

# CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS EXPERIMENTALES DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA CON INGENIEROS CIVILES

S. C. Zúñiga Martínez<sup>1</sup>  
E. Zermeño Pérez<sup>2</sup>  
O. A. Briones Rico<sup>3</sup>  
N. Moreno Martínez<sup>4</sup>

## RESUMEN

Se hace uso de la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos y la Construcción de Prototipos en equipos de estudiantes universitarios de Ingeniería Civil, con el objetivo de desarrollar en ellos habilidades como: trabajo en equipo, expresión oral y herramientas visuales, desarrollo del ciclo experimental y el generar conclusiones, así como, la solución de problemas que es necesaria para la construcción de prototipos funcionales. Los estudiantes trabajan en equipos de 3 a 4 personas y desarrollan prototipos experimentales al respecto de tres temática: 1) peralte en carreteras, 2) vibraciones en un edificio y 3) rampas de frenado, el proyecto es desarrollado durante todo el semestre de una materia de mecánica impartida a Ingenieros Civiles llamada “Cinética” y consta de varias etapas dentro del desarrollo del mismo, dentro de las cuales se encuentra la construcción del prototipo, la toma de datos y argumentación de los resultados obtenidos con el prototipo mediante el uso de un software libre llamada TRACKER, así como, la presentación final del proyecto de manera oral y escrita. Los estudiantes presentan los resultados al final del semestre y mediante estos se logra reafirmar o profundizar algunos de los temas desarrollados durante el curso.

## ANTECEDENTES

El trabajo se justifica debido a que en investigaciones anteriores de algunos de los autores de la presente investigación (Zúñiga y Zermeño, 2016 ; Zúñiga y Zermeño, 2017) se ha demostrado cómo hacer uso de las metodologías del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y la Construcción de Prototipos (CP) en la construcción de prototipos experimentales, usando un reductor de velocidad con equipos de estudiantes pertenecientes a carreras del área Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UASLP (FI-UASLP); en donde ha quedado evidenciado que mediante esa metodología se generan aprendizajes relacionados con la expresión oral y herramientas visuales, construcción de prototipos, ciclo experimental, conclusiones y retroalimentación y expresión escrita, además del desarrollo de habilidades de trabajo colaborativo o trabajo en equipo las cuales se relacionan con su desempeño en la construcción de los prototipos. Considerando este antecedente, se plantea ahora usar una adaptación de las metodologías antes empleada con estudiantes de la carrera de Ingeniero Civil de la misma FI-UASLP.

El objetivo de investigación es que el uso de las metodologías ABP y CP ponga de manifiesto el desarrollo de algunas habilidades en los estudiantes universitarios, las cuales se han estudiado e investigado previamente por Zúñiga y Zermeño (2016 y 2017), además de ayudar a contextualizar de manera real algunos de los temas vistos dentro del curso de “cinética” que forma parte del plan de estudios de la carrera de Ingeniero Civil de la FI-UASLP, mediante la

---

<sup>1</sup> Profesor de Asignatura de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
soraida\_zuniga@hotmail.com

<sup>2</sup> Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
enrique.zermeño@uaslp.mx

<sup>3</sup> Profesor de Asignatura de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. osc\_br@hotmail.com

<sup>4</sup> Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
nehemias\_moreno@live.com

creación de prototipos a escala : 1) peralte en carreteras, 2) vibraciones en un edificio y 3) rampas de frenado.

La pregunta de investigación es ¿Cómo llevar a cabo y evaluar la metodología ABP y CP con estudiantes de la carrera de Ingeniero Civil, mediante la construcción de prototipos experimentales usando los conceptos relacionados con la materia de Cinética?

La investigación se ha llevado a cabo durante el semestre agosto diciembre de 2019 con un grupo de 25 estudiantes de la carrera de Ingeniero Civil de la FI-UASLP, en los cuales se trabajó en equipos de 3 o 4 estudiantes, siendo esta la primera vez que se aplica la metodología, la cual se planea continuar aplicando durante los semestres posteriores para obtener así resultados más concretos y generalizables.

