

Túnel de Viento: Construcción de material didáctico como estrategia de aprendizaje

Rosalino Rodríguez Calderón
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey
Morelia, Mich., México
rosalino@tec.mx

Daniel Barriga Flores
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey
Morelia, Mich., México
dbarriga@tec.mx

Sergio Román López
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey
Morelia, Mich., México
sergio.roman@tec.mx

Resumen— En el presente artículo se aborda la construcción de un Túnel de Viento, actividad académica cuyo propósito fue brindar una experiencia de aprendizaje diferente a otros proyectos escolares. El objetivo fue crear, y fortalecer, tanto competencias como habilidades en los estudiantes de la carrera de Mecatrónica, principalmente en las materias de Control y de Electrónica. Además, se describe el proceso que se llevó a cabo, así como los contenidos y conocimientos abordados en cada etapa. Finalmente, de los resultados de la experimentación se puede observar que esta forma de llevar los cursos genera en los alumnos enganche, motivación y aprendizaje significativo.

Keywords— Túnel de Viento, solución de problemas, material didáctico, control, automatización, innovación educativa, educación superior, educación profesional.

I. INTRODUCCIÓN

La idea de construir un túnel de viento surge de la necesidad de que nuestros estudiantes del segundo curso de física pudieran llevar a cabo su proyecto final, consistente en construir diversos modelos de aerogeneradores para caracterizarlos. Desafortunadamente, las condiciones ambientales no siempre les permitían llevar a cabo la experimentación, así que la toma de datos dependía completamente de éstas.

Para la construcción del túnel de viento, decidimos involucrar a estudiantes de la carrera de Mecatrónica que estaban cursando las materias de Control Computarizado y Laboratorio de Control Automático, en donde se estableció la construcción del túnel de viento como el proyecto final de dichos cursos.

Para desarrollar las competencias de los estudiantes, se decide implementar la técnica de Aprendizaje Basado en Problemas, PBL por sus siglas en inglés [1].

Acorde con la técnica educativa, los estudiantes iniciaron investigando qué es un túnel de viento, para qué sirve, cómo funciona, formas y tamaños, las proporciones entre las secciones, los costos de los componentes, etc.; posteriormente, vino la etapa de diseño y fabricación (corte, soldadura y pintura), finalmente, una vez construido el Túnel, colocaron sensores e hicieron pruebas de funcionamiento.

En el presente trabajo se describe la experiencia de aprendizaje de los alumnos de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico de campus Morelia durante el proceso de construcción de un túnel de viento. En la sección 2 se presenta un panorama de la problemática, en la sección 3 se describe el caso completo, en la sección 4 se presentan los resultados obtenidos y finalizamos con las conclusiones.

II. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Históricamente, el ser humano ha desarrollado tecnología para aprovechar la energía del viento, por ejemplo, al bombear agua para el riego o para la molienda de grano. Actualmente, la producción de energía eléctrica a partir del viento, se considera una alternativa muy importante pues tiene un gran potencial en comparación con otras fuentes de energías alternas, además de que no presenta problemas de contaminación [2].

Justamente la búsqueda de nuevas alternativas para la producción de energía limpia y sustentable nos permitió plantear un problema a resolver en la asignatura de Física II: la construcción de un aerogenerador. Este ejercicio fue abordado durante varios semestres [3] y en cada ocasión se presentaron dos problemas: los estudiantes construían aerogeneradores muy grandes y en el momento de la experimentación, las condiciones ambientales no siempre les permitían llevar a cabo la experimentación, es decir, la toma de datos dependía completamente del clima.

Para resolver esa situación, en su momento se consideró la posibilidad de comprar un túnel de viento, sin embargo, los precios nos parecieron exorbitantes y el tamaño no se ajustaba a lo que necesitábamos; de ahí surge la propuesta de construir un túnel de viento que les permitiera tener datos para caracterizar sus prototipos.

Aunado a lo anterior, se consideró convertir la construcción del Túnel de viento en una oportunidad de aprendizaje altamente significativo para los estudiantes de la carrera de Ingeniero en Mecatrónica. Se decidió utilizar la técnica de Aprendizaje Basado en Problemas, PBL por sus siglas en inglés [1], ya que el método de aprendizaje está basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos y también se sustenta en que el estudiante debe responsabilizarse de su propio aprendizaje.

