

Vol. 19, Núm. 4, 2017

## Test conceptual de Física cuántica para estudiantes de ingeniería

### A Conceptual Test in Quantum Physics for Engineering Students

Raúl Ortiz Pérez (\*) [rortiz82@yahoo.com](mailto:rortiz82@yahoo.com)

(\*) Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz"  
(Recibido: 27 de marzo de 2016; Aceptado para su publicación: 7 de mayo de 2016)

**Cómo citar:** Ortiz, R. (2017). Test conceptual de Física Cuántica para estudiantes de ingeniería. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 19(4), 35-49. <https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.4.1318>

#### Resumen

El objetivo de este trabajo fue elaborar un test que revele adecuados niveles de validez y confiabilidad al evaluar el aprendizaje conceptual esencial de la Física cuántica introductoria que logran los estudiantes de ingeniería en Cuba. Para evaluar la validez de contenido del test se empleó un panel de especialistas y tras aplicar el instrumento a una muestra de estudiantes de ingeniería, se realizó la caracterización psicométrica del mismo, que incluyó la determinación de índices de dificultad, discriminación y fiabilidad; se ejecutó también una prueba de validez de constructo utilizando el análisis factorial. Los resultados revelaron que el test conformado (QPCT-UC-1.1) cumple con los niveles de validez y confiabilidad exigidos para este tipo de instrumento, por lo que resulta útil para la enseñanza y la investigación educativa relacionada con la Física cuántica introductoria en contextos socioculturales similares al estudiado.

**Palabras clave:** Test conceptual, Física cuántica, propiedades psicométricas, análisis factorial.

#### Abstract

The aim of this study was to devise a test with suitable levels of validity and reliability to assess conceptual learning of introductory quantum physics in engineering students in Cuba. A panel of specialists was used to assess the validity of the content of the test, and after the instrument was administered to a sample of engineering students, the psychometric properties of the test were determined, including difficulty, discrimination and reliability indices; a construct validity test was also performed, using factor analysis. The results showed that the test devised (QPCT-UC-1.1) fulfills the levels of validity and reliability required for this kind of instrument, and it is therefore useful in teaching and educational research associated with introductory quantum physics in sociocultural contexts similar to that of the study.

**Keywords:** Quantum physics conceptual surveys, psychometric properties, factor analysis.

## I. Introducción

Los estudios sobre instrumentos en forma de test o cuestionarios que posibiliten la evaluación objetiva y en ocasiones hasta estandarizada del aprendizaje (fundamentalmente conceptual) logrado por los alumnos que reciben cursos de Física, desde la aparición del trabajo de Hestenes (1992), que constituyó un hito en este ámbito, han sido de considerable interés para una amplia gama de profesores que se empeñan en el perfeccionamiento de la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina (Adams et al., 2006; Beichner, 1994; Ding, Chabay, Sherwood y Beichner, 2006; Engelhardt y Beichner, 2004; Hake, 1998; Hill Sharma, O'Byrne y Airey, 2014; Maloney, O'Kuma, Hieggelke y Van Heuvelen, 2001; Redish, 2003; Redish, Saul y Steinberg, 1998; Singh y Rosengrant, 2003; Thornton y Sokoloff, 1998).

Entre las áreas del contenido académico de la Física que desde la anterior perspectiva han sido más investigadas se encuentran la Mecánica (Beichner, 1994; Singh y Rosengrant, 2003; Thornton y Sokoloff, 1998) y el Electromagnetismo (Ding et al., 2006; Engelhardt y Beichner, 2004; Maloney et al., 2001). El área de la Física cuántica (o Física moderna) ha sido la menos estudiada en este sentido.

Knight (2003) ha planteado que el conocimiento sobre Física aprendido por los estudiantes es clasificable en tres tipos fundamentales: factual, conceptual y procedimental. Otros investigadores (Bacon y Stewart, 2006; Conway, Cohen y Stanhope, 1992) afirman que el factual no se conserva más allá de un año luego de culminar el curso que se tomó; mientras que investigaciones basadas en tests conceptuales de Física (Francis, Adams y Noonam, 1998; Kohlmyer et al., 2009; McDermoth, Shaffer y Constantinon, 2000; Pollock, 2009) defienden que la durabilidad del conocimiento conceptual aprendido resulta mayor que la del factual. El estudio de Deslauriers y Wieman (2011), apoyado en un test rigurosamente validado, arrojó que los conceptos de Mecánica cuántica aprendidos por estudiantes se muestran prácticamente iguales al cabo de año y medio de culminado el curso; a la vez que se constató que dicho resultado es casi insensible al método de enseñanza usado.

El instrumento sobre visualización de la Mecánica cuántica desarrollado por Cataloglu y Robinett (2002) y retomado por Robinett (2004), cuenta con una formulación rigurosa, pero tiene la limitante de resultar muy complejo para el estudiante universitario con rendimiento promedio, pues la mayor parte de sus preguntas se corresponden con aspectos de la Mecánica cuántica que se imparte en cursos que no son de nivel introductorio (*junior-level*), sino de niveles avanzados (*senior o graduate-level*).

El instrumento reportado por Singh (2008) sí va dirigido a evaluar el aprendizaje acerca de los procesos cuánticos que logran estudiantes del nivel inicial de ciertas carreras, pero las principales limitaciones de este trabajo son: a) abarca mayoritariamente el tratamiento de la Mecánica cuántica a través de la formalización de Schrödinger, aspecto que sólo constituye una parte de los cursos de Física cuántica de nivel introductorio que típicamente reciben los estudiantes universitarios de ingeniería, y b) hace uso de preguntas abiertas, que en general resultan valiosas pero no convenientes para conformar medios de evaluación que se pretende convertir en instrumentos tipificados en cuanto a interpretación y calificación.

