Laboratorio N°2

Modulación Analógica

1. La Necesidad de la Modulación

En un sistema de comunicaciones, la información generada por una fuente (como audio, video o datos) no puede ser transmitida de manera práctica a largas distancias en su forma original (señal de banda base). La modulación es el proceso fundamental mediante el cual se alteran uno o más parámetros de una señal portadora de alta frecuencia, utilizando la señal de información (moduladora), para hacerla apta para la transmisión.

2. Las principales ventajas de la modulación son:

- **Antenas eficientes:** Para radiar eficientemente una señal, la antena debe tener dimensiones comparables a la longitud de onda de la señal (λ = c/f). Las señales de baja frecuencia (ej: audio, 20 Hz - 20 kHz) requerirían antenas de kilómetros de largo. Al modular una portadora de alta frecuencia (ej: 1 MHz), la antena puede ser de un tamaño práctico (alrededor de 75 metros para λ/4).
- **Manejo de Ancho de Banda:** Permite multiplexar múltiples señales en diferentes frecuencias portadoras para ser transmitidas simultáneamente por un mismo medio (Multiplexación por División de Frecuencia, FDM).
- **Mejora de la Inmunidad al Ruido:** Ciertos esquemas de modulación son más robustos frente a las interferencias y el ruido presentes en el canal de comunicación.

En esta guía, trabajaremos con el esquema de modulación analógica de Amplitud Modulada (AM).

3. **Modulación en Amplitud (AM)**

La Modulación en Amplitud es una técnica donde la amplitud de la señal portadora de alta frecuencia varía en proporción directa a la amplitud instantánea de la señal moduladora de baja frecuencia (contiene información).

4. **Principio Matemático**

Sea:

$v_{\mathrm{p}}(\mathrm{t}) = \mathrm{V_p}\cos(2\pi f_{\mathrm{p}} t)$: La señal portadora, con amplitud V_p y frecuencia f_p

$v_{\mathrm{m}}(\mathrm{t}) = \mathrm{V_m}\cos(2\pi f_{\mathrm{m}} t)$: La señal modulante, con amplitud V_m y frecuencia f_p (donde $f_m << f_p$)

La señal modulada en AM resultante se describe mediante la ecuación:

$$v_{\mathrm{AM}}(t) = [\mathrm{V_p} + v_{\mathrm{m}}(t)]\cos(2\pi f_{\mathrm{p}}\, t)$$
$$v_{\mathrm{AM}}(t) = \mathrm{V_p}[1 + m\cos(2\pi f_m\, t)]\cos(2\pi f_{\mathrm{p}} t)$$

Donde *m* es el **Índice de Modulación**, definido como:

$$m = \frac{V_m}{V_p}$$

- Si $m>1$: Ocurre sobre modulación, causando distorsión y pérdida de información.
- Si $m \leq 1$: La modulación es correcta.

5. **Características de la Señal AM**

- **Espectro de Frecuencias:** Una señal AM consta de tres componentes:
    1. La portadora original en frecuencia f_p.
    2. Una banda lateral superior (USB) en frecuencia $f_p + f_m$
    3. Una banda lateral inferior (LSB) en frecuencia $f_p - f_m$

  El ancho de banda total requerido es $2\ f_m$

- **Eficiencia:** La mayor parte de la potencia transmitida se concentra en la portadora, que no contiene información. Esto hace que AM sea inherentemente ineficiente en términos de potencia, pero simple de generar y demodular.

6. **Contexto de Aplicación**

La modulación AM es la base de la radiodifusión comercial en la banda de Onda Media (AM) y Onda Corta. Su simplicidad permitió su desarrollo y adopción masiva. En esta práctica, entenderemos sus ventajas (simplicidad) y desventajas (ineficiencia, susceptibilidad al ruido).

7. **Objetivo de las Prácticas**

El objetivo de las siguientes actividades es materializar estos conceptos teóricos. Generaremos, visualizaremos en el osciloscopio y analizaremos el espectro de señales de AM. Esto nos permitirá comprender de forma práctica los conceptos de índice de modulación, ancho de banda, espectro de frecuencias y el impacto del ruido en este esquema de modulación.

Transmisiones con codificaciones con Estándares de Capa Física RS232 y RS485.

1. Utilidad de las transmisiones

Las comunicaciones seriales constituyen la base de numerosos sistemas de interconexión electrónica, donde los estándares RS-232 y RS-485 representan dos enfoques fundamentales con aplicaciones y características distintivas. Esta guía de laboratorio tiene como objetivo realizar un análisis experimental comparativo entre estos dos estándares, enfocándose en tres aspectos críticos: sus principios de comunicación, características de ancho de banda, esquemas de codificación de señales y el impacto de los componentes de continua en su desempeño.

