

Santiago Alejandro López Ortiz ^a; Lenin Santiago Orozco Cantos ^b; Milton
Israel Quinga Morales ^c

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para
la determinación de los momentos de inercia

*Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento. Vol. 2 núm.,
especial, mayo, ISSN: 2588-073X, 2018, pp. 611-628*

DOI: [10.26820/recimundo/2.esp.2018.611-628](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.esp.2018.611-628)

Editorial Saberes del Conocimiento

Recibido: 05/12/2017

Aceptado: 15/02/2018

- a. Escuela superior Politécnica de Chimborazo; sa_lopez@esPOCH.edu.ec
- b. Escuela superior Politécnica de Chimborazo; lsorozco@esPOCH.edu.ec
- c. Escuela superior Politécnica de Chimborazo; miltoniquing@esPOCH.edu.ec

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal aplicar una metodología de enseñanza muy utilizada a nivel de educación media y superior para el desarrollo de habilidades complementarias y por supuesto el aprendizaje de los principios de la dinámica rotacional, para ello se aplica la metodología de enseñanza basada en proyectos, es así que se construyó un prototipo para experimentar con masas y cuerpos geométricos que al aplicar las ecuaciones y cálculos respectivos se encuentra los momentos de inercia, estos valores se validan determinando el error respecto a los valores estimados teóricamente. Luego se mide mediante una encuesta el impacto sobre los estudiantes, resultando positivo en la construcción de conocimientos y se pudo identificar además el desarrollo de competencias en comunicación de estudiantes con el docente, aplicación de la ciencia a problemas reales y trabajo en equipo. Finalmente se concluye que es una herramienta muy recomendada en la educación superior para la enseñanza de la física y se podría aplicar a asignaturas de similares características.

Palabras claves: Dinámica rotacional, momentos de inercia, aprendizaje basado en proyectos, prototipos.

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

ABSTRACT

The main objective of this paper is to use a teaching methodology widely used at the level of secondary and higher education for the development of complementary skills and of course the learning of the principles of rotational dynamics, for this the teaching methodology based on projects, so a prototype was built for the experiment with masses and geometric bodies that when applying the equations and calculations are routed to moments of inertia, these values are validated by determining the error with respect to the theoretically estimated values. Then the impact on students is measured through a survey, resulting positive in the construction of knowledge and knowledge in the development of communication skills of students with the teacher. Finally, it is concluded that it is a highly recommended tool in higher education for the teaching of physics and that it could be a subject with similar characteristics

Keywords: Rotational dynamics, moments of inertia, project-based learning, prototypes.

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

Introducción.

En la tarea de enseñar la ciencia de la física los maestros de nivel medio o superior se ven limitados ya sea por el tipo de formación técnica predominante en los profesores de ingeniería o la limitación de equipos y laboratorios en las instituciones educativas. Es así que se puede observar que en modelos tradicionales de enseñanza se presentan dificultades para promover el aprendizaje significativo a causa de ciertas suposiciones inadecuadas del maestro al solo observar las deficiencias de los estudiantes (Cartaña, 1994). Experimentos realizados (Hake, 1998), (Redish, 1997) demuestran que el aprendizaje activo es más efectivo que el modelo tradicional para la enseñanza de la física, por ello se están proponiendo nuevas metodologías basadas principalmente en experimentos discrepantes ExD (Barbosa,2008) para desarrollar la creatividad y mejorar la intuición física y proyectos de aula que contribuyen a la transferencia de conocimientos de los principios teóricos y desarrollo del pensamiento crítico reflexivo e interés por la investigación (Sandoval, 2009). Autores como Gil recomiendan trabajar en actividades que acerquen el trabajo científico de manera aplicada (Gil, 1986),(Gil, 1988).

