

Atenuación de vibraciones de un sistema flexible: aporte de Matemática Avanzada a la formación en competencias del Ingeniero en Mecatrónica

Silvia Raichman*, Anibal Mirasso

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Fecha de recepción: 30 de junio de 2019 - Fecha de aceptación: 8 de abril de 2020

Resumen

La formación actual en carreras de Ingeniería plantea grandes desafíos referidos al diseño e implementación de estrategias didácticas en el marco de educación basada en competencias. Matemática Avanzada es una asignatura del área de ciencias básicas de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en la ciudad de Mendoza, Argentina, cuyo modelo pedagógico está definido a partir de escenarios de interacción destinados a promover el aprendizaje complejo y el desarrollo de capacidades específicas que aportan a competencias del perfil profesional. En este trabajo se presenta un escenario de integración e investigación en el que se selecciona como situación problema de interés la atenuación de vibraciones de un sistema flexible como el de las palas de generadores eólicos. Se plantea a los estudiantes la solución de distintos modelos matemáticos para asistir a la toma de decisiones en el proceso de diseño. El trabajo integrador permite acercar a los estudiantes a la práctica profesional en un contexto acorde al bloque de formación al que pertenece el espacio curricular, combinando adecuadamente las estrategias de resolución, con los referentes apropiados al nivel y contenidos de la asignatura. Se presentan rúbricas elaboradas para la evaluación de las presentaciones escritas y orales y resultados obtenidos de la implementación de la propuesta.

Palabras claves: Competencias profesionales; Ingeniería en Mecatrónica; Matemática Avanzada; Escenario de integración; Vibraciones.

Vibrations attenuation of a flexible system: Advanced Mathematics contribution to the training in competences of the Mechatronics Engineer

Abstract

Current training in engineering careers poses major challenges related to the design and implementation of teaching strategies in the framework of competency-based education. Advanced Mathematics is a subject in the area of basic sciences of Mechatronics Engineering career in

* silvia.raichman@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Engineering Faculty of the National University of Cuyo in the city of Mendoza, Argentina, whose educational model is defined from interaction scenarios designed to promote complex learning and the development of specific skills that contribute to the professional competencies profile. This work presents an integration and research scenario in which the vibrations attenuation of a flexible system like the one of wind generator blades is selected as the interest problem situation. The students are presented with the solution of different mathematical models to assist in the decision-making design process. The integrating work allows to approach the students to the professional practice in a context according to the training block to which the curricular space belongs, combining properly the resolution strategies, with the appropriate referents to the level and contents of the subject. Elaborated rubrics are presented for the evaluation of the written and oral presentations and results obtained from the proposal implementation.

Keywords: Professional skills; Mechatronics Engineering; Advanced Mathematics; Integration scenario; Vibrations.

1. Introducción

La formación actual en carreras de Ingeniería plantea grandes desafíos referidos al diseño e implementación de estrategias didácticas en el marco de educación basada en competencias. En ambientes ricos y variados de aprendizaje en los que se combinan explicaciones del profesor, discusiones en grupo, aprendizaje cooperativo y trabajo independiente, es posible promover el desarrollo de capacidades que aportan a competencias genéricas y específicas del perfil profesional (Felder y Brent 2003; Castejón et al. 2006; Verdejo y Freixas 2009).

Matemática Avanzada es una asignatura interdisciplinaria que pertenece al área de ciencias básicas del plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica y se desarrolla durante el cuarto semestre en Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, en la ciudad de Mendoza, Argentina. Provee al estudiante de los conocimientos y habilidades necesarios para el estudio y comprensión de la formulación matemática de modelos de sistemas reales de interés en Ingeniería en Mecatrónica y su solución mediante métodos analíticos y numéricos. Los contenidos están asociados a conceptos de modelado matemático de sistemas dinámicos con ecuaciones

diferenciales, resolución numérica de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, transformada de Laplace y transformada de Fourier (Kreyszig 2006).

El modelo educativo de Matemática Avanzada está definido a partir de escenarios de interacción (Raichman y Mirasso 2018), destinados a promover el aprendizaje complejo y el desarrollo de capacidades que aportan a competencias del perfil profesional. En estos escenarios se plantean actividades vinculadas a situaciones de interés para la carrera y se emplean una variedad de recursos mediados pedagógicamente (Prieto Castillo 1997), para facilitar la visualización, la exploración y la experimentación. Se habilita a la participación activa, comprometida y responsable de los estudiantes, a la vez que se atiende a la diversidad de estilos de aprendizaje (Felder y Brent 2005).