En este contexto, los estudiantes iniciaron la búsqueda de trabajos semejantes para tener referencias validadas sobre las características que debía tener el modelo y posteriormente se acordó cómo sería el túnel, es decir, las dimensiones, el material para su construcción y los elementos electrónicos necesarios; otro tema de gran relevancia para los estudiantes fue ajustarse al presupuesto disponible.

Resueltas las temáticas descritas, se procedió a la construcción del túnel y la base de sustentación: corte, soldadura y pintura; posteriormente se realizó la construcción de diversos elementos de electrónica, de control y automatización, que se integraron para el funcionamiento del túnel de viento, como se describe en la siguiente sección.

III. CASO DE ESTUDIO

A. Participantes

Los participantes en la experimentación fueron 13 alumnos de octavo semestre de la carrera de Ingeniero en Mecatrónica, del Tecnológico de Monterrey Campus Morelia. El 100% de los participantes son hombres de 22 años en promedio. Los cuales estaban inscritos en el periodo académico agosto-diciembre 2019, en este periodo los estudiantes cursaban las materias de Control Computarizado y Laboratorio de Control Automático, en donde se estableció la construcción de un túnel de viento como proyecto de dichos cursos.

De acuerdo con los programas institucionales, las materias mencionadas tienen las siguientes características e intenciones educativas:

- **Control Computarizado:** es un curso de nivel intermedio, que tiene la intención de que el alumno conozca, analice y maneje adecuadamente la teoría de control discreto, para elaborar soluciones a distintos problemas de diseño de sistemas de control por computadora, basándose en el concepto de función de transferencia y del espacio de estados para los casos lineales y discretos, así como de una y varias variables. Como resultado del aprendizaje, se espera que el alumno analice, basándose en leyes físicas y técnicas de identificación de sistemas, que diseñe usando especificaciones establecidas, que implemente usando software y tecnologías digitales y, finalmente, que evalúe el desempeño de sistemas de control computarizado de procesos.
- **Laboratorio de Control Automático:** es un curso avanzado que tiene la intención de proporcionar experiencia práctica en el análisis, modelado, diseño y evaluación del desempeño de sistemas de control automático. El alumno adquirirá las habilidades para realizar el diseño e implementación de sensores mecatrónicos para retroalimentación y diversas implementaciones de controladores para motores, así como de tipo regulatorio para procesos continuos como nivel, temperatura, flujo, etc. Como resultado del aprendizaje se espera que el alumno: Evalúe de forma cuantitativa el desempeño de un lazo de control a partir de gráficas de respuesta transitoria; Aplique estrategias avanzadas de control; Diseñe HMI's para monitoreo y control; Diseñe e implemente sistemas de control de posición y velocidad en motores; y realice proyectos de control automático mediante integración mecatrónica.

B. Instrumento y Procedimiento

La metodología de investigación fue cuantitativa basada en ocho preguntas, misma que se listan en la tabla I. Es necesario comentar que las preguntas tienen diferentes características: seis preguntas fueron hechas con base en la escala Likert (ver tabla II), incluimos una pregunta de opción múltiple y una más de respuesta abierta.

La encuesta tiene como propósito medir el enganche, la motivación y el aprendizaje significativo, de manera que las preguntas elaboradas se agruparon en estas tres categorías;

las definiciones para cada una de éstas, así como las preguntas utilizadas para medirlos son:

- **Enganche.** Se usan las preguntas 1, 2 y 3 buscando medir que tan involucrados o activos están los alumnos en las actividades del proyecto, es decir cómo es la calidad del esfuerzo [5, 6, 7]. También se mide si los alumnos utilizan la tecnología NO como un distractor si no como un apoyo al curso/proyecto [5], además de cuantificar qué tanto atrae la atención el desarrollo del proyecto, es decir su frecuencia de participación [5, 6, 7]
- **Motivación.** Para este rubro se toman las preguntas 4, 5 y 6, que ayudan a cuantificar si los alumnos profundizaron en los contenidos de los cursos, además, nos proporcionan información de la posible vinculación que los alumnos pudieron hacer entre los contenidos/actividades/proyectos y los intereses personales, reflejado en mayor participación. Adicionalmente, se puede medir si vieron la utilidad de los contenidos/actividades/proyectos para resolver problemas de su vida profesional [5, 6, 7]
- **Aprendizaje significativo.** Con esta variable se puede cuantificar si los alumnos relacionan contenidos de otros cursos y si los usan para dar solución al proyecto [5], también permiten medir si encontraron una aplicación de los contenidos en la solución de una problemática real [5]. Para este aspecto se utilizaron las preguntas 7 y 8.