Importancia del problema

La enseñanza basada en proyectos relaciona actividades interdisciplinarias, de largo o mediano plazo como alternativa de los procesos cortos y aislados, para que el aprendizaje se lleve a cabo, el estudiante debe entrenarse en identificación de dificultades y errores cometidos durante el proceso, con el propósito de superarlos; a este ejercicio intencional, se le denomina aprendizaje de la autorregulación, mediante el cual el estudiante convierte sus capacidades mentales en habilidades académicas y posteriormente en habilidades técnicas, es por ello que

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

esta metodología es gran uso en carreras técnicas y científicas (Restrepo, 2005), (Milentijevic, 2008). Todas éstas consideraciones justifican el interés del presente trabajo de aplicar ésta metodología para la enseñanza de la dinámica rotacional mediante un proyecto que requiere la construcción de un prototipo para aplicación teórica de los momentos de inercia, en trabajos similares (Banks, 2005)(Collazos, 2009) se observa que estos prototipos pueden ser de bajo costo y fácil construcción, lo importante en este tipo de trabajo es el reto presentado a los estudiantes y la asimilación de conocimientos; que es evaluada en una etapa posterior. El prototipo permitirá determinar experimentalmente el momento de inercia de diferentes solidos rígidos que pueden ser cotejados con los valores encontrados en tablas, además se evaluará a estudiantes de ingeniería que resultados obtuvieron de esta experiencia y que mejoría se puede evidenciar en cuanto al aprendizaje de la dinámica rotacional. Un aporte esencial es que el prototipo pueda ser utilizado en próximos cursos de la misma asignatura permitiendo a los estudiantes disponer de nuevos equipos para las prácticas de laboratorio y también mostrar la efectividad de este tipo de enseñanza para aplicarlo con otras teorías de la misma asignatura.

Metodología.

Fundamento Teórico

El momento de inercia de un cuerpo es la medida de la resistencia que éste presenta ante un cambio de su movimiento de rotación y depende de la distribución de su masa respecto del eje de rotación. Para calcular el momento de inercia I se divide el cuerpo en una cantidad suficiente de elemento de masa Δm_i a distancia r_i del eje de rotación y se realiza la sumatoria sobre todos los elementos de masa:

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

$$I = \sum \Delta m_i * r_i^2 \quad (1)$$

El movimiento de un objeto extendido, como una rueda o una barra que gira en torno a un eje, no se puede representar el objeto como una partícula y aplicar la fórmula 1, es necesario analizar el cuerpo como un conjunto de partículas, cada una con su propia velocidad y aceleración lineales. Al tratar con un objeto en rotación, la explicación se simplifica mucho al suponer que el objeto es rígido. Un objeto rígido no es deformable; es decir, las ubicaciones relativas de todas las partículas de que está compuesto permanecen constantes. Todos los objetos reales son deformables en pequeñas medidas por lo que se aplica perfectamente éste modelos para situaciones en que la deformación es ínfima. Los cuerpos geométricos de forma regular tienen fórmulas que se pueden encontrar utilizando herramientas de cálculo diferencia e integra o fácilmente en bibliografía relacionada, a continuación, se presentan las ecuaciones para determinar teóricamente los momentos de inercia de dichas figuras respecto a su centro de gravedad CM. (Serway, 2005)

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

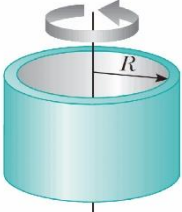
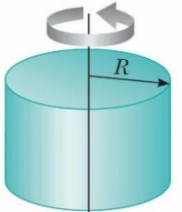
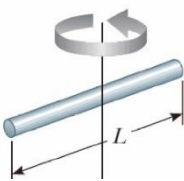
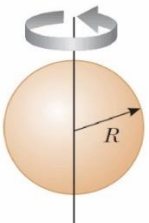
NOMBRE	FIGURA GEOMÉTRICA	FÓRMULA
CILINDRO HUECO		$I_{CM} = MR^2$
CILINDRO SÓLIDO DISCO		$I_{CM} = \frac{MR^2}{2}$
BARRA		$I_{CM} = \frac{MR^2}{12}$
ESFERA		$I_{CM} = \frac{2MR^2}{5}$

Tabla 1. Momentos de inercia teóricos para sólidos geométricos regulares

Fuente: Autores (2018).

Una manera para validar estas fórmulas es aplicar la teoría del movimiento de un péndulo en torsión, este movimiento se caracteriza por producir movimientos repetitivos en un

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

determinado tiempo llamado período T y está en función de las variables Inercia respecto al centro de masa I_{CM} y la constante elástica del resorte K; la fórmula 2 establece la relación entre las variables propias de la geometría del cuerpo y el tipo de resorte con el periodo T que puede ser medido en segundos.