La clasificación de los escenarios de interacción se realiza en función de las intencionalidades educativas específicas, de los recursos y de las actividades puestos en juego en cada uno de ellos (Raichman y Mirasso 2018): a) escenarios de desarrollo de contenidos; b) escenarios virtuales de aprendizaje; c) escenarios de exploración y experimentación; d) escenarios de integración

e investigación; e) escenarios de articulación entre disciplinas; f) escenarios de tutorías.

En este trabajo se presenta el diseño e implementación del escenario de integración e investigación en la asignatura Matemática Avanzada de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica. Se selecciona como situación problema de interés la atenuación de vibraciones de un sistema flexible como el de las palas de generadores eólicos, permitiendo acercar a los estudiantes a la práctica profesional, en un contexto acorde al bloque de formación al que pertenece el espacio curricular. Se presentan las rúbricas elaboradas para la evaluación de las presentaciones escrita y oral y resultados obtenidos de la implementación de la propuesta.

2. Escenario de integración e investigación en Matemática Avanzada

Teniendo en cuenta las características del espacio curricular Matemática Avanzada, existe la posibilidad de incluir en el modelo pedagógico un escenario de interacción destinado a integrar contenidos, favorecer el acercamiento de los estudiantes a la investigación científica y a despertar su espíritu innovador (Raichman y Mirasso 2018; Malo 2009). Es así que se plantean trabajos integradores que brinden la oportunidad a los estudiantes de desarrollar tareas adecuadas al nivel de dificultad que pueden resolver y de profundizar en temas que los acerquen a la problemática específica de su especialidad. Bajo el enfoque de aprendizaje colaborativo (Felder y Brent 2007), trabajan en equipos de investigación de hasta cuatro integrantes, para resolver una situación problema de interés. El grupo elabora un informe escrito según pautas previamente definidas y se organiza una actividad de transferencia que implica la presentación oral del problema elaborado, los resultados obtenidos y las correspondientes

conclusiones. Se habilita un espacio de discusión y reflexión que brinda aportes tanto al grupo expositor como al resto de los estudiantes.

Las intencionalidades educativas específicas de este escenario de integración e investigación son: aplicar, integrar y transferir contenidos a nuevas situaciones creadas a partir de problemas de la práctica profesional; promover en los estudiantes el desarrollo de las capacidades de comprensión, producción, resolución de problemas y comunicación de resultados; tender puentes cognitivos hacia el interior de la asignatura y con otras asignaturas del diseño curricular. Así mismo, se promueve el desarrollo de las competencias genéricas tecnológicas, sociales, políticas y actitudinales definidas en CONFEDI y Giordano Lerena (2016).

3. Planteo de la situación problema

La motivación al problema seleccionado para el trabajo integrador incluye una descripción de la importancia de las fuentes renovables de energía, los parques eólicos existentes en la región y el objetivo tecnológico de desarrollar turbinas eólicas de 5 MW de potencia para asegurar viabilidad económica. Esto último conduce al planteo de la problemática de los sistemas estructurales flexibles tales como las palas de los generadores eólicos, susceptibles de falla por vibraciones que inducen fatiga y la necesidad de controlar dichas vibraciones con la incorporación de un sistema de control.

Se plantea a los estudiantes la solución e interacción de distintos modelos matemáticos a los efectos de asistir a la toma de decisiones en el proceso de diseño del sistema de control. Para ello es necesario generar un modelo numérico apropiado a través de una metodología compleja, que implica en una primera etapa la resolución de ecuaciones diferenciales parciales con el método de separación de variables y una ecuación

diferencial ordinaria por medio de transformada de Laplace. En el modelo matemático simple de un grado de libertad así obtenido, se eligen parámetros de diseño para el sistema de control, los cuales se trasladan a un modelo matemático más preciso de múltiples grados de libertad, que se resuelve por el método de Diferencias Finitas. La metodología de trabajo así planteada es una alternativa de diseño en modelos reducidos utilizada en Alvarez y Mirasso (2013). A partir del modelo generado, los estudiantes realizan

la fase de diseño que implica investigar cómo actúan determinados parámetros que deben seleccionar a los efectos de modificar la respuesta del sistema real.

