



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

Urb. Montalbán - La Vega - Apartado 29068

Teléfono: 442-9511 Fax: 471-3043

Caracas, 1021 - Venezuela

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

Asignatura: Señales y Sistemas II

Requisito: Señales y Sistemas I

Unidades de crédito: 4

Instructor: Rafael E. Banchs

Horas y aulas de clase:

- ✓ Teoría: Miércoles de 1 pm a 4 pm, Salón de Presentaciones, Módulo 6, Planta Baja
Las aulas para los dos días de los parciales se anunciarán en su momento.
- ✓ Práctica: Grupo 1: Miércoles de 9 am a 11 am, Laboratorio de Circuitos L1105
Grupo 2: Miércoles de 11 am a 1 pm, Laboratorio de Circuitos L1105

Horas de consulta:

- ✓ Grupo 2: Miércoles de 9 am a 11 am
- ✓ Grupo 1: Miércoles de 11 am a 1 pm
- ✓ Cualquier otra hora de consulta debe ser previamente acordada

Índice:

	<i>pág</i>
✓ Justificación del programa	2
✓ Objetivo general	2
✓ Objetivos específicos	2
✓ Contenido del curso	2
✓ Estrategia de evaluación	3
✓ Bibliografía básica	3
✓ Bibliografía complementaria	3
✓ Cronograma de trabajo	3
✓ Materiales de apoyo	5
✓ Información de interés	5
✓ Asignaciones semanales #1 a la #5	7

Justificación del programa:

Con el avance de los sistemas digitales y específicamente el desarrollo de los microprocesadores y sistemas de computación, el procesamiento de señales digitales ha ganado terreno en una gran cantidad de aplicaciones industriales, comerciales y domésticas. En el área de las comunicaciones, el manejo de señales digitales y el diseño de sistemas digitales de comunicación constituyen pericias indispensables para el ingeniero de telecomunicaciones.

Esta materia representa, conjuntamente con Señales y Sistemas I, la base para los cursos de comunicaciones, dando al alumno la capacidad de análisis y diseño de señales y sistemas de comunicación. Adicionalmente, esta materia provee al estudiante con un plataforma básica para incursionar en una gran variedad de aplicaciones del procesamiento de señales digitales.

Objetivo general:

- ✓ Familiarizar al estudiante con las técnicas básicas de representación, análisis y diseño de señales y sistemas discretos en tiempo.

Objetivos específicos

- ✓ Aprender herramientas matemáticas para el manejo de secuencias.
- ✓ Entender las diferencias y relaciones entre las distintas representaciones frecuenciales.
- ✓ Conocer el teorema de muestreo y sus implicaciones más importantes.
- ✓ Aprender el manejo de señales y sistemas discretos en tiempo con MATLAB.
- ✓ Aprender las técnicas básicas de diseño de filtros digitales (IIR y FIR).

Contenido del curso:

1. *Señales y sistemas discretos en tiempo:* Secuencias y sistemas. Señales determinísticas y aleatorias. Respuesta impulsiva. Respuesta en frecuencia. Ecuaciones en diferencias finitas.
2. *La Transformada de Fourier:* Series y transformadas de Fourier. La Transformada de Fourier en tiempo discreto. La Serie de Fourier en tiempo discreto. Propiedades y principales pares transformados. Aplicaciones de la Transformada de Fourier.
3. *Teorema de Muestreo:* El teorema de muestreo, contenido de frecuencia y alisasing. Diezmado, interpolación y cambio de la frecuencia de muestreo. Conversiones analógico-digital y digital-analógico.
4. *La Transformada Z:* La transformada Z, región de convergencia y Transformada Inversa. Propiedades y principales pares transformados. Relación con las transformadas de Laplace y Fourier.
5. *Diseño de filtros digitales:* Introducción a la teoría de Filtros Diseño de filtros de respuesta impulsiva finita (FIR). Diseño de filtros de respuesta impulsiva infinita (IIR). Algunos filtros de interés especial. Implementación y aplicaciones de filtros digitales.

Estrategia de Evaluación:

La evaluación se realizará de la siguiente forma,

- ✓ Un primer parcial de 20% en la sexta sesión de teoría.
- ✓ Un segundo parcial de 20% en la décimo tercera sesión de teoría.
- ✓ Asignaciones semanales 20%.
- ✓ Sesiones prácticas 20%.
- ✓ Presentación de un proyecto final 20%.