El test conceptual sobre Física cuántica de Wuttiptom (2009), aunque de valor, revela como principal limitación que abarca un área de contenidos académicos relativamente estrecha, pues evalúa sólo los conceptos relacionados con el efecto fotoeléctrico y con la dualidad corpuscular-ondulatoria de la materia.

El más satisfactorio de los tests revisados es el de McKagan (2010), un test conceptual sobre Mecánica cuántica con una composición temática amplia que ha sido aplicado tanto a estudiantes de ingeniería como a alumnos de la carrera de Física que han recibido cursos de Física moderna de nivel introductorio en la Universidad de Colorado, y ha mostrado buenos resultados en los análisis psicométricos que se le han realizado. No obstante, dadas las diferencias que imponen los diversos contextos socioculturales (profesores, estudiantes, recursos tecnológicos, etc.), así como los aspectos de idioma y comunicación propios del instrumento evaluativo empleado, en ese trabajo se destaca la conveniencia de que se repitan investigaciones análogas en otros contextos, eso motivó en parte el presente trabajo.

Teniendo en cuenta el análisis precedente, se consideró que no se había reportado aún el estudio de algún instrumento lo suficientemente adecuado para la evaluación del aprendizaje conceptual logrado por los estudiantes al término de cursos de Física cuántica de nivel introductorio que típicamente reciben los estudiantes de ingeniería en países latinoamericanos. Lo impartido en dichos cursos no equivale al que generalmente lleva el nombre de Física moderna (donde se incluye el estudio de la Teoría Especial de la Relatividad), ni tampoco a un curso formalizado de Mecánica cuántica (con su lenguaje de operadores, etc.). Un curso de Física cuántica de nivel introductorio incluye los experimentos y conceptos que constituyeron la génesis de la actual Física cuántica, así como las ideas más generales o conceptos que subyacen a la Mecánica cuántica formalizada con las aportaciones de Schrödinger y Born (y no contempla correcciones relativistas, como las manejadas por Dirac para los electrones); con estos recursos los estudiantes pueden lograr un tratamiento preciso de muchos fenómenos de la escala atómica y subatómica que subyacen al saber actual en ingeniería.

Partiendo de lo anterior, el objetivo central de este estudio fue elaborar un test que revele adecuados niveles de validez y confiabilidad al evaluar el aprendizaje conceptual esencial de la Física cuántica introductoria en estudiantes que cursan carreras de ingeniería en un país hispanoamericano, como lo es Cuba. Desde la perspectiva metodológica de la elaboración de tests, entre las cualidades más importantes que deben caracterizar a un instrumento de evaluación para emplearse en investigaciones como las educacionales, se encuentran sus propiedades psicométricas, expresadas a través de adecuados niveles de validez y confiabilidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Entre los tipos fundamentales de validez (medir realmente lo pretendido) se encuentran: a) validez de contenido (refleja si el instrumento abarca suficientes elementos del asunto que pretende evaluar), y b) validez de constructo (expresa la correspondencia entre la estructura de conceptos y relaciones que maneja el instrumento analizado y sus análogos en el marco teórico de la ciencia de respaldo). Por otro lado, la confiabilidad (o fiabilidad) de un instrumento caracteriza la estabilidad y precisión de los resultados al aplicarlo en muestras equivalentes, y entre las principales formas de evaluarla se encuentran: a) correlación entre los ítems y los puntajes globales en el instrumento, y b) correlación entre todos los ítems.

Para estimar la validez y la confiabilidad del instrumento elaborado en esta investigación se emplearon técnicas y criterios provenientes de la llamada Teoría Clásica de los Tests, que cuenta con un alto nivel de aceptación internacional (Arnau, 2011; Ding et al., 2006; Godino, et al., 2015; Kline, 1986; Marín y Benarroch, 2010; McKagan, 2010; Montero et al., 2015; Ornelas, Gastélum, Blanco y Peinado, 2014; Venter, 2006; Vilanova, García y Señorino, 2007; Wittiprom, 2009).

## II. Método

El enfoque investigativo aplicado fue de tipo transversal y descriptivo, y el accionar práctico se compuso de dos etapas fundamentales: a) la de conformación inicial del instrumento pretendido, con estimación de validez de contenido; y b) la de valoración de las principales características psicométricas reveladas por la aplicación del instrumento a la muestra elegida de estudiantes de ingeniería, con estimación de discriminación, de confiabilidad y de validez de constructo, sustentada esta última en el uso de análisis factorial exploratorio. Se utilizó el programa estadístico SPSS v.18.

En calidad de especialistas participaron nueve profesores vinculados a la enseñanza de la Física para ingeniería, cinco procedentes de la Universidad de Camagüey (UC) y el resto de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), de México, con la cual la UC ha mantenido vínculos de intercambio académico y científico durante más de 20 años.

La muestra generadora de datos se compuso de 456 estudiantes de cuatro carreras de ingeniería. El 57% de la muestra representó al sector masculino, y la edad promedio en 19 años. El test se aplicó en la última semana lectiva del curso de Física. El 98% de los participantes completó el test en un tiempo no superior al previsto (30 minutos).