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_{CM}}{K}} \quad (2)$$

Al despejar el momento de inercia se obtiene:

$$I_{CM} = \frac{K \cdot T^2}{4\pi^2} \quad (3)$$

Prototipo

Una metodología clara puede facilitar el proceso de construcción de cualquier equipo o prototipo siguiendo etapas secuenciales ya que los datos serán recolectados y organizados de una manera más eficiente (Riba, 2006), en una etapa inicial es necesario establecer las especificaciones o requerimientos que debe cumplir nuestro modelo, en la tabla siguiente se presentan las características principales de funcionamiento sin ahondar en detalles como materiales, apariencia, costos.

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

DENOMINACIÓN	PROPONE	TIPO	DESCRIPCIÓN
Función	Diseñador	Requerido	Producir la oscilación de diferentes cuerpos geométricos para determinar su momento de inercia
Energía	Diseñador	Requerido	Humana
Mantenimiento	Diseñador	Deseado	Ninguno
Dimensiones	Diseñador	Deseado	Altura máxima 20 cm
Seguridad	Diseñador	Requerido	No se deben soltar los cuerpos mientras están oscilando
Construcción y Montaje	Diseñador	Deseado	Fácil ensamblaje

Tabla 2. Especificaciones deseadas y requeridas del prototipo

Fuente: Autores (2018).

Con los requerimientos establecidos y revisando equipos de laboratorio, se crea un prototipo que se muestra en la siguiente figura.

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

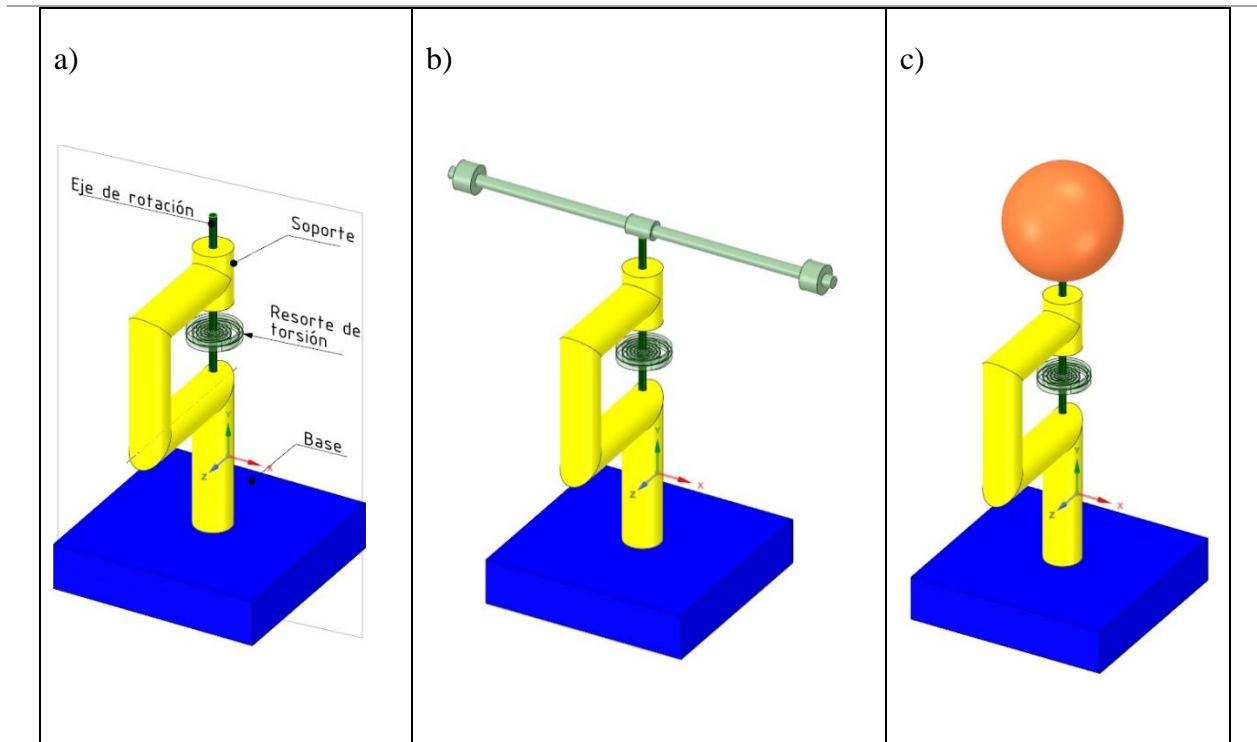


Figura 1. a) Partes del prototipo. b) Masas montadas sobre el prototipo. c) Esfera montada sobre el prototipo.