TABLA I. PREGUNTAS

Q1 Pondera tu nivel de participación e involucramiento en el proyecto actual en comparación con proyectos anteriores.

Q2 Selecciona las tecnologías que utilizaste como apoyo durante el desarrollo de tu proyecto.

Q3 Durante el desarrollo del proyecto, ¿qué tan frecuentemente hablaste, pensaste, discutiste y tomaste acuerdos sobre el proyecto, en comparación con proyectos anteriores?

Q4 Sin considerar la calificación, ¿qué tanta relación tiene el proyecto con tus intereses personales?

Q5 ¿El proyecto te permitió establecer alguna relación con las competencias de tu profesión?

Q6 ¿Fue necesario profundizar en los conceptos, contenidos, tecnologías, herramientas propias del curso donde desarrollaste el proyecto?

Q7 Enlista los cursos, anteriores y actuales, que te brindaron las competencias para poder realizar este proyecto.

Q8 ¿Qué tan importante fue aplicar tus conocimientos para construir el prototipo?

TABLA II.

ESCALA LIKER

Totalmente de acuerdo				Totalmente en desacuerdo
5	4	3	2	1

C. Experimentación

Durante el periodo agosto-diciembre de 2019 se corrió el proceso de experimentación. El cual consistía en el diseño, construcción y pruebas de un túnel de viento. El diseño del túnel de viento se establece para caracterizar modelos a escala de aerogeneradores, como el de la figura 1. Para este objetivo se decide construir un túnel de viento abierto, de cámara de ensayos cerrada y de succión/aspirado.



Fig. 1. Aerogenerador para la experimentación

Para el desarrollo del proyecto los alumnos segmentaron el trabajo en tres fases principales: diseño CAD, manufactura y pruebas de funcionalidad.

Durante la etapa de diseño se segmenta el túnel en sus partes principales: Cono de aceleración, cámara de ensayo, difusor y ventilador; además, para su diseño se establecen las siguientes consideraciones:

- La geometría del túnel deberá buscar un flujo laminar.
- El túnel deberá tener dimensiones tales que permita introducir modelos de aerogenerador como el de la figura 1
- La estructura del túnel deberá mantener una altura en la que resulte cómodo trabajar.
- La estructura deberá aguantar el peso del túnel completo y el empuje del ventilador.
- El ventilador deberá disponer de una estructura que le permita una fácil unión con el túnel.
- Tomar en cuenta las consideraciones necesarias de velocidad del fluido para caracterizar aerogeneradores.

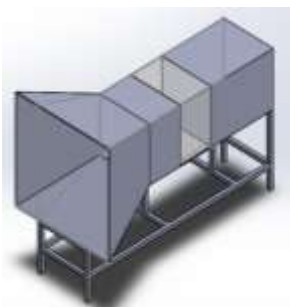


Fig. 2. Diseño del Túnel de Viento

Basados en las restricciones antes expuestas y apoyados de los conceptos físicos, así como de los modelos matemáticos que rigen cada parte, se desarrolló la propuesta mecánica mostrada en la figura 2, que tiene dimensiones máximas de 280cm x 60cm x 150cm.

Es muy relevante, para los objetivos formativos del proyecto, resaltar que, durante el proceso de diseño mecánico del túnel, los alumnos tuvieron que retomar conceptos de fluidos, vistos en cursos previos de Física, tales como: presión, densidad y principio de Bernoulli entre otros.

En base al diseño de la figura 2 se selecciona el sistema de succión el cual debe cubrir un área de 1m² con un motor que pueda variar su velocidad para generar vientos de 0 m/seg a 20 m/seg. El extractor propuesto se muestra en la figura 3.

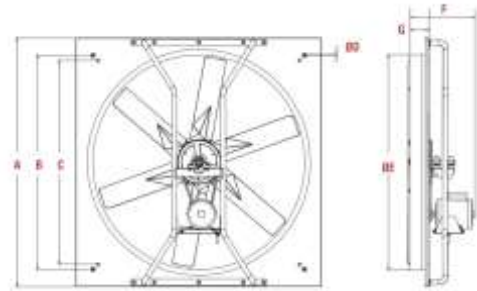


Fig. 3. Extractor (A: 1008 mm, B: 835 mm, C: 778 mm de diámetro, D: 15.9 mm de diámetro, E: 800 mm de diámetro, F: MF 316 mm TF 292 mm, G: 90 mm)

Una vez depurado y terminado el proceso de diseño, se procede a la construcción del prototipo de túnel de viento. Para este efecto se utilizó el material y las herramientas indicados en la tabla III.

