**UNIDAD ACADÉMICA**

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería

**AÑO** 2023

**MODALIDAD**

*Online*

**NOMBRE DE LA ACTIVIDAD:** Transformada de Fourier y sus aplicaciones

**NOMBRE EN INGLÉS:** *Fourier transform and its applications*

**PRESENTACIÓN**

El objetivo de este MOOC es fortalecer los conocimientos de señales y sistemas presentando aplicaciones concretas de la transformada de Fourier en diversos campos de estudio.

**DESCRIPCIÓN**

La transformada de Fourier tiene aplicaciones prácticas en múltiples campos de estudio. El objetivo del MOOC es mostrar la diversidad de problemas que pertenecen al dominio de la frecuencia y fortalecer los conocimientos de análisis de señales del estudiante mediante la aplicación, para con ello comprender el poder de la transformada de Fourier como herramienta para la resolución de problemas complejos.

Los contenidos principales están centrados en análisis de Fourier continuo y discreto en señales y sistemas realistas de una, dos y múltiples dimensiones. El estudiante aprenderá a utilizar las herramientas de análisis en frecuencia y a aplicarlos en 10 áreas específicas: procesamiento de audio, astronomía, mecánica de fluidos, óptica, conversión electromecánica, medicina, probabilidades y estadística, comunicaciones, física y procesamiento de imágenes. Se espera que en el transcurso del MOOC el estudiante desarrolle habilidades de abstracción matemática, aplicación, interpretación e integración de contenidos.

El curso tiene un enfoque mixto, con una parte teórica inicial breve y otra práctica en la que se abarcan los casos aplicados. Por cada tópico, se realizarán videos de explicación teórica del contexto de la aplicación y luego, de implementación de ejemplos de programación simulando el entorno teórico. Todos los script de implementación serán compartidos. El estudiante dispondrá de tareas formativas de programación con respuestas disponibles después de entregar, para permitir autoevaluación de los contenidos. El formato de entrega es 100% en línea, a través de la plataforma Coursera.

**DIRIGIDO A/PÚBLICO OBJETIVO**

* Estudiantes de Ingeniería (eléctrica o afín).
* Profesionales del área de la Ingeniería.
* Personas con interés en el análisis matemático.
* Todo aquel que desee aprender y profundizar sus conocimientos de la transformada de Fourier.

**REQUISITOS DE INGRESO**

No tiene requisitos de ingreso, pero se recomienda:

* Tener conocimientos previos de “Análisis de Señales” y “Transformada de Fourier”, ya que se trata de un curso de aplicación.
* Conocimientos previos de cálculo.
* Manejo de algún lenguaje de programación, idealmente Julia, Python o Matlab.

**OBJETIVOS DE APRENDIZAJE**

1. Distinguir los principios matemáticos fundamentales del análisis de Fourier para resolución de problemas reales.
2. Aplicar las propiedades de la serie y la transformada de Fourier en contextos físicos para modelamiento y análisis.
3. Valorar el análisis en frecuencia como una alternativa práctica para resolución de problemas con naturaleza ondulatoria.

**DESGLOSE DEL CURSO**

**Horas cronológicas:** 24 horas

**Créditos:** 5

**Resultados del aprendizaje**

1. Semana 1: establecer los fundamentos matemáticos de serie y transformada de Fourier para aplicaciones físicas.
2. Semana 2: aprender a analizar y sintetizar señales 1D aplicando la Serie de Fourier como herramienta de comprensión de la composición de sonidos, analizando propiedades en el dominio de la frecuencia de señales sismográficas y señales fisiológicas de EEG.
3. Semana 3: comprender aspectos teóricos de estadística mediante la transformada de Fourier y observar comportamientos y limitaciones de la conversión electromecánica mediante la serie de Fourier.
4. Semana 4: analizar señales en múltiples dimensiones: formación de imágenes de MRI y óptica de Fourier.
5. Semana 5: utilizar la transformada de Fourier para el análisis del comportamiento de fluidos turbulentos y la resolución de ecuaciones diferenciales parciales en el campo de la física cuántica.
6. Semana 6: aplicar la transformada de Fourier como herramienta para la modulación y demodulación en amplitud de señales y para el procesamiento de imágenes digitales.

**Contenidos**

Se establece una estructura de 6 semanas que incluye 8 videos en la semana introductoria y 6 videos en las siguientes semanas.