Los instrumentos de evaluación publicados elegidos como referentes del test a elaborar fueron el de Wuttiptom (2009) y McKagan (2010). La versión publicada en inglés de estos instrumentos fue traducida al español por un profesional. Analizamos ambos instrumentos y relacionamos los temas y preguntas con los aspectos identificados previamente como constituyentes de un aprendizaje conceptual esencial de la Física cuántica introductoria que se imparte en el contexto de interés (Cuba). Estos criterios fueron obtenidos a través de la revisión de sílabos establecidos para cursos de Física cuántica para ingeniería en Cuba, México, República Dominicana y Panamá, entre otros; y del análisis de libros utilizados por los estudiantes de los países citados (Goldin y Nóvikova, 1990; Halliday, 1992; Savéliev, 1984; Sears, Zemansky, Young y Freedman, 1996; Serway y Beichner, 1993).

También se consideraron importantes aspectos incluidos en trabajos publicados sobre la comprensión conceptual de la Física cuántica de nivel universitario, tales como: a) relación entre la amplitud y la longitud de onda de la función de Schrödinger, según el tipo de función de energía potencial existente (Ambrose, 1999; Bao, 1999; Sadaghiani, 2005); b) comportamiento energético de las ondas que experimentan el llamado efecto túnel cuántico (Falk, 2004; Morgan, Wittmann y Thompson, 2003); c) controversias epistemológicas relevantes sobre la Mecánica cuántica, que aún en la actualidad se manifiestan (Morones, 2005), y d) dificultades sobre fenómenos cuánticos que se presentan en libros y profesores del nivel educativo del bachillerato (Sinarcas y Solbes, 2013).

El análisis condujo a que el presente trabajo concluyera que el aprendizaje conceptual esencial de la Física cuántica introductoria que deben alcanzar los estudiantes de ingeniería en latinoamérica, y que constituye la variable central que intenta evaluar el test conformado, equivale al dominio por parte de los estudiantes del sistema conceptual de las temáticas siguientes: a) Efecto fotoeléctrico, b) Modelo atómico de Bohr, c) Longitud de onda de De Broglie, d) Relaciones de Heisenberg, y e) Elementos claves de la Mecánica cuántica básica según el formalismo de Schrödinger. Por su riqueza y trascendencia estos contenidos propician en alta medida el aprendizaje pretendido y, por tanto, se toman como fuentes para generar los ítems del test a conformar. Cabe destacar que estas temáticas también fueron utilizadas en al menos uno de los tests que constituyen los más cercanos antecedentes del presente trabajo (McKagan, 2010; Wuttiptom, 2009).

La primera versión del test, conformado por ítems dicotómicos de cuatro opciones de respuesta –y etiquetada como QPCT-UC-1.0– se sometió al análisis del equipo de profesores experimentados en Física. El coeficiente de concordancia de Kendall para la valoración que ellos hicieron de cada ítem tuvo un valor mínimo de 0.86. Esto condujo a una versión del test compuesto por 11 ítems (dos de Efecto fotoeléctrico, dos del Modelo de Bohr, dos sobre Longitud de onda de De Broglie, dos de Relaciones de Heisenberg y, tres sobre Elementos clave de la Mecánica cuántica básica según el formalismo de Schrödinger). Se sometió entonces el test a una prueba de comprensión por parte de seis estudiantes de ingeniería que recién habían aprobado la materia de Física cuántica (tres con altas calificaciones y tres con bajas). En las entrevistas individuales no surgió nada que hiciera cambiar la versión del test. Esta versión del test se etiquetó como QPCT-UC-1.1 (ver Anexo I) y se consideró que el proceso anterior, de consulta a profesores y estudiantes, es un satisfactorio respaldo a la validez de contenido del test diseñado.

### III. Resultados

El índice de dificultad ( $p$ ) calculado para cada uno de los ítems del test, y concebido como la proporción de respuestas acertadas que se produce en cada uno de ellos, se presenta en la figura 1.

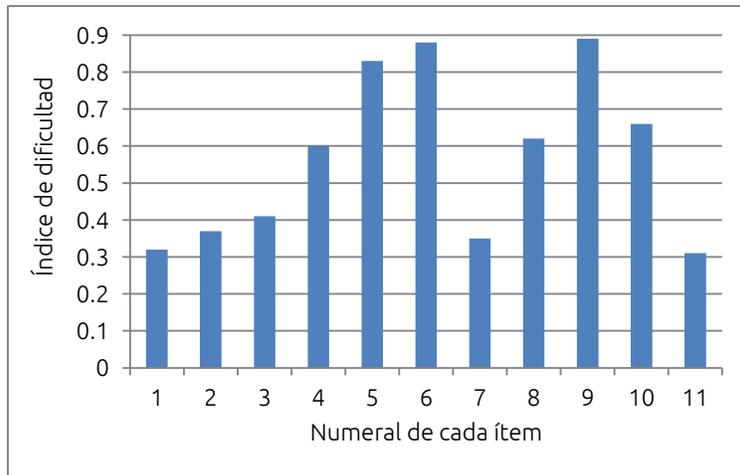


Figura 1. Perfil de los índices de dificultad de los ítems del test

El índice de discriminación ( $d$ ) para cada uno de los ítems del test, entendido como la capacidad de cada reactivo de distinguir entre los estudiantes bien y mal preparados en el asunto que evalúa, se presenta en la figura 2, donde vale aclarar que los cálculos se realizaron con el 25% de la muestra, tanto del lado de las calificaciones más altas en el test, como del de las más bajas.

