**UNIDAD ACADÉMICA**

**Escuela de Ingeniería UC**

Departamento / Instituto / Centro /

**AÑO** (impartición)

**MODALIDAD**

MOOC

**NOMBRE DE LA ACTIVIDAD:** MOOC (breve y acotado al contenido a desarrollar).

**NOMBRE EN INGLÉS:** Indicar el nombre de la actividad en inglés.

**PRESENTACIÓN**

El objetivo del MOOC es fortalecer los conocimientos de Señales y Sistemas presentando aplicaciones de la transformada de Fourier en diversos campos de estudio

**DESCRIPCIÓN**

En este curso se presentan diversas aplicaciones de la transformada de Fourier en variados campos de estudio. El objetivo es fortalecer los conocimientos de análisis de señales del estudiante mediante aplicación para que el estudiante comprenda el poder de la transformada de Fourier como herramienta para 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 estudiante aprenderá para entender la diversidad de problemas que pertenecen al dominio de la frecuencia y profundizar sus conocimientos de análisis de señales. Estas aplicaciones son interesantes para introducir al estudiante al análisis de Fourier y para otorgar una visión amplia de utilidad.

El curso tiene un enfoque híbrido: parte teórica y parte práctica. En el comienzo del curso se realizarán 4 videos explicativos en formato “repaso” de los contenidos teóricos. A continuación, se realizarán videos por tópico de la siguiente forma: un video de explicación teórica del contexto de la aplicación y luego un video de implementación de ejemplos de programación simulando el entorno teórico. Todos los script de implementación serán compartidos. Se dejarán “tareas voluntarias de programación” con respuestas disponibles después de entregar para permitir autoevaluación de los contenidos.

**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 se requieren grados académicos para comprender el curso
* Es necesario tener conocimientos previos de Análisis de Señales y Transformada de Fourier ya que este es un curso de aplicación
* Se requieren conocimientos previos de cálculo
* Manejo de algún lenguaje de programación, idealmente Julia, Python o Matlab

**OBJETIVO DE APRENDIZAJE**

1. Comprender 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. Internalizar el análisis en frecuencia como una alternativa práctica para resolución de problemas con naturaleza ondulatoria.

**DESGLOSE DE CURSOS**

**Horas cronológicas:** 24 horas

**Horas pedagógicas:** Indicar número de hora cuando efectivamente sea necesario certificarlas.

**Créditos:** 5

Se propone una estructura de 6 semanas que incluye 8 videos en la semana introductoria y 6 videos por semana para estudiar 2 a 3 aplicaciones diferentes.

Semana 1:

* Introducción (8 videos)

Semana 2:

* Sonido (2 videos)
* Análisis de sismos (2 videos)
* Señales fisiológicas (2 videos)

Semana 3:

* Teorema del límite central (3 videos)
* Conversión electromecánica (3 videos)

Semana 4:

* Resonancia Magnética (3 videos)
* Óptica de Fourier (3 videos)

Semana 5:

* Física cuántica (3 videos)
* Mecánica de fluidos (3 videos)

Semana 6:

* Comunicaciones (3 videos)
* Procesamiento de imágenes (3 videos)

**Resultados del Aprendizaje**

1. Adquirir los fundamentos matemáticos de serie y transformada de Fourier para aplicaciones físicas.
2. Aplicar la serie de Fourier como herramienta de comprensión de la composición de sonidos.
3. Aplicar análisis en frecuencia a señales sismográficas.
4. Analizar en el dominio de la frecuencia señales fisiológicas de EEG para reconocer que información importante del funcionamiento humano es fácilmente identificable en este dominio.
5. Demostrar teoremas fundamentales de estadística mediante propiedades de la transformada de Fourier.
6. Aplicar la serie de Fourier como herramienta de reconocimiento de distribución armónica en señales de sistemas electromecánicos.
7. Observar el problema de formación de imágenes de MRI como problema inverso que requieren análisis de Fourier para su resolución.
8. Plantear problemas de óptica cuya solución es del dominio de la óptica de Fourier.
9. Utilizar la transformada de Fourier como herramienta para resolución de ecuaciones diferenciales parciales que modelan fenómenos de la física moderna.
10. Modelar elementos de comportamiento de fluidos turbulentos con propiedades de la transformada de Fourier.
11. Comprender la modulación y demodulación AM como problema en el dominio de la frecuencia.
12. Estudiar imágenes como señales 2D que se pueden procesar en el dominio de la frecuencia.

**Contenidos:** presentar los temas principales que abordará el MOOC, los que deben ser coherentes y estar alineados con los resultados del aprendizaje. Redactarlos sin verbos.

