7 objetivos del test, especificando los nueve nuevos ítems añadidos. En nuestro estudio previo [13] se mostró que estos nuevos ítems cumplían con los requisitos estadísticos establecidos en el área [3], y también se mostró la conveniencia estadística de la gran mayoría de los distractores añadidos.

TABLA II. Visión general de los cambios realizados en la versión modificada del test. Note que la versión original del TUGK tiene 21 ítems, mientras que la versión modificada tiene 26 ítems.

Cambios	Ítems del TUGK modificado
Ítem nuevo añadido	6, 10, 13, 17, 20, 21, 23, 25, 26
Cambios en distractores de ítems originales que se conservaron:	
Ítems con cambios en gráfica del enunciado y cambios mayores y menores en distractores	5, 14, 16
Ítems con cambios mayores y menores en distractores	22
Ítems con sólo cambios mayores en distractores	2, 7, 11, 12, 15, 18, 19, 24
Ningún cambio	1, 3, 4, 8, 9

TABLA III. Descripción de los ítems del TUGK modificado agrupados en cada uno de los objetivos. Nótese que las descripciones en cursiva son de los 9 ítems añadidos.

Obj.	Ítem	Descripción
1	5	Determinar valor de velocidad positiva en un punto a partir de la gráfica de posición
	18	Determinar el valor de velocidad negativa en un punto a partir de la gráfica de posición
	13	<i>Nuevo ítem: Determinar el intervalo con velocidad más negativa a partir de la gráfica de posición</i>
2	7	Determinar valor de aceleración positiva en un punto a partir de la gráfica de velocidad
	6	<i>Nuevo ítem: Determinar valor de aceleración negativa en un punto a partir de la gráfica de velocidad</i>
	2	Determinar intervalo con aceleración más negativa a partir de gráfica de velocidad
3	19	Establecer el procedimiento para determinar el cambio de posición en un intervalo a partir de gráfica de velocidad
	4	Determinar cambio de posición en un intervalo a partir de gráfica de velocidad
	23	<i>Nuevo ítem: Determinar mayor cambio de posición en un intervalo a partir de gráfica de velocidad</i>
4	10	<i>Nuevo ítem: Establecer el procedimiento para determinar el cambio de velocidad en un intervalo a partir de gráfica de aceleración</i>
	16	Determinar cambio de velocidad en un intervalo a partir de gráfica de aceleración
	1	Determinar mayor cambio de velocidad en un intervalo a partir de gráficas de aceleración
5	11	Identificar gráfica de velocidad a partir de gráfica de posición
	14	Identificar gráfica de aceleración a partir de gráfica de velocidad
	15	Identificar gráfica de velocidad a partir de gráfica de aceleración
	21	<i>Nuevo ítem: Identificar gráfica de posición a partir de gráfica de velocidad</i>
6	8	Caso particular evaluado: A partir de gráfica de posición determinar que el movimiento del objeto es el siguiente: no se mueve, retrocede y no se mueve
	3	A partir de gráfica de posición determinar que el objeto se mueve a velocidad constante
	24	A partir de gráfica de velocidad determinar que el objeto se mueve a aceleración constante
	17	<i>Nuevo ítem: A partir de gráfica de velocidad determinar que el objeto incrementa su posición uniformemente</i>
	25	<i>Nuevo ítem: A partir de gráfica de aceleración determinar que el objeto incrementa su velocidad uniformemente</i>
7	9	Caso particular evaluado: Identificar gráfica de posición que corresponde a una aceleración positiva y constante
	12	Identificar gráficas de posición, velocidad y aceleración que corresponden a una velocidad constante
	22	Identificar gráficas de posición, velocidad y aceleración que corresponden a una aceleración constante distinta de cero
	26	<i>Nuevo ítem: Identificar gráficas de posición, velocidad y aceleración que corresponden a velocidad que se incrementa uniformemente</i>
	20	<i>Nuevo ítem: Identificar gráficas de posición, velocidad y aceleración que corresponden a aceleración que se incrementa uniformemente</i>

Un punto importante a notar en la Tabla III es el paralelismo entre los ítems de los objetivos relacionados (objetivos 1 y 2; objetivos 3 y 4) y el paralelismo entre los ítems de cada uno de los objetivos 5, 6 y 7. Se observan doce pares de ítems relacionados en la nueva versión del test: 5 y 7; 18 y 6; 13 y 2 (en los objetivos 1 y 2); 19 y 10; 4 y 16; 23 y 1 (en los objetivos 3 y 4); 11 y 14; 21 y 15 (en el objetivo 5); 3 y 24; 17 y 25 (en el objetivo 6); 12 y 22; 26 y 20 (en el objetivo 7). Por último, en la Fig. 1 se muestra como ejemplo el ítem 6

del TUG-K modificado, que es un ítem nuevo del objetivo 2 del test.

4. Análisis de confiabilidad y poder discriminatorio del test modificado en español

La confiabilidad y el poder discriminatorio son dos características muy importantes que debe de cumplir un test como el rediseñado en el presente estudio. La confiabilidad, según

6. La gráfica muestra la velocidad como una función del tiempo para un automóvil de masa 1.5×10^3 kg. ¿Cuál era su aceleración a los 90 s?

- (A) -0.22 m/s^2
- (B) -0.33 m/s^2
- (C) -1.0 m/s^2
- (D) -2.0 m/s^2
- (E) 20 m/s^2

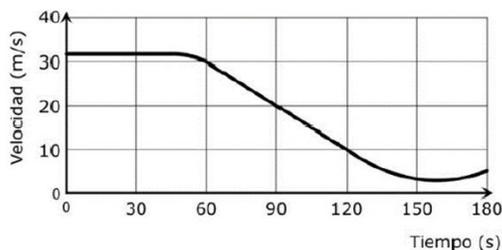


FIGURA 1. Ejemplo de ítem añadido en el TUG-K modificado: ítem 6 del objetivo 2.

Kline [24], supone la consistencia interna (auto-consistencia) y la consistencia en el tiempo (consistencia “test-retest”). La consistencia interna es un término utilizado para la medida en que los ítems de una prueba miden el atributo consistentemente, en particular teniendo correlaciones positivas y altas [25]. Un test consistente en el tiempo arroja el mismo puntaje para cada sujeto al volverlo a implementar, ya que los sujetos no han cambiado. Por último, el poder discriminatorio se relaciona con una buena distribución de las calificaciones obtenidas por diferentes sujetos en el test [24].

En esta sección se cubre el segundo objetivo de este estudio: mostrar que la versión modificada del test en castellano es un instrumento de evaluación confiable con poder discriminatorio adecuado siguiendo el análisis recomendado por Ding *et al.* [3]. Se realizan cinco pruebas estadísticas: tres pruebas se enfocan en el análisis individual de los ítems del test (índice de dificultad del ítem, índice de discriminación del ítem y coeficiente de punto biserial del ítem) y dos pruebas en el análisis de todo el test (confiabilidad del examen y delta de Ferguson). Los autores señalan que si el examen cumple con estas cinco pruebas se puede concluir que el test es un test confiable con un poder discriminatorio satisfactorio.

El índice de dificultad (P) es, según Ding *et al.* [3], una medida de dificultad de un ítem del test. Se calcula dividiendo las respuestas correctas obtenidas en un ítem específico sobre la cantidad de estudiantes que realizaron el ítem (N). El rango recomendado por los autores para este índice es entre 0.3 y 0.9. Dentro de este rango se encuentra valor óptimo de 0.5 en el que la mitad de la población contesta correctamente el ítem. En la Fig. 2 se muestran los índices de dificultad de cada uno de los ítems del test. Se observa que la mayoría de los ítems cumplen con los criterios establecidos y que sólo un ítem se encuentra por debajo del valor recomendado (0.3). Este ítem es el ítem 1 (0.19). Sin embargo, el índice de dificultad promedio del test es 0.60 (Tabla IV), está en el rango recomendado y de hecho es cercano al valor óptimo de 0.5.