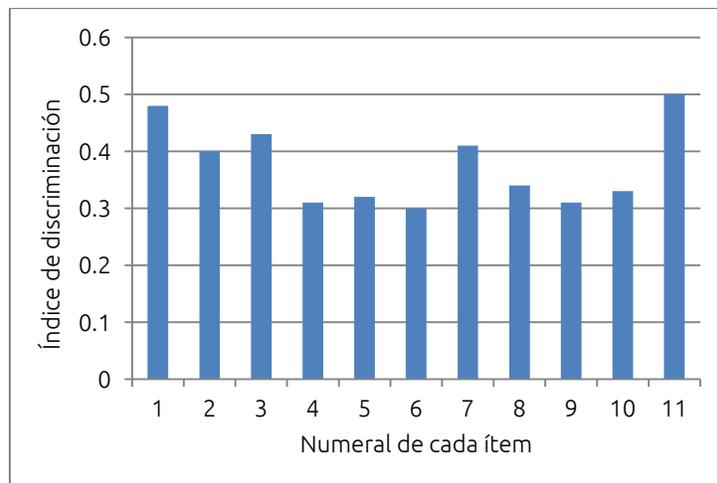


Figura 2. Perfil de los índices de discriminación de los ítems del test

El coeficiente puntual biserial (RPBS) para cada uno de los ítems del test, considerado como una medida de homogeneidad obtenida por correlación entre los puntajes que arroja el ítem y los puntajes totales que arroja el test, se presenta en la figura 3.

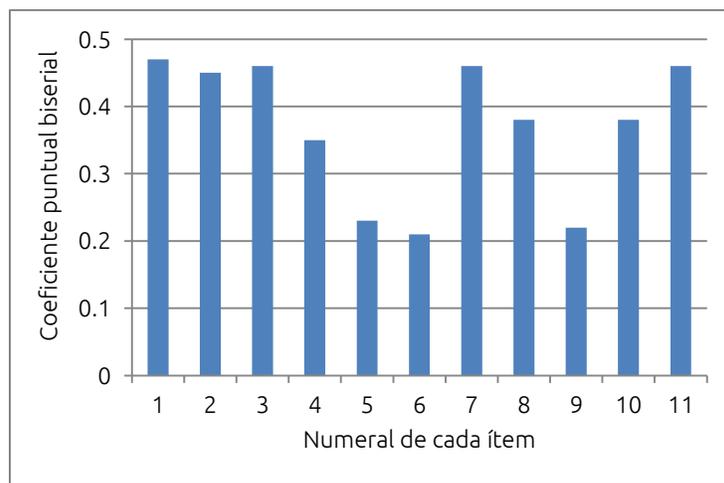


Figura 3. Perfil de los coeficientes de punto biserial de los ítems del test

Después se realizaron los cálculos de los dos índices siguientes: la delta de Ferguson ( $\delta$ ), concebida como expresión del poder discriminatorio que reporta el puntaje total del test al ser respondido por estudiantes bien y mal preparados, reportó un valor de 0.94; y el alfa de Cronbach, medida de fiabilidad del test obtenido a partir del grado de consistencia interna que se revela por vía de la correlación entre componentes del test, reportó un valor de 0.89.

Para valorar la unidimensionalidad del constructo medido a través de los ítems del test se ejecutó un análisis factorial exploratorio. La viabilidad que presentaban los datos para ejecutar tal análisis factorial se juzgó inicialmente. El índice de Kaiser-Meyer-Olkin ( $\kappa_{MO}$ ) reportó 0.788 y la esfericidad de Bartlett arrojó 0.001, por lo que se consideró viable el referido análisis.

Como técnica de extracción de factores se empleó la de Componentes Principales y para decidir el número de componentes a retener se manejaron los siguientes criterios: a) Kaiser (autovalores superiores a 1); b) gráfico de sedimentación de Cattell (factores previos al cambio apreciable de inflexión de la pendiente); c) valores de las cargas con que los ítems o variables analizadas saturan en los factores, y d) valor del porcentaje acumulado de la varianza explicada. En la tabla I se muestran las cargas factoriales de los ítems en el primer y único factor que se retuvo, por lograrse con él todos los requisitos antes mencionados, incluyendo que las cargas citadas resultaran superiores a 0.3 y, además, que se produjera un acumulado de varianza explicada del 41.43%.

Tabla I. Cargas factoriales de los ítems en el factor retenido

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Carga fact.	.52	.49	.41	.55	.54	.50	.62	.74	.57	.67	.64

Los resultados anteriores condujeron a reconocer la existencia de una sola dimensión subyacente; o sea, que todos los reactivos tributan a la evaluación de un constructo global que –según se argumentó inicialmente– es el aprendizaje conceptual esencial de la Física cuántica introductoria a lograr por estudiantes de ingeniería del ámbito hispanoamericano, como es el caso de los cubanos. La unidimensionalidad detectada hizo innecesario el uso de la técnica de rotación de factores.

## IV. Discusión y conclusiones

Por cuanto el test conformado en esta investigación utiliza parcialmente elementos relacionados con dos importantes antecedentes publicados (McKagan, 2010; Wuttiptom, 2009), se considera oportuno comparar aspectos afines manejados por estos tres instrumentos, como se presenta a continuación.