## METODOLOGÍA

### Descripción del proyecto

El curso de “Cinética” es una materia de mecánica que se imparte actualmente dentro de la carrera de Ingeniero Civil en la FI-UASLP, la materia no cuenta con un laboratorio o actividades experimentales designadas para reforzar o profundizar los temas vistos dentro de la misma. Además de que, debido a la naturaleza propia de la carrera de Ingeniería Civil, los estudiantes están mucho más relacionados con los tópicos relacionados a la “Estática” (otra área de la mecánica a la cual pertenece la materia “Cinética”) pero, no se encuentran muy relacionados con tópicos de análisis de cuerpos en movimiento, debido a lo anterior se ha planteado el uso de algunos de los temas vistos dentro del curso y que están relacionados con situaciones que se presentan dentro de algunas áreas de la Ingeniería Civil como lo son los temas de: 1) peralte en carreteras, 2) vibraciones en un edificio y 3) rampas de frenado. La justificación del porque usar estos tres prototipos experimentales para los proyectos es que cada uno se encuentra relacionado con temas que son vistos en la materia como lo son fuerzas en el movimiento en una curva, movimiento armónico y teorema del trabajo energía, ver Tabla 1.

**Tabla 1.** Dosificación de las prácticas propuestas para el curso de Dinámica.

Prototipo	Descripción del prototipo	Temas del curso que se emplean para explicar el prototipo. Conceptos clave
1) Peralte en carreteras	Se realiza un modelo a escala de una carretera, tomando en cuenta las normativas, en las cuales se incluya por lo menos una curva inclinada (peraltada). Se usa un auto de juguete como móvil en el prototipo.	Fuerzas en el movimiento circular. Fuerza centrípeta, peso, ángulo de inclinación, fuerza de fricción.
2) Vibraciones en un edificio	Se construye un modelo a escala de un edificio, tomando en cuenta las normativas y tomado de proporciones a escala de una construcción real, en donde se use en la base un amortiguamiento	Movimiento armónico, fuerza, amplitud máxima del movimiento, desplazamiento lineal, velocidad y aceleración del objeto a través del tiempo.

	mediante resortes de constante conocida. Se usa otro modelo sin el amortiguamiento o bien el mismo modelo en el cual se puedan desmontar los resortes.	
3) Rampa de frenado	Se construye un modelo a escala de una rampa de frenado, tomando en cuenta las normativas, para lo cual también deberán contar con parte de la carretera, se sugiere incluir rampas de al menos dos tipos.	Teorema del Trabajo-Energía. Velocidad, distancia de frenado, tiempo, peso, normal, fuerza de fricción y coeficiente de fricción.

Nota Fuente: Elaboración propia.

El proyecto de construcción y análisis de prototipos experimentales es desarrollado durante todo el semestre (16 semanas) y se lleva a cabo de manera paralela a este, es decir, la materia teórica de “Cinética” lleva su curso normal, y los estudiantes trabajan en horas extra de clase en sus proyectos, organizados en equipos de 3 a 4 personas. El desarrollo del proyecto consta de varias etapas dentro del mismo que son: 1) Propuesta de proyectos, 2) Avances de proyectos, 3) Anteproyecto y 4) Proyecto final. Las cuales se describen brevemente en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Descripción y semana del semestre (16 semanas en total) de las diferentes etapas de los proyectos.

Etapa del proyecto	Semana del semestre	Descripción
1) Propuesta de proyecto	Semana 1	Se presenta y describe brevemente la propuesta la propuesta de proyecto.
2) Avances de proyecto	Semana 3. Avance 1	Revisión acerca de las normativas relacionadas con cada uno de los prototipos
	Semana 6. Avance 2	Establecimiento de las dimensiones acorde a las normativas y a un proyecto real. Inicio de la construcción del prototipo.
	Semana 9. Avance 3	Prototipo terminado y funcional.
	Semana 12. Avance 4	Videos experimentales del prototipo. Análisis de los videos mediante el software TRACKER. Validación teórico-experimental de los resultados
3) Anteproyecto	Semana 14-15	Presentación oral de los resultados al profesor, asesoría para retroalimentar por parte del profesor.
4) Proyecto final	Semana 16	Presentación oral y escrita del proyecto final a todo el grupo en plenaria.