Por lo tanto, las tareas a realizar por cada grupo de estudiantes consisten en: desarrollos analíticos, implementaciones computacionales, estudios paramétricos, análisis de resultados, definición de parámetros de diseño y elaboración de conclusiones.

4. Actividades asociadas al trabajo integrador

En la Figura 1 se indica el modelo físico de la pala del aerogenerador. El modelo matemático que describe el comportamiento del aspa del generador eólico está dado por la siguiente ecuación diferencial, correspondiente al desplazamiento $u(x, t)$ de una viga empotrada-libre con condiciones iniciales nulas (Figura 2).

$$m(x) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + EJ \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} = p(x)g(t) \quad (2)$$

$$\text{en } \Omega = \{x \in R: 0 \leq x \leq L\} \quad (1)$$

Las condiciones de borde están dadas por

$$\begin{cases} u(0, t) = 0 \\ \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{0,t} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} EJ \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = M_L g_C(t) \\ EJ \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x^3} = 0 \end{cases}$$

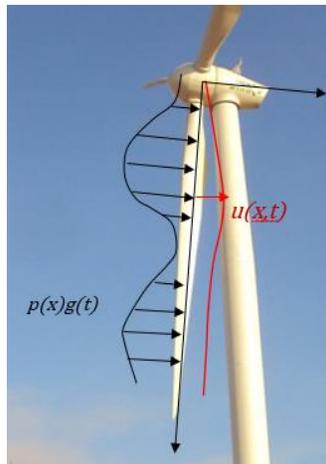


Figura 1. Modelo físico de la pala del aerogenerador.

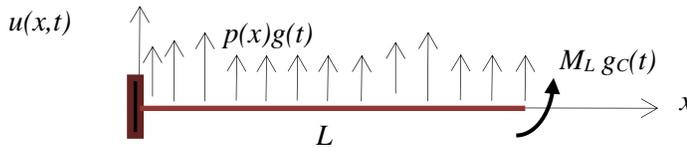


Figura 2. Modelo idealizado de la pala del generador eólico.

Los valores de longitud L del aspa, módulo de elasticidad de Young E , momento de inercia de la sección transversal J , masa distribuida por unidad de longitud $m(x)$, momento flector actuante en el extremo libre de la viga M_L y de las funciones $p(x)$ y $g(t)$ que caracterizan la acción externa sobre el aspa, son datos. La función $g_c(t)$ representa al sistema de control en el modelo matemático y debe seleccionarse adecuadamente para lograr el objetivo de obtener una posición de referencia pretendida $u_R(L,t)$ para diversas acciones externas $g(t)$. M_L es un momento flector que modela acciones tecnológicamente implementadas con mecanismos o materiales piezoeléctricos. Es decir, $M_L g_c(t)$ representa la acción del sistema de control destinada a lograr el objetivo de atenuar las vibraciones del sistema flexible al alcanzar una posición de referencia $u_R(L,t)$ en el extremo de la misma.

4.1. Solución analítica del modelo matemático homogéneo

Es necesario resolver en primer lugar, el problema homogéneo asociado a la ecuación diferencial dada en (1) con sus condiciones de borde homogéneas. A partir del método de separación de variables, los estudiantes determinan las frecuencias y los modos

naturales de vibración de la pala. Esta actividad permite articular con contenidos de la asignatura Análisis Matemático II.

4.2. Modelo matemático de un grado de libertad

En muchas situaciones prácticas suele ser una aceptable aproximación, la respuesta obtenida con un modelo de un solo grado de libertad. Dicha respuesta debe corroborarse en cada problema comparando con resultados experimentales o bien numéricos de modelos más precisos.