Bibliografía Básica

- ✓ OPPENHEIM Alan, SCHAFER Ronald, (1989), *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice Hall International, Inc.
- ✓ HAYKIN Simon, VAN VEEN Barry, (2001), *Señales y Sistemas*, Limusa-Wiley.

Bibliografía Complementaria

- ✓ BURRUS Sydney, McCLELLAN James, OPPENHEIM Alan, PARKS Thomas, SCHAFER Ronald, SCHUESSLER Hans, (1998), *Tratamiento de la Señal Utilizando MATLAB*, Prentice Hall International, Inc.
- ✓ STEARNS Samuel, DAVID Ruth, (1993), *Signal Processing Algorithms in FORTRAN and C*, Prentice Hall International, Inc.
- ✓ SELNIKER Glenn, TAYLOR Fred, (1994), *Advanced Digital Signal Processing: Theory and Applications*, Marcel Dekker, Inc.

Cronograma de trabajo:

Semana 1 (17/03/04):

- ✓ Práctica: Presentación y conformación de los equipos de trabajo.
- ✓ Teoría: Presentación del curso e introducción al procesamiento de señales digitales.

Semana 2 (24/03/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #1**. Representación de señales continuas y discretas.
- ✓ Teoría: Conceptos básicos sobre secuencias y sistemas. Respuesta al impulso. Operador de convolución. Ecuaciones en diferencias finitas.

Semana 3 (31/03/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #2**. Convolución discreta y ecuaciones en diferencias finitas.
- ✓ Teoría: Series y transformadas de Fourier. La Transformada de Fourier en tiempo discreto. La Serie de Fourier en tiempo discreto. Propiedades y aplicaciones de la Transformada de Fourier. **Entrega de la asignación semanal #1** y discusión.

Asueto de Semana Santa (07/04/04)

Semana 4 (14/04/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #3**. La DTFT y el algoritmo de FFT.
- ✓ Teoría: Señales determinísticas y estocásticas. Repaso de probabilidades y definiciones básicas. Ruido y tipos de ruido. **Entrega de la asignación semanal #2** y primera discusión de los proyectos finales.

Semana 5 (21/04/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #4**. Convolución en el dominio de la frecuencia.
- ✓ Teoría: El teorema de muestreo, contenido en frecuencia y alisasing. Diezmado, interpolación y cambio de la frecuencia de muestreo. Conversiones analógico-digital y digital-analógico.

Semana 6 (28/04/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #5**. Tratamiento de señales estocásticas.
- ✓ Teoría: **Primer examen parcial**.

Semana 7 (05/05/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #6**. Muestreo y reconstrucción de señales.
- ✓ Teoría: La transformada Z, región de convergencia y Transformada Inversa. Propiedades y principales pares transformados. **Entrega de la asignación semanal #3**.

Semana 8 (12/05/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #7**. La Transformada Z para el análisis de sistemas LIT.
- ✓ Teoría: Relación de la Transformada Z con las transformadas de Laplace y Fourier. Algunas aplicaciones de la Transformada Z.

Semana 9 (19/05/04):

- ✓ Práctica: Sesión de discusión y consulta sobre los proyectos finales. Formato del informe.
- ✓ Teoría: Introducción a la teoría de filtros. Diseño de filtros de respuesta impulsiva finita (FIR). **Entrega de la asignación semanal #4**.

Semana 10 (26/05/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #8**. Diseño de filtros de respuesta impulsiva finita (FIR).
- ✓ Teoría: Diseño de filtros de respuesta impulsiva finita (FIR) (continuación). Diseño de filtros de respuesta impulsiva infinita (IIR).

Semana 11 (02/06/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #9**. Diseño de filtros de respuesta impulsiva infinita (IIR)
- ✓ Teoría: Algunos filtros de interés especial. Implementación y aplicaciones de filtros digitales. **Entrega de la asignación semanal #5**.

Semana 12 (09/06/04):

- ✓ Práctica: **Trabajo práctico #10**. Estimación de parámetros vía deconvolución.
- ✓ Teoría: Introducción a algunos tópicos avanzados (filtros de reconstrucción perfecta, la transformada de ondículas, filtrado óptimo, filtrado adaptivo).