El índice de discriminación (D) es, según Ding *et al.* [3], una medida del poder de discriminación que tiene cada ítem del test. Para calcular este índice por el método 25-25 %, se analizan dos grupos de la muestra: la cantidad de estudiantes del grupo “alto” que tienen una calificación total en el exa-

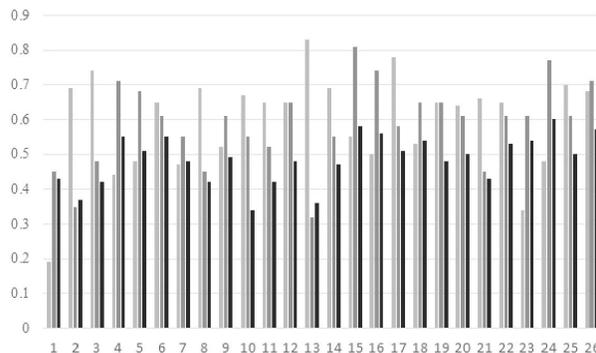


FIGURA 2. Índice de dificultad del ítem (gris claro), índice de discriminación del ítem (gris oscuro) y coeficiente punto biserial (negro) para cada uno de los ítems del test modificado.

men mayor al tercer cuartil y contesta correctamente el ítem (N_H) y la cantidad de estudiantes del grupo “bajo” que tienen una calificación menor que el primer cuartil y contesta correctamente el ítem (N_L). La fórmula para calcularlo es $D = ((N_H - N_L)) / ((N/4))$. El mejor índice de discriminación, según Ding *et al.* [3] es un valor de 1, que significa que todos los estudiantes del grupo alto contestan correctamente el ítem, y todos los estudiantes del grupo bajo contestan incorrectamente el ítem. Los autores establecen dos criterios para este índice: (1) eliminar los ítems con índices de discriminación negativos y (2) que la mayoría de los ítems tengan un buen índice de discriminación, con un valor mayor o igual a 0.3. En la Fig. 2 se muestran los índices de discriminación de cada uno de los ítems del test (utilizando el método 25 - 25 %). Se observa que todos los ítems cumplen con los criterios establecidos. Ding *et al.* [3] también recomiendan calcular el índice de discriminación promedio del test, sugiriendo un valor mayor o igual a 0.3. El índice de discriminación promedio del examen (0.59, utilizando el método 25 - 25 %, Tabla IV) cumple con el criterio recomendado.

Ding *et al.* [3] mencionan que el coeficiente punto biserial (r_{pbs}) es una medida de la consistencia de un ítem con todo el test, y que básicamente refleja la correlación entre las calificaciones de los estudiantes en un ítem con las calificaciones en todo el examen. La fórmula para calcular este coeficiente es $r_{pbs} = [(\bar{X}_1 - \bar{X}) / \sigma_X] \sqrt{P / (1 - P)}$. \bar{X}_1 es la calificación total promedio de los estudiantes que obtie-

nen una calificación de 1 en el ítem del test, que quiere decir que contestan correctamente este ítem, \bar{X} es el promedio de la calificación total en el test de toda la muestra, σ_X es la desviación estándar de las calificaciones de toda la muestra y P es el índice de dificultad del ítem. Sobre este coeficiente, Ding *et al.* [3] señalan que idealmente, todos los ítems en un test deben estar altamente correlacionados con la calificación total, pero que esto es poco realista para un test con varios ítems. Por esto recomiendan seguir el criterio ampliamente adoptado de que un ítem con una buena confiabilidad tiene un valor mayor o igual a 0.2. En la Fig. 2 se muestran los coeficientes puntos biserial de cada ítem del test. Se observa que todos los ítems cumplen con los criterios establecidos. Los autores también recomiendan calcular el promedio de los coeficientes punto biserial que es la suma de todos los coeficientes dividida por el número de ítems en el examen. El rango recomendado para este promedio también es mayor o igual a 0.2. El promedio de los coeficientes punto biserial (0.49, Tabla IV) cumple también con este criterio.

El índice de confiabilidad de Kuder Richardson es una medida de la consistencia de todo el examen. La fórmula para calcular este índice es $r_{test} = [K/(1 - K)][1 - \sum_{i=1}^K P_i(1 - P_i)/\sigma_X^2]$. Donde K es el número de ítems en el test, σ_X es la desviación estándar de las calificaciones de toda la muestra y P_i es el índice de dificultad del ítem i . Ding *et al.* [3] establecen el criterio ampliamente aceptado de que un índice de confiabilidad mayor a 0.7 es confiable para medidas de grupo, lo que es muy utilizado en la mayoría de contextos en educación de la ciencia. El valor obtenido en este índice para el examen es de 0.87 (Tabla IV) que cumple con este criterio.

La delta de Ferguson es una medida del poder discriminatorio de un examen que investiga que tan ampliamente están distribuidas las calificaciones de un examen en el rango posible. Según Ding *et al.* [3], si un test es diseñado y utilizado para discriminar entre los estudiantes, se esperaría una distribución amplia en las calificaciones totales. La fórmula para calcular la delta de Ferguson es $\delta = [N^2 - \sum_{i=1}^K f_i^2][N^2 - N^2/(K + 1)]$. Donde N es el número de estudiantes que realizan el examen, K el número de ítems del test y f_i es el número de ocurrencias de cada una de las calificaciones. Los investigadores recomiendan seguir el criterio de que un examen que ofrece un buen poder de discriminación es mayor a 0.9. La delta de Ferguson del examen es 0.99 (Tabla IV) que se encuentran dentro del rango recomendado por los investigadores.

4.1. Resumen de las cinco pruebas estadísticas

Por último, en la Tabla IV se muestra el resumen de las cinco pruebas estadísticas recomendadas por Ding *et al.* [3]. Como se observa todos los valores promedio cumplen con lo recomendado por los autores Ding *et al.* [3]. A partir de esto es posible afirmar que el test es un instrumento de evaluación confiable y con poder discriminatorio adecuado.

5. Análisis del entendimiento de los estudiantes en los conceptos evaluados en el test

En esta sección se cubre el tercer objetivo de este estudio: presentar un análisis detallado del entendimiento de los estudiantes en los conceptos evaluados en el test modificado.

Como se mencionó anteriormente en la versión modificada se añadieron ítems para lograr un paralelismo entre objetivos relacionados (objetivos 1 y 2 y objetivos 3 y 4) y para lograr un paralelismo en los ítems de algunos de objetivos (objetivos 5, 6 y 7). Siguiendo este paralelismo entre objetivos e ítems, en la Tabla V se presenta los porcentajes de respuesta correcta de los ítems de la versión modificada.

5.1. Desempeño general a partir de las calificaciones

El promedio de las calificaciones obtenidas de la población de 124 estudiantes su curso de mecánica basado en cálculo es 15.51 de los 26 puntos posibles (cada ítem vale 1 punto). Este promedio, expresado como porcentaje del posible total de puntos, es 60 %, que corresponde con el índice promedio de dificultad mostrado en la Tabla V (0.60). Es interesante notar que los estudiantes que se encuentran en el promedio (15.51) tienen dificultad para contestar 10 ítems de los 26 ítems de la versión modificada.

5.2. Desempeño en cada uno de los objetivos

A partir de la información de la Tabla V se analizan los porcentajes promedios de cada uno de los objetivos. Nótese que en los objetivos 6 y 7 se decidió no considerar los casos particulares. Se observan dos tendencias interesantes. La primera es que los objetivos 1, 2, 5, 6 y 7 tienen un nivel similar de dificultad con porcentajes promedio entre 60 % y 68 %. Por otra parte, la segunda tendencia es que los objetivos relacionados 3 y 4 tienen un nivel menor que los anteriores y similar entre sí, con porcentajes promedio de 48 % y 45 % respectivamente.

TABLA IV. Resumen de pruebas estadísticas realizadas para el test modificado.

Prueba estadística	Valores deseado	Test
Índice de dificultad	[0.3, 0.9]	Promedio: 0.60
Índice de discriminación	≥ 0.3	Promedio: 0.59
Coeficiente punto biserial	≥ 0.2	Promedio: 0.49
Índice Kuder-Richardson	≥ 0.7 para medidas grupales	0.87
Delta de Ferguson	> 0.9	0.99

TABLA V. Porcentaje de respuesta correcta de los ítems agrupados en cada uno de sus objetivos y el porcentaje promedio de cada objetivo. (Los ítems de los cuatro primeros objetivos están agrupados en los objetivos relacionados (1 y 2; 3 y 4).