* Contenidos objetivo específico 1: contenidos teóricos fundamentales para los siguientes videos. Esta es una sección corta ya que tiene formato de “repaso” puesto que el curso está orientado a personas que tienen conocimientos previos de Análisis de Señales.
  + Series de Fourier
  + Transformadas de Fourier continuas y discretas
  + Convolución
  + Propiedades de la TF
  + Pares conocidos
* Contenidos objetivo específico 2: En esta sección se estudia el sonido como señal 1D. Se explica por qué es natural analizar el sonido en el dominio de la frecuencia profundizando en cómo se modela matemáticamente el sonido (construcción a partir de sinusoides) y complementando con la percepción humana y el análisis del sistema físico (oído) que nos permite interpretar el sonido. (Müller, M. (2015). Fundamentals of music processing: Audio, analysis, algorithms, applications (Vol. 5). Cham: Springer.)
  + Series de Fourier
    - Naturaleza del sonido
    - Short Space Fourier Transform
    - Síntesis aditiva de sonido
* Contenidos objetivo específico 3: Existen infinitos fenómenos que son naturalmente periódicos, por ejemplo, los sismos, para realizar análisis sismográficos, para caracterizar la señal, diferenciar las señales de origen telírico de otras con otras fuentes y además para procesar los datos para obtener características de cada sismo (<https://www.geophysik.uni-muenchen.de/~fbernauer/teaching/Spektralanalyse/Spektralanalyse02.pdf>) ( 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.)
  + Origen de los sismos
  + Naturaleza periódica del fenómeno
  + Identificación de información que vive en el dominio de la frecuencia
  + Caracterización de sismos a partir de su transformada de Fourier
* Contenidos objetivo específico 4: El análisis en Fourier de señales fisiológicas de electroencefalograma permite monitorear la actividad eléctrica del cerebro, muchos daños y perturbaciones funcionales del cerebro se pueden detectar mediante el contenido frecuencial del EEG, además se usa el EEG para analizar la respuesta a estímulos y caracterizar eventos adversos como crisis de epilepsia utilizando el teorema de Parseval, estimación del espectro (Rivera, J. A. D. (1991). Análisis del electroencefalograma con transformada de Fourier y modelos paramétricos. Ingeniería e Investigación, (23), 7-13.)( 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.)
  + Señal clásica de electroencefalograma
  + Patologías cerebrales en el electroencefalograma
  + Teorema de Parseval
  + Transformada de Fourier y modelación predictiva
* Contenidos objetivos específico 5: el teorema central del límite o teorema del límite central indica que, en condiciones muy generales, si S\_n es la suma de n variables aleatorias independientes, con media y varianza finitas, entonces la función de distribución de S\_n «se aproxima bien» a una distribución normal. Esto se puede demostrar con análisis de Fourier(https://web.williams.edu/Mathematics/sjmiller/public\_html/372Fa15/handouts/Math372\_NotesOnCLT.pdf sección 21.3).
  + Distribuciones de probabilidad y función característica
    - Distribución normal
    - Teorema del límite central
    - Demostración del teorema del límite central con análisis de Fourier
* Contenidos objetivo específico 6: en la teoría de circuitos y máquinas eléctricas se requieren señales de corriente que sean sinusoidales puras con la intención de transformar una frecuencia eléctrica en una velocidad angular estable en un eje. La presencia de componentes de frecuencia distintos a la fundamental genera torques pulsatorios y curvas de torque – velocidad no ideales. Los armónicos pares se oponen al giro de una máquina y los armónicos impares deforman la forma de onda. La serie de Fourier es una herramienta fundamental para caracterizar señales eléctricas en una máquina, con esta es posible identificar componentes de frecuencia no deseados y diseñar filtros óptimos. Por otro lado, cuando se requiere tener un control muy fino de variables en una máquina, se utiliza la electrónica de potencia. En este entorno es muy importante que las señales de salida sean puras para una correcta implementación física del control, por lo que se utilizan filtros óptimos y adaptativos para lograr señales de bajo contenido armónico (Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Beiza Valls, E. (1984). Teoría y análisis de las máquinas eléctricas.) (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.)
  + Introducción a las máquinas eléctricas:
    - Ley de Faraday
    - Campo magnético rotatorio: frecuencia mecánica y frecuencia eléctrica
  + Principios de operación de una máquina de inducción (el motor más utilizado hoy en día)
    - Construcción
    - Campo magnético rotatorio
    - Distribución armónica
    - Torques pulsatorios
    - Análisis de Fourier en la frecuencia eléctrica y mecánica.
  + Distorsión armónica en electrónica de potencia
    - Principios de funcionamiento de un inversor
    - Conversión DC-AC y generación de ondas sinusoidales
    - Modulación PWM y distorsión armónica de ondas generadas
    - Eficiencia electromecánica por armónico.
* Contenidos objetivo específico 7: en el contexto de las imágenes médicas la formación de imágenes de resonancia magnética consiste en un problema inverso en el que el operador directo es la transformada de Fourier, por lo que esta se requiere como herramienta para visualizar el objeto. Por su parte, en la tomografía computarizada, los datos obtenidos corresponden a la transformada de Radón del objeto (senograma), por lo que para encontrar la imagen se debe aplicar al objeto la transformada de Radón inversa que requiere el teorema de las secciones de Fourier (Zhi-Pei “” Liang, & Lauterbur, P. C. (2000). Principles of magnetic resonance imaging: a signal processing perspective. “The” Institute of Electrical and Electronics Engineers Press.)( McRobbie, D. W., Moore, E. A., Graves, M. J., & Prince, M. R. (2017). MRI from Picture to Proton. Cambridge university press.)
  + Formación de imágenes por resonancia magnética nuclear
    - El fenómeno de resonancia magnética nuclear
    - Las ecuaciones de Bloch
    - Codificación en gradientes
    - Espacio k
    - Formación de imagen de MR como problema inverso
* Contenidos objetivo específico 8: en esta sección se estudian sistemas 2D continuos. Los sistemas ópticos son sistemas que actúan en el espacio y el desarrollo de la óptica de Fourier permite analizar cómo se forman imágenes a partir de fuentes luminosas cercanas (difracción de Fresnel) o de fuentes lejanas (difracción de Fraunhoffer) (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.)
  + Introducción a los sistemas ópticos.
    - La luz como onda EM
    - Reflexión
    - Refracción
  + Aproximaciones importantes:
    - Aproximación de campo cercano (Fresnel)
    - Aproximación de campo lejano (Fraunhoffer)
  + Caracterización de un sistema óptico en Fourier:
    - PSF
    - Función apertura y autoconvolución
* Contenidos objetivo específico 9: la transformada de Fourier tiene propiedades matemáticas que la transforman en una herramienta altamente útil para resolver ecuaciones diferenciales parciales. En el desarrollo de estas aplicaciones se mostrará cómo se usan las propiedades de la transformada de Fourier para resolver la ecuación de onda. (<https://jmahaffy.sdsu.edu/courses/s17/math531/beamer/ftransC.pdf>)