Semana 13 (16/06/04):

- ✓ Práctica: Trabajo en el laboratorio sobre el proyecto final.
- ✓ Teoría: **Segundo examen parcial**.

Semana 14 (23/06/04):

- ✓ Práctica: Trabajo en el laboratorio sobre el proyecto final.
- ✓ Teoría: **Presentación de proyectos finales.**

Semana 15 (30/06/04):

- ✓ Práctica: Trabajo en el laboratorio sobre el proyecto final.
- ✓ Teoría: **Presentación de proyectos finales.**

Semana 16 (07/07/04):

- ✓ Práctica: **Entrega de notas definitivas.**

Materiales de apoyo:

Una copia de todos los materiales de apoyo requerido para la realización de las asignaciones semanales está disponible en el centro de copiado de la Universidad, donde los estudiantes podrán adquirir una copia. Estos materiales son:

- ✓ “Three Magic Wands”, Jerry Adler, *NEWSWEEK* 1998.
- ✓ *Señales y Sistemas* (Capítulo I), Haykin y Van Veen, 2001.
- ✓ “The transistor”, Sharon Begley, *NEWSWEEK* 1998.
- ✓ “The computer”, Steven Levy, *NEWSWEEK* 1998.
- ✓ “Radar”, Robert Buderer, *NEWSWEEK* 1998.
- ✓ “Body imaging”, Bettyanne Kevles, *NEWSWEEK* 1998.
- ✓ “Joseph Fourier”, John Herivel, 1965.
- ✓ “Sampling Theory Fundamentals”, Rafael Banchs, 1999.
- ✓ *Ethics in Engineering* (Capítulo I), Martin y Schinzing, 1989.

Adicionalmente, en este curso se utilizará la Internet como un recurso de aprendizaje y de intercambio de información. En casi todas las asignaciones semanales, el estudiante deberá consultar algunas secciones de la dirección electrónica www.bores.com/courses/intro/; y se invita al estudiante a hacer sus propias búsquedas en Internet para cada uno de los tópicos específicos del curso. Así mismo, en la página WEB de la Universidad, se estarán publicando continuamente presentaciones, documentos y cualquier otra información relativa al curso.

Información de interés:

1.- Sobre los exámenes parciales.

Los dos exámenes parciales son a libro abierto. El estudiante podrá consultar cualquier libro, guía o cuaderno. De igual forma se permite el uso de calculadoras científicas, aunque los exámenes están diseñados para ser resueltos sin necesidad de usar calculadora. De más está decir que los exámenes son para ser trabajados en forma estrictamente individual y que la retención de un parcial por motivo de copia, ó sospecha de copia, implica una calificación de cero puntos en dicho parcial.

2.- Sobre las asignaciones semanales.

El curso contempla 5 asignaciones semanales de 4 puntos cada una. Las asignaciones deberán ser entregadas en la sesión de teoría del día indicado. Una tarea entregada después de la fecha designada será evaluada sobre un máximo de 1 punto. NO HABRÁ EXCEPCIONES. Aunque las tareas deben ser entregadas en forma individual, pueden ser realizadas y discutidas en grupo (ojo: “realizadas y discutidas en grupo” no significa copiadas !!!). Las tareas muy “parecidas” entre sí tendrán cero puntos.

3.- Sobre las prácticas de laboratorio.

El curso contempla 10 prácticas de laboratorio de 2 puntos cada una. Un punto corresponde a la asistencia y al trabajo en el laboratorio. La inasistencia al laboratorio implica la pérdida de dicho punto. El otro punto corresponde al informe de la práctica, el cual debe ser entregado en la sesión de laboratorio siguiente (una semana después) de la realización de la práctica. Los informes no deben exceder 4 páginas tamaño carta. Un informe entregado después de la fecha designada será evaluado sobre un máximo de ½ punto. NO HABRÁ EXCEPCIONES. Las prácticas y los informes deben ser realizados en equipos de dos personas. Los informes muy “parecidos” entre sí tendrán cero puntos.

4.- Sobre el proyecto final.