Atendiendo al índice de dificultad de cada reactivo, en el QPCT-UC-1.1 se obtiene que lo más complicado para los estudiantes es el tema de Efecto Fotoeléctrico, con un promedio en sus preguntas de 0.34; mientras que lo más simple para ellos es lo relacionado con la Longitud de onda de De Broglie, con promedio en esas preguntas de 0.86. Estos resultados resultan satisfactorios, ya que como es comprensible, en cualquier test los valores de este índice no deben quedar muy cercanos ni a 0 ni a 1 y, además, según lo recomendado,  $P$  debe estar entre 0.3 y 0.9 (Doran, 1980, p. 97). Un desempeño semejante ha sido también revelado tradicionalmente por este tipo de estudiantes de ingeniería a través de las evaluaciones parciales que usualmente ellos reciben como parte del curso de Física cuántica. Las preguntas sobre las Relaciones de Heisenberg revelaron un índice de dificultad promedio de 0.49, que se corresponde en buena medida con el valor homólogo de Wuttiptom (2009), que es de 0.50. Para las preguntas sobre la Mecánica cuántica formalizada se obtuvo un promedio de dificultad de 0.60, el que también se aproxima en buena medida al valor homólogo de 0.59 reportado por McKagan (2010).

Con respecto al índice de discriminación de cada ítem, se destaca positivamente que todos los reactivos del QPCT-UC-1.1 revelaron valores no inferiores al valor umbral de 0.3 para  $D$  que se recomienda (Doran, 1980, p. 99), pues en los trabajos antecedentes más cercanos (McKagan, 2010; Wuttiptom, 2009) algunos de los ítems incluidos en los tests manejados obtuvieron valores inferiores al citado umbral. El valor promedio del índice de discriminación para todo el instrumento QPCT-UC-1.1 fue de 0.38, lo cual se considera aceptable en tanto se encuentra incluido dentro del intervalo conformado por los valores homólogos de 0.35, reportado por Wuttiptom (2009) y de 0.41 reportado por McKagan (2010). También se manifiesta la relación comprensible reportada por Wuttiptom (2009) de que las preguntas con menor poder discriminatorio coinciden en ser las de más altos índices de dificultad, lo cual en este caso hace referencia a las relacionadas con la Longitud de onda de De Broglie.

También para el índice puntual biserial se puede resaltar que todos los reactivos del QPCT-UC-1.1 presentan valores superiores a 0.3, la cifra umbral de  $r_{PBS}$  recomendada (Kline, 1986, p. 143), pues en importantes trabajos de este tipo (McKagan, 2010; Wuttiptom, 2009) tal condición no ha sido satisfecha plenamente. El valor promedio de este índice para todo el QPCT-UC-1.1 fue de 0.37, lo que se considera adecuado debido a que coincide con el reportado por McKagan (2010) y es superior al 0.28 alcanzado por Wuttiptom (2009).

La Delta de Ferguson y el alfa de Cronbach, como estadígrafos que caracterizan cualidades que revela el test en su totalidad, también arrojaron valores satisfactorios. La delta alcanzó 0.94, lo que sobrepasa el umbral de 0.9 recomendado para delta (Kline, 1986, p. 144), además de ubicarse dentro del intervalo conformado por los valores homólogos de 0.93 reportado por McKagan (2010) y de 0.97 reportado por Wuttiptom (2009). El alfa de Cronbach, aunque no alcanza un valor tan alto como el 0.97 de Wuttiptom (2009), logró un 0.89 que supera claramente el umbral de 0.7 que se recomienda (Doran, 1980, p. 104).

Los diferentes análisis cualitativos y estadísticos aplicados al instrumento elaborado en este trabajo (QPCT-UC-1.1) revelan que dicho test cumple los requisitos de validez y confiabilidad que suelen manejarse en la literatura científica para este tipo de medio evaluativo del aprendizaje conceptual de estudiantes, por lo que se alcanzó el objetivo previsto en la investigación y se aporta una herramienta de valor para profesores de la Física de ingeniería en hispanoamérica.

Una posible tarea subsiguiente consiste en refinar la formulación de las dos preguntas del test (5 y 6) que arrojaron poderes discriminatorios que parecen algo mejorables.

Desarrollos más recientes dentro de la teoría de tests, como la Teoría de Respuesta a los Ítems, ofrecen un tratamiento todavía más riguroso de algunos aspectos de los aquí tratados (Leyva, 2011; Martínez y

Herrera, 2014; Palacios, 2014), pero siempre bajo la condición de utilizar muestras relativamente grandes, lo que equivale a proyectos investigativos considerablemente amplios que requieren de un significativo respaldo económico.

---

## Referencias

Adams, W., Perkins, K., Podolefsky, N., Dubson, M., Finkelstein, N. y Wieman, C. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(1), 1-14.

Ambrose, B. (1999). *Investigation of student understanding of the wave-like properties of light and matter*. Tesis doctoral. Universidad de Washington.

Arnau, L. (2011). Cuestionario para evaluar la adaptabilidad de los adultos desempleados hacia los cambios profesionales: aplicación preliminar y características psicométricas. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 13(2), 99-112. Recuperado de <http://redie.uabc.mx/redie/article/view/286>

Bacon, D. y Stewart, K. (2006). How fast do students forget what they learn in consumer behavior? *Journal of Marketing Education*, 28(3), 181-192.

Bao, L. (1999). *Dynamics of student modeling: a theory, algorithms and application of quantum mechanics*. Tesis doctoral. Universidad de Maryland, MD.

Beichner, R. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762.

Cataloglu, E. y Robinett, R. (2002). Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career. *American Journal of Physics*, 70(3), 238-251.

Conway, M., Cohen, G. y Stanhope, N. (1992). Very long-term memory for knowledge acquired at school and university. *Applied Cognitive Psychology*, 6(6), 467-482.