2. Características de los estándares

El estándar **RS-232**, establecido como interfaz punto a punto, ha sido tradicionalmente empleado en conexiones de corta distancia como terminales computacionales y equipos periféricos. Su esquema de codificación **NRZ-L** utiliza señales single-ended con significativos componentes de continua, lo que limita su uso mediante transformadores o acoplamientos capacitivos. Por otro lado, el **RS-485**, diseñado como sistema balanceado multipunto, encuentra su principal aplicación en entornos industriales donde se requieren comunicaciones robustas a larga distancia y en ambientes eléctricamente hostiles, presentando un contenido de continua sustancialmente menor que favorece su transmisión en medios acoplados.

3. Detalles de la práctica

A través de esta práctica, se explorarán las diferencias esenciales en la codificación **NRZ-L (Non-Return to Zero Level)** utilizada por ambos estándares, pero implementada de manera radicalmente diferente: señales single-ended asimétricas con alto contenido de continua en RS-232 versus señales diferenciales balanceadas con cancelación de componente continua en RS-485. Se analizará cómo estas implementaciones afectan el ancho de banda efectivo, la inmunidad al ruido, la presencia de componentes espectrales en DC y la distancia máxima de comunicación confiable.

4. Desarrollo

El desarrollo de estas actividades permitirá comprender empíricamente por qué el RS-232 está limitado a aproximadamente 15 metros en condiciones ideales, mientras que el RS-485 puede extender su operación hasta 1200 metros, así como las razones por las cuales uno es susceptible al ruido mientras el otro ofrece notable robustez en entornos industriales. Particular atención se dedicará al análisis del contenido espectral en baja frecuencia y cómo la significativa componente continua del RS-235 contrasta con el espectro más balanceado del RS-485, impactando directamente en la eficiencia de transmisión y la interoperabilidad con diferentes medios físicos.

Esta guía proporciona el marco metodológico para caracterizar las señales en dominio temporal y frecuencial, cuantificar tasas de error en diferentes escenarios, analizar la distribución espectral de potencia y validar teóricamente las ventajas e inconvenientes de cada estándar en

aplicaciones prácticas específicas, con especial énfasis en las implicaciones del contenido de continua en el desempeño del sistema.

5. Esquemas de conexión

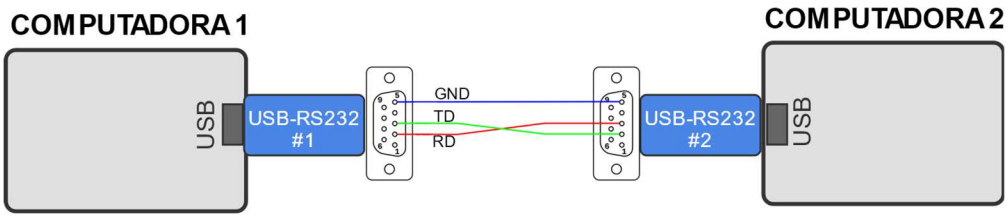


Figura 1 Conexión entre dos computadoras mediante RS232

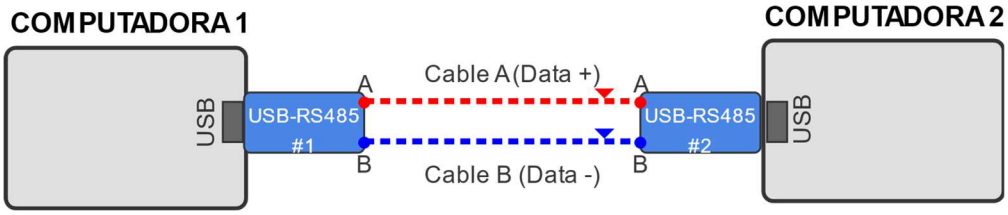


Figura 2 Conexión entre dos computadoras mediante RS485

Actividad Práctica: Modulación AM

Material necesario:

- Generador de Funciones con capacidad de modulación
- Osciloscopio con cálculo de FFT
- Cable de interconexión BNC-BNC

Preparación:

PASO 1: ACTIVAR MODULACIÓN AM

- Presionar botón Mod (arriba a la derecha del teclado)
- En pantalla, seleccionar AM
- Presionar flecha para confirmar

PASO 2: CONFIGURAR SEÑAL PORTADORA

- Presionar Tecla de Senoidal → ingresar frecuencia (ej: 5.000 KHz)
- Presionar Ampl → ajustar amplitud (ej: 2.0 Vpp)

PASO 3: CONFIGURAR PARÁMETROS AM

- En menú AM, ajustar:
  - FUENTE:
    - Presionar SrcInt → Internal
  - FORMA MODULADORA:
    - Presionar Shape
    - Seleccionar Sine (recomendado)
  - FRECUENCIA MODULADORA:
    - Presionar AMFreq
    - Ingresar valor (ej: 500 Hz)
  - PROFUNDIDAD:
    - Presionar Depth
    - Ajustar de Modulación (ej: 50.0%)

PASO 4: CONEXIÓN Y VERIFICACIÓN

- Conectar cable BNC desde CH1 OUTPUT → osciloscopio
- Verificar en osciloscopio la envolvente AM
- Ajustar parámetros si es necesario
- Observar el espectro de frecuencia son la herramienta de FFT del osciloscopio.