En este caso es posible obtener un modelo de un grado de libertad representativo del modelo matemático dado por las ecuaciones (1) y (2), a partir de la formulación energética del sistema. Se plantea la función incógnita $u(x,t)$ como combinación lineal de N funciones base conocidas $\varphi_j(x)$ que cumplen con las condiciones de borde del problema. Estas son las funciones solución del problema homogéneo planteado en 4.1. Así se propone

$$u(x,t) = \sum_{j=1,N} \varphi_j(x) q_j(t) \quad (3)$$

Cuando se considera $N=1$, se tienen las siguientes aproximaciones de las energías cinética y potencial total

$$T = \frac{1}{2} (\dot{q}(t))^2 \int_0^L \{m(x)(\varphi_1(x))^2\} dx \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \pi = \frac{1}{2} (q(t))^2 \int_0^L \left\{ EJ \left(\frac{\partial^2 \varphi_1(x)}{\partial x^2} \right)^2 \right\} dx - g(t) q(t) p \int_0^L \{ \varphi_1(x) p \} dx \\ - g_c(t) q(t) M_L \frac{\partial \varphi_1(x)}{\partial x} \Big|_L \end{aligned} \quad (5)$$

Mediante las ecuaciones de Lagrange (Inman 1994), se obtiene la ecuación de equilibrio del modelo de un grado de libertad

$$\ddot{q}(t) + \omega_n^2 q(t) = b_P g(t) + b_M g_C(t) \quad (6)$$

con las respectivas expresiones para ω_n^2 , b_P y b_M .

A partir de la solución numérica de la ecuación diferencial ordinaria de segundo orden (6) obtenida para $M_L=0$ y $g(t)$ la función delta de Dirac, se corrobora que el sistema de un grado de libertad responde ante un impulso unitario con una oscilación que conserva la amplitud y con una frecuencia aproximada de 2,41 rad/seg. Este valor aproxima muy bien a la frecuencia fundamental $\omega_1=2,406$ rad/seg del problema de oscilaciones libres planteado en 4.1, vinculando así ambos modelos matemáticos.

4.2.1. Selección de la función $g_C(t)$ en el sistema de un grado de libertad

Se considera la ecuación (6) con condiciones iniciales nulas y que la intensidad del sistema de control está dada por

$$g_C(t) = K_P e(t) + K_D \dot{e}(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (7)$$

$$e(t) = C(q_R - q(t)) = u_R(L, t) - u(L, t) \quad (8)$$

La función $e(t)$ mide en cada instante de tiempo t la diferencia entre una posición de referencia requerida en el extremo libre $u_R(L, t)$ y la posición actual del sistema, es decir, $u(L, t)$. La función $g_C(t)$ queda definida en cada instante de tiempo según las variaciones de la función $e(t)$ en forma

proporcional a las constantes K_P , K_D y K_I , que deben elegirse adecuadamente.

La aplicación de transformada de Laplace a las ecuaciones (6) a (8) conduce a

$$(s^2 + \omega_n^2)Q(s) = b_P G(s) + b_M G_C(s) \quad (9)$$

$$G_C(s) = (K_P + sK_D + \frac{K_I}{s})e(s) = H_C(s)e(s) \quad (10)$$

$$e(s) = C(q_R(s) - Q(s)) \quad (11)$$

Al considerar las ecuaciones (9) a (11) es posible determinar expresiones para $Q(s)$ y $H_C(s)$, interpretar los significados de las funciones racionales $H(s)$, $H_C(s)$, $G(s)$ y $q_R(s)$ y dibujar en el plano s los ceros y polos de cada una de ellas.

4.2.2. Selección de los parámetros de $G_C(s)$

La respuesta del sistema depende de los polos de la función $Q(s)$. Si la acción externa $g(t)$ es un impulso unitario y la función $q_R(t)$ es nula, dichos polos son los únicos a considerar. Si $g(t)$ y/o $q_R(t)$ cambian, se agregarán nuevos polos a los ya definidos. Los estudiantes determinan los polos de la función $Q(s)$, grafican en el plano s los polos del sistema sin control, los ceros y polos de $H_C(s)$ y los nuevos polos de $Q(s)$, para $K_P/K_D=3$ y $K_I/K_D=2$. Así mismo, comprueban que la respuesta $q(t)$ y la acción $g_C(t)$ para lograr que q_R sea nulo ante un impulso unitario, están dadas por las curvas de la Figura 4.