Descripción de los ítems que evalúan el concepto de pendiente	Ítem	Obj. 1	Ítem	Obj. 2
Determinar valor positivo	5	48 %	7	47 %
Determinar valor negativo	18	53 %	6	65 %
Identificar intervalo en el que la pendiente es más negativa	13	83 %	2	69 %
Promedio del objetivo		61 %		60 %
Descripción de los ítems que evalúan el concepto de área bajo la curva	ítem	Obj. 3	ítem	Obj. 4
Establecer el procedimiento para determinar el cambio de una variable	19	65 %	10	67 %
Determinar el cambio de una variable	4	44 %	16	50 %
Identificar el mayor cambio de una variable	23	34 %	1	19 %
Promedio del objetivo		48 %		45 %
Descripción de los ítems en donde se pide seleccionar una gráfica correspondiente de otra gráfica	ítem	Obj. 5	Relacionado a	
Determinar la gráfica correspondiente que implica “un paso hacia adelante”	11	65 %	Obj.1	
	14	69 %	Obj. 2	
Determinar la gráfica correspondiente que implica “un paso atrás”	21	66 %	Obj. 3	
	15	55 %	Obj. 4	
Promedio del objetivo		64 %		
Descripción de los ítems en donde se pide describir un movimiento a partir de una gráfica			Ítem	Obj. 6
Gráfica de posición: determinar movimiento particular			8	69 %
Gráfica de posición: determinar movimiento velocidad constante			3	74 %
Gráfica de velocidad: determinar movimiento aceleración constante			24	48 %
Gráfica de velocidad: determinar posición que incrementa uniformemente			17	78 %
Gráfica de aceleración: determinar velocidad que incrementa uniformemente			25	70 %
Promedio del objetivo (sin considerar el caso particular: ítem 8)				68 %
Descripción de los ítems en donde seleccionar gráficas a partir de descripción de movimiento			ítem	Obj. 7
Aceleración positiva y constante: identificar gráfica de posición			9	52 %
Velocidad constante: Identificar gráficas			12	65 %
Aceleración constante: Identificar gráficas			22	65 %
Velocidad que se incrementa uniformemente: identificar gráficas			26	68 %
Aceleración que se incrementa uniformemente: identificar gráficas			20	64 %
Promedio del objetivo (sin considerar el caso particular; ítem 9)				66 %

Esto muestra, que estos objetivos, que evalúan el concepto de área bajo la curva, son más difíciles para los estudiantes. Relacionado con esta última tendencia, al analizar los porcentajes de respuesta correcta en cada uno de los ítems en la Tabla V, se observa que el par de ítems relacionado (ítems 23 y 1), de los objetivos 3 y 4, que evalúan la identificación del mayor cambio de una variable utilizando el concepto de área bajo la curva, son por mucho los ítems más difíciles de los test. Estos son los únicos ítems del test con porcentajes de respuesta correcta menores al 40 % (34 % y 19 % respectivamente). Esto explica, en cierta medida, los porcentajes promedios bajos en los objetivos 3 y 4.

5.3. Diferencias en el desempeño en ítems relacionados

La información que se presenta en la Tabla V permite el análisis de diferencias en el desempeño de los estudiantes en ítems relacionados que evalúan de la misma manera el mismo concepto, pero en diferentes variables de cinemática. Por ejemplo, en los objetivos 1 y 2, los ítems 5 y 7 respectivamente, evalúan la determinación del valor de una pendiente positiva, la diferencia es que en el objetivo 1 se pide encontrar la pendiente como velocidad en un punto en la gráfica de posición, mientras que en el objetivo 2 se pide encontrar la pendiente como aceleración en un punto en la gráfica de velocidad. An-

TABLA VI. Resultados obtenidos en los ítems del TUGK modificado agrupados en cada uno de los objetivos.

Obj.	Ítem	Descripción breve del ítem	%					
			A	B	C	D	E	N
1	5	Velocidad positiva en punto	4 %	2 %	48 %	44 %	3 %	0 %
	18	Velocidad negativa en punto	53 %	14 %	6 %	25 %	2 %	1 %
	13	Velocidad más negativa	83 %	6 %	2 %	8 %	2 %	0 %
2	7	Aceleración positiva en punto	21 %	65 %	4 %	6 %	2 %	1 %
	6	Aceleración negativa en punto	47 %	16 %	30 %	7 %	0 %	0 %
	2	Aceleración más negativa	4 %	20 %	5 %	2 %	69 %	0 %
3	19	Procedimiento: cambio de posición	2 %	10 %	11 %	44 %	33 %	1 %
	4	Cambio de posición en intervalo	3 %	65 %	19 %	13 %	0 %	0 %
	23	Mayor cambio de posición en intervalo	0 %	34 %	19 %	29 %	15 %	2 %
4	10	Procedimiento: cambio de velocidad	67 %	24 %	2 %	1 %	6 %	0 %
	16	Cambio de velocidad en intervalo	10 %	19 %	10 %	50 %	12 %	0 %
	1	Mayor cambio de velocidad en intervalo	19 %	14 %	2 %	31 %	34 %	1 %
5	11	Gráfica de velocidad de gráfica de posición	3 %	19 %	9 %	65 %	4 %	0 %
	14	Gráfica de aceleración de gráfica de velocidad	2 %	69 %	5 %	14 %	10 %	0 %
	21	Gráfica de posición de gráfica de velocidad	5 %	66 %	2 %	15 %	11 %	1 %
	15	Gráfica de velocidad de gráfica de aceleración	55 %	2 %	11 %	7 %	25 %	0 %
6	8	Gráfica de posición: determinar movimiento particular	3 %	18 %	6 %	69 %	3 %	0 %
	3	Gráfica de posición: determinar movimiento velocidad constante	6 %	1 %	18 %	74 %	1 %	0 %
	24	Gráfica de velocidad: determinar movimiento aceleración constante	48 %	26 %	13 %	10 %	0 %	2 %
	17	Gráfica de velocidad: determinar posición que incrementa uniformemente	78 %	8 %	2 %	10 %	2 %	0 %
	25	Gráfica de aceleración: determinar velocidad que incrementa uniformemente	2 %	1 %	70 %	20 %	3 %	3 %
7	9	Aceleración positiva y constante: identificar gráfica de posición	8 %	18 %	15 %	6 %	52 %	1 %
	12	Velocidad constante: Identificar gráficas	6 %	65 %	7 %	9 %	13 %	0 %
	22	Aceleración constante: Identificar gráficas	8 %	8 %	65 %	12 %	7 %	0 %
	26	Velocidad que se incrementa uniformemente: identificar gráficas	2 %	68 %	4 %	14 %	10 %	2 %
	20	Aceleración que se incrementa uniformemente: identificar gráficas	1 %	18 %	64 %	10 %	7 %	0 %

teriormente se mencionaron los doce pares de ítems relacionados en la nueva versión del test. Estos ítems relacionados son: 5 y 7; 18 y 6; 13 y 2 (en los objetivos 1 y 2); 19 y 10; 4 y 16; 23 y 1 (en los objetivos 3 y 4); 11 y 14; 21 y 15 (en el objetivo 5); 3 y 24; 17 y 25 (en el objetivo 6); 12 y 22; 26 y 20 (en el objetivo 7).

Para detectar posibles diferencias significativas en la selección de la respuesta correcta en los ítems relacionados de esta manera se utilizó el test χ -cuadrada siguiendo el procedimiento descrito por Sheskin [26]. Siguiendo este procedimiento se detectó que en tres de estos doce pares de ítems relacionados existía una diferencia significativa en la sección de respuesta correcta (con $p < 0.01$ por la corrección de Bonferroni). A continuación, se describen estos tres pares de ítems en donde se encontró la diferencia significativa.

El primero es en los ítems 13 y 2 de los objetivos 1 y 2. Estos ítems piden identificar intervalo en el que una pendiente es más negativa. El porcentaje de respuesta correcta en

el ítem 2 donde se pregunta por la *aceleración* más negativa es significativamente menor al porcentaje en el ítem 13 en donde se pregunta por la *velocidad* más negativa (69 % versus 83 %). Al analizar los porcentajes obtenidos en estos dos ítems en todas las opciones múltiples (Tabla VI), se puede constatar que en el ítem 2 se dispara la selección de la opción incorrecta B (20 %) en donde se identifica un intervalo en donde la aceleración es negativa pero no es la más negativa. Esto último contribuye a la diferencia en los porcentajes de respuesta correcta en estos dos ítems.