Fuente: Autores (2018).

El objetivo principal es rotar horizontalmente las masas puntuales y los cuerpos geométricos disco, cilindro hueco, cilindro sólido y esfera respecto a su centro de gravedad, para ello son sujetos al eje que gira alrededor de un resorte de torsión. La fuerza restauradora del resorte produce movimientos oscilatorios en un tiempo determinado que puede ser medido con un cronómetro, de esta manera se puede calcular el momento de inercia I_{CM} ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) con la ecuación 3 sabiendo que la constante del resorte es igual a 0,045 N/m dato obtenido del fabricante; los datos de masa y radio son medidos para cada cuerpo ya que estos valores permiten determinar el momento de inercia teórico.

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

Resultados y Discusión.

La primera experimentación es con masas puntuales de 239 g ubicadas a diferentes radios del centro de rotación que van des de 5 hasta 50 cm con incrementos de 5 cm y tomando el tiempo de oscilación con 5 repeticiones, el momento de inercia es determinado con la ecuación 3 que está en función del período y se resta la inercia producida por la barra donde se montan las masas. Además, estos valores son comparados con los momentos de Inercia estimados teóricamente con la ecuación 1 y se presentan en la siguiente figura que indica el tipo de correlación mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (R^2).

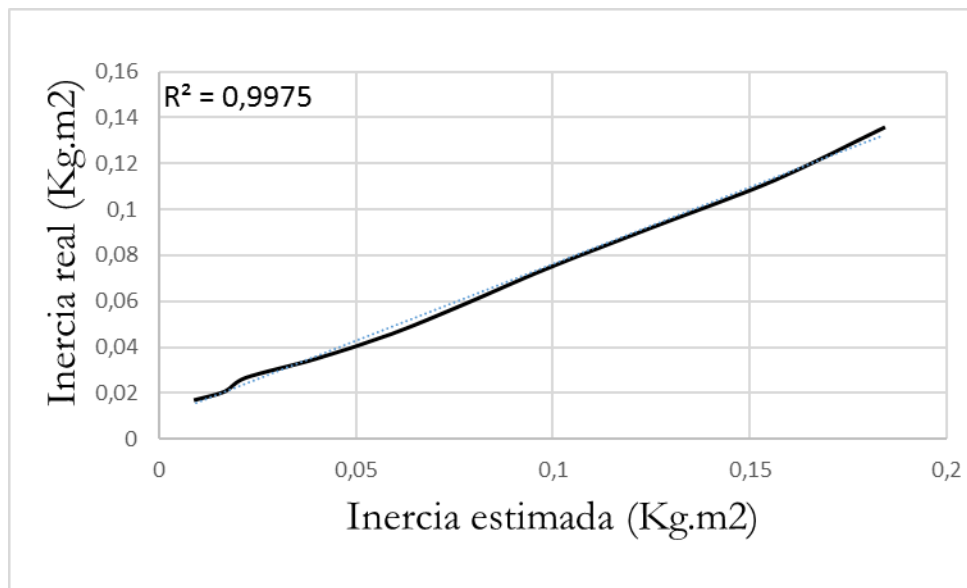


Figura 2. Correlación entre la inercia estimada y la inercia real en experimento con masas puntuales.

Fuente: Autores (2018).

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

En una segunda etapa de experimentación, se adaptan diferentes cuerpos geométricos regulares para determinar su momento de inercia ser comparados teóricamente. El procedimiento se basa en la medición del periodo de oscilación para aplicar la ecuación 3 y los valores estimados se obtiene de las fórmulas de la tabla 1, en la tabla siguiente se muestra el cotejo de resultados y el error cuadrático medio calculado con la ecuación 4 y que tiene finalidad de validar el experimento si el error no supera el 5%.

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{[(I_{est})_i - I_i]^2}{n}} \quad (4)$$

Donde i indica cada uno de los datos del momento de inercia estimado (I_{est}) y real (I_i) para 5 repeticiones ($n=5$).