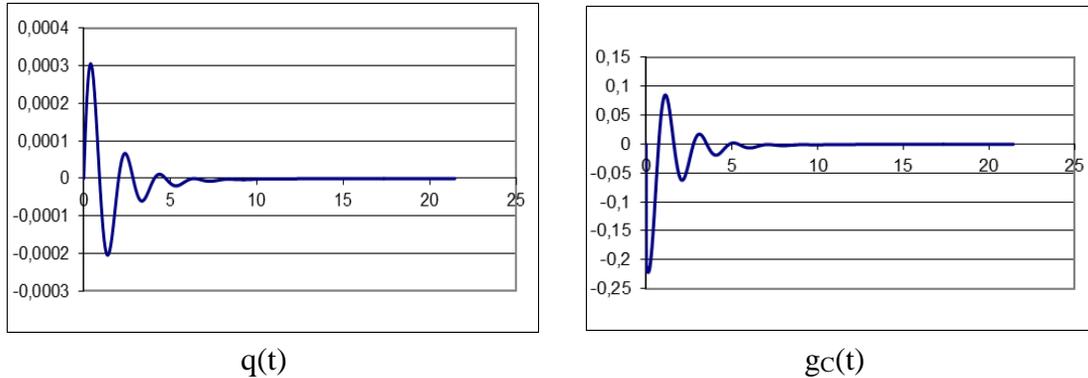


Figura 4. Respuesta $q(t)$ y $g_C(t)$ para un sistema de un grado de libertad con $g(t)=\delta(t)$

Se concluye que al introducir la acción $b_{Mg_C(t)}$, el sistema oscilatorio es amortiguado y en pocos segundos se detiene. Resulta necesario conocer qué ocurre con el nuevo sistema ante cambios de la magnitud de K_D , ante otros objetivos buscados para q_R y ante otras variaciones temporales de las acciones externas $g(t)$.

4.2.3. Variación de los parámetros de $G_C(s)$

Para la misma excitación $g(t)$ y la acción $g_C(t)$ definida en el punto anterior, se busca variar el parámetro K_D y observar la respuesta $q(t)$ y la acción $g_C(t)$. Para describir la eficiencia del

sistema obtenido se adoptan la norma infinito de la acción $g_C(t)$ y el tiempo objetivo para un impulso unitario. La norma infinito de $g_C(t)$ es un indicador de la máxima acción que debe ser capaz de entregar el sistema. Por otra parte, se define como tiempo objetivo para la acción impulso unitario a una aproximación del menor tiempo para el cual la respuesta dq/dt posterior a dicho tiempo objetivo es siempre menor a $1e-5$. De este modo el tiempo objetivo es un indicador de cuánto tarda en lograrse el valor de q_R . Se solicita a los estudiantes que comprueben los valores de la Tabla 1 y que completen los resultados faltantes.

Tabla 1. Sensibilidad de la respuesta ante $g(t)=\delta(t)$

K_D	Norma Inf $g_C(t)$	Tiempo Objetivo	Polo Real	Polo Complejo
30	0,11406	18,06		
70	0,22176	6,22		
100	0,3	3,84		
150	0,447	3,36		
300	0,894	2,46		
700	2,086	1,566		

Cuando la posición objetivo q_r es no nula, los estudiantes comprueban que ante una acción externa dada por un impulso unitario, y con las relaciones elegidas $K_P/K_D=3$ y $K_I/K_D=2$, es

posible controlar el sistema encontrando $q(t)$ mediante métodos numéricos. Análogamente para una acción externa dada por una función escalón.

4.3. Modelo matemático discreto de N grados de libertad

En base al método de diferencias finitas aplicado al problema diferencial dado en (1)

$$M \vec{z}(t) + K \vec{z}(t) = g(t) \vec{f}_P + g_C(t) \vec{f}_M \tag{12}$$

Siendo

$$\vec{z}(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \dots \ u_L(t)]^T ; u_j(t) = u(x_j, t) \tag{13}$$

donde $g_C(t)$ es la función definida por la ecuación (7) y sus parámetros los dados en el modelo de un grado de libertad.

Se analiza el modelo discreto con 20 intervalos en la longitud L , adoptándose los mismos datos que en el sistema de un grado de libertad. La acción $g_C(t)$ se asume con las relaciones elegidas K_P/K_D y K_V/K_D definidas en el sistema de un grado de libertad. Es decir, se mantienen

los estudiantes determinan las matrices y vectores del modelo discreto dado por

los polos dominantes. En la Figura 6 se muestra la respuesta $u(L,t)$ ante un impulso unitario en este modelo, cuando se considera $g_C(t)$ nula. Esta respuesta se puede comparar con la del sistema de un grado de libertad, considerando $u(L,t) = 2q(t) = \varphi_1(L)q(t)$, a partir de la ecuación (3) cuando se adopta una sola función base.