El segundo par es en los ítems 23 y 1 de los objetivos 3 y 4. Estos ítems piden identificar el mayor cambio de una variable utilizando en el concepto de área bajo la curva. El porcentaje de respuesta correcta en el ítem 1 en donde se pregunta por el mayor *cambio de velocidad* es significativamente menor al porcentaje en el ítem 23 en donde se pregunta por el mayor *cambio de posición* (19 % versus 34 %). Si se examina los porcentajes obtenidos en estos dos ítems en todas las

opciones múltiples (Tabla VI), se observa que en el ítem 1 se dispara la selección de la opción incorrecta E. En el ítem 1 la selección de esta opción es 34 %, mientras que en el ítem 23 es sólo 15 %. Esto parece explicar la diferencia en los dos ítems. Los estudiantes que eligen este error parecen pensar en términos de pendiente en lugar de área bajo la curva ya que eligen la curva que tiene el mayor cambio de pendiente, ya que comienza en un valor alto positivo y termina en el mismo valor, pero negativo.

Por último, el tercer par es en los ítems 3 y 24 del objetivo 6. Estos ítems piden establecer un movimiento con una variable constante a partir de una gráfica. El porcentaje de respuesta en el ítem 3 en donde se pide establecer que un *movimiento es de aceleración constante* a partir de la gráfica de velocidad es significativamente menor que el porcentaje en el ítem 24 en donde se pide establecer que un movimiento es de velocidad constante a partir de la gráfica de posición (48 % versus 74 %). Si se analiza los porcentajes obtenidos en estos dos ítems en todas las opciones múltiples (Tabla VI), se observa que en el ítem 24 se dispara la selección de la opción incorrecta B (26 %) en donde se establece incorrectamente que el movimiento es de objeto con una aceleración que disminuye uniformemente, lo cual parece explicar la diferencia en los dos ítems.

5.4. Errores frecuentes

En esta subsección, se presenta un análisis general de los errores más frecuentes en los ítems: de los objetivos relacionados 1 y 2, de los objetivos relacionados 3 y 4, y de cada uno de los objetivos 5, 6 y 7. La Tabla VI muestra los siete objetivos del test, las descripciones de los ítems, y los resultados de cada opción de los ítems.

Los objetivos relacionados 1 y 2 evalúan el entendimiento del concepto de pendiente en gráficas de cinemática. El objetivo 1 evalúa la determinación de la velocidad en un punto a partir de la gráfica de posición, mientras que el objetivo 2, evalúa la determinación de la aceleración en un punto a partir de la gráfica de velocidad. Los objetivos 1 y 2 tienen dos ítems que evalúan la determinación, ya sea de un valor positivo o negativo, de una pendiente en un punto de una curva que no empieza en el origen (ver Tabla VI). Esta tabla muestra que para todos estos ítems el error más frecuente es obtener este valor dividiendo el valor de la abscisa, ya sea posición o velocidad, entre el valor del tiempo del punto del gráfico (ítem 5: opción D, ítem 18: opción D; ítem 7: opción C, ítem 6: opción A). Es importante señalar que en los ítems en los que la pendiente es negativa, los estudiantes agregan un signo negativo al valor obtenido. Por otra parte, estos objetivos tienen un tercer ítem que evalúa la identificación del intervalo en el que la pendiente es más negativa. En estos ítems se observa que el error más frecuente es elegir un intervalo en el que la pendiente es negativa pero no la más negativa (ítem 13: opción D, ítem 2: opción B).

Los objetivos relacionados 3 y 4 evalúan el entendimiento de los estudiantes del concepto de área bajo la curva en gráfi-

cas de cinemática. El objetivo 3 evalúa la determinación del cambio de posición de la gráfica de velocidad, y el objetivo 4 evalúa la determinación del cambio de velocidad de la gráfica de aceleración. Estos objetivos tienen un ítem que evalúa el establecimiento del procedimiento para determinar el cambio de una variable en un intervalo a partir del concepto de área bajo la curva, y un ítem que evalúa el cálculo de este valor (ver Tabla VI). Como se muestra en la tabla, el error más frecuente en estos ítems es pensar en términos de la pendiente de la curva en lugar del área bajo la curva (ítem 19: opción C, ítem 4: opción E, ítem 10: opción B, ítem 16: opción B). Estos objetivos tienen un tercer ítem que evalúa la identificación de la función que tiene el mayor cambio en un intervalo específico a partir de gráficas de la derivada de la función. En estos ítems encontramos un error con porcentaje de selección cercano al 30 %. En este error los estudiantes no eligen el gráfico con la mayor área bajo la curva en el intervalo, sino un gráfico con una curva que sus pendientes en el intervalo están siempre aumentando (ítem 23: opción D, ítem 1: opción D). En estos ítems los estudiantes parecen estar pensando en términos de pendiente como en los ítems anteriores de estos objetivos.

Los cuatro ítems del objetivo 5 evalúan la selección de la gráfica correspondiente a partir de otra gráfica. Como se muestra en la Tabla VI, dos ítems de este objetivo evalúan la selección de una gráfica correspondiente que implica “un paso hacia adelante” (ítems 11 y 14), y dos ítems evalúan la selección de una gráfica correspondiente que implica “un paso hacia atrás” (ítems 21 y 15). En estos ítems se observa un error con porcentaje de selección igual o mayor al 10 %. Este error corresponde a elegir una gráfica en el que los alumnos parecen entender la forma que debe tener la gráfica, pero tienen dificultades para relacionar los valores de las pendientes de la gráfica, eligiendo una relación opuesta a la correcta (ítem 11: opción B, ítem 14: opción E, ítem 21: opción D, ítem 15: opción E).

Los cinco ítems del objetivo 6 evalúan la selección de una descripción textual a partir de una gráfica. El ítem 8 (ver Tabla VI) evalúa el entendimiento de un caso particular: a partir de gráfica de posición determinar el movimiento específico de un objeto. Los estudiantes cometen el error más frecuente (opción B) de confusiones icónicas [1] e interpretan incorrectamente los gráficos como figura o imágenes. Por otra parte, dos ítems del objetivo (ítems 3 y 24) preguntan por una descripción textual de un movimiento con una variable constante, y otros dos ítems (ítems 17 y 25) preguntan por una descripción textual de un movimiento con una variable que incrementa uniformemente. Los errores más frecuentes de estos ítems están relacionados ya que los estudiantes atribuyen incorrectamente a la variable por la que se pregunta, las características de la variable que se muestra en las gráficas (ítem 3: opción C, ítem 24: opción B, ítem 17: opción D, ítem 25: opción D). Por ejemplo, en el ítem 3 se muestra una gráfica de *posición que aumenta uniformemente* y se debe elegir la opción en la que se establece que la *velocidad es constante*. El error más frecuente es elegir la respuesta incorrecta en

la que se establece que la *velocidad aumenta uniformemente* (opción C).

Por último, los cinco ítems del objetivo 7 evalúan la selección de gráficas a partir de la descripción textual de movimiento. El ítem 9 evalúa el entendimiento de un caso particular: identificar la gráfica de posición de un movimiento de aceleración positiva y constante. En el error más frecuente (opción B), los estudiantes eligen una gráfica en donde se muestra un movimiento con velocidad constante. Dos otros ítems de este objetivo evalúan la selección de las gráficas relacionadas a una descripción textual de un movimiento con una variable constante: *velocidad constante* en el ítem 12 y *aceleración constante* en el ítem 22. El error más frecuente en el ítem 12 (opción E) es seleccionar una opción que incluye las respuestas correctas de las gráficas de posición y velocidad relacionadas, pero que incluye incorrectamente en su respuesta una gráfica de aceleración que muestra una aceleración constante. El error más frecuente en el ítem 22 (opción D) es seleccionar la gráfica de aceleración que muestra una aceleración que incrementa uniformemente.

Por otra parte, los otros dos ítems de este objetivo evalúan la selección de las gráficas relacionadas a una descripción textual de un movimiento con una variable que incrementa uniformemente: *velocidad que se incrementa uniformemente* en el ítem 26 y *aceleración que se incrementa uniformemente* en el ítem 20. En el ítem 26, el error más frecuente (opción D) es seleccionar una opción que incluye la respuesta correcta de la gráfica de velocidad relacionada, pero que incluye incorrectamente en su respuesta una gráfica de posición que muestra una posición que incrementa uniformemente y una gráfica de aceleración que muestra una aceleración que también incrementa uniformemente. En el ítem 20, el error más frecuente (opción B) es seleccionar una opción que incluye la respuesta correcta de la gráfica de aceleración relacionada, pero que incluye incorrectamente en su respuesta una gráfica de velocidad que muestra una velocidad que incrementa uniformemente.

