

LA EMERGENCIA DE LA MATEMÁTICA COMPUTACIONAL EN INGENIERÍA: PROYECTOS INTEGRADORES EN CÁLCULO AVANZADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Alicia María Tinnirello, Universidad Tecnológica Nacional, amtinni@gmail.com

Eduardo Alberto Gago, Universidad Tecnológica Nacional, eagago@gmail.com

Lucas Iván D'Alessandro, Universidad Tecnológica, lucas.d87@hotmail.com

Resumen— La utilización de la tecnología informática en la enseñanza de Matemática ha cambiado los modos y las estrategias de enseñanza; el concepto de modelo matemático se ha ampliado y comprende la representación de procesos mediante entornos virtuales como así también el desarrollo de algoritmos de simulación. Estas tecnologías están basadas en algoritmos complejos que logran producir, a través de un uso apropiado, trabajos impensados hace algunos años, estos algoritmos tienen una fuerte base matemática que permiten conceptualizar los métodos de trabajo capaces de resolver los problemas de Ingeniería. Para lograr el análisis y utilización de sistemas complejos de diseño y generar modelos experimentales no lineales, los aportes de la matemática computacional serán fundamentales, tanto en la etapa de formación del ingeniero como en su vida profesional.

La enseñanza tradicional de la ingeniería de pre-grado, no está apropiadamente estructurada para enfrentar estos retos. Las innovaciones curriculares deben incluir aspectos multidisciplinarios, enfatizar los puntos de vista de sistemas, e introducir problemas de ingeniería, principios, prácticas y soluciones desde muy temprano en la enseñanza.

Basado en las premisas previas, este trabajo presenta la implementación de proyectos integradores que comprenden la gradual incorporación de diferentes tecnologías (MATHEMATICA, LABVIEW, COMSOL) y la utilización de plataformas virtuales de aprendizaje.

El desarrollo de los contenidos contempla el aspecto interdisciplinario e integrador que debe darse desde Cálculo Avanzado como puente hacia las aplicaciones de matemática, articulando con los problemas de Ingeniería y la utilización de las tecnologías en la enseñanza. Estas estrategias de enseñanza incentivaron el interés en los estudiantes para explorar nuevos conceptos, simular diferentes escenarios al modelizar, estimar parámetros y proponer soluciones.

Palabras clave— *matemática computacional, interdisciplina, entornos virtuales.*

1. Introducción

El término Matemática Computacional (MC) es relativamente nuevo, hay varios autores que al momento de definirla coinciden en considerarla como una actividad integradora y multidisciplinar, cuya importancia reside en el desarrollo de algoritmos innovadores que conectan la capacidad de las computadoras actualmente disponibles y las aplicaciones que permiten resolver modelos matemáticos de problemas que surgen de la ciencia y la tecnología.

Hay autores que partiendo de una revisión crítica de lo que es la Matemática clásica, consideran que la MC es la matemática de este siglo que rescata el carácter experimental de la matemática y se puede señalar que el objetivo de la MC es encontrar o desarrollar algoritmos para resolver problemas matemáticos computacionalmente, particularmente aquellos del dominio complejo.

Los entornos computacionales han cambiado los procesos de enseñanza aprendizaje en la enseñanza universitaria en el ámbito de las carreras de Ingeniería, influyendo directamente en la conceptualización y en la forma de interactuar con la resolución de los problemas, enriqueciendo dicho proceso al imprimir un carácter multidisciplinar e integral a la resolución de los mismos [1].

El curriculum de las asignaturas de Cálculo en Ingeniería debe adoptar una plataforma de gestión de contenidos que brinden la posibilidad de comunicación entre disciplinas y además establezcan una conexión que propicie el desarrollo de los mismos. Las innovaciones curriculares deben incluir aspectos multidisciplinarios, enfatizando los puntos de vista de los sistemas e introducir problemas de ingeniería, principios, prácticas y soluciones desde muy temprano en la enseñanza. Es necesario vincular los cursos horizontales y verticales y los problemas de ingeniería.

Entre los sistemas complejos que atañen a la Ingeniería Mecánica se encuentran los sistemas de transferencia de calor y las dinámicas del flujo de fluidos, atendiendo el desarrollo de temas importantes del cálculo a aplicaciones en estas líneas, se organizaron actividades de diseño, análisis y experimentación de diversos sistemas que se presentan en este trabajo.

2. La emergencia de la tecnología. Antecedentes

Diversas experiencias basadas en problemas que involucran sistemas de transferencia de calor y flujo de fluidos, describen las estrategias innovadoras implementadas en las clases de cálculo avanzado, de la carrera de Ingeniería Mecánica, donde se originó una interesante motivación por los contenidos de la asignatura que redundó en las respuestas del grupo de alumnos, a través de la incorporación gradual, en el desarrollo de diferentes actividades de laboratorio de diversas aplicaciones con el uso de plataformas virtuales de aprendizaje (MATHEMATICA, LABVIEW, COMSOL).

A partir de las estrategias metodológicas implementadas que tenían características propias y distintas en términos de las actividades y los resultados logrados, pero integradas en el sentido de las contribuciones realizadas a la capacitación en ingeniería, se indagó sobre el impacto de las mismas en los alumnos del ciclo superior [2].

Las intervenciones educativas se desarrollaron para explorar conceptos de modelado, estimación de parámetros, simulación numérica y análisis de casos buscando una mejor comprensión de los conceptos y procedimientos. Además, se tuvo en cuenta los avances

logrados por los estudiantes en la utilización de aplicaciones tecnológicas para validar, verificar propiedades, clasificar o complicar cálculos en los contenidos de la asignatura (Funciones de variable compleja. Transformada de Laplace, Series y Transformadas de Fourier).

3. Nuevos escenarios de aprendizaje

Los entornos interactivos y virtuales de aprendizaje se desarrollan en una atmósfera de construcción del conocimiento, donde el laboratorio virtual juega un papel clave en este nuevo modelo de enseñanza y aprendizaje. La introducción de software en los procesos de resolución de problemas influye en la secuencia de los pasos que se consideran y los criterios que se crean para dicha resolución.

La educación basada en proyectos asistido por computadora permite desarrollar habilidades en los estudiantes que promueven el pensamiento crítico, facilitando la interpretación y las limitaciones de la teoría, es decir, el estudio experimental prepara a los estudiantes para los desafíos profesionales donde estas herramientas juegan un papel esencial.

Las actividades que se diseñan incorporan diversas estrategias aplicadas a sistemas físicos que involucran, sistemas tales como dispositivos adecuados para transformar las respuestas de las señales obtenidas, así como construir y desarrollar habilidades en el tratamiento de señales de sistemas en tiempo continuo y discreto, tanto en el campo temporal como de frecuencia, determinístico o estocástico [2].

Las estrategias están diseñadas para desarrollar habilidades en los estudiantes tendientes a lograr un estilo de aprendizaje activo que favorece la capacidad para enfrentar situaciones complejas, que requieren descubrir soluciones, dar retroalimentación y definir los posibles comportamientos ante diferentes escenarios.

El modelado y la simulación requieren o implican un trabajo de formalización matemática (previo), pero esto no siempre es cierto, a veces la matematización se puede hacer más tarde como una verificación o demostración de lo que se ha modelado o simulado.

4. Metodología

El aprendizaje basado en proyectos es una metodología que permite a los alumnos adquirir los conocimientos y capacidades básicas claves (competencias) mediante la elaboración de proyectos que dan respuesta a problemas de la especialidad [3] [4].

Los alumnos trabajan en forma independiente y son artífices de su propio aprendizaje por lo que desarrollan autonomía y responsabilidad, ya que son ellos los encargados de planificar, estructurar el trabajo y elaborar los resultados para resolver las cuestiones planteadas. La labor de los docentes en esta forma de implementar la enseñanza se circunscribe a ser guía, facilitador del proceso enseñanza aprendizaje y de brindar contención a lo largo de las experiencias. Además de coordinar una serie de actividades multidisciplinares que se traducen en una tarea de colaboración continua que fortalece el proyecto.

En esta propuesta metodológica se presentan los contenidos matemáticos basándose en la búsqueda de modelos que simulen la situación que se quiere formular o la situación técnica en términos matemáticos, para lo cual se presenta una situación simplificada, se traduce dicha situación en terminología matemática, y se trabaja con dicho modelo.

Se estimula el interés por el descubrimiento y la búsqueda de nuevos conocimientos en la utilización de los aspectos formativos de la Matemática, relacionados con otras áreas de conocimiento y relacionados con otras disciplinas [5].