Nota Fuente: Elaboración propia.

Para el establecimiento de las cuatro etapas mostradas en la Tabla 2, se ha considerado además lo siguiente:

- Propuestas de proyectos: se hace una distribución de los tres tipos de prototipos: entre los equipos de estudiantes, de manera tal que no todos hagan el mismo y se tenga la mayor diversidad posible dentro del grupo.
- Avances de proyectos: es muy importante darle un seguimiento a los estudiantes a través del semestre, así que cada uno de los 4 avances está propuesto de manera tal que dosifique y sea una guía para la buena realización del prototipo y del proyecto en general. Las entregas de los avances coinciden por lo general con el término de los parciales, desde el primero al cuarto dentro del curso.
- Anteproyecto: una vez terminado el prototipo, la toma de datos y el análisis de los mismos, es muy importante el discutirlos y presentarlos de la manera correcta, por esta razón en la etapa del anteproyecto los estudiantes del equipo en turno realizan una presentación a puerta cerrada solo con el profesor, para así poder recibir una retroalimentación que sea de ayuda en su presentación del proyecto final.
- Proyecto final: es una presentación oral de aproximadamente 12 minutos en la cual cada uno de los equipo expone de manera breve y clara, el diseño, implementación, resultados, análisis y validación teórico-experimental de los mismos. Se realiza en plenaria con la presencia de todo el grupo y en esta el profesor evalúa usando una rúbrica para dar la calificación del proyecto del equipo.

### **Análisis de los videos mediante el software TRACKER**

Una vez implementados los prototipos y ya que estos sean funcionales, se obtienen resultados de las variables cinemáticas que correspondan, posición, velocidad, aceleración, tiempo, etc., para poder hacer un análisis de los mismos y una validación teórico experimental de los temas vistos en clase. Para el análisis experimental, los estudiantes usan como herramienta el software libre llamado TRACKER (<https://physlets.org/tracker/>), el cual se debe descargar a una computadora para analizar la video grabación de un sistema dinámico. El software libre TRACKER ya ha sido usado con anterioridad por los autores (Zúñiga, Zermeño, Briones y Moreno, 2019), para el análisis de un sistema dinámico o en movimiento, en dicha investigación se usó para el caso de colisiones inelásticas entre bolas de billar y de pelotas plásticas, en un laboratorio de bajo costo, sin aulas y mediante el uso de Tecnologías de Aplicadas al Conocimiento con estudiantes de ingeniería.

Podemos mencionar a grandes rasgos que, para realizar el análisis en TRACKER, los estudiantes primero videograban los prototipos en funcionamiento, mediante el uso de sus teléfonos celulares o cámara de video, para la toma de los videos se deben considerar varias cosas como: tener la toma fija, poner una regla o metro en el plano del movimiento como referencia, tener un buen contraste entre el móvil y el fondo, grabar con la mejor calidad de video posible, tener buena iluminación, entre otros.

Posteriormente, se analizan los videos mediante el uso del software libre TRACKER, es decir se cargan los videos al programa, para ser analizados por el mismo y obtener como resultados algunas gráficas. Los pasos para el análisis de las partículas en el software son muy simples y, además, se brinda asesoría por parte del profesor a los estudiantes.

### Evaluación del proyecto final mediante una rúbrica

Para poder establecer una forma de evaluación más clara y estandarizada, se ha creado una rúbrica de evaluación que considera los criterios (Tabla 3): 1) Expresión y herramientas visuales, 2) Video del proyecto, 3) Diseño e Implementación del Prototipo, 4) Ciclo Experimental, 5) Expresión Escrita y 6) Conclusiones y retroalimentación. La rúbrica considera 5 niveles para cada uno de los criterios anteriores, que van desde el más bajo al más alto y son: Nulo, Mínimo, En desarrollo, Bueno y Excelente. Los porcentajes dados a cada criterio se encuentran en la Tabla 3, así como la descripción de estos acorde solo a los niveles Mínimo y Excelente (el más bajo y más alto respectivamente). La rúbrica mencionada es una adaptación de la rúbrica usada por Zúñiga y Zermeño (2016) en su trabajo de investigación acerca de prototipos experimentales “reductores de velocidad” para la enseñanza del movimiento rotacional en estudiantes de ingeniería.