6. Recomendaciones para la instrucción de los conceptos evaluados en el test

Esta sección cubre el cuarto objetivo de este estudio: establecer recomendaciones específicas, basadas en los análisis previos, para la instrucción de los conceptos evaluados en el test. McDermott [27] señala que todo cambio curricular debe partir de una investigación del entendimiento de los estudiantes. El análisis del entendimiento conceptual de los estudiantes en el test, realizado en la sección anterior, cumple con este rol de investigación y permite establecer recomendaciones para la instrucción de estos conceptos. Al analizar la distribución de las calificaciones se notó que los estudiantes que están en el promedio de la distribución (15.51 de 26) tienen dificultades para contestar correctamente 10 de los 26 ítems del test. Los temas evaluados en el examen son conceptos que los estudiantes deberían haber adquirido en los primeros cursos de

matemáticas y ciencias a nivel universitario. Este resultado muestra la necesidad de modificar la instrucción para incrementar el entendimiento conceptual de los estudiantes de los conceptos de derivada e integral definida.

Por otra parte, se observó que cinco de los siete objetivos (1, 2, 5, 6 y 7) tienen un nivel similar de dificultad con porcentajes promedio entre 60 % y 68 %, y que los objetivos relacionados 3 y 4 tienen un nivel menor y similar con porcentajes promedio de 48 % y 45 % respectivamente. Esto muestra, que estos objetivos, que evalúan de manera específica el concepto de área bajo la curva en gráficas de cinemática, son más difíciles para los estudiantes. Una recomendación general de instrucción es centrarse específicamente en la enseñanza de las habilidades relacionadas con estos dos últimos objetivos. Relacionado con esto último, al analizar los porcentajes de respuesta correcta en cada uno de los ítems en la Tabla V, se observó que el par de ítems relacionado (ítems 23 y 1), de los objetivos 3 y 4, que evalúan la identificación del mayor cambio de una variable utilizando el concepto de área bajo la curva, son por mucho los ítems más difíciles de los test con porcentajes de respuesta correcta menores al 40 %. Es por esto que otra recomendación más específica de instrucción es centrarse en la enseñanza de las habilidades relacionadas con este par de ítems.

Además, en el análisis se detectó que en tres de estos doce pares de ítems relacionados existe una diferencia significativa en la sección de respuesta correcta. El primero es en los ítems 13 y 2 de los objetivos 1 y 2. El porcentaje de respuesta correcta en el ítem 2 donde se pregunta por la *aceleración* más negativa es significativamente menor al porcentaje en el ítem 13 en donde se pregunta por la *velocidad* más negativa. El segundo par es en los ítems 23 y 1 de los objetivos 3 y 4. El porcentaje de respuesta correcta en el ítem 1 en donde se pregunta por el mayor *cambio de velocidad* es significativamente menor al porcentaje en el ítem 23 en donde se pregunta por el mayor *cambio de posición*. El tercer par es en los ítems 3 y 24 del objetivo 6. El porcentaje de respuesta en el ítem 3 en donde se pide establecer que un *movimiento es de aceleración constante* a partir de la gráfica de velocidad es significativamente menor que el porcentaje en el ítem 24 en donde se pide establecer que un *movimiento es de velocidad constante* a partir de la gráfica de posición. Es interesante comparar estos resultados con los reportados en nuestro estudio previo [13] en donde presentamos el test en su versión en inglés y analizamos el desempeño en el test de estudiantes de un curso propedéutico universitario que cubre temas de un curso de física tradicional de preparatoria. En ese análisis detectamos seis pares de ítems relacionados en donde existían diferencias significativas en la selección de la respuesta correcta. Lo interesante a notar es que los tres pares de ítems en los que detectamos diferencias significativas en el presente estudio y analizamos anteriormente se repitieron en las dos poblaciones; es decir tanto en la del curso propedéutico universitario como en el curso de mecánica basado en cálculo. Se considera que esto muestra la persistencia de esta diferencia en el desempeño de estudiantes de diferentes niveles educativos

en estos ítems. Debido a esto, otra recomendación general de instrucción es centrarse específicamente en la enseñanza de las habilidades relacionadas con los ítems relacionados que evalúan el mismo concepto matemático, pero que en una variable de cinemática específica son más difíciles para los estudiantes.

Por último, McDermott [27] propone también que los errores conceptuales persistentes deben ser abordados explícitamente en la instrucción. En el artículo se identificó el error más frecuente para los ítems relacionados del examen. Los profesores universitarios de física pueden utilizar este catálogo de errores al planificar su instrucción para los conceptos evaluados en el test.

7. Conclusiones

El “Test of Understanding of Graphs in Kinematics (TUG-K)”, es el test de opciones múltiples más importante diseñado hasta la fecha para evaluar el entendimiento de estudiantes universitarios en gráficas de cinemática. En el presente estudio se presentó una modificación significativa de este test en español explicitando su proceso de rediseño. Se realizaron dos cambios principales en el test: añadir nuevos ítems, y añadir nuevos distractores en ítems originales que se conservaron. Los nuevos ítems fueron añadidos para cubrir dos puntos del test original que podían ser mejorados. El primer punto era la falta de paralelismo entre objetivos relacionados, y el segundo es el hecho de que algunos objetivos no evaluaban los cuatro posibles pasos de resolución de problemas

de gráficas de cinemática y carecían de paralelismo entre los ítems contenidos dentro de ellos. Por otra parte, la adición de nuevos distractores en ítems originales fue para cubrir un punto del test original que podía ser mejorado: el hecho de que en algunos ítems no estuvieran representadas algunas de las concepciones alternativas más frecuente dentro de los distractores.

Posteriormente a presentar la versión modificada y su proceso de rediseño, en el presente artículo se mostró que la versión modificada de este test en español es un instrumento de evaluación confiable con poder discriminatorio adecuado. Después se realizó un análisis detallado del entendimiento de estudiantes universitarios de los conceptos evaluados en el test: el concepto de pendiente y el concepto de área bajo la curva en gráficas de cinemática. Finalmente, se establecieron recomendaciones específicas para la instrucción de estos conceptos a nivel universitario.

El test presentado en el apéndice puede ser utilizado por investigadores del área de la enseñanza de la física, y por profesores que enseñan estos conceptos. El examen podría ser utilizado para analizar el entendimiento de los estudiantes de estos conceptos en diferentes instituciones, para investigar las ganancias de aprendizaje de los estudiantes y para probar la efectividad del nuevo material instruccional [2,28]. Además, las recomendaciones instruccionales establecidas en este artículo podrían ser consideradas por investigadores y profesores para diseñar nuevo material instruccional destinado a incrementar el entendimiento de los estudiantes de estos conceptos.

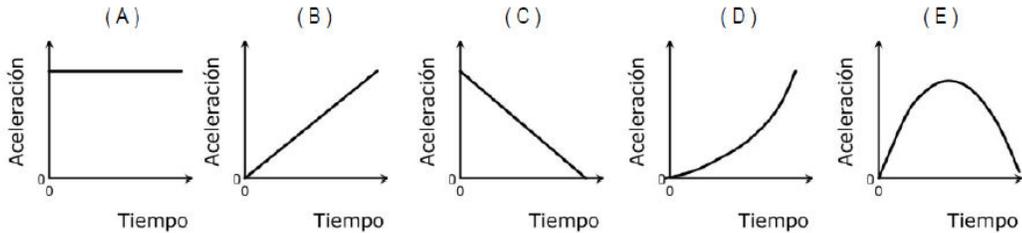
Apéndice

A.

Evaluación Diagnóstica de Cinemática

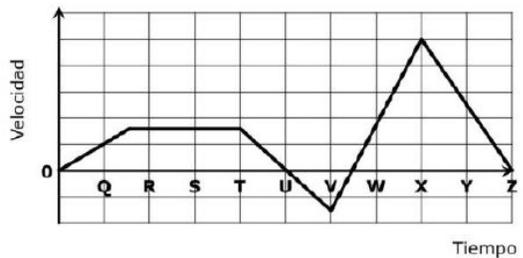
Observa que todas las gráficas en este cuestionario se refieren al movimiento de un objeto sobre una línea recta, es decir, en una sola dimensión.

1. Abajo se muestran gráficas de aceleración versus tiempo para cinco objetos. Todos los ejes tienen la misma escala. ¿Cuál de los objetos tuvo el mayor cambio de velocidad durante el intervalo?



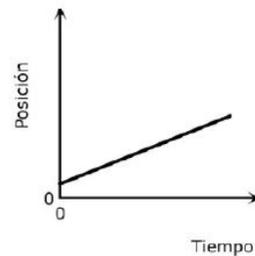
2. La siguiente figura muestra la gráfica de velocidad versus tiempo para un objeto. ¿Cuál de las siguientes opciones corresponde al caso cuando su aceleración es la más negativa?

