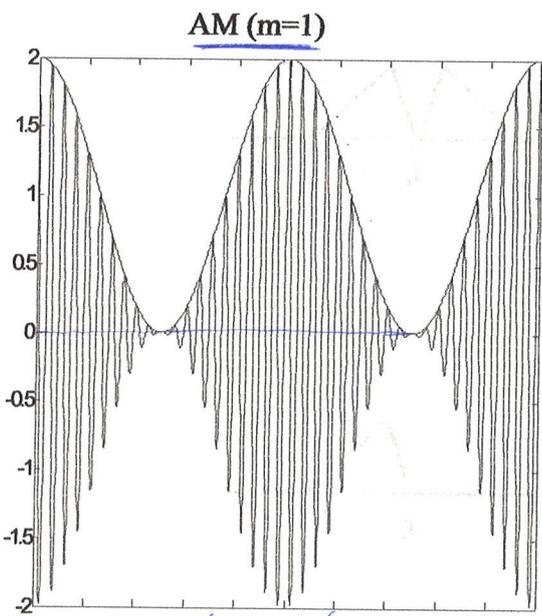
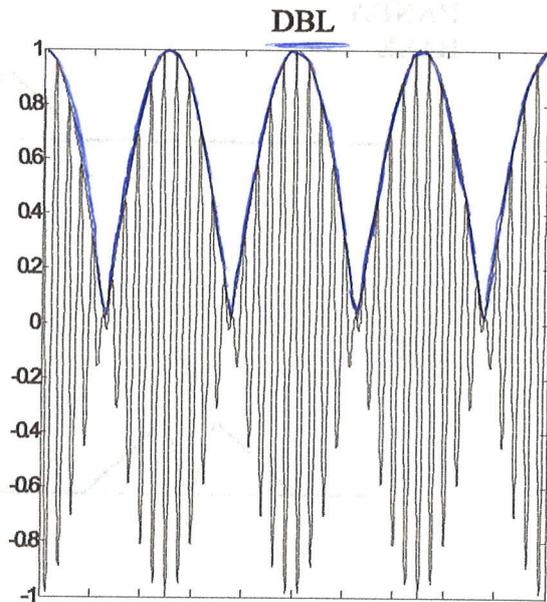
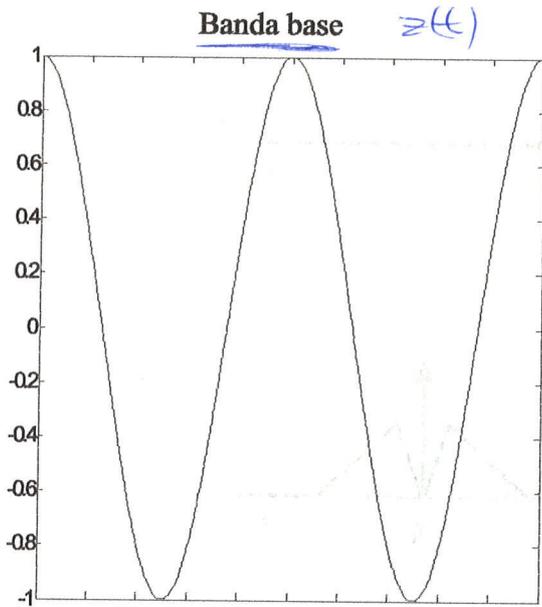
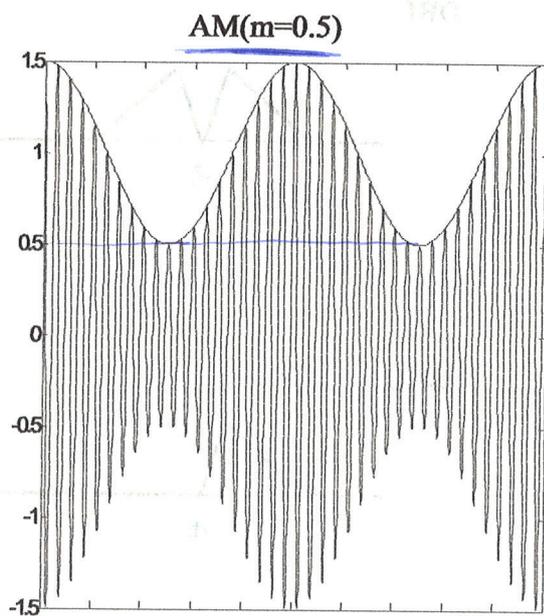


Modulaciones analógicas lineales (DBL y AM)