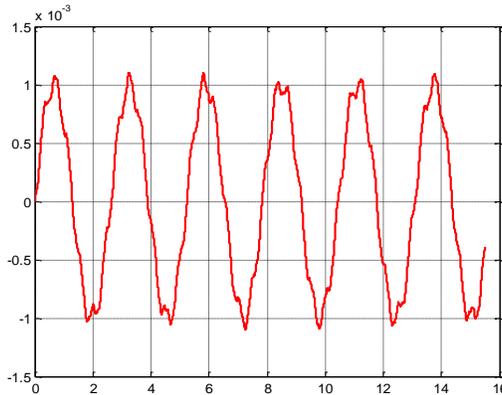


Figura 6. $u(L,t)$ modelo discreto con $g(t)=\delta(t)$

En la Figura 6 se observa que se tienen frecuencias más altas superpuestas en la respuesta, además de la frecuencia fundamental. En la Figura 7 se muestra la respuesta $u(L,t)$ ante un impulso unitario en el modelo de 20 grados de libertad, cuando se

considera $g_C(t)$ con $K_D=70$. El nivel de amortiguamiento logrado es importante y similar al obtenido en el sistema de un grado de libertad. Tanto el tiempo objetivo como la norma infinito de $g_C(t)$ son similares en ambos modelos.

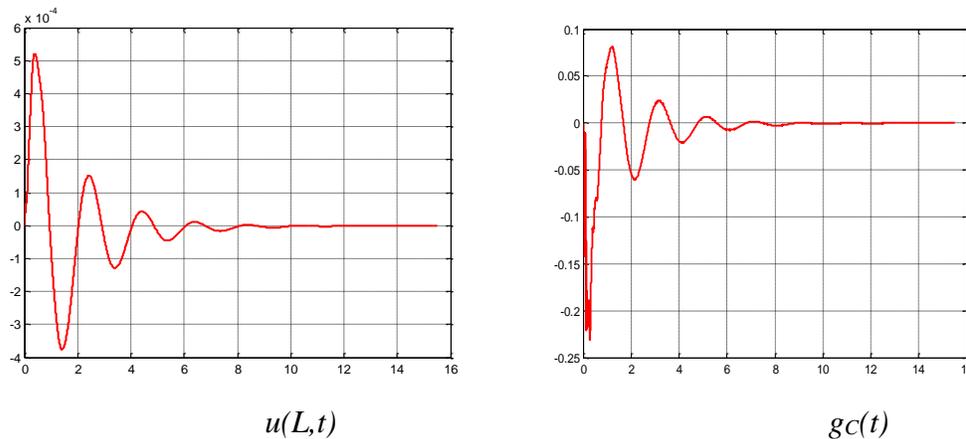


Figura 7. Respuesta en el modelo discreto.

Para validar el diseño obtenido resulta necesario medir la eficiencia del sistema de control con distintas acciones temporales $g(t)$ y diferentes conjuntos de los parámetros que definen a la acción de control $g_c(t)$. Así cada grupo realiza además las siguientes actividades: considerar una acción $g(t)$ igual a una función escalón; considerar como acción $g(t)$ un impulso triangular, donde la duración total de la carga está dada por 1 seg (menor al período fundamental de 2,6 seg); proponer un nuevo conjunto de parámetros para la misma función $g_c(t)$; proponer una estrategia distinta para $g_c(t)$ y seleccionar sus parámetros; medir la eficiencia de $g_c(t)$ estableciendo una relación entre la norma infinito de $g_c(t)$, el tiempo objetivo de la respuesta y la posición de los polos propuesta.

5. Resultados

Para la obtención de la regularidad en la asignatura, los estudiantes deben aprobar dos instancias de exámenes parciales escritos teórico-prácticos, así como también las presentaciones escritas y orales de los trabajos integradores.

En las Tablas 2 y 3 se presentan las rúbricas diseñadas para la evaluación de dichas presentaciones. En estas matrices de doble entrada se especifican los aspectos seleccionados para su evaluación y las características de los desempeños correspondientes a cada uno de los niveles definidos para cada aspecto a evaluar. Las rúbricas permiten precisar lo que se espera del trabajo de los estudiantes, explicitar los criterios de evaluación y facilitar la retroalimentación.

Tabla 2. Rúbrica asociada al informe escrito.