El objetivo del proyecto final es que los estudiantes exploren alguna aplicación específica del procesamiento de señales digitales y que implementen, usando MATLAB y algunos de los conceptos estudiados en el curso, una versión sencilla y/o parcial de dicha aplicación; buscando a la vez algo de originalidad e innovación. Aunque no es el objetivo, sería muy útil y beneficioso si el proyecto permitiera encaminar al estudiante hacia un futuro tema de tesis.

El proyecto final tiene un valor total de 20 puntos distribuidos de la siguiente forma: desarrollo práctico en MATLAB (5 puntos), presentación oral de resultados (5 puntos), informe técnico (10 puntos). El proyecto final se realizará en equipos de dos personas (el mismo equipo de las prácticas de laboratorio). El tema del proyecto será escogido por los estudiantes de acuerdo a sus intereses personales y a la revisión bibliográfica que hagan durante las primeras asignaciones. Durante las sesiones de discusión y consulta los estudiantes revisarán conjuntamente con el profesor el alcance del proyecto y el plan de trabajo. En la sesión de laboratorio del 19/05/04 se darán los detalles relativos a la presentación y evaluación del informe técnico.

Asignación #1:

Para ser entregada y discutida el 31/03/04

Parte A

Lee el artículo titulado “Three Magic Wands” de Jerry Adler publicado en la edición especial de *NEWSWEEK* de febrero de 1998. Responde las siguientes preguntas usando como máximo una página tamaño carta.

- 1.- ¿Qué fue lo que más te llamó la atención del artículo?
- 2.- ¿Cuáles son según el autor los tres principios fundamentales de la tecnología en la actualidad?
- 3.- Describe brevemente estos tres principios.
- 4.- ¿Qué relación crees que pueda tener lo referido en el artículo con este curso?

Parte B

Lee las secciones 1.1, 1.2 y 1.3 del capítulo I del libro *Señales y Sistemas* de Haykin y Van Veen, Limusa-Wiley (2001). Responde las siguientes preguntas usando como máximo una página tamaño carta.

- 1.- Describe con tus propias palabras lo que entiendes por “señal” y por “sistema”.
- 2.- De los sistemas descritos en la sección 1.3, ¿cuál de ellos te llamó más la atención? ¿Por qué?
- 3.- Señala y describe brevemente las principales ventajas y desventajas del procesamiento digital de señales.

Parte C

Visita en Internet la página www.bores.com/courses/intro/. Esta página contiene un curso autoguiado de introducción al procesamiento de señales digitales. Revisa las secciones *basics* y *time domain*. Responde las siguientes preguntas usando como máximo una página tamaño carta.

- 1.- ¿Qué fue lo que te pareció más interesante?
- 2.- Escribe tres o cuatro conceptos que no te hayan quedado claros.

Asignación #2:

Para ser entregada y discutida el 14/04/04

Parte A

Lee al menos uno de los siguientes artículos publicados en la edición especial de *NEWSWEEK* de febrero de 1998.

- ✓ “The transistor” de Sharon Begley.
- ✓ “The computer” de Steven Levy.
- ✓ “Radar” de Robert Buder.
- ✓ “Body imaging” de Bettyanne Kevles.

Haz un resumen de no más de una página tamaño carta sobre uno de los artículos. Señala los aspectos que consideres más importantes y lo que más te llamó la atención.

Parte B

Busca en Internet información sobre algunas aplicaciones específicas del procesamiento de señales digitales en el mundo de hoy. Piensa en que área te gustaría desarrollar el proyecto final y justifica tu elección. Entrega un listado de las 5 direcciones electrónicas encontradas que consideres más interesantes.

Parte C

Visita en Internet la página www.bores.com/courses/intro/ y revisa la sección *frequency analysis*. Responde las siguientes preguntas usando cómo máximo una página tamaño carta.

- 1.- ¿Qué fue lo que te pareció más interesante?
- 2.- Escribe tres o cuatro conceptos que no te hayan quedado claros.

Parte D

Lee el artículo de John Herivel sobre la vida de Joseph Fourier. Responde las siguientes preguntas usando cómo máximo una página tamaño carta.