- (A) Desde V hasta X.
- (B) Desde T hasta V.
- (C) En V.
- (D) En X.
- (E) Desde X hasta Z.



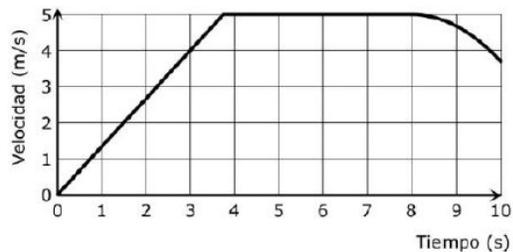
3. Se muestra la gráfica de posición versus tiempo del movimiento de un objeto. ¿Cuál frase es la mejor interpretación?

- (A) El objeto se mueve con una aceleración constante y distinta de cero.
- (B) El objeto no se mueve.
- (C) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a velocidad constante.
- (E) El objeto se mueve con una aceleración que aumenta uniformemente.



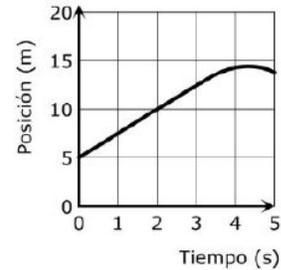
4. Un ascensor se mueve desde el sótano hasta el décimo piso de un edificio. La masa del ascensor es de 1000 kg y se mueve tal como se muestra en la gráfica de velocidad-tiempo de abajo. ¿Qué tanto se mueve durante los primeros tres segundos de movimiento?

- (A) 0.75 m
- (B) 1.33 m
- (C) 4.0 m
- (D) 6.0 m
- (E) 12.0 m



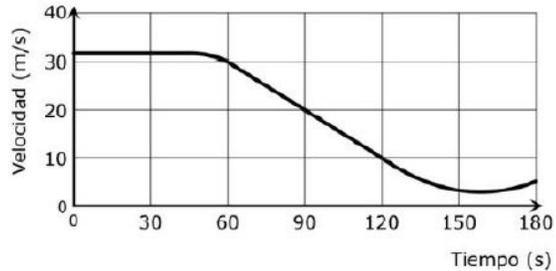
5. La siguiente figura muestra la gráfica de posición versus tiempo de un objeto. La velocidad del objeto en el instante $t = 2$ s es:

- (A) 0.5 m/s
- (B) 8.5 m/s
- (C) 2.5 m/s
- (D) 5.0 m/s
- (E) 10.0 m/s



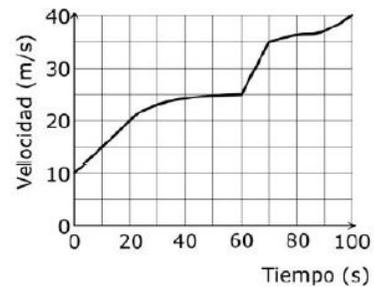
6. La gráfica muestra la velocidad como una función del tiempo para un automóvil de masa 1.5×10^3 kg. ¿Cuál era su aceleración a los 90 s?

- (A) -0.22 m/s^2
- (B) -0.33 m/s^2
- (C) -1.0 m/s^2
- (D) -2.0 m/s^2
- (E) 20 m/s^2

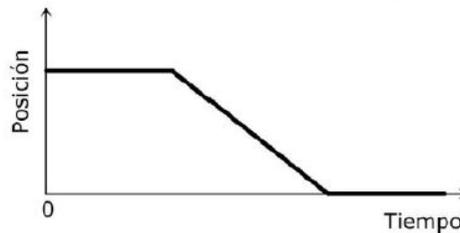


7. La gráfica muestra la velocidad como función del tiempo para un objeto que se mueve en línea recta. En $t = 65$ s, la aceleración instantánea del objeto era aproximadamente:

- (A) 1.0 m/s^2
- (B) 2.0 m/s^2
- (C) 0.46 m/s^2
- (D) 30 m/s^2
- (E) 34 m/s^2

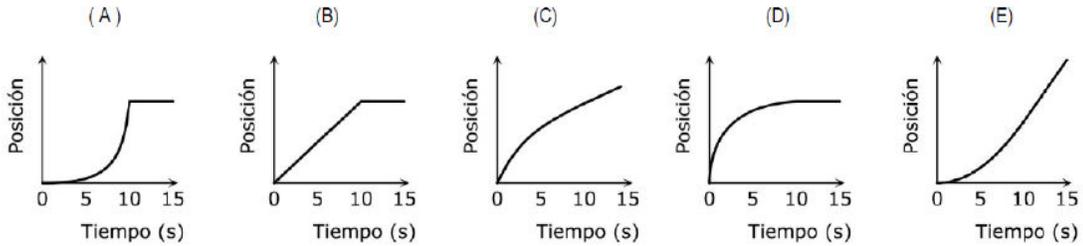


8. La siguiente gráfica muestra la gráfica de posición versus tiempo del movimiento de un objeto. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la interpretación correcta?

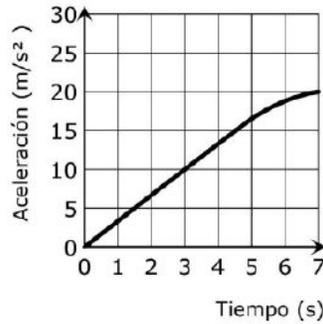


- (A) El objeto rueda sobre una superficie horizontal, después cae rodando por una pendiente y finalmente se para.
- (B) El objeto no se mueve al principio, después cae rodando por una pendiente y finalmente se para.
- (C) El objeto se mueve a velocidad constante, después frena hasta que se para.
- (D) El objeto no se mueve al principio, después se mueve hacia atrás y finalmente se para.
- (E) El objeto se mueve sobre una superficie horizontal, luego se mueve hacia atrás por una pendiente y después sigue moviéndose.

9. Un objeto parte del reposo y se mueve con una aceleración positiva y constante durante 10 segundos, después continúa con velocidad constante. ¿Cuál de las siguientes gráficas describe correctamente dicha situación?

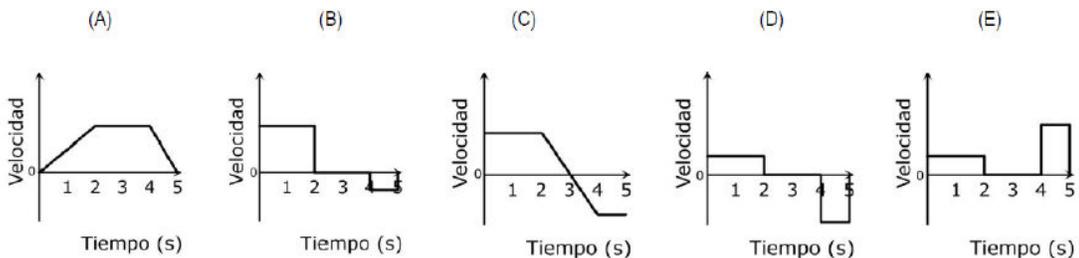
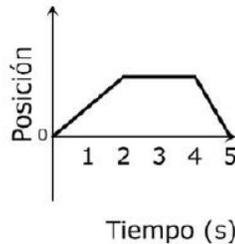


10. La siguiente es una gráfica de aceleración versus tiempo de un objeto. Si quisieras utilizar la gráfica para conocer el cambio de velocidad del objeto durante el intervalo de $t = 0$ a $t = 3$ s, ¿qué deberías hacer?

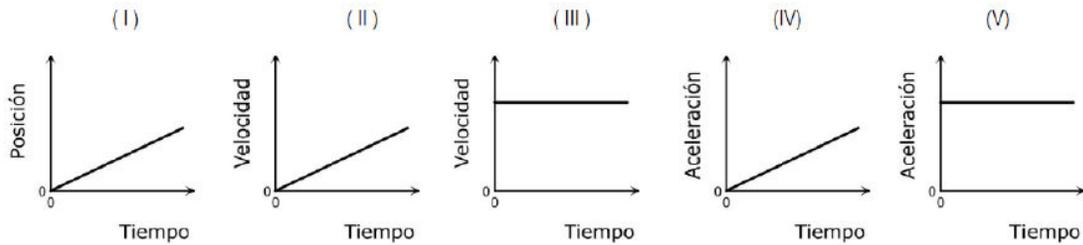


- (A) Encontrar el área que abarca el segmento de línea y el eje del tiempo calculando $(10 \times 3)/2$.
- (B) Encontrar la pendiente del segmento de recta dividiendo 10 entre 3.
- (C) Leer 10 directamente del eje vertical.
- (D) Hallar el valor dividiendo 3 entre 10.
- (E) Encontrar el valor multiplicando 10 por 3.