Deslauriers, L. y Wieman, C. (2011). Learning and retention of quantum concepts with different teaching methods. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(1), 1-6.

Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B. y Beichner, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(1), 1-7.

Engelhardt, P. y Beichner, R. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.

Falk, J. (2004). *Developing a quantum mechanics concept inventory*. Tesis de Maestría. Uppsala University, Suecia. Recuperado de <http://johanfalk.net/content/developing-a-quantum-mechanics-concep>

Francis, G., Adams, J. y Noonam, E. (1998). Do they stay fixed? *The Physics Teacher*, 36(8), 488-490.

Godino, J., Aké, L., Contreras, A., Díaz, D., Estepa, A., Blanco, T. et al. (2015). Diseño de un cuestionario para evaluar conocimientos didáctico-matemáticos sobre razonamiento algebraico elemental. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 127-150.

Goldin, L. y Nóvikova, G. (1990). *Introducción a la física cuántica*. Moscú: Mir.

- Hake, R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Halliday, D., Resnick, R. y Krane, K. (1992). *Física* (4a. ed.). Cuba: Edit. Rev.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (5a. ed.). México: McGraw Hill.
- Hestenes, D., Well, M. y Swackhammer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(1), 141-158.
- Hill, M., Sharma, M., O'Byrne, J. y Airey, J. (2014). Developing and evaluating a survey for representational fluency in science. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 22(5), 22-42.
- Kline, P. (1986). *A handbook of test construction: introduction to psychometric design*. Londres: Methuen.
- Knight, R. (2003). *Five easy lessons: Strategies for successful physics teaching*. San Francisco, CA: Addison Wesley.
- Kohlmyer, M., Caballero, M., Catrambone, R., Chabay, R., Ding, L., Haugan, M. et al. (2009). Tale of two curricula: the performance of 2000 students in introductory electromagnetism. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(2), 1-10.
- Leyva, Y. (2011). Una reseña sobre la validez de constructo de pruebas referidas a criterio. *Perfiles Educativos*, XXXIII(131), 131-154.
- Maloney, D., O'Kuma, T., Hieggelke, C. y Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(12), 1277-1279.
- Marín, N. y Benarroch, A. (2010). Cuestionario de opciones múltiples para evaluar creencias sobre el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 245-260.
- Martínez, J. y Herrera, M. (2014). Propiedades psicométricas de la escala de cómputo para el EXANI-II. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 16(2), 68-80. Recuperado de <http://redie.uabc.mx/redie/article/view/406>
- McDermoth, L., Shaffer, P. y Constantinou, C.P. (2000). Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry. *Physics Education*, 35(6), 411-418.
- Mckagan, S., Perkins, K. y Wieman, C. (2010). Design and validation of Quantum Mechanics conceptual survey. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 1-17.
- Montero, H., Pedroza, M., Astiz, M. y Vilanova, S. (2015). Caracterización de las actitudes de estudiantes universitarios de Matemática hacia los métodos numéricos. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 17(1), 88-99. Recuperado de <http://redie.uabc.mx/redie/article/view/357>
- Morgan, J., Wittmann, C. y Thompson, J. (2003). *Student understanding of tunneling in Quantum Mechanics: examining interview and survey results for clues to student reasoning*. Trabajo presentado en la Physics Education Conference. Madison, WI. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1063/1.1807263>
- Morones, R. (2005). Los misterios del mundo cuántico. *Ingenierías*, 8(26), 12-21.
- Ornelas, M., Gastélum, G., Blanco, H. y Peinado, J. (2014). Análisis psicométrico de la prueba Body Image Anxiety Scale versión rasgo en alumnos de educación superior. *Perfiles Educativos*, XXXVI(144), 120-137.

Pollock, S. (2009). Longitudinal study of student conceptual understanding in electricity and magnetism. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(2), 1-8.

Redish, E. (2003). *Teaching physics with the physics suite*. Maryland, MD: John Wiley y Sons.

Redish, E., Saul, J. y Steinberg, R. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, 66(3), 212-221.

Robinett, R. (2004). *Quantum mechanics visualization instrument*. Recuperado de [http://www.phys.psu.edu/#rick/OUP/INSTRUCTORS/QMVI/alt\\_QMVI.htm](http://www.phys.psu.edu/#rick/OUP/INSTRUCTORS/QMVI/alt_QMVI.htm)

Sadaghiani, H. (2005). *Conceptual and mathematical barriers to students learning quantum mechanics*. Tesis doctoral, The Ohio State University. Recuperado de [https://etd.ohiolink.edu/!etd.send\\_file?accession=osu1123878116ydis-position=inline](https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu1123878116ydis-position=inline)

Savéliev, I. (1984). *Curso de Física general* (tomo III). Rusia: Mir.

Sears, F., Zemansky, M., Young, H. y Freedman, R. (1996). *Física universitaria II* (9a. ed.). México: Addison-Wesley-Longman.

Serway, R. A. y Beichner, R. J. (1993). *Física* (tomo II) (3a. ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 9-25.

Singh, Ch. y Rosengrant, D. (2003). Multiple-choice test of energy and momentum concepts. *American Journal of Physics*, 71(6), 607-617.

Singh, Ch. (2008). Student understanding of quantum mechanics at the beginning of graduate instruction. *American Journal of Physics*, 76(3), 277-287.

Thornton, R. y Sokoloff, D. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-348.

Venter, I. (2006). Development of a valid and reliable test for higher-educated young adults measuring dietary fibre food source and health-disease association knowledge. *Journal of Family Ecology and Consumer Sciences*, 34(1), 10-19.

