

# Laboratorio 1: Pulse Amplitude Modulation (PAM) y Pulse Code Modulation (PCM)

Profesor: Rodrigo Muñoz Lara  
Escuela de Informática y Telecomunicaciones  
Universidad Diego Portales

**Resumen**—Este laboratorio explica cómo codificar formas de onda analógicas (a partir de fuentes analógicas) dentro de señales digitales de banda base. Como se verá, la aproximación digital a la señal analógica puede hacerse tan precisa como se desee. Además, el alumno aprenderá cómo emitir señales digitales de banda base de tal manera que su ancho de banda se minimice. El uso de la señalización digital está generalizado porque los circuitos digitales son baratos y por la flexibilidad del enfoque digital, que se da porque los datos de fuentes digitales pueden combinarse con datos digitalizados derivados de fuentes analógicas para ofrecer un sistema de comunicación de propósito general

**Palabras Claves**—señal bandabase, modulación en bandabase, PAM, PCM, señal analógica, señal digital

## I. INTRODUCCIÓN

La figura 1 muestra un diagrama de bloques mediante el cual pueden describirse los sistemas de comunicación. Independientemente de cuál sea la aplicación en particular, todos los sistemas de comunicación involucran tres subsistemas principales: el transmisor, el canal y el receptor. A lo largo de este laboratorio se utilizarán los símbolos indicados en este diagrama para evitar la confusión al alumno sobre dónde se ubica cada señal en el sistema completo. El mensaje de la fuente está representado por la forma de onda de información de entrada  $m(t)$ . El mensaje entregado por el receptor utiliza la notación  $\tilde{m}(t)$ . El símbolo  $[\sim]$  indica que el mensaje recibido puede no ser el mismo que fue transmitido. Esto es, el mensaje en el receptor,  $\tilde{m}(t)$ , puede distorsionarse por el ruido en el canal, o pueden existir otros impedimentos en el sistema como un filtro indeseado o características no lineales indeseadas. La información en el mensaje  $m(t)$  puede ser analógica o digital, dependiendo del sistema en particular, y puede representar información de audio, de video o de algún otro tipo. Los espectros (o frecuencias) de  $m(t)$  y  $\tilde{m}(t)$  están concentradas alrededor de  $f = 0$ ; por consecuencia, éstas se consideran señales de *banda base*. En este laboratorio trabajaremos con el bloque de procesamiento de señal en el transmisor y en el receptor. Este bloque condiciona a la fuente para que ésta genere una transmisión más eficiente. Por ejemplo, en un sistema híbrido, el procesador de señal puede ser un convertidor analógico a digital (ADC), el cual produce una “palabra digital” que representa muestras de la señal analógica de entrada. En este caso, el ADC en el procesador de señal provee una codificación de fuente de la señal de entrada. Aún más, el procesador de señal puede añadir bits de paridad a la palabra digital para suministrar una codificación de canal

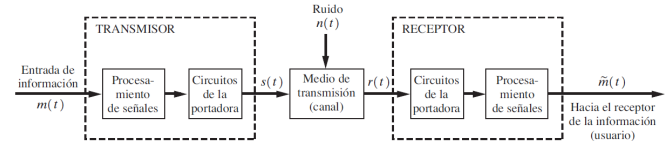


Fig. 1. Un sistema de comunicación.

tal que el procesador de señal en el receptor pueda utilizar la detección y corrección de errores para reducir o eliminar errores de bit causados por el ruido en el canal. La señal a la salida del procesador de señal en el transmisor es una señal de banda base, ya que contiene frecuencias concentradas alrededor de  $f = 0$ .

Este laboratorio pretende explicar cómo codificar formas de onda analógicas (a partir de fuentes analógicas) dentro de señales digitales de banda base. Como se verá, la aproximación digital a la señal analógica puede hacerse tan precisa como se desee. Además, el estudiante aprenderá cómo emitir señales digitales de banda base de tal manera que su ancho de banda se minimice.