CUERPO GEOMÉTRICO	MOMENTO DE INERCIA ESTIMADA (kg. m ²)	MOMENTO DE INERCIA REAL (kg. m ²)	ERROR E
Cilindro hueco	1,022 x10 ⁻³	8,980 x10 ⁻⁴	5,54 x10 ⁻³
Cilindro sólido disco	9,970 x10 ⁻⁴	7,790 x10 ⁻⁴	9,74 x10 ⁻³
Barra	5,675 x10 ⁻³	5,120 x10 ⁻³	2,4 x10 ⁻³
Disco	6,012 x10 ⁻³	5,890x10 ⁻³	5,45 x10 ⁻³
Esfera	2,308 x10 ⁻³	2,100 x10 ⁻³	8,84 x10 ⁻³

Tabla 3. Resultados de los momentos de inercia para cuerpos geométricos regulares.

Fuente: Autores (2018).

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

Estos valores de error indican una buena precisión del prototipo y es apto para la experimentación y determinación de los momentos de inercia.

Evaluación del método de aprendizaje

La evaluación trata de medir el impacto que causa en los estudiantes este tipo de experiencias siguiendo la estrategia metodológica de aprendizaje basado en proyectos, para ello se utilizó una encuesta en la que se indaga sobre la influencia del proyecto de prototipo en la adquisición y aplicación de conocimientos de la dinámica rotacional, esta técnica es muy usada y se han obtenido buenos resultados en trabajos similares () Esta encuesta se realizó a 36 estudiantes de ingeniería mecánica en el año 2017 que participaron en la elaboración del prototipo y la realización de la práctica con la toma de datos y análisis de resultados. La encuesta se contesta señalando SI o NO o con un rango de 1 a 5, en el que indica que la respuesta valorada con **1** no aprendí nada, **2** aprendí poco, **3** aprendí, **4** aprendí bien y **5** aprendí muy bien. Las preguntas realizadas se muestran en la siguiente tabla.

PREGUNTAS	RESPUESTAS
1. ¿Cree que el proyecto realizado en la asignatura es necesario para su formación profesional?	SI__ NO__
2. ¿Cree que se maneje un número máximo de proyectos durante el semestre?. ¿Si su respuesta es si cuanto sería el máximo de proyectos?	SI__ NO__
3. ¿Esta de acuerdo que el proyecto sea parte de la calificación al final del semestre?	SI__ NO__
Responda del 1 al 5 cuanto aprendió en las actividades desarrolladas en el proyecto	
4. En la planeación detallada del prototipo antes de construirlo	(1 al 5) ____
5. En la aplicación de la teoría de dinámica rotacional para el diseño de experimentos	(1 al 5) ____
6. En la interpretación de los datos obtenidos experimentalmente y posterior análisis de resultados	(1 al 5) ____

Tabla 4. Preguntas de la encuesta realizada e estudiantes

Fuente: Autores (2018).

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

En las tres primeras preguntas se trata de identificar la importancia que le dan al proyecto y el grado de aceptación en cuanto al número de proyectos por semestre y la calificación que recibe el mismo en su nota final. Los resultados en porcentaje de las preguntas se muestran en la siguiente tabla y del número de estudiantes que respondieron que si se debe establecer un número máximo de proyectos todos indicaron que fuera de máximo 1 por semestre.

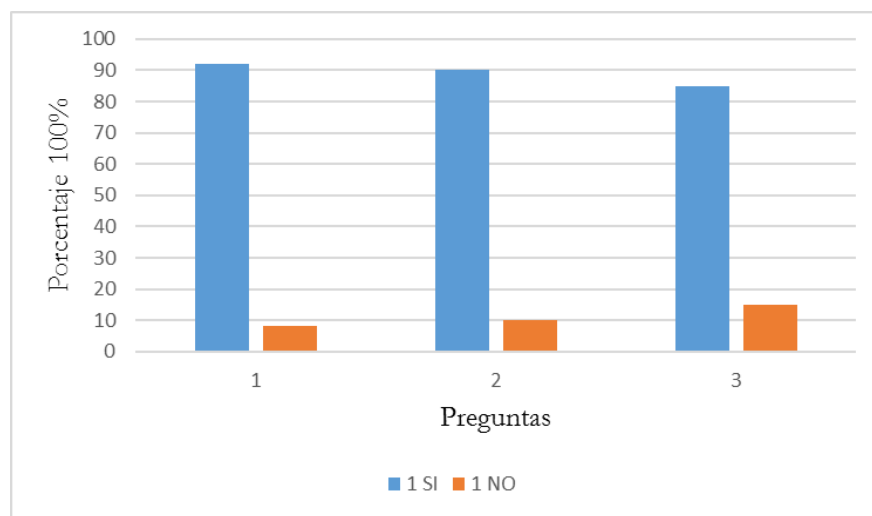


Figura 3. Porcentaje de las respuestas en las preguntas 1, 2 y 3.