Vilanova, S., García, M. y Señorino, O. (2007). Concepciones acerca del aprendizaje: diseño y validación de un cuestionario para profesores en formación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 9(2), 1-21. Recuperado de <http://redie.uabc.mx/redie/article/view/169>

Wuttiptom, S., Sharma, M., Johnston, I., Chitaree, R. y Soankwan, Ch. (2009). Development and use of a conceptual survey in introductory Quantum Physics. *International Journal of Science Education*, 31(5), 631-654.

Anexo I

Test de aprendizaje conceptual esencial sobre Física cuántica introductoria dirigido a estudiantes de carreras de ingeniería (QPCT-UC-1.1).

Orientaciones iniciales:

La contestación de este cuestionario es un acto totalmente voluntario, por lo que ante todo le agradecemos su valiosa colaboración.

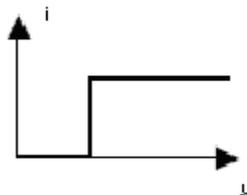
Esta consulta es anónima, de modo que su respuesta individual no podrá ser usada por el profesor para determinar la calificación que usted alcance finalmente dentro del curso asociado de Física cuántica.

Trate de responder todas las preguntas. Si considera que alguna situación no fue explícitamente tratada en su curso, no se preocupe, simplemente esmérese en encontrar la respuesta adecuada basándose en lo que usted sabe y puede deducir.

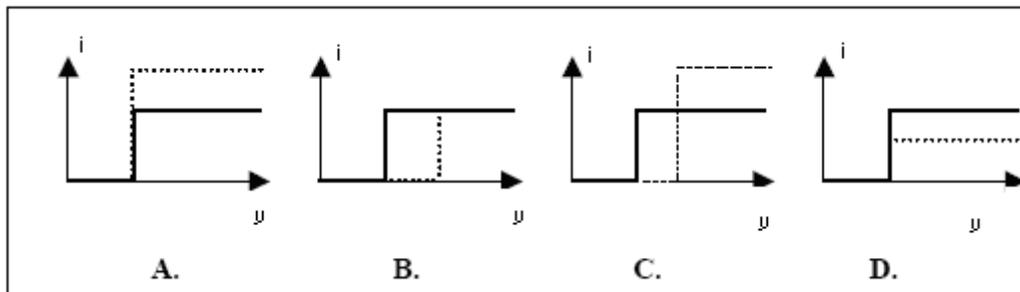
El tiempo que usted invertirá en responder las interrogantes que se le presentan oscila entre 20 y 30 minutos aproximadamente.

Declare su género: M \_\_\_ F \_\_\_

1- En una celda fotoeléctrica típica y conectada en polarización directa se hace incidir sobre el metal de su cátodo la radiación proveniente de una fuente de radiación de frecuencia variable. En un primer caso, el comportamiento obtenido de la intensidad de corriente fotoeléctrica ( $i$ ) con respecto a la frecuencia de la radiación ( $\nu$ ), se muestra en la gráfica siguiente.



En un segundo caso, se procede a aumentar la intensidad de la radiación incidente. De los gráficos expuestos a continuación (A, B, C y D), marque sobre el espacio subrayado, lo que considere que se corresponde con el segundo caso estudiado.



\_\_\_\_\_

2. De lo que se afirma a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado, lo que considere coherente con la teoría corpuscular que explica los hechos experimentales observados para el efecto fotoeléctrico.

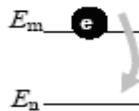
A. El desprendimiento de cada electrón se produce sólo cuando sobre él chocan simultáneamente varios fotones. \_\_\_\_\_

B. La frecuencia de corte se explica argumentando que a frecuencias inferiores cada fotón no tiene energía suficiente para liberar un electrón. \_\_\_\_\_

C. Cada fotón incidente le transfiere sólo una pequeña fracción de su energía al electrón desprendido. \_\_\_\_\_

D. El valor de la intensidad luminosa que se hace llegar al metal del cátodo queda precisado al conocer la energía de cada fotón incidente. \_\_\_\_\_

3. El diagrama de la figura siguiente muestra niveles energéticos electrónicos en un átomo que posee un electrón en el nivel de energía  $E_m$  como se indica. Se sabe que cuando el electrón transita del nivel de energía  $E_m$  al  $E_n$ , se emite luz.



De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto en relación al caso de que la diferencia de energía entre los niveles  $m$  y  $n$  fuera mayor.

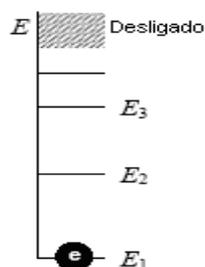
A. Se emiten más fotones. \_\_\_\_\_

B. Aumenta la longitud de onda de la radiación emitida. \_\_\_\_\_

C. Disminuye la longitud de onda de la radiación emitida. \_\_\_\_\_

D. Más de una de las respuestas anteriormente citadas son correctas. \_\_\_\_\_

4. Un electrón dentro de un átomo que tiene el diagrama de niveles de energía que se muestra en la figura siguiente, se encuentra en el estado de energía  $E_1$  como se indica.



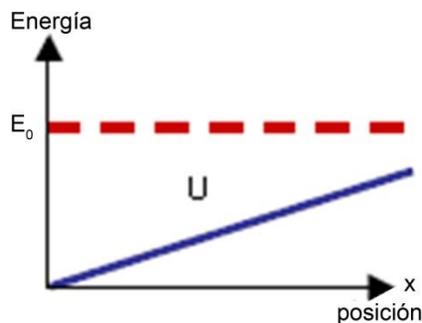
De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto para la pregunta: ¿partiendo del estado en que se encuentra, cuál es la mínima energía que este electrón puede absorber a través de un fotón?