( https://www.roe.ac.uk/japwww/teaching/fourier/fourier\_lectures\_part5.pdf) .

* + Física de partículas
    - Planteamiento de la ecuación de Schrödinger
    - Descripción de las variables
    - Solución de la ecuación con propiedades de la transformada de Fourier
* Contenidos objetivo específico 10: En esta sección se estudia cómo la transformada de Fourier aporta a analizar la turbulencia, en este contexto, se utiliza la transformada de Fourier 2D y el teorema de Parseval para demostrar la hipótesis de Kolmogorov: A medida que el número de Reynolds se vuelve grande, los movimientos turbulentos de pequeña escala en todos los flujos tienen un carácter universal similar y para resolver análisis de propiedades estocásticas de los fluidos turbulentos. (https://gibbs.science/teaching/efd/lectures/lecture\_23.pdf).
  + Mecánica básica de fluidos
    - Flujo laminar vs flujo turbulento
    - Concepto de vorticidad
    - Número de Reynolds
  + Hipótesis de Kolmogorov
    - Análisis en frecuencia para demostraciones
* Contenidos objetivo específico 11:

Los sistemas de comunicación en general envían información en forma de onda electromagnética. La transmisión de información requiere que la información sea fácilmente identificable al ser captada, por lo que es necesario generar identificadores. En la radio AM se utilizan las propiedades de la transformada de Fourier para identificar señales enviadas por un mismo canal de comunicación. A mediados de la década de 1870, una forma de modulación de amplitud, inicialmente llamada "corrientes ondulatorias", fue el primer método para enviar con éxito audio a través de líneas telefónicas con una calidad aceptable.