**Tabla 3.** Criterios de evaluación de la Rúbrica de Evaluación de Proyectos, en la cual se muestran la descripción de los niveles mínimo y excelente para todos los 6 criterios usados.

CRITERIO	MÍNIMO	EXCELENTE
1. EXPRESION ORAL Y HERRAMIENTAS VISUALES	Se muestra que no hay dominio de la temática asignada. Ninguno de los integrantes del equipo conoce a profundidad el proyecto, ni cómo se desarrolla. No hay uso de la herramienta visual o es muy pobre.	Se demuestra un excelente dominio de la temática asignada. Todos los integrantes del equipo conocen a profundidad el proyecto y como se desarrolla. Hay un excelente uso de la herramienta visual (diapositivas, imágenes, etc)
15%	3.75%	15%
2. VIDEO DEL PROYECTO	Solo se muestra el funcionamiento del prototipo o arreglo experimental, no hay edición del mismo, ni antecedentes conceptuales para este. O bien la calidad, edición y sonido del video es mala	El video presenta de manera sobresaliente los fundamentos teóricos del prototipo, muestra el funcionamiento del mismo y los resultados obtenidos mediante el análisis teórico. La calidad, edición y sonido son excelentes
10%	2.5%	10%
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	No se muestran habilidades para el diseño y construcción o habilitación del prototipo. El prototipo es malo o demasiado simple, tiene defectos o no está bien logrado.	Se muestran excelentes habilidades para el diseño y construcción (o habilitación) del prototipo. El prototipo es original y excelentemente logrado.
30%	7.5%	30%
4. CICLO EXPERIMENTAL	Se diseña y ejecuta mal el ciclo experimental (predicción, observación y validación). Se utilizan mal la teoría y los conocimientos previos. Hay un mal manejo de los datos o muy pobre.)	Se diseña y ejecuta bien el ciclo experimental. Se utilizan de manera excelente la teoría y los conocimientos previos. Hay un excelente manejo de los datos.
30%	7.5%	30%

5. EXPRESION ESCRITA	La redacción expresa que no hay manejo de los principios físicos involucrados en el proyecto y no plantea relaciones entre ellos. No se usa el procesador de texto o se lo hace de manera muy pobre. No hay orden en el reporte.	La redacción expresa que se maneja óptimamente la definición de los principios físicos involucrados en el proyecto y se plantean totalmente las relaciones entre ellos. Hay un excelente uso del procesador de texto. Incluye todas las partes señaladas.
10%	2.5%	10%
6. CONCLUSIONES Y RETROALIMENTACIÓN	Se expresan mal las dificultades y fortalezas presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto, así como su relación con los temas vistos en clase. No se ha tomado en cuenta la retroalimentación del profesor.	Se expresan claramente las dificultades y fortalezas presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto, así como su relación con los temas vistos en clase. Se han tomado en cuenta las retroalimentaciones del profesor acerca del proyecto
5%	1.25%	5%
TOTAL 100%	PROYECTO DEFICIENTE 25%	PROYECTO EXCELENTE 100%