Módulo 1:

* Introducción (8 videos)
  + Series de Fourier
  + Transformadas de Fourier continuas y discretas
  + Convolución
  + Propiedades de la TF
  + Pares conocidos
  + Transformada de Fourier 2D

Módulo 2:

* Aplicación 1: Sonido como señal 1D (2 videos)
  + Naturaleza del sonido
  + Síntesis aditiva de sonido
* Aplicación 2: Análisis de sismos (2 videos)
  + Caracterización de información de los sismos a partir de su transformada de Fourier
* Aplicación 3: Señales fisiológicas (2 videos)
  + Patologías cerebrales en el electroencefalograma que se detectan con análisis en frecuencia

Módulo 3:

* Aplicación 4: Teorema del límite central (3 videos)
  + Demostración del teorema del límite central con análisis de Fourier
* Aplicación 5: Conversión electromecánica (3 videos)
  + Introducción a las máquinas eléctricas:
    - Ley de Faraday
    - Campo magnético rotatorio: frecuencia mecánica y frecuencia eléctrica
  + Principios de operación de una máquina de inducción
    - Campo magnético rotatorio
    - Distribución armónica y torques pulsatorios.

Módulo 4:

* Aplicación 6: Resonancia Magnética (3 videos)
  + Formación de imágenes por resonancia magnética nuclear
    - El fenómeno de resonancia magnética nuclear
    - Espacio k
    - Formación de imagen de MR como problema inverso
* Aplicación 7: Óptica de Fourier (3 videos)
  + La luz como onda EM: reflexión, refracción, difracción
  + Aproximación de campo lejano (Fraunhoffer)
  + Caracterización de un sistema óptico en Fourier:
    - PSF, OTF, MTF
    - Función apertura y auto convolución
    - Sistemas ópticos como sistemas LTI

Módulo 5:

* Aplicación 8: Física cuántica (3 videos)
  + Física de partículas
    - Planteamiento de la ecuación de Schrödinger
    - Solución de la ecuación con propiedades de la transformada de Fourier
* Aplicación 9: Mecánica de fluidos (3 videos)
  + Mecánica básica de fluidos
    - Concepto de vorticidad
    - Número de Reynolds
  + Hipótesis de Kolmogorov
    - Análisis en frecuencia para demostraciones

Módulo 6:

* Aplicación 10: Comunicaciones (3 videos)
  + Modulación y demodulación AM
  + Aplicación en radio
* Aplicación 11: Procesamiento de imágenes (3 videos)
  + Imágenes digitales
  + Interpretación de la frecuencia espacial
  + Diseño de filtros en el dominio de la frecuencia
    - Filtro pasa altos
    - Filtro pasa bajos

**Metodología de enseñanza y aprendizaje:**

* Combinación de video-lecciones, *tes*t y ejercicios prácticos.
* Video-lecciones de cada tema donde se explican los conceptos teóricos básicos.
* Tests con preguntas de opción múltiple auto-evaluables.

En el inicio del curso se entrega una base matemática de análisis en frecuencia a partir de clases grabadas en videos explicativos en formato “repaso” de los contenidos teóricos. A continuación, se realizarán videos por tópico con la siguiente estructura: primero una explicación teórica del contexto de la aplicación y luego la implementación de ejemplos de programación simulando el entorno teórico. Todos los *script* de implementación serán compartidos. Se dejarán tareas formativas de programación (voluntarias y sin calificación) con respuestas disponibles después de entregar, para permitir autoevaluación de los contenidos. La metodología autoevaluativa permitirá que el estudiante pueda comprender la lógica de la correcta implementación.

**Evaluación de los aprendizajes:**

Al final de cada semana se realizará un cuestionario individual de alternativas a responder en Coursera (evaluación sumativa). Cada uno de los 6 cuestionarios tiene un peso del 16,6% (todos pesan lo mismo).

Además de esto, como ya se ha mencionado, el curso contiene algunas actividades formativas (sin calificación) para cada una de las aplicaciones enseñadas:

* Un quiz no sumativo
* Una tarea auto evaluable

**BIBLIOGRAFÍA**

**Mínima**

1. Irarrázaval, P. (1999). *Análisis de señales*. McGraw-Hill Interamericana.
2. Oppenheim, A. V., Willsky, A. S., Nawab, S. H., & Hernández, G. M. (1997). *Signals & systems*. Pearson Educación.
3. Brad Osgood. *"Lectures on the Fourier transform and its applications"*. American Mathematical Soc., 2019.

**Complementaria**

La bibliografía complementaria es amplia debido a que es importante indicar al estudiante caminos para profundizar en las diferentes aplicaciones presentadas de manera panorámica en el MOOC.