TABLA III. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Materiales	Herramientas
Láminas de acero calibre 22	Máquina de soldar
Tubular cuadrado de tipo PTR y 2" de cara	Taladro, desarmador y pinzas
Malla de acero	Cortadores
	Dobladora de lámina

La figura 4, 5 y 6 muestra el proceso de construcción, de donde se evidencia que los alumnos desarrollaron habilidades manuales durante el proceso, ya que colaboraron con las tareas de cortado, soldadura, perforaciones y pintado.



Fig. 4. Construcción de estructura metálica



Fig. 5. Incorporación del soporte para extractor en parte trasera.



Fig. 6. Detallado y pintado del túnel de viento.

Al terminar el proceso de manufactura mecánica, se realizó la instalación de diversos componentes:

- el extractor HIT-800 (características en la tabla IV)
- el sistema eléctrico que lo provee de energía; en esta parte los alumnos retomaron conceptos de sus cursos de circuitos eléctricos de corriente alterna y de actuadores eléctricos,
- el control de velocidad Micromaster 420 (cuyas especificaciones se indican en la tabla IV), que permite ajustar el flujo del viento dentro del túnel; para la selección y armado del túnel con éste componente, los estudiantes aplicaron sus conocimientos de sistemas de control y las reglas de sintonización de controladores industriales. En la figura 7 y 8 se muestra el resultado final.

TABLA IV. CARACTERÍSTICAS DEL EXTRACTOR Y DEL CONTROLADOR

Modelo	Descripción
Extractor HIT-800	570 rpm 1/3 de hp de potencia Trifásico 220 V a 1.4 A Caudal de 12110 m ³ /hr Peso aproximado de 34 kg Diámetro de las aspas de 800 mm.
Controlador MICROMASTER 420 Siemens	Alimentación monofásica o trifásica 200 - 240 V Salida trifásica a 240 V a 3.9 A Potencia de 1 hp Frecuencia de salida 0Hz a 80Hz

Finalmente, para validar la funcionalidad, se energiza el sistema y por medio del controlador se varía la velocidad del viento, misma que se monitorea con un anemómetro. En las pruebas se pudo observar el correcto funcionamiento del túnel.



Fig. 7. Túnel de viento construido (vista de atrás).



Fig. 8. Túnel de viento construido (vista de frente).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Después de la experimentación se aplicó una encuesta a los alumnos participantes en el ejercicio académico, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla V y las figuras 9 y 10. Los resultados de la tabla V se obtuvieron apoyados del software SPSSTM [8].

Analizando los datos de la tabla V se observa que los resultados rondaron alrededor de una media de 4, es decir, pegado al completamente de acuerdo de la escala Likert. Lo anterior implica que la construcción del túnel de viento como estrategia pedagógica generó en los alumnos enganche, motivación y aprendizaje significativo.

TABLA V. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ENCUESTA DE SALIDA (ALPHA DE CRONBACH: 0.841)

Preguntas	Media	Desviación estándar
Enganche	Q1	4.54
	Q3	4.62
	Q4	3.77
Motivación	Q5	4.31
	Q6	3.77
Aprendizaje significativo	Q8	4.69

De la nube de palabra de la figura 9 es notorio que en este proyecto utilizaron la tecnología como un apoyo y no como un distractor, que es común que suceda en las nuevas generaciones. Además, la figura 10 es muestra clara de que reconocen haber tenido que hacer uso del conocimiento adquirido en otras materias o contextos, lo anterior es un indicador de aprendizaje significativo



Fig. 9. Resultados de la pregunta 2



Fig. 10. Resultado de la pregunta 7

Podemos resumir los resultados de la experiencia de la siguiente forma:

- Un enganche significativamente alto, por el nivel de participación e involucramiento que los estudiantes reportan, además, utilizan la tecnología como un apoyo de comunicación.
- La construcción les ha motivado por varias razones: fue un proyecto totalmente diferente, que debieron iniciar desde cero, sin tener ideas preconcebidas y fue un ejercicio que fortaleció sus competencias profesionales.
- Se generó aprendizaje significativo puesto que debieron usar conocimientos, tanto de cursos previos como simultáneos y de diferentes áreas.