Nota Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

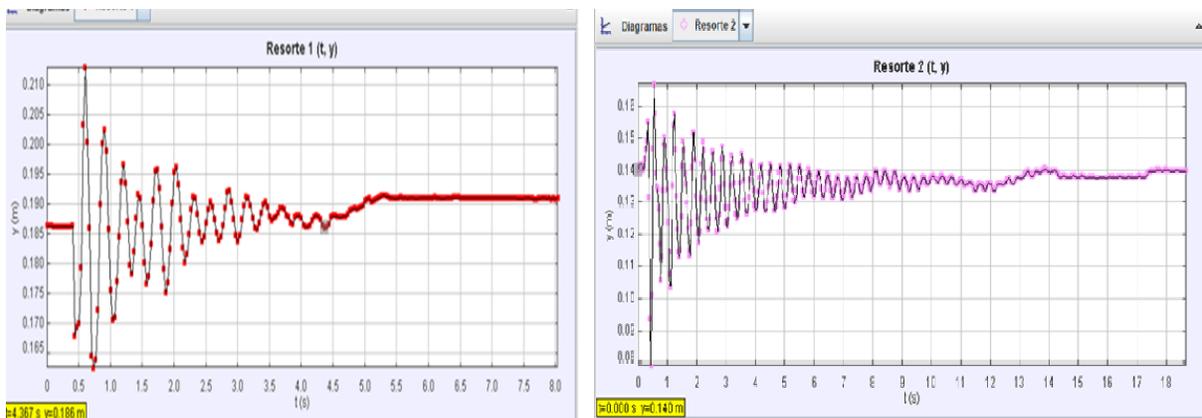
La propuesta de proyectos descrita en esta investigación ha sido aplicada por primera vez en un solo grupo de 25 estudiantes durante el semestre agosto-diciembre de 2019, por lo cual, los resultados que se tienen son preliminares todavía, sin embargo, ya se tiene bien establecida la metodología y las herramientas de evaluación para la misma. A continuación, se presentan a manera de ejemplo, los resultados obtenidos por dos equipos de dicho grupo, los proyectos corresponden a los prototipos “vibraciones en un edificio” y “rampa de frenado”, ver Figura 1.



Figura 1. Imágenes de dos de los prototipos presentados, a la izquierda el prototipo “Vibraciones en un edificio” y a la derecha el de “Rampa de frenado”. Fuente: Elaboración propia

Para el proyecto de “vibraciones en un edificio”, los estudiantes hacen un análisis de los datos de las deflexiones o desplazamientos horizontales de la estructura (edificio a escala), tratando de simular los movimientos que pueden sufrir la estructura en presencia de un sismo al aplicar una fuerza inicial también horizontal y contar en la base con unos resortes que son amortiguadores del movimiento. De igual manera, se repite el experimento para la misma estructura sin los resortes de amortiguamiento y se analizan las diferencias entre estos dos modelos.

En las gráficas obtenidas del software mediante el análisis de un video del prototipo en funcionamiento, Figura 2, se pueden observar como la amplitud del movimiento o desplazamiento lineal (eje vertical) provocada por la fuerza inicial aplicada, va disminuyendo conforme al tiempo (eje horizontal), lo cual es característico de un movimiento amortiguado, como lo es este caso por los resortes que se encuentran en la base.



*Figura 2.* Gráficas obtenidas mediante el software TRACKER para el prototipo de “vibraciones en un edificio” con resortes en la base. En la vertical se encuentra el desplazamiento lineal del edificio y en la horizontal el tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Para el proyecto “rampa de frenado” los estudiantes hacen un análisis a escala del recorrido que hacen los automóviles para frenar por completo dentro de la rampa. Dentro del prototipo los estudiantes pueden usar algunas variables para su estudio como lo son: usar autos de diferentes masas, cambiar el tipo de material de la superficie de frenado, diferentes velocidades de entrada a la rampa, diferentes tipos de rampas, etc.

En la Figura 3 podemos observar las diferencias en el tiempo de frenado para una misma rampa, usando el mismo móvil con dos materiales de frenado diferentes: arena y arroz triturado, con el arroz triturado (imagen a la derecha) se obtienen un tiempo más corto para el frenado, contrario a la arena (imagen de la izquierda), la cual tiene un tiempo de frenado mayor, de lo anterior se puede concluir que la fuerza de frenado es mayor en el arroz triturado, ya que, este material presenta un menor tiempo, mientras que la fuerza de frenado es menor en la arena, ya que, en este material se presenta un mayor tiempo de frenado. Es decir, el coeficiente de fricción cinética para el arroz triturado es mayor que para la arena.