* + Propiedad de la convolución en Fourier
  + Propiedad de la modulación
  + Estructura de la modulación AM
  + Demodulación AM
  + Aplicación en radio
* Contenidos objetivo específico 12: una imagen es una señal digital 2D. El análisis en frecuencia de las imágenes permite generar filtros que pueden seleccionar los componentes de alta frecuencia (bordes), de baja frecuencia (versión suavizada de la imagen), o conservar o eliminar frecuencias específicas (patrones sinusoidales). Se hará uso de la transformada de Fourier para determinar en qué frecuencias vive cada tipo de información en una imagen. Por otro lado, se analizará la transformada de Fourier y otras transformadas como herramientas para encontrar una representación rala de una señal y así facilitar su compresión (Solomon, C., & Breckon, T. (2011). Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab. John Wiley & Sons.) (https://gaceta.rsme.es/abrir.php?id=1301)
  + Muestreo y cuantización 2D
  + Transformada de Fourier 2D
  + Interpretación de la frecuencia espacial
  + Diseño de filtros en el dominio de la frecuencia
    - Filtro pasa altos
    - Filtro pasa bajos
    - Forma óptima para el filtro
    - Fenómeno de Gibbs
  + Compresión de datos JPG
    - Diferencias entre formatos BMP y JPEG
    - Transformada de Fourier discreta
    - Transformada coseno discreta
    - Demostración de que una señal comprimida en el tiempo es dispersa en frecuencia y viceversa.
    - Capacidad de compresión de una transformada

**Metodología de enseñanza y aprendizaje:** hace referencia a los mecanismos y procedimientos empleados para que los y las estudiantes logren los objetivos de aprendizaje propuestos.

Este es un curso de aprendizaje basado en proyectos de modalidad 100% online que tiene como objetivo enseñar aplicaciones de la transformade de Fourier en diferentes contextos.

Para lograr el objetivo principal es necesario generar instancias de aprendizaje teórico y de aprendizaje práctico. El esquema general consiste en comenzar por un repaso global de análisis en frecuencia y luego por cada sección de aprendizaje presentar sesiones grabadas de contenido teórico de la aplicación específica a trabajar, sesiones grabadas de implementación computacional y luego propuestas de proyecto que deberá resolver el estudiante.

En el inicio del curso se entrega una base matemática de análisis en frecuencia a partir de clases grabadas en 4 videos explicativos en formato “repaso” de los contenidos teóricos. A continuación, se realizarán videos por tópico de la siguiente forma: un video de explicación teórica del contexto de la aplicación y luego un video de implementación de ejemplos de programación simulando el entorno teórico. Todos los script de implementación serán compartidos. Se dejarán “tareas voluntarias de programación” 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**

Indicar la técnica de evaluación para medir el nivel de logro de los resultados del aprendizaje. Indicar porcentaje (%) de cada evaluación, mínimo dos por curso, estas deben tener directa relación con los resultados del aprendizaje y contenidos indicados.

Al final de cada semana se realizará un cuestionario de alternativas a responder en Coursera (evaluación sumativa). Al final de cada módulo habrá un quiz no sumativo. Estimamos en promedio que cada semana tiene 2 a 3 módulos.

**BIBLIOGRAFÍA**

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.

Bibliografía Complementaria

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.

**Formato básico para citar Bibliografía:**

Apellido autor, Iniciales nombre autor, (Año), *Título en cursiva*, Ciudad y país, Editorial

**Ejemplo:** Hacyan, S., (2004), *Física y metafísica en el espacio y el tiempo.*

*La filosofía en el laboratorio*, México DF, México: Fondo nacional de cultura económica.

**JEFE DE PROGRAMA**

Debe ser un profesor de la categoría ordinaria o especial de la Pontificia Universidad Católica de Chile. El programa debe incluir una breve reseña de su CV donde indique su categoría como profesor de la universidad.

**EQUIPO DOCENTE**

Nombre completo de cada docente participante en el diplomado o curso, junto con sus antecedentes académicos (profesión, grados académicos), profesor (categoría UC, cuando corresponda) y cargo (ej: Decano de la Facultad de Educación), breve reseña.

\*Nota: para los docente de la Universidad Católica debe decir UC. *No exceder las 6 líneas.*

**\* EP (Educación Profesional) de la Escuela de Ingeniería se reserva el derecho de remplazar, en caso de fuerza mayor, a él o los profesores indicados en este programa; y de asignar al docente que dicta el programa según disponibilidad de los profesores.**

**REQUISITOS DE APROBACIÓN**

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

Calificación mínima de todos los cursos 4.0 en su promedio ponderado

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:**

Horas cronológicas: (totales)

**Créditos: XXX** (cuando corresponda)

**Lugar de realización: XXX**

**Valor: $ XXXXX** (Por la certificación Coursera, pero el curso es gratuito)

**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.