Preguntas Guía para el Análisis Experimental

Sobre la Magnitud de la Portadora y los Lóbulos (Bandas Laterales)

Objetivo: Comprender la distribución de potencia en una señal AM.

1. **(Análisis en el Osciloscopio):** Para una señal AM con modulación sinusoidal:
   - Midan la amplitud máxima (V_{max}) y mínima (V_{min}) de la envolvente.
   - Calculen el índice de modulación `m` experimental usando la fórmula:

$$m = \frac{(V_{max} - V_{min})}{V_{max} + V_{min})}$$

   - ¿**Cómo se correlaciona el valor de `m` calculado con la amplitud relativa que se observa entre la portadora y la señal moduladora**?

2. **(Análisis en el Analizador de Espectros):**
   - Medir en el espectro la amplitud de la portadora y de las bandas laterales.
   - **Análisis Comparativo:** A medida que aumenta el índice de modulación `m` (sin llegar a la sobre modulación), ¿**qué sucede con la amplitud relativa de las bandas laterales comparada con la de la portadora**? ¿**Qué implica esto para la eficiencia energética de la transmisión**?

Repetir el análisis con dos o mas índices de modulación,

Sobre el Ancho de Banda

Objetivo: Verificar la relación teórica entre la frecuencia modulante y el ancho de banda.

3. Medir el ancho de banda entre los picos de las dos bandas laterales. ¿**Coincide con el teórico (`2 * f_m`)**?
4. Cambiar la frecuencia de la señal moduladora a 3 kHz. ¿C**ómo cambia el ancho de banda espectral de la señal AM**?

Análisis General partir de las observaciones

5. ¿Qué determina el la frecuencia de la moduladora?
6. ¿Qué determina el índice de modulación?

Actividad Práctica: Transmisiones de señales digitales.

Materiales Requeridos

- 1 computadora con Windows
- 2 adaptadores USB a RS-232
- 2 adaptadores USB a RS-485
- Cable RS-232 de 15 metros
- Cable RS-485 de 120 metros (par trenzado)
- Software RealTerm
- Osciloscopio.
- Accesorios de conexión.

Procedimiento Experimental

Configuración Inicial del Sistema

Instalación de adaptadores:

- Conectar adaptadores USB y verificar puertos COM asignados
- Anotar números de puerto COM para cada adaptador

Configuración RealTerm:

Se configura REALTERM para la transmisión de datos vía RS232 y para RS485 y se transmiten 20 repeticiones del conjunto de caracteres de alternados. Recibiéndose los mismos en otra instancia del mismo programa. Conectando un cable dos cables entre los adaptadores, primero uno de 15m y otro de 120m

- Para verificar la taza de recepción. Errores.
- El ancho de banda.
- La presencia de componente de continua
- Los niveles de tensión de los símbolos.

Se repiten los ensayos para tazas de transferencia de 9600bps 115200bps y 921600bps

2. Conjunto de Datos de Prueba

Secuencia de caracteres para transmisión:

En un archivo se cargan secuencias de caracteres para se transmitidos mediante la configuración adecuada del programa.

3. Protocolo de Pruebas por Velocidad

Procedimiento para cada velocidad:

1. **Configurar velocidad** en RealTerm ambos extremos
2. **Transmitir cada secuencia** de prueba 10 veces
3. **Registrar resultados** en tabla de observación
4. **Calcular tasa de error** para cada combinación

Parámetros a registrar:

- **Tasa de error**: (Caracteres erróneos / Erróneos paquetes) × 100
- **Estabilidad de conexión**: Pérdida intermitente de conexión
- **Calidad de señal**: Observación visual en osciloscopio
- **Espectro de frecuencias**: Observación del espectro en frecuencia

Procedimiento Detallado Paso a Paso

Ejecución:

1. Conectar los adaptadores con los cables
2. Abrir dos instancias de RealTerm
3. Configurar parámetros seriales (Probar desincronización)
4. Iniciar con velocidad 1200 bps
5. Transmitir secuencia secuencias
6. Registrar resultados en tabla
7. Repetir para todas velocidades y secuencias

Tablas de Registro de Datos

Tabla 1: RS-232 - Cable 15 metros

Velocidad (bps)	Tasa Error (%)	Ancho de banda	Comp. DC	Niveles de Tensión	Observaciones

Tabla 1: RS-232 - Cable 120 metros

Velocidad (bps)	Tasa Error (%)	Ancho de banda	Comp. DC	Niveles de Tensión	Observaciones

Tabla 2: RS-485 - Cable 120 metros

Velocidad (bps)	Tasa Error (%)	Ancho de banda	Comp. DC	Niveles de Tensión	Observaciones

Preguntas de Análisis

1. ¿A qué velocidad comienza a aparecer errores significativos en RS-232?
2. ¿Cómo se comporta RS-485 a altas velocidades en 120m?
3. ¿Qué secuencia presenta mayor tasa de error y por qué?
4. ¿Cuál es la velocidad óptima para cada estándar en las longitudes probadas?