- 1.- ¿Qué fue lo que más te llamó la atención sobre la vida de Joseph Fourier?
- 2.- ¿Cuál fue el aporte más importante que hizo Joseph Fourier a las Ciencias Físicas?
- 3.- Según el artículo, Euler ya había calculado los coeficientes de los términos armónicos de lo que después se llamaría la Serie de Fourier. ¿Cuál fue entonces el aporte de Joseph Fourier?

Parte E

Resuelve los siguientes ejercicios tipo examen:

- 1.- Considera las siguientes señales discretas:

- ✓ $x[n] = 25 \sin(4n)$
- ✓ $y[n] = \sqrt{3} \cos(5\pi n)$
- ✓ $w[n] = 0.5 \cos(\sqrt{2}\pi n)$
- ✓ $z[n] = \sin(5\pi n)$

- a.- determina si cada una de dichas señales es periódica, y en caso de serlo, encuentra su período.
- b.- halla una expresión del tipo $f[n] = A \cos(\omega n + \phi)$ para la señal $f[n] = y[n] + z[n]$.

- 2.- Demuestra que un sistema con respuesta impulsiva del tipo $h[n] = u[n+a] - u[n-b]$ con a y b enteros finitos y mayores que cero, es siempre BIBO estable.

Asignación #2 (continuación):

3.- Considera las siguientes señales discretas:

$$\checkmark \quad x[n] = (r[n+4] - 2 r[n]) u[-n+4]$$

$$\checkmark \quad y[n] = u[n+2] + u[n-2] - 2 u[n]$$

$$\checkmark \quad z[n] = \delta[n+1] - \delta[n-1]$$

a.- elabora una gráfica para cada una de las señales $x[n]$, $y[n]$ y $z[n]$.

b.- calcula y grafica cada una de las convoluciones $x[n]*y[n]$, $x[n]*z[n]$ y $y[n]*z[n]$.

c.- calcula y grafica el resultado de la convolución de cada señal consigo misma.

4.- Dada la siguiente ecuación en diferencias: $y[n] - 3/4 y[n-1] + 1/8 y[n-2] = 2 x[n-1]$, halla una expresión para $y[n]$ cuando $x[n] = \delta[n]$ con $y[n] = 0$ para $n < 0$.

5.- Dado el sistema LIT con respuesta impulsiva $h[n] = (j/2)^n u[n]$, determina su respuesta en estado estacionario para la señal de entrada $x[n] = \cos(\pi n) u[n]$.

6.- Considera las siguientes señales discretas:

$$\checkmark \quad x[n] = u[n+2] - u[n-3]$$

$$\checkmark \quad y[n] = u[-n] r[n+3] - u[n] r[-n+3]$$

$$\checkmark \quad w[n] = \cos(\omega_0 n + \phi)$$

$$\checkmark \quad w[n] = \sin(\omega_0 n + \phi)$$

a.- halla expresiones analíticas para sus transformadas de Fourier de tiempo discreto (DTFT).

b.- esboza los gráficos de magnitud y fase de las transformadas calculadas.

7.- Demuestra que la transformada de Fourier de la secuencia $y[n] = n x[n]$ es igual a $e^{j\pi^2}$ veces la derivada de la transformada de Fourier de $x[n]$.

8.- Demuestra las propiedades de Convolución y Modulación de la transformada de Fourier.

Asignación #3:

Para ser entregada y discutida el 05/05/04

Parte A

Lee el artículo “Sampling Theory Fundamentals” de Rafael Banchs. Responde las preguntas 2, 3, 4 y 5 de la sección de discusión. Puedes usar MATLAB como herramienta de apoyo para ilustrar tus argumentos.

Parte B

Continúa buscando en Internet información sobre algunas aplicaciones específicas del procesamiento de señales digitales en el área en la que te gustaría desarrollar el proyecto final. Prepara un documento*, de un máximo de dos páginas tamaño carta, en el que incluyas las siguientes secciones:

- ✓ Breve descripción del proyecto que vas a desarrollar.
- ✓ Justificación del área seleccionada y de la aplicación particular.
- ✓ Bibliografía detallada y listado de los lugares de Internet consultados.