Después de la construcción el túnel se ha usado en proyectos de la materia de Física II, debido a que, durante la

experimentación las velocidades se mantienen constantes y se tiene un buen control para ir variando la velocidad del viento dentro del túnel. La experimentación consiste en hacer un prototipo de aerogenerador con materiales sencillos, usando o aplicando los principios físicos que se contemplan en el temario de la materia, los principios físicos les ayudan a hacer el tipo de aerogenerador, ya sea horizontal o vertical y en la forma y tamaño de las aspas. Los alumnos diseñan y fabrican tres tipos de aerogeneradores de acuerdo con sus ideas. Para trabajar, se eligió el prototipo con el mayor coeficiente de potencia (indicador de la eficiencia con que el aerogenerador convierte la energía del viento en energía eléctrica), que se obtiene haciendo el cociente de las velocidades del viento al frente y atrás del aerogenerador [9]. Al generador que obtenía mejor coeficiente de rendimiento o fuera mejor manipulable se le agregaba un sistema de poleas y un generador eléctrico. Se hacían pruebas con el dispositivo completo, figura 11, y se obtenía el voltaje y corriente que generaba el aerogenerador y con estos datos se obtenía la potencia y se comparaba con la potencia que se generaba con el viento, obteniéndose a partir de la energía cinética. Como trabajo a futuro se utilizarían estos prototipos para comprobar la relación que hay entre la velocidad del viento y la potencia que se maneja en la literatura [10].



Fig. 11. Aerogenerador dentro del túnel de viento.

V. CONCLUSIONES

Después de la experimentación se vio que los estudiantes consideraron muy relevante la construcción del túnel de viento para su aprendizaje, ya que validaron la aplicación práctica de los conceptos y fortalecieron la comprensión de los contenidos abordados en el salón de clase.

Por otra parte, los estudiantes tomaron decisiones sustentadas en sus resultados, proceso que fortalece sus competencias profesionales, desarrollaron habilidades para el diseño, así como experiencia en la puesta en marcha de prototipos.

Es importante mencionar que no hemos encontrado información sobre la experiencia académica de construir un túnel de viento como parte del proceso de aprendizaje en alumnos de nivel profesional. Únicamente sobre el uso de túneles para realizar prácticas en el laboratorio de física (cuyo tamaño sería un 25% del nuestro) así como su uso en investigación.

Finalmente, consideramos que el tiempo fue uno de los grandes limitantes, ya que dispusieron sólo de un semestre, 4 meses, para la planeación, diseño y construcción del túnel de viento.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a todos los estudiantes del campus de Morelia y profesores, que apoyaron y contribuyeron en el proyecto.

Los autores agradecen el apoyo financiero de Novus Grant con PEP No. PHHT04518ZZ00002, TecLabs, Tecnológico de Monterrey, México, en la producción de este trabajo.

Los autores desean agradecer el apoyo financiero de Writing Lab, Institute for the Future of Education, Tecnológico de Monterrey, México, en la producción de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] P. Morales B. and V. Landa F, "Aprendizaje basado en problemas", vol. 13: pp. 145-157, 2004.
- [2] Pinilla, Álvaro, "El poder del viento". Revista de Ingeniería [en línea]. 2008, (28), 64-69. ISSN: 0121-4993. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015051009>
- [3] R. R. Calderón, D. B. Flores and S. R. López, "Micro wind turbines to learn Physics," 2019 IEEE World Conference on Engineering Education (EDUNINE), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/EDUNINE.2019.8875755.
- [4] Acevedo, V. "Diseño de un túnel de viento para prueba de ventiladores y perfiles aerodinámicos". Bachelor Thesis, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia, 2006.
- [5] Tecnológico de Monterrey. "Convocatoria NOVUS 2018, del Tecnológico de Monterrey": <https://novus.itesm.mx/>. Apr. 2018.
- [6] R. Rodríguez-Calderón and R. Belmonte-Izquierdo, "Educational Platform for the Development of Projects Using Internet of Things," in IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 16, no. 3, pp. 276-282, Aug. 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3122971.
- [7] P. A. Tebbe, S. Ross and J. R. Pribyl, "Measuring Student Engagement in Thermodynamics Courses", IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2013, pp 1828-1830.
- [8] IBM, "IBM SPSS software." [Online]. Available: <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>
- [9] F. Zucker, A. Grabner, A. Strunz and J-P Mein "Quantitative analysis of a wind energy conversion model" European Journal of Physics Vol. 36 Number 2 (2015) 025014 (9pp)
- [10] V. Lombardo, E. Fiordilino, A. Agliolo Gallito and P. Aglieco "An experiment on wind energy" Physics Education Vol. 47 Number 6 pp 755-759 (2012)