- A. E1
- B. E2
- C. E2 - E1
- D. E3 - E1

5. Considere la situación en que un electrón y un neutrón se mueven con la misma velocidad. De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto para la pregunta: ¿cómo serán comparativamente las longitudes de onda de De Broglie ( $\lambda$ ) de dichas partículas?

- A.  $\lambda$  neutrón  $>$   $\lambda$  electrón
- B.  $\lambda$  neutrón  $<$   $\lambda$  electrón
- C.  $\lambda$  neutrón =  $\lambda$  electrón
- D.  $\lambda$  neutrón =  $-\lambda$  electrón

6. Una partícula cuántica viaja de izquierda a derecha con energía total constante ( $E_0$ ), en una región donde la energía potencial ( $U$ ) es como se muestra en la figura siguiente.



De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto en relación a la situación anteriormente descrita.

- A. La longitud de onda de De Broglie de la partícula aumentará.
- B. La longitud de onda de De Broglie de la partícula disminuirá.
- C. La longitud de onda de De Broglie de la partícula permanecerá invariable.
- D. Más de una de las respuestas anteriores son correctas.

7. De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto como complementación de la afirmación siguiente.

Según la relación de incertidumbre de Heisenberg, a medida que más se sabe acerca de la posición de un electrón, menos se sabe acerca de:

- A. Su velocidad \_\_\_\_
- B. Su cantidad de movimiento lineal \_\_\_\_
- C. Su energía cinética \_\_\_\_
- D. Todas las magnitudes anteriores \_\_\_\_

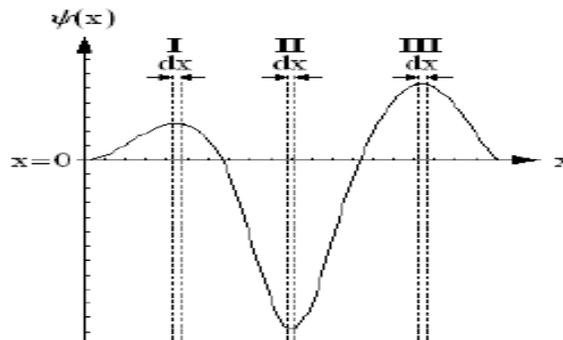
8. De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto para la pregunta: ¿por qué no se suele usar la relación de incertidumbre en objetos del macromundo como pelotas de tenis o automóviles?

- A. Porque en la física de macrocuerpos, la incertidumbre de cualquier medición siempre puede reducirse infinitamente usando instrumentos de mayor sensibilidad o precisión. \_\_\_\_
- B. Porque los objetos del macromundo en cualquier instante de tiempo tienen una posición y una cantidad de movimiento lineal que con suficiente cuidado se pueden medir simultáneamente con ilimitada precisión. \_\_\_\_
- C. Porque los objetos del macromundo cumplen las leyes de Newton del movimiento, para las cuales la relación de incertidumbre no es válida. \_\_\_\_
- D. Porque aunque la relación de Heisenberg es válida para objetos del macromundo, en estos casos las incertidumbres determinadas por esta relación resultan despreciables respecto de los valores de las magnitudes a las cuales afectan. \_\_\_\_

9. El electrón en un átomo de hidrógeno está en su estado básico. Considere que experimentalmente se determina o mide la distancia entre el electrón y el núcleo. De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto para la pregunta: ¿qué será el resultado de tal determinación o medición?

- A. La distancia correspondiente al denominado radio de Bohr. \_\_\_\_
- B. Con igual probabilidad, cualquier valor de distancia desde cero hasta infinito. \_\_\_\_
- C. Más probablemente el radio de Bohr, pero hay infinidad de otras distancias posibles. \_\_\_\_
- D. Con igual probabilidad, cualquier distancia comprendida dentro de un intervalo que va desde la mitad del radio de Bohr hasta el doble de dicho radio. \_\_\_\_

10. Considere que en la figura siguiente  $\Psi(x)$  representa para cierto instante, la parte espacial, unidimensional (y puramente real en sentido matemático) de la función de onda para una partícula; y además, que las etiquetas I, II, y III, indican regiones de igual espesor  $dx$ .



De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto para la relación que existe entre las probabilidades (P) de encontrar a la partícula en las regiones que se citan.

A. P (III) > P (I) > P (II) \_\_\_\_\_

B. P (II) > P (I) > P (III) \_\_\_\_\_

C. P (II) > P (III) > P (I) \_\_\_\_\_

D. P (I) > P (II) > P (III) \_\_\_\_\_

11. De las afirmaciones que se exponen a continuación (A, B, C y D), marque con una cruz sobre el espacio subrayado lo que considere correcto como complementación de la afirmación siguiente. Cuando un electrón de energía total inicial  $E_0$  se infiltra (experimenta efecto túnel) a través de una barrera rectangular de energía potencial cuya altura  $U$  es mayor que  $E_0$ , la energía total final de dicho electrón  $E_f$  resulta:

A.  $E_f > E_0$  \_\_\_\_\_

B.  $E_f = E_0$  \_\_\_\_\_

C.  $E_f < E_0$  \_\_\_\_\_

D.  $E_f = U - E_0$  \_\_\_\_\_