El laboratorio está dividido en tres partes. Primero, las *actividades previas*. Estas actividades son **obligatorias** y el grupo que no presente las actividades no tendrá autorizado el acceso a la experiencia y deberá asistir en una segunda sesión de laboratorio. Las actividades previas son grupales. La segunda parte es la actividad que se efectúa presencialmente en el laboratorio. Generalmente son actividades que deben ser ejecutadas con equipamiento de la universidad el cual no puede ser retirado ni prestado para ser trasladado a los hogares de los alumnos. Finalmente está el informe final de laboratorio. Este informe debe responder **todas** las preguntas que se realizan en las siguientes secciones.

## II. ACTIVIDADES PREVIAS

### A. Modulación PAM de una señal sinusoidal

En esta parte del laboratorio deberá construir un código en Matlab que permita realizar las funciones del bloque *Procesamiento de señales* del sistema de comunicaciones de la figura 1. Este código tendrá la función principal de modular una señal sinusoidal utilizando modulación de amplitud de pulso con muestreo natural y muestreo instantáneo. Para ello su código deberá:

- 1) Generar una señal sinusoidal de amplitud  $A = 1$  y frecuencia  $f_c = 1000\text{Hz}$ . Esta señal será  $m(t)$  en la

figura 1 y es la información que se desea transmitir. NOTA: Dado que Matlab no puede procesar señales análogas, considere que la señal sinusoidal tiene muestras cada  $1/100000$  segundos. Este parámetro debe ser configurable.

- 2) Aplicar a la senoide una modulación por amplitud de pulso con muestreo natural. Para ello deberá definir los siguientes parámetros configurables en el código:
  - a) frecuencia de muestreo ( $f_s$ )
  - b) ciclo de trabajo ( $d = \tau/T$ )
- 3) Aplicar a la senoide una modulación por amplitud de pulso con muestreo instantáneo. Para ello deberá definir los siguientes parámetros configurables en el código:
  - a) frecuencia de muestreo ( $f_s$ )
- 4) Graficar (en función del tiempo) en una misma figura la señal original, la señal muestreada de forma natural y la señal muestreada de forma instantánea.

### III. LABORATORIO PRESENCIAL

Para el laboratorio presencial cada grupo contará con:

- Computador que tendrá instalada una versión de Matlab.

#### A. Actividades

- 1) Utilice el código de la actividad previa, grafique en una misma figura, la transformada de Fourier de la señal original, la señal muestreada de forma natural y la señal muestreada de forma instantánea. Considere solamente la porción positiva de las frecuencias en la transformada de Fourier. Responda a las siguientes preguntas:
  - a) ¿Que pasa si disminuye la frecuencia de muestreo?
  - b) ¿Hay algún límite? Si lo hay, ¿Cuál es?
  - c) ¿Porque existe este límite?
  - d) ¿Que pasa si supera este límite?
  - e) ¿Por qué la transformada de Fourier tiene esa forma para cada una de las señales (justifique matemáticamente)?
- 2) En esta parte de la actividad deberá realizar la modulación por pulsos codificados o PCM de la señal  $m(t)$  muestreada de forma instantánea. Para ello realice un código que considere  $N$  bits para cada palabra o código PCM.  $N$  debe ser configurable.
  - a) Dibuje en un mismo gráfico, la señal original  $m(t)$ , la señal PAM muestreada instantáneamente  $m_{inst}(t)$  y la señal PAM cuantificada.
  - b) Grafique el error por cuantización para cada muestra instantánea de la señal respecto a la codificación PCM.
  - c) ¿El error por cuantificación depende de  $N$  (numero de bits de la palabra PCM) (justifique)?
  - d) Para cada muestra instantánea cuantificada, asigne un código PCM y almacénelo en un archivo de texto donde cada fila es un código PCM de la cuantificación de una muestra.

### IV. INFORME FINAL

El informe final del laboratorio deberá contener todas las respuestas a las preguntas y gráficos solicitados en las secciones II y III. El informe debe contener las siguientes secciones:

- Introducción
- Antecedentes
- Metodología
- Resultados
- Análisis de Resultados
- Conclusiones
- Referencias
- Anexos