Aspecto a evaluar	Escala		
	A	B	C
Resumen	Describe sintética y adecuadamente el trabajo. Extensión adecuada.	Describe sintéticamente el trabajo con elementos	No identifica claramente el contenido.

		faltantes. Extensión adecuada.	Extensión inadecuada.
Introducción	Describe con claridad el contexto y alcances del trabajo. Planteo apropiado de todos los objetivos. Extensión adecuada.	Describe el contexto y alcances del trabajo. Elementos faltantes. Planteo apropiado de algunos objetivos.	No se describe con claridad el contexto y alcances del trabajo. Plantea algunos objetivos.
Descripción del trabajo	Explicación completa y apropiada de los desarrollos analíticos y las implementaciones computacionales. Lenguaje técnico adecuado.	Explicación de la metodología utilizada, con algunos elementos faltantes y/o inapropiados. Lenguaje técnico adecuado.	Explicación incompleta de la metodología utilizada. Lenguaje técnico inadecuado.
Resultados Obtenidos	Presenta en forma clara, completa y precisa todos los resultados correctos. Recursos gráficos variados y apropiados.	Presenta en forma clara y precisa la mayoría de los resultados correctos. Algunos elementos faltantes. Recursos gráficos apropiados.	Presenta insuficientes resultados. Pocos recursos gráficos.
Conclusiones	Análisis completo y apropiado de los resultados. Lógica y pertinencia de las conclusiones. Indica claramente las limitaciones del trabajo y recomendaciones para otros posibles trabajos.	Análisis apropiado de los resultados con elementos faltantes. Demuestra lógica y pertinencia de las conclusiones.	Insuficiente análisis de resultados. Conclusiones débiles.

Tabla 3. Rúbrica asociada a la presentación oral.

Aspecto a evaluar	Escala		
	A	B	C
Diseño de la presentación	Adecuada diagramación general. Secuencia correcta de todos los contenidos.	Adecuada diagramación general. Secuencia correcta de algunos contenidos.	Diagramación general inadecuada. Secuencia incorrecta de contenidos.
Recursos utilizados	Uso muy apropiado del proyector y del pizarrón. Integración de variadas simulaciones computacionales.	Uso apropiado del proyector y del pizarrón. Integración de algunas simulaciones computacionales.	Uso inapropiado del proyector. No se presentan simulaciones computacionales.

Contenido de la presentación	Presenta todos los objetivos. Demuestra conocimiento profundo del tema. Selecciona adecuadamente todos los contenidos.	Presenta algunos objetivos. Demuestra conocimiento del tema. Selecciona adecuadamente algunos contenidos.	No presenta los objetivos. Demuestra conocimiento poco profundo del tema. Selección inapropiada de los contenidos.
Calidad de la comunicación oral	Uso correcto del lenguaje técnico a lo largo de toda la presentación. Claridad en la dicción. Volumen de voz apropiado.	Uso correcto del lenguaje técnico en la mayor parte de la presentación. Claridad en la dicción. Volumen de voz apropiado.	Uso incorrecto del lenguaje técnico. Poca claridad en la dicción. Volumen de voz inapropiado.
Coordinación general	Extensión apropiada y adecuado uso del tiempo en todas las partes de la presentación. Ritmo muy apropiado.	Extensión apropiada y adecuado uso del tiempo en algunas partes de la presentación. Ritmo apropiado.	Extensión inapropiada de la presentación. Inadecuado uso del tiempo. Ritmo inapropiado.
Actitud del grupo	Entusiasmo en las exposiciones de todos los integrantes. Muestra alto grado de compromiso de todos los integrantes y trabajo solidario.	Entusiasmo en las exposiciones de la mayoría de los integrantes. Muestra compromiso de la mayoría de los integrantes.	No exhibe entusiasmo en las exposiciones. No muestra compromiso.

Es posible definir una escala porcentual asociada a la indicada en las tablas anteriores. En los ciclos lectivos 2017 y 2018 en los cuales se implementó la propuesta, cursaron 24 y 22 estudiantes respectivamente, logrando la regularidad el 100% en ambos casos. Los resultados obtenidos tanto para los informes escritos como para las presentaciones orales fueron altamente satisfactorios. De las encuestas realizadas a los estudiantes, cuando se pregunta: "De todo lo propuesto por la cátedra, ¿qué es lo que le pareció más positivo y vale la pena repetir?", las respuestas que aparecen con mayor frecuencia son: "El trabajo integrador"; "Utilización de simulaciones, ejemplos ingenieriles y experiencias profesionales"; "Fue de mucha ayuda el proyecto integrador para comprender toda la

materia"; "Se incentiva al alumno a participar y opinar en clase"; "Muy didácticas y claras las clases"; "Excelente organización".