Fuente: Autores (2018).

En la pregunta 4 se trata de medir que tanto se aprendió en la etapa de planeación, donde se debe empezar con la ideación del prototipo y agregarle especificaciones de diseño para que cumpla con las funciones requeridas, también en esta etapa se debe identificar los materiales, instrumentos y equipos que se van a utilizar para finalmente determinar el alcance y limitaciones del equipo, los resultados muestran un gran porcentaje de aprendizaje cabe mencionar que los conocimientos adquiridos involucran otras áreas de conocimiento tales como el diseño

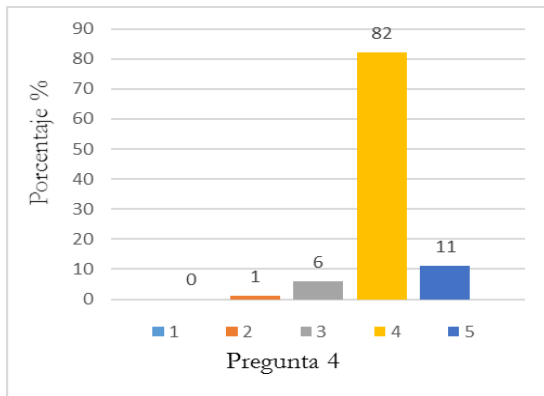
Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

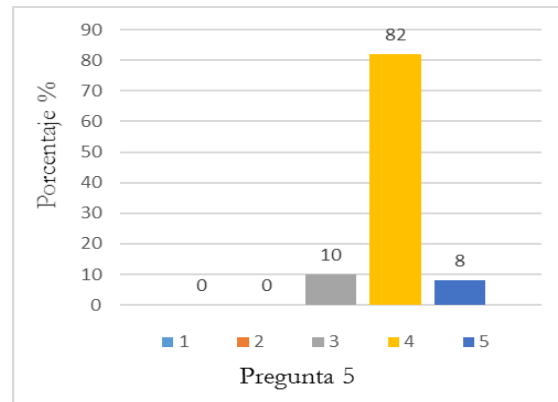
Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

conceptual, instrumentación análisis de costos y materiales. Luego en la pregunta 5 se mide que tanto aprendió el estudiante de la teoría de dinámica rotacional con una revisión bibliográfica de principios, conceptos y teoremas, además, la aplicación de fórmulas y análisis de variables; sin éstos conceptos sería imposible estructurar la práctica de laboratorio ya que es la fundamentación para la toma de datos, cálculos, gráficas e interpretación del fenómeno físico. Por último, en la pregunta 6 se trata de estimar que tanto se aprendió al momento de relacionar los datos obtenidos con lo observado en el experimento, es la comprensión del fenómeno y como afectan las variables; cuando se tiene esta comprensión se puede fácilmente relacionar problemas y aplicaciones prácticas sean relacionadas a la carrera o la vida cotidiana. Todos estos resultados se muestran en la siguiente figura.

a)



b)



Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

c)

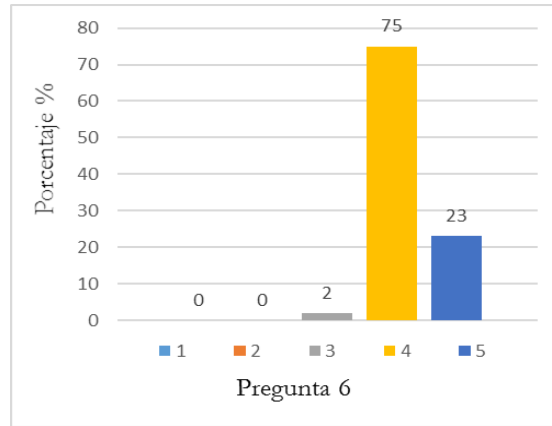


Figura 4. Respuestas de la pregunta a) 4, b) 5 y c) 6.

Fuente: Autores (2018).

Conclusiones.