A modo de sugerencia te propongo algunos tópicos que podrían resultar interesantes:

- ✓ Aplicaciones de radar
- ✓ Modelado de la voz
- ✓ Cuantificación de la voz
- ✓ Procesamiento de imágenes
- ✓ Señales biomédicas
- ✓ Estimación de parámetros
- ✓ Métodos de clasificación
- ✓ Análisis tiempo-frecuencia
- ✓ Criptografía de señales
- ✓ Compresión de datos
- ✓ Audio digital
- ✓ Sistemas de comunicación digital

* Esta parte específica de la tarea (Parte B) no es individual. Se presentará un documento por equipo.

Asignación #4:

Para ser entregada y discutida el 19/05/04

Parte A

Lee el capítulo 1 del libro *Ethics in Engineering* de Mike Martin y Ronald Schinzinger, Mc Graw Hill (1989). Responde las siguientes preguntas usando como máximo una página tamaño carta.

- 1.- ¿Qué fue lo que más te llamó la atención de la lectura?
- 2.- Define con tus propias palabras lo que entiendes por “ética de la ingeniería”.
- 3.- Da tres ejemplos de cómo la carrera que estás estudiando puede ser usada para el beneficio humano.
- 4.- Da tres ejemplos de cómo la carrera que estás estudiando puede ser usada para el perjuicio humano.

Parte B

Desarrolla en un máximo de una página tamaño carta una breve explicación de por qué tu proyecto final es beneficioso para la humanidad. ¿Podría tu trabajo eventualmente ser usado para causar daños?

Parte C

Visita en Internet la página www.bores.com/courses/intro/ y revisa las secciones de *filtering* e *IIR filters*. Responde las siguientes preguntas usando como máximo una página tamaño carta.

- 1.- ¿Qué fue lo que te pareció más interesante?
- 2.- Escribe tres o cuatro conceptos que no te hayan quedado claros.

Asignación #5:

Para ser entregada y discutida el 02/06/04

Parte A

Prepara un documento*, de un máximo de siete páginas tamaño carta, en el que presentes la propuesta definitiva de tu trabajo final. En él debes incluir:

- ✓ El problema definitivo, su justificación y los objetivos del trabajo (máximo 1 página).
- ✓ Un marco teórico y una breve descripción del estado del arte en el área. Aquí debes incluir citas a referencias bibliográficas y páginas de Internet consultadas (máximo 2 páginas).
- ✓ Una descripción detallada del proyecto, incluyendo el tipo de datos que piensas usar, los programas que vas a desarrollar y las simulaciones que realizaras (máximo 2 páginas).
- ✓ Bibliografía detallada y listado de los lugares de Internet consultados (máximo 2 páginas).

* Esta parte específica de la tarea (Parte A) no es individual. Se presentará un documento por equipo.

Parte B

Resuelve los siguientes ejercicios tipo examen:

1.- Sea $X(\Omega) = u(\Omega + \Omega_0) u(-\Omega - \Omega_0/2) + u(-\Omega + \Omega_0) u(\Omega - \Omega_0/2)$ el espectro en frecuencias de una señal continua $x(t)$ pasabanda de fase cero. Dibuja los espectros en frecuencia de las correspondientes versiones muestreadas $x_s(t)$, para los siguientes periodos de muestreo:

- ✓ $T = 2\pi / (2\Omega_0)$
- ✓ $T = 2\pi / (3\Omega_0/2)$
- ✓ $T = 2\pi / \Omega_0$
- ✓ $T = 2\pi / (3\Omega_0/4)$
- ✓ $T = 2\pi / (\Omega_0/2)$

2.- Considera el sistema descrito por la ecuación en diferencias: $y[n-2] - 8/9 y[n] + y[n+2] = x[n]$, del cual se sabe que es BIBO estable.

- a.- halla la función de transferencia del sistema $H(z)$.
- b.- halla una expresión analítica para la respuesta impulsiva $h[n]$.
- c.- halla la respuesta del sistema a la entrada $x[n] = 9^n u[n]$.

3.- Determina la respuesta impulsiva $h[n]$ del sistema cuya función de transferencia está dada por:

$$H(z) = (z^3 - 10z^2 - 4z + 4) / (2z^2 - 2z - 4) \text{ con ROC } |z| < 1$$

4.- Considera la secuencia “medio coseno discreto”, definida como $x[n] = \cos(\omega_0 n) u[n]$.

- a.- halla una expresión para su transformada de Fourier de tiempo discreto (DTFT).
- b.- dibuja su espectro de amplitud.