11. La figura de abajo representa la posición versus tiempo del movimiento de un objeto durante un intervalo de 5 s. ¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad versus tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante el mismo intervalo?



12.- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:

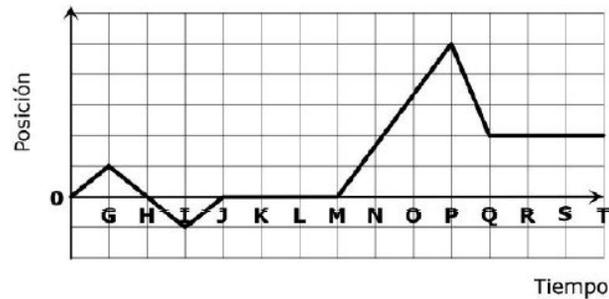


¿Cuál(es) de ellas representa(n) un movimiento a velocidad constante?

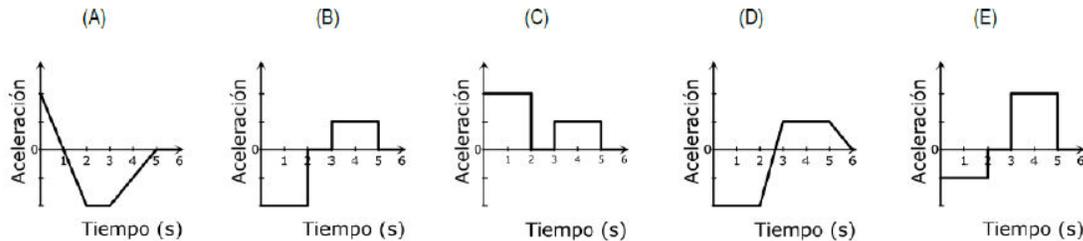
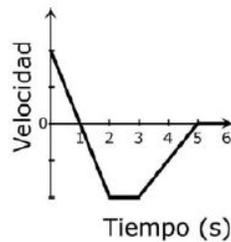
- (A) I, II y IV
- (B) I y III
- (C) Sólo III
- (D) III y V
- (E) I, III y V

13. La gráfica muestra la posición versus tiempo de un objeto que se mueve en línea recta. ¿Cuál de las siguientes opciones corresponde al caso cuando su velocidad es la más negativa?

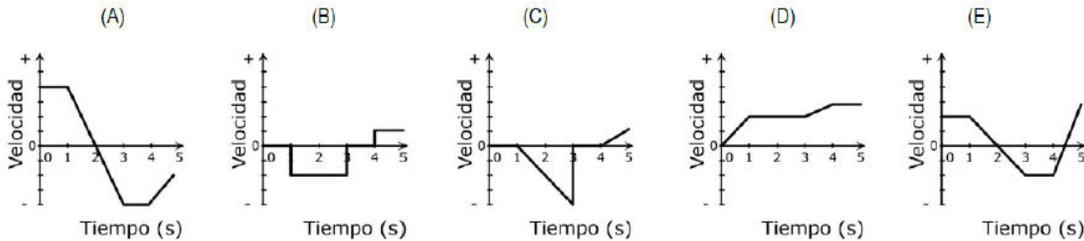
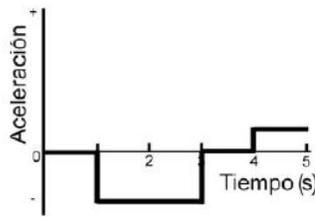
- A) De P a Q
- B) En I
- C) De M a P
- D) De G a I
- E) En P



14. La figura de abajo representa la gráfica de velocidad versus tiempo para el movimiento de un objeto durante un intervalo de 6 s. ¿Cuál de las siguientes gráficas de aceleración versus tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante el mismo intervalo?

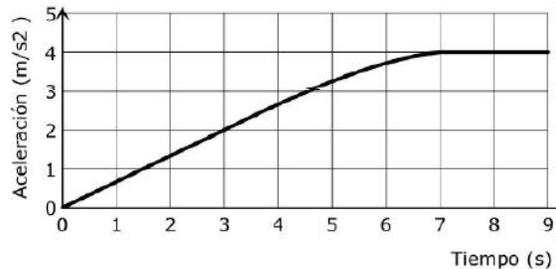


15. La gráfica de abajo representa la aceleración de un objeto en un intervalo de 5 s. ¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad versus tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante el mismo intervalo?

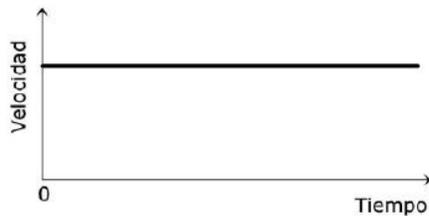


16. Un objeto se mueve de acuerdo a la gráfica de aceleración versus tiempo de abajo. El cambio de velocidad del objeto durante los primeros tres segundos de movimiento fue:

- (A) 1.5 m/s.
- (B) 0.67 m/s.
- (C) 2.0 m/s.
- (D) 3.0 m/s.
- (E) 6.0 m/s.



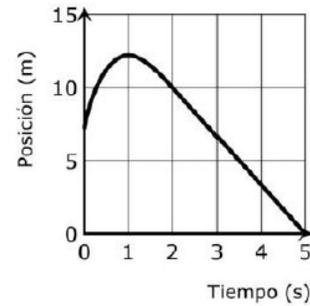
17. La gráfica muestra la velocidad de un objeto que se mueve en una línea recta. ¿Cuál de las siguientes frases es la mejor interpretación?



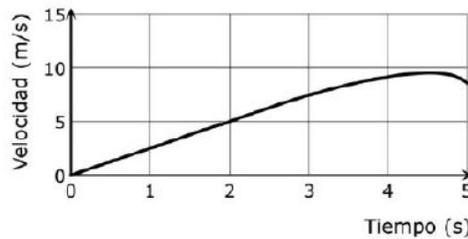
- (A) El objeto se mueve incrementando su posición uniformemente.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (D) El objeto se mueve con aceleración constante diferente de cero.
- (E) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.

18. La figura muestra la posición como función del tiempo para un objeto. La velocidad del objeto en $t = 3$ s es aproximadamente:

- (A) -3.3 m/s.
- (B) -2.0 m/s.
- (C) -0.67 m/s.
- (D) -2.3 m/s.
- (E) 7.0 m/s.

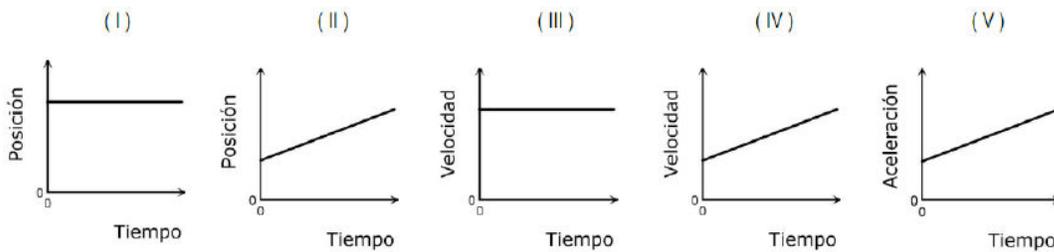


19. La gráfica representa la gráfica de velocidad versus tiempo de un objeto. Si quisieras conocer el cambio de posición del objeto durante el intervalo de $t = 0$ s a $t = 2$ s, de la gráfica deberías:



- (A) Leer directamente 5 del valor de la ordenada en el eje vertical.
- (B) Encontrar el área que abarca el segmento de línea y el eje del tiempo calculando $(5 \times 2)/2$.
- (C) Hallar la pendiente del segmento de línea dividiendo 5 entre 2.
- (D) Encontrar el valor de la distancia multiplicando 5 por 2.
- (E) Hallar el valor dividiendo 2 entre 5.