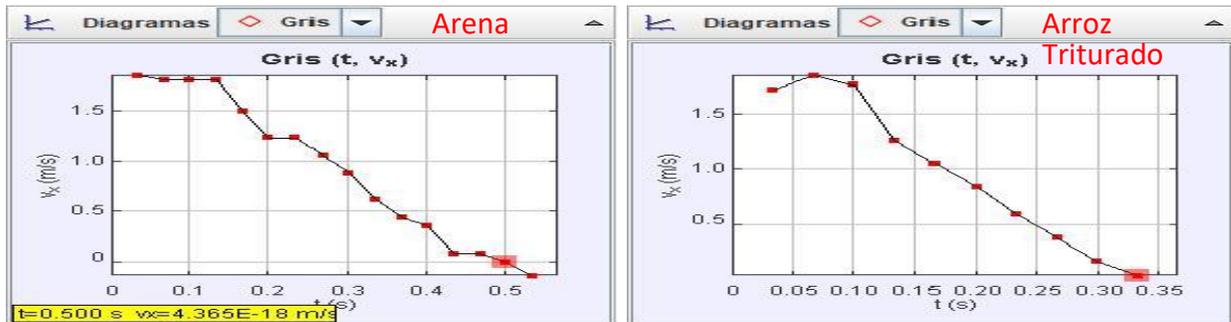


Figura 3. Gráficas obtenidas mediante el software TRACKER para el prototipo “rampa de frenado” usando dos diferentes materiales para el frenado, del lado izquierdo la gráfica corresponde a los resultados usando arena y a la derecha usando arroz triturado. Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

En el presente reporte de investigación se ha podido establecer la metodología para llevar a cabo el proyecto de construcción de prototipos experimentales usando las metodologías ABP y CP dentro de un curso llamado “Cinética” que forma parte del plan de estudios de la carrera de Ingeniero Civil de la FI-UASLP.

Se han establecido tres prototipos a desarrollar, los cuales son: 1) peralte en carreteras, 2) vibraciones en un edificio y 3) rampas de frenado, debido a que estos relacionan algunos elementos mecánicos propios de la Ingeniería Civil con temas que se desarrollan dentro del curso antes mencionado. Además, se logran establecer los criterios de evaluación para la presentación oral y escrita de los proyectos finales de los estudiantes, los cuales son: 1) Expresión y herramientas visuales, 2) Video del proyecto, 3) Diseño e implementación del Prototipo, 4) Ciclo Experimental, 5) Expresión Escrita y 6) Conclusiones y retroalimentación; así como, sus niveles de desempeño desde mínimo hasta excelente, dentro de una rúbrica de evaluación.

Se han determinado cronológicamente cada una de las etapas de la metodología, la cual se lleva de manera paralela al curso, por lo cual, se cuentan con un esquema en términos de las 16 semanas que tiene el semestre para llevar a cabo las diferentes etapas que son: 1) Propuesta de proyectos, 2) Avances de proyectos, 3) Anteproyecto y 4) Proyecto final.

Finalmente, se logran tener algunos resultados preliminares de la investigación, ya que, el semestre agosto-diciembre de 2019 fue el primero en el cual se aplicó la metodología, en un solo grupo de aproximadamente 25 estudiantes, sin embargo, se tiene como trabajo en proceso continuar con la aplicación de la metodología para obtener resultados que sean generalizables y con un mayor sustento a futuro al tener una mayor muestra de estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Zúñiga, S. y Zermeño, E. (2016). Uso de prototipos experimentales en la enseñanza del movimiento rotacional en alumnos de ingeniería. *Revista ANFEI Digital, Vol. (5)*. Recuperado de: <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/311>
- Zúñiga, S. y Zermeño, E. (2017). El trabajo en equipos de estudiantes universitarios y su desempeño en la construcción de prototipos. *Revista ANFEI Digital, Vol. (7)*. Recuperado de: <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/398>
- Zúñiga, S., Zermeño, E., Briones, O. y Moreno, N. (2019). Laboratorio sin aulas de bajo costo mediante Tecnologías Aplicadas al Conocimiento para formar ingenieros. *Revista ANFEI Digital, Vol. (11)*. Recuperado de: <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/572>