Los objetivos pedagógicos quedan planteados en las siguientes fases:

- Presentación de los sistemas a analizar
- Investigación teórica
- Análisis del sistema y modelización
- Interpretación de los resultados en términos técnicos
- Conclusiones

5. Objetivos

Las acciones que se implementan para desarrollar las actividades programadas tienen como objetivo realizar experiencias donde los alumnos practican un trabajo autogestionado y colaborativo con el propósito de internalizar los conceptos del tema mediante el diseño de una situación ingenieril que estudia los distintos temas de la currícula de Cálculo Avanzado aprovechando los recursos que suministran las plataformas de simulación.

Se pretende con la experiencia convertir la clase en un aula taller donde el alumno experimente en un aprendizaje generado por técnicas de interacción entre el docente como sujeto pasivo y el alumno como un sujeto activo del conocimiento [6].

Esta línea de trabajo, permite delinear una clase que contemple una transformación del aprendizaje que conduce al estudiante a abandonar el lugar central que históricamente ha tenido dentro del aula para ocupar otro espacio en la dinámica de la clase; espacio necesario para interactuar con sus compañeros y con la propuesta de trabajo [4].

La utilización de una herramienta de cálculo simbólico y la utilización de recursos informáticos conectan la Matemática y los modelos reales, y desarrollan una enseñanza basada en competencias al contribuir al desarrollo de las capacidades básicas de los alumnos.

6. Proyectos desarrollados

Las distintas etapas del proyecto realizado fueron de complejidad creciente y realizada algunas de ellas durante el cursado y otras extraclases, en equipos formados con los interesados en el tema y con aportes y colaboración de alumnos avanzados de la carrera comprometidos con esta nueva línea de trabajo.

6.1 Actividad 1: Determinación de la función de transferencia de un termómetro con vaina

En esta experiencia los alumnos diseñan un dispositivo que está formado por un vaso de precipitado que contiene agua a 23°C en la que se introduce un termómetro recubierto por una vaina con 2 ml. de glicerina pura a temperatura ambiente y se ajusta por medio de un tapón de goma perforado.

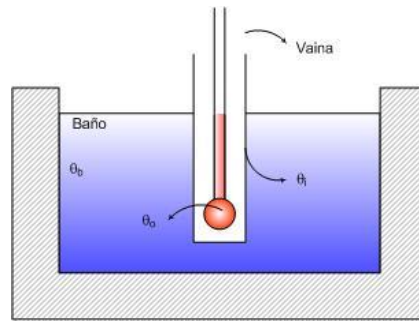


Figura 1. Esquema del sistema en estudio

Donde: θ_b : temperatura del agua, θ_i : temperatura de la vaina, θ_o : temperatura del termómetro.

En el recipiente se calienta el fluido hasta la temperatura de ebullición, instante en el que se coloca el conjunto termómetro-tubo de ensayo dentro del baño de agua, produciéndose un cambio brusco en la lectura en la escala del termómetro.

En esta experiencia los estudiantes tratan de conocer en primer término cómo evoluciona la temperatura del termómetro ante la aplicación de una perturbación, de tipo escalón, que llevó la temperatura a 100°C , tomando como serie de datos 74 valores a intervalos de tiempo constante.

Los alumnos tabulan la temperatura que experimenta el termómetro en intervalos de medición cada 5 seg. Los valores obtenidos experimentalmente se grafican y se observan en la Figura 2 utilizando el programa MATHEMATICA.

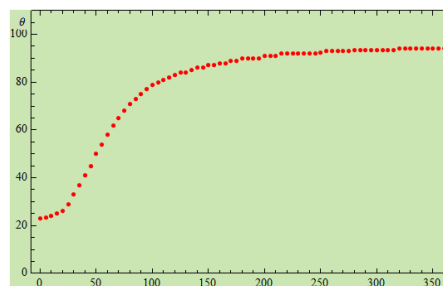


Figura 2. Serie de datos

Los alumnos pretenden encontrar un modelo matemático conceptual que represente al sistema físico de la Figura 1, y posteriormente analizaron los cambios que se producen en dicho sistema para avanzar con el análisis y luego establecer un modelo matemático aproximado que les permitió analizar el comportamiento del mismo.

Luego plantean el balance de energía y logran modelar el sistema para los datos suministrados por el laboratorio real.

Analizan el sistema considerando que el calentamiento de un termómetro en un baño de agua corresponde a un sistema de primer orden, pero si se interpone un tubo de ensayo – vaina – entre el fluido y el termómetro, el sistema cambia de comportamiento resultando un sistema de segundo orden hiperamortiguado, como se evidencia en la función de transferencia del sistema de la ecuación (1).

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_b(s)} = \frac{1}{(T_t s + 1)(T_v s + 1) + R_v C_t s} \quad (1)$$

Donde: $\theta_o(s)$ y $\theta_b(s)$ son las transformadas de Laplace de las funciones temperatura del termómetro y del agua, respectivamente; T_t y T_v son las constantes de tiempo del material constitutivo del termómetro y de la vaina, respectivamente, R_v coeficiente de transmisión del calor de la vaina y C_t es la capacidad térmica del termómetro.

La función de transferencia obtenida en la ecuación (1) que surge del análisis del balance de energía del sistema, indica que el modelo que describe matemáticamente la experiencia es complicado, por consiguiente indagando en el comportamiento de los intercambiadores de calor y su analogía con el prototipo estudiado, se logró realizar algunas consideraciones nuevas [7].

Una nueva hipótesis que completa el análisis del prototipo anterior es que la utilización de una vaina produce un retraso en la lectura de las mediciones de temperatura.

Los alumnos indagan y enuncian que esta particularidad ocurre en un intercambiador de calor cuando un elemento de medición de temperatura se encuentra corriente abajo y pasa cierto tiempo antes que el fluido caliente, que abandona el equipo, alcance el punto donde se mide la temperatura. Este hecho, de importancia para poder diseñar correctamente la ecuación de transferencia de calor, se tuvo en cuenta para realizar cambios en el modelo y también considerar que el sistema fue excitado mediante una función escalón.

El elemento de tiempo muerto, comúnmente llamado demora de distancia versus velocidad, es un fenómeno que se encuentra en la gran mayoría de los sistemas de proceso.

En el punto de toma de temperatura todo sucede igual que en el punto s (punto de salida del fluido), luego de L segundos, o lo que es similar en el punto de toma de temperatura, se produce lo que sucedía en s , L segundos después.

Los alumnos consideran que en el punto donde se toma la temperatura sucede lo mismo que en el punto de salida del fluido, luego de L segundos. Entonces un nuevo parámetro es considerado en la experiencia denominado tiempo muerto o demora del sistema, por lo tanto se multiplicó a la función de transferencia por el factor e^{-Ls} .

A los fines de simplificar el estudio de los sistemas de control, y que a partir de esta simplificación el sistema responda a la situación real, obtienen una buena aproximación en sistemas de orden 2 mediante un sistema de segundo orden con la misma constante de tiempo más el elemento de tiempo muerto.

Cuando un sistema de orden 2 es representado por 2 elementos de primer orden, y además cada uno de esos elementos introduce su propio retardo, la respuesta total del sistema deviene proporcionalmente más lenta con cada retardo o tiempo muerto agregado [8].

Entonces la ecuación de transferencia en forma simplificada, teniendo en cuenta el elemento de demora L y unificando la constante de tiempo, cuando el sistema se excita con una función escalón la función de transferencia resultante la describen en la ecuación (2):

$$F(s) = \frac{K e^{-Ls}}{(Ts + 1)^2} \quad (2)$$

Donde: $F(s)$ función de transferencia simplificada del sistema de orden 2, K constante y T constante de tiempo.

En un intercambiador de calor, tanto la ubicación del elemento sensor, como su instalación, tienen influencia en la calidad del control del sistema. Esto está referido al tiempo que le demande al elemento sensor detectar un cambio de temperatura en el equipo.

Si este sensor es ubicado a cierta distancia de la salida del fluido del intercambiador, dejando una distancia de cañería intermedia, se agrega una demora en la detección de la temperatura.

En intercambiadores de calor se utilizan válvulas del tipo denominada “de igual porcentaje”. Este tipo de válvulas, es el que mejor se adapta para amplios rangos de trabajo.

La antitransformada de $F(s)$ se puede obtener aplicando el segundo Teorema de traslación de Transformada de Laplace, y esto condujo a la ecuación (3):

$$f(t - L) = 1 - \left(1 + \frac{t - L}{T}\right) e^{-\frac{(t-L)}{T}} \quad (3)$$

Donde: f es la transformada inversa de Laplace; L constante de retardo o de tiempo muerto, T constante de tiempo y t variable tiempo.

Con la ecuación teórica aproximada que ajusta al comportamiento del sistema físico y con los datos de la tabla temperatura-tiempo se realizó un ajuste de los parámetros asociados a la ecuación (4) mediante el método de aproximación de mínimos cuadrados. Entonces la ecuación de la temperatura final resultó la ecuación (4):

$$\theta_o(t) = 23 + 71 \left[1 - \left(1 + \frac{t - 5,47}{34}\right) e^{-\frac{(t-5,47)}{34}} \right] \quad (4)$$

La gráfica que representa al modelo se observa en la Figura 3

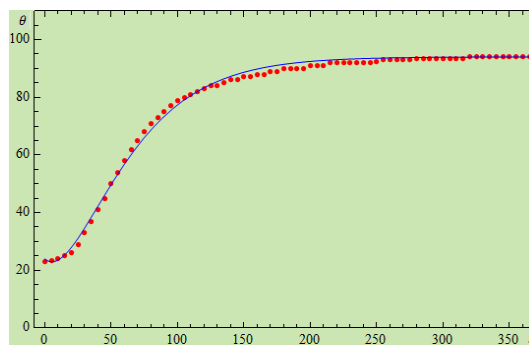


Figura 3. Ajuste de los datos

Esto permite obtener el tiempo de retardo L , que es uno de los parámetros de la ecuación de transferencia, y el otro parámetro que es la constante de tiempo T . En la gráfica se observa la recta tangente al punto de inflexión que el punto de inflexión de la misma representa el valor de $L + T$, y la intersección de la recta tangente a dicho punto de inflexión indica el valor del tiempo de retardo L , por diferencia se obtiene el valor de T . Los valores obtenidos fueron: $L = 5,47$ seg. y $T = 34$ seg.

6.2 Actividad 2: Aplicación de LABVIEW

Continúan la experiencia implementando la plataforma de programación LABVIEW, que es un entorno de programación flexible. Aprovechando la potencialidad de los recursos tecnológicos, se realiza un cambio metodológico en la manera de tratar el sistema anterior, esta variación sigue los lineamientos de la Teoría de Control de procesos, tendiente a integrar los conocimientos e introducir un entorno gráfico de programación que facilite el análisis de la dinámica del sistema.

El trabajo propuesto es actuar sobre las posibilidades de mejora en el análisis del prototipo, aplicando el toolkit VI (Virtual Instruments) que genera LABVIEW mediante un entorno gráfico de programación. Estos VI sirven para realizar simulaciones, efectuar cálculos, plantear y resolver ejemplos, modelar sistemas y además, posibilita concluir un análisis en tiempo real que brinda el entorno de programación [9].

La estructura del software, junto con la posibilidad de modificar los parámetros estudiados mediante los controles del Panel Frontal, mientras el VI se ejecuta, son características que lo diferencian de los demás software de simulación. Se destacan también la potencialidad de sus módulos y su lenguaje G, totalmente gráfico, que permite el desarrollo muy rápido de la simulación sin un conocimiento intensivo de la programación.

La gráfica que el programa muestra para el caso de la simulación agua-vaina-termómetro en un proceso de intercambio de calor es la que se visualiza en la Figura 4, donde se observa el Panel Frontal del programa que representa la interfaz con la cual interactúa el usuario, cuando el programa se está ejecutando.

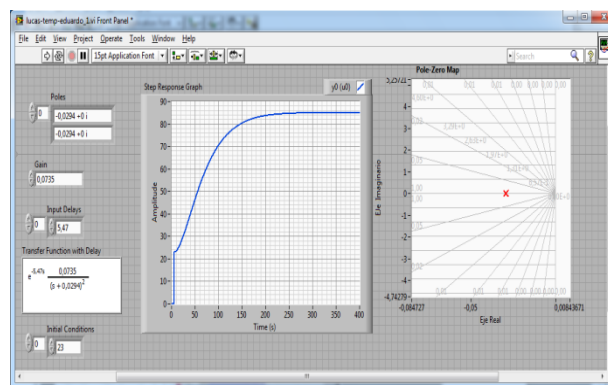


Figura 4. Panel frontal

En esta interfaz figuran los controles (usados como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.) e indicadores (usados como salidas, pueden ser gráficas, indicadores numéricos, etc.). Esto permite a los alumnos controlar el programa de manera intuitiva a medida que realizan su trabajo.

A la derecha del panel frontal se puede visualizar el diagrama de Bode, donde se observan los polos del sistema. Los alumnos determinan que el sistema posee un polo que es doble.

Mediante la aplicación de la plataforma de simulación verifican que la aproximación del modelo matemático responde a un sistema hiperamortiguado, con un polo doble con un factor de amortiguamiento igual menor a 1.

En la Figura 5 se muestra la programación del diagrama de bloques para el sistema en estudio. Esta pantalla representa el armado de la estructura del diagrama de flujo que van a realizar las distintas variables del programa, es en sí, el programa propiamente dicho. Aquí se define su funcionalidad, se colocan objetos virtuales que realizan una determinada función y se interconectan con el código fuente que controla el programa.

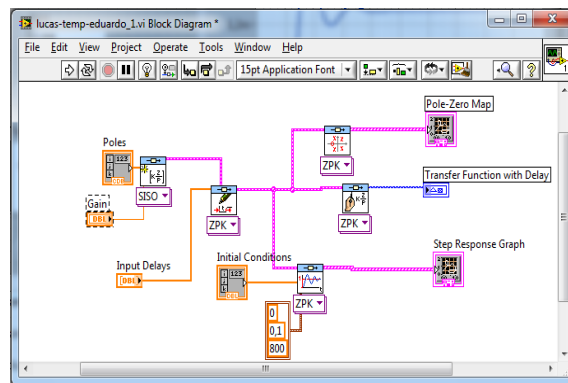


Figura 5. Diagrama de bloques

Es en esta etapa se tiene la posibilidad de modificar parámetros mediante los controles del Panel Frontal mientras el VI se ejecuta son características que lo diferencia de los demás software de simulación.

6.3 Proyecto a futuro: Aplicación de la dinámica de fluido computacional (CFD).

Diseño de un condensador con placa de choque

La dinámica de Fluido computacional (CFD) tiene como objetivo la simulación del flujo de fluidos y los procesos de transferencia de calor. La CFD se desarrolló más tarde que los sistemas CAD debido a las dificultades inherentes que se presentan en las ecuaciones (ecuaciones en derivadas parciales de Navier-Stokes) que describen el flujo de fluidos. Actualmente es una inestimable herramienta de análisis y diseño y es una poderosa ayuda para el ingeniero en sectores tan variados como la industria química, metalúrgica, eléctrica, etc; así como para analizar fenómenos termodinámicos en el medio ambiente o como dispersión de contaminantes en la atmósfera.

Se tiene previsto involucrar en los procesos de enseñanza aprendizaje aplicaciones de la CFD en equipos termomecánicos para brindar una información detallada y precisa sobre distribuciones de velocidad, perfiles de concentración de fases, zonas de alta turbulencia, regiones de estancamiento y mapas de tensiones de corte de un sistema físico-químico.

Utilizando CFD es posible construir un modelo computacional que represente un sistema a estudiar especificando las condiciones físico-químicas del fluido al prototipo virtual y el software entrega la predicción de la dinámica del fluido, por lo tanto es una técnica de diseño y análisis implementada en una computadora [10].

Se prevé en un futuro realizar una simulación de un prototipo de condensador al que se le incorpora en su estructura interior de una placa de choque a los tubos de condensación, que evita que el fluido presione en forma directa sobre dichos tubos.

Se muestran a continuación gráficas que están asociadas al proyecto que se pretende realizar a futuro utilizando el programa COMSOL Multiphysics. En la Figura 6 se observa una gráfica 3D que exhibe el recorrido que las partículas de aire húmedo realizan dentro del condensador y el sector donde los tubos son afectados por el choque de las partículas. En este caso primero el fluido choca con la placa y luego atraviesa los tubos.

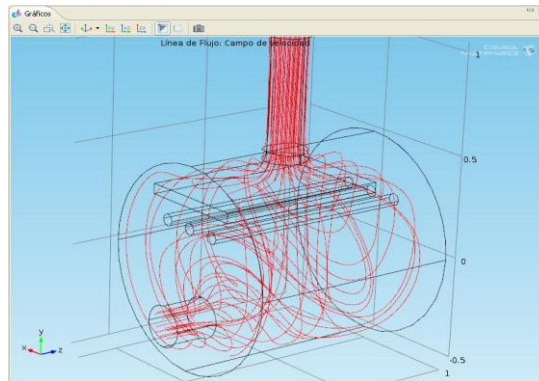


Figura 6. Líneas de flujo del fluido 3D.

En la gráfica 3D de la Figura 7 se observa el rango de variación de la presión que ejerce la mezcla aire-agua sobre la placa, al chocar las partículas de agua. Se observa claramente como el fluido primero choca contra la placa y luego contra los tubos en la parte posterior, originando futuros focos de erosión mecánica que produce la consecuente corrosión.

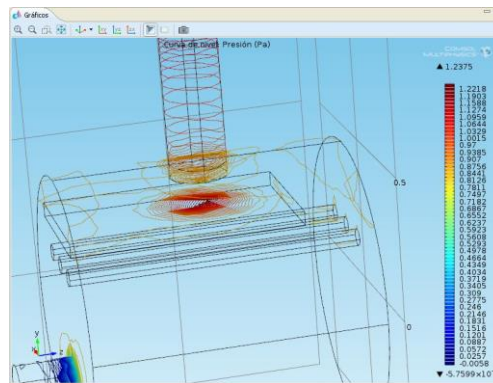


Figura 7. Curvas de nivel de presión.

7. Conclusiones y recomendaciones

La utilización de la tecnología posibilitó hacer más explícito el papel de los modos de representación, en particular, la manera en que la complementariedad entre lo gráfico, lo numérico, lo simbólico, lo algebraico y la simulación puesta de manifiesto por el software utilizado, ayudó a desarrollar los procesos de conceptualización teórica y los sistemas estudiados. De esta forma, la descripción del proceso de construcción seguido por los estudiantes ha permitido relacionar aspectos de la particularización a la abstracción reflexiva derivadas de los modos de representación en la construcción del conocimiento.

Estas primeras experiencias educativas continuaron con actividades de intervención e interacción con los alumnos, dentro y fuera del aula-laboratorio, a través de las plataformas virtuales, propiciando siempre el acercamiento y las consultas. La enseñanza del Cálculo basada en proyectos permitió integrar la matemática computacional con las áreas tecnológicas en el currículum de Ingeniería e incorporar nuevos estilos de trabajo a partir de principios organizadores que favorezcan la vinculación de los saberes y les otorguen sentido, transformando lo que generan las fronteras disciplinarias.

8. Referencias

- [1] SUMITHRA, K.; DHARANI, A.; VIJAYALAKSHMI, M. (2015). *Transformation in Engineering Education: An Analysis of Challenges and Learning Outcomes*, en Proceedings of the 14th International Conference on Education and Educational Technology. Sevilla. pp. 33-36.
- [2] TINNIRELLO, A.; GAGO, E.; (2017). *Integrating Mathematics Technology with Mechanical Engineering Curriculum*. 9th International Conference on Education and New Learning Technologies. Barcelona. p. 1496-1505.
- [3] MACCHIAROLA, V. (2007). *Currículum basado en competencias. Sentidos y críticas*. Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería, Vol. 8, Nº 14, pp. 39-46.
- [4] POSADA ÁLVAREZ, R. (2011). Formación Superior Basada en Competencias, Interdisciplinariedad y Trabajo Autónomo del Estudiante”, Revista Iberoamericana de Educación. Colombia.
- [5] BISCHOF, G.; BRATSCHITSCH, E.; CASEY, A.; RUBESA, D. (2007). *Facilitating Engineering Mathematics Education by Multidisciplinary Projects*, Journal of American Society for Engineering Education. U.S.A.
- [6] PREPELITA-RAILEANU B. (2009). *Social Software Technologies and Solutions for Higher Education*. Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Education and Educational Technology. Génova. p. 81-86.
- [7] OGATA, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna, Madrid, p. 178-202.
- [8] BATATUNDE, A.; OGUNNAIKE, A.; HARMON RAY, W. (1994). *Process Dynamics, Modeling, and Control*. Madrid, p. 178-202.
- [9] LAJARA, S.; PELEGRÍ, V. (2006) LABVIEW: Entorno gráfico de programación. Madrid, p. 175-185.
- [10] TORRES R.; GRAU, J. (2007). *Introducción a la Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor con Comsol Multiphysics*, Madrid. p. 510-595.