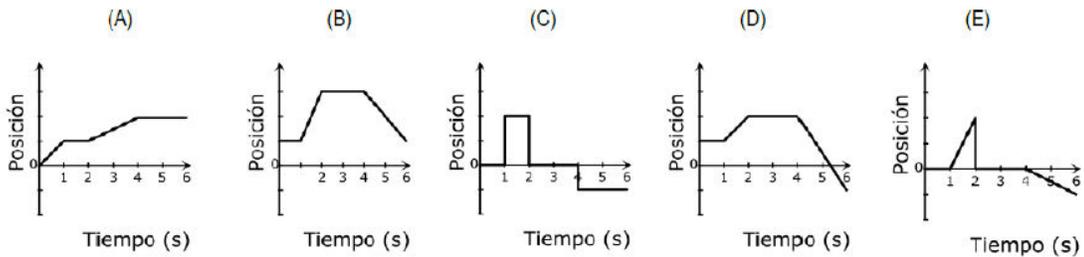
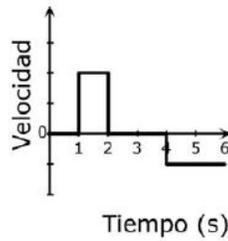
20. Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



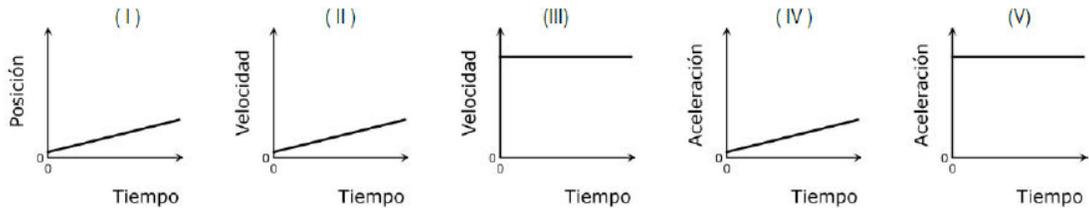
¿Cuál(es) de ellas representa(n) el movimiento de un objeto en que su aceleración se incrementa uniformemente?

- (A) II y III
- (B) IV y V
- (C) Sólo V
- (D) II, IV y V
- (E) Sólo IV

21. La gráfica de abajo representa la velocidad de un objeto durante un intervalo de 6 s. ¿Cuál de las siguientes gráficas de posición versus tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante el mismo intervalo?



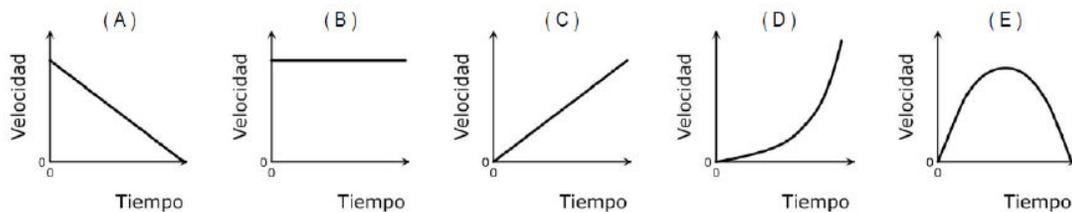
22. Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



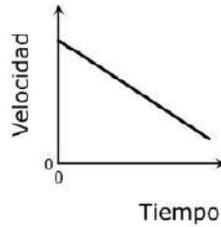
¿Cuál(es) de ellas representa(n) el movimiento de un objeto con aceleración constante diferente de cero?

- (A) I, II y IV
- (B) Sólo V
- (C) II y V
- (D) Sólo IV
- (E) III y V

23. Abajo se muestran gráficas de velocidad versus tiempo para cinco objetos. Todos los ejes tienen la misma escala. ¿Cuál objeto tiene el mayor desplazamiento durante el intervalo?

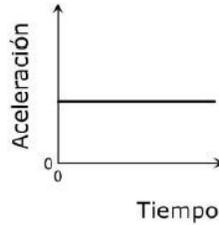


24. La gráfica representa la velocidad del movimiento de un objeto. ¿Cuál de las siguientes frases es la mejor interpretación?



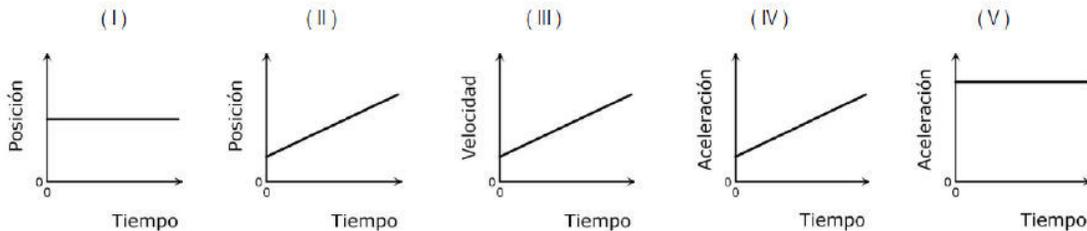
- (A) El objeto se mueve con una aceleración constante.
- (B) El objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente.
- (C) La posición del objeto disminuye uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a una velocidad constante.
- (E) El objeto no se mueve.

25. La gráfica representa la aceleración como función del tiempo para un objeto en movimiento. ¿Cuál de las siguientes frases es la mejor interpretación?



- (A) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (B) El objeto no se mueve.
- (C) El objeto se mueve incrementando su velocidad uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a velocidad constante.
- (E) La posición del objeto se incrementa uniformemente.

26. Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



¿Cuál(es) de ellas representa(n) el movimiento de un objeto con una velocidad que se incrementa uniformemente?

- (A) Sólo II
- (B) III y V
- (C) Sólo IV
- (D) II, III y IV
- (E) Sólo III

1. R. Beichner, *American Journal of Physics* **62** (1994) 750.
2. E. Redish, *American Journal of Physics* **67**(1999) 562.
3. L. Ding, R. Chabay, B. Sherwood y R. Beichner, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **2** (2006) 010105-1.
4. P. Barniol y G. Zavala, *Rev. Mex. Fis. E* **60** (2014) 86.
5. P. Barniol y G. Zavala, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **10** (2014) 020115-1.
6. D. Hestenes, M. Wells y G. Swackhamer, *Physics Teachers* **30** (1992) 141.
7. R. Thornton y D. Sokoloff, *American Journal of Physics* **66** (1998) 338.
8. C. Singh y D. Rosengrant, *American Journal of Physics* **71** (2003) 607.
9. D. Maloney, T. O’Kuma, C. Hieggelke y A. Van Heuvelen, *American Journal of Physics* **69** (2001) S12.
10. N. Chanpichai y P. Wattanakasiwich, *AIP Conference Proceedings* **1263** (2010) 212.
11. S. Tejada Torres y H. Alarcon, *Latin American Journal of Physics Education* **6** (2012) 285.
12. A. Maries y C. Singh, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **9** (2013) 020120.
13. G. Zavala, S. Tejada, P. Barniol y R.J. Beichner, *Physical Review Physics Education Research* **13** (2017).
14. R. Lindell y L. Ding, *AIP Conference Proceedings* **1513** (2013) 27.
15. L. C. McDermott, M. L. Rosenquist y E. H. Van Zee, *American Journal of Physics* **55** (1987) 503.
16. J. Benegas, M. Pérez de Landazábal y J. Otero, *Rev. Mex. Fis. E* **56** (2010), 12.
17. M. Planinic, Z. Milin-Sipus, H. Katic, A. Susac y L. Ivanjek, *International Journal of Science and Mathematics Education* **10** (2012), 1393.
18. M. Planinic, L. Ivanjek, A. Susac y Z. Milin-Sipus, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **9** (2013).
19. L. Ivanjek, A. Susac, M. Planinic, A. Andrasevic y Z. Milin-Sipus, *Physical Review Physics Education Research* **12** (2016) 010106.
20. C. Watson y V. Brathwaite, *International Conference on e-Learning* (2013).
21. B. Bektasli y A. L. White, *Eurasian Journal of Educational Research* **48** (2012) 1.
22. R. A. Serway y J. W. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería* (Cengage Learning, México, 2008).
23. L. C. McDermott y P. Shaffer, *Tutoriales para física introductoria* (Pearson Education, Argentina, 2001).
24. P. Kline, *A handbook of test construction* (Methuen & Co. Ltd, Inglaterra, 1986).
25. R. P. McDonald, *Test Theory: A unified treatment* (Routledge, Estados Unidos, 2013).
26. D. J. Sheskin, *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures* (Chapman and Hall/CRC, Estados Unidos, 2007).
27. L. C. McDermott, *American Journal of Physics* **69** (2001) 1127.
28. R. R. Hake, *American Journal of Physics* **66** (1998) 64.