5. Reflexiones finales

Se ha presentado un escenario de integración e investigación destinado a la comprensión profunda de conceptos y procedimientos asociados a la solución e interacción de distintos modelos matemáticos para asistir a la toma de decisiones en un problema de diseño. En un modelo matemático cuya respuesta está dominada por la primera autofunción solución de la ecuación diferencial homogénea, es posible seleccionar parámetros de control de vibraciones con transformada de Laplace, asignando polos en un modelo de un grado de libertad y aplicarlos en el sistema completo,

bajo restricciones que resultan de medir la eficiencia del sistema con fundamentos tecnológicos.

El problema de atenuación de vibraciones en palas de aerogeneradores y su solución mediante métodos analíticos y numéricos, brinda sentido a la construcción del nuevo conocimiento, a la vez que contribuye a la formación del futuro ingeniero para que pueda tomar parte activa tanto en la resolución de problemas, como en los procesos de toma de decisión durante su actividad profesional. La elaboración de trabajos integradores de investigación, constituye una actividad

significativa de aprendizaje que implica el desarrollo de habilidades complejas integradas, a la vez que exige un rol activo por parte del estudiante en su propio proceso para construir, aplicar y transferir saberes.

Se considera que, para lograr un impacto significativo en la formación en competencias, es necesario implementar escenarios de articulación generados a partir del diálogo interdisciplinario a lo largo de toda la carrera, por lo que se plantearán posibles articulaciones con otras asignaturas para dar continuidad al trabajo integrador, materializar dispositivos y realizar mediciones.

6. Referencias

Alvarez G., Mirasso A. (2013). Definición de sistemas de control en espacio de estado modal y su vinculación con modelos de elementos finitos de múltiples grados de libertad. En “Mecánica Computacional”, García Garino C., Mirasso A., Storti M., Tornello M. (eds.), 32, 1929-1953, Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Mendoza, Argentina. [En línea] <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4463/4393> [Jun 1, 2019].

Castejón J. L., Gilar R., Pérez A. M. (2006). Aprendizaje complejo: el papel del conocimiento, la inteligencia, motivación y estrategias de aprendizaje. “Psicothema”, 18 (4), 679-685.

CONFEDI, Giordano Lerena R. (2016). “Competencias y perfil del Ingeniero Iberoamericano, Formación de Profesores y Desarrollo Tecnológico e Innovación (Documentos Plan Estratégico ASIBEI)”. ASIBEI. Bogotá, Colombia.

Felder R., Brent S. (2003). Learning by doing. En “Chemical Engineering Education”. [Online]. 3 (4). 282-283. <http://www.ncsu.edu/felder-public/Columns/Active.pdf>. [Jun 1, 2019].

Felder R., Brent R. (2005). Understanding student differences. “Journal of Engineering Education”, 94 (1), 57-72.

Felder R., Brent R. (2007). Cooperative Learning. En “Active Learning: Models from the Analytical Sciences”, P.A. Mabrouk, (ed.), Chapter 4. American Chemical Society. Symposium Series 970.

Inman D.J. (1994). “Engineering Vibration”. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Kreyszig E. (2006). “Advanced Engineering Mathematics”. John Wiley & Sons, United States of America.

Malo S. (2009). “La innovación y la investigación: sustentos y propósitos de la educación universitaria.” ACET. Innova Cesal. S.C. México.

Prieto Castillo, D. (1997). “La enseñanza en la Universidad”. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Raichman S., Mirasso A. (2018). Modelos pedagógicos para el aprendizaje complejo y la formación en competencias en carreras de Ingeniería. “Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería”, Universidad Autónoma de Yucatán. 22(3), 15-25. [En línea]. <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/127>. [Jun 1, 2019].

Verdejo P., Freixas R. (2009). “Educación para el pensamiento complejo y competencias: Diseño de tareas y experiencias de aprendizaje.” ACET. Innova Cesal. S.C. México.