1. Solimán, S., & Srinath, M. D. (1999). *Señales y sistemas: continuos y discretos*. Pearson Educación.
2. Müller, M. (2015). *Fundamentals of music processing: Audio, analysis, algorithms, applications* (Vol. 5). Cham: Springer
3. Wilson, T. L., Rohlfs, K., & Hüttemeister, S. (2009). *Tools of radio astronomy* (Vol. 5). Berlin: Springer.
4. <https://gibbs.science/teaching/efd/lectures/lecture_23.pdf>
5. Goodman, J. W., & Sutton, P. (1996). *Introduction to Fourier optics*. Quantum and Semiclassical Optics-Journal of the European Optical Society Part B, 8(5), 1095.
6. Fitzgerald, A. (2004) *Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.*
7. Aguilera, R. P., Acuna, P., Lezana, P., Konstantinou, G., Wu, B., Bernet, S., & Agelidis, V. G. (2016). *Selective harmonic elimination model predictive control for multilevel power converters*. IEEE Transactions on Power Electronics, 32(3), 2416-2426.
8. Rivera, J. A. D. (1991). *Análisis del electroencefalograma con transformada de Fourier y modelos paramétricos*. Ingeniería e Investigación, (23), 7-13.
9. Yamaguchi, C. (2003, March). *Fourier and wavelet analyses of normal and epileptic electroencephalogram (EEG).* In First International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 2003. Conference Proceedings. (pp. 406-409). IEEE
10. Zhi-Pei “” Liang, & Lauterbur, P. C. (2000). *Principles of magnetic resonance imaging: a signal processing perspective*. “The” Institute of Electrical and Electronics Engineers Press
11. McRobbie, D. W., Moore, E. A., Graves, M. J., & Prince, M. R. (2017). *MRI from Picture to Proton*. Cambridge university press
12. [https://web.williams.edu/Mathematics/sjmiller/public\_html/372Fa15/handouts/Math372\_NotesOnCLT.pdf sección 21.3](https://web.williams.edu/Mathematics/sjmiller/public_html/372Fa15/handouts/Math372_NotesOnCLT.pdf%20sección%2021.3)
13. Dimitris G. Manolakis, Vinay K. Ingle, Stephen M. Kogon *Statistical and Adaptive Signal Processing*, Artech House, 2005.
14. <https://jmahaffy.sdsu.edu/courses/s17/math531/beamer/ftransC.pdf>
15. <https://www.roe.ac.uk/japwww/teaching/fourier/fourier_lectures_part5.pdf>
16. <https://www.geophysik.uni-muenchen.de/~fbernauer/teaching/Spektralanalyse/Spektralanalyse02.pdf>
17. Mariani, M. C., Gonzalez-Huizar, H., Bhuiyan, M. A. M., & Tweneboah, O. K. (2017). *Using dynamic Fourier analysis to discriminate between seismic signals from natural earthquakes and mining explosions*. AIMS Geosciences, 3(3), 438-449
18. Solomon, C., & Breckon, T. (2011). *Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab*. John Wiley & Sons.

**JEFE DE PROGRAMA**

**Rodrigo Cádiz Cádiz.**

Profesor Titular UC, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Especialidad: música computacional, síntesis de sonidos, procesamiento digital de señales.

**EQUIPO DOCENTE**

**Rodrigo Cádiz Cádiz.**

Profesor Titular UC, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Especialidad: música computacional, síntesis de sonidos, procesamiento digital de señales.

**Pablo Irarrázaval Mena.**

Profesor Titular UC, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Especialidad: Resonancia Magnética, Formación de Imágenes Médicas, Procesamiento de Imágenes y Señales.

**Belén Bravo Kunz.**

Estudiante de Magíster en Ciencias de la Ingeniería UC, Departamento de Ingenería Eléctrica. Investigación en Procesamiento de Señales de Resonancia Magnética.

**REQUISITOS DE APROBACIÓN**

Los alumnos deberán ser aprobados de acuerdo los criterios que establezca la unidad académica:

* Aprobar los 6 *test* sumativos.
* Cada *test* se aprueba con el 80% de las respuestas correctas.
* Los *test* tienen igual ponderación. – 16,6666667% c/u.

El promedio final del curso será el promedio de las notas finales de cada módulo.

Las personas que no cumplan con el requisito de aprobación no recibirán ningún tipo de certificación.

Los estudiantes que aprueben las exigencias del programa y realicen el pago de la certificación, recibirán un **certificado digital de aprobación** otorgado por la UC y emitido por Coursera.

**INFORMACIÓN GENERAL**

**Fechas:** indicar fechas inicio y término del programa y dejar la siguiente frase en cursiva: **“*Puede haber modificaciones de fechas y/o docentes por razones de fuerza mayor”. -***

**Horario:** día y horario de cada sesión.

**Duración:** 24

**Créditos: 5**

**Lugar de realización:** Plataforma Coursera

**Valor: su realización es gratuita, pero si se quiere acceder a la certificación, deberá cancelar el valor determinado por Coursera.**

**PROCESO DE ADMISIÓN**

El postulante debe ingresar a [www.coursera.org](http://www.coursera.org), crear una cuenta en caso de no tener una previamente, seleccionar el curso, y completar el formulario en pantalla.