Como se puede observar en los resultados de la encuesta, existe una buena asimilación de conocimientos con la metodología aplicada, otros resultados que no se evidencian en números, pero si en la ejecución del proyecto es la mejoría en la comunicación entre los integrantes y el profesor, además permite desarrollar competencias de trabajo en equipo y de colaboración. Los porcentajes de aprendizaje son mayores en la etapa de interpretación de resultados con un 75% de estudiante que manifiestan que aprendieron bien y un 23% de estudiantes que aprendieron muy bien; estos resultados también se vieron reflejados en un mejor rendimiento académico y mayor motivación y mejor actitud hacia la materia, se puede sugerir para trabajos posteriores tratar de evaluar todas las capacidades y competencias que no se abarcó en el presente artículo y

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

tratar de replicar esta metodología en otras asignaturas de la carrera para comparar y evaluar resultados, cabe mencionar que si se vienen desarrollando este tipo de proyectos que incluso tratan de ser multidisciplinarios entre algunas asignaturas del mismo nivel, pero no se han evaluado este tipo de experiencias. En cuanto al prototipo surge la idea de poder utilizarlo en la práctica de ejes paralelos o incluso tratar de determinar el momento de inercia de cuerpos irregulares y poder compararlos con valores teóricos, queda a criterio de los docentes y estudiantes de próximos períodos ampliar el uso del prototipo dentro del estudio de la dinámica rotacional.

Se logró construir un prototipo para la determinación de los momentos de inercia aplicados a masas puntuales y cuerpos geométricos regulares, existe una buena correlación de datos y un bajo porcentaje de error lo que permite tener la certeza de los resultados y de la funcionalidad del prototipo. Se incluyó temáticas del estudio de la física tales como: Centros de masa, movimiento circular, movimiento armónico simple, torques, elasticidad. La relación de los varios temas tratados le permite al estudiante tener un amplio conocimiento de los fenómenos físicos y le prepara para la aplicación a problemas reales.

Se mejoraron las capacidades del estudiante de trabajo en equipo comunicación, además se utilizó el principio del diseño conceptual y un breve análisis de costos, con esto se insertan conocimientos básicos que serán desarrollados en asignaturas posteriores de la carrera, además al método de aprendizaje basado en proyectos le permite al profesor de la materia evaluar muchas capacidades que pasan por alto en los sistemas tradicionales de calificación.

Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia

Vol. 2, núm. Esp., (2018)

Santiago Alejandro López Ortiz; Lenin Santiago Orozco Cantos ; Milton Israel Quinga Morales

Referencias.

An Inexpensive Moment of Inertia Experiment, Banks, P. E. (2005). *The Physics Teacher* **43**, 389-390

Prototipo para la enseñanza de la dinámica rotacional (Momentos de Inercia y Teorema de Ejes Paralelos). Collazos A. (2009). *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol.3. Pag 619 -624

Algunas consideraciones alrededor de la concepción constructiva de las ciencias experimentales. Cartaña J, Comás M. (1994).

Didáctica de LAS ciencias Experimentales a Debate.España. Universidad de Murcia

Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria Restrepo B. (2005). *Educación y Educadores*. Pag 9-19.

Evaluación de la estrategia “aprendizaje basado en proyectos”. Sandoval E, Vargas E, Luna J. (2009). Universidad de la Sabana. *Educ. Educ.* Pag 13-25.

Física para ciencia e ingeniería. Serway R, Jewett J. (2005). Cengage. Vol 1. Séptima edición.

Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora. Riba C, M. A. (2006). Barcelona: Edicions UPC.

Interactive engagement vs traditional methods: a six thousand student survey of mechanics test data for introductory physic. Hake R. (1998). *Am.J. Phys.* Pag 64-74

On the effectiveness of active engagement microcomputer based laboratories. Redish E, Saul J y Steinberg R. (1997). *Am. J. Phys.* Pag 45-54

La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. Gil, D. (1986). *Enseñanza de las Ciencias* **4**, 111-121

Los experimentos discrepantes en el aprendizaje activo de la física. Barbosa L. (2008). *Lat. Am. J. Phys.Edu.* Vol 2. Pag 246-252.

Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica. Gil, D. y Payá, J. (1988). *Revista de Enseñanza de la Física* **2**, 73-179.

The contribution of Project-based-learning to high-achievers' acquisition of technological knowledge. Mioduser D, Betzer N. (2007) *International Journal of Technology and Design Education*. Pag 59-77.

Version control in project-based learning. Milentijevic I, Ciric V, Vojinovic O. *International Computers & Education*, 2008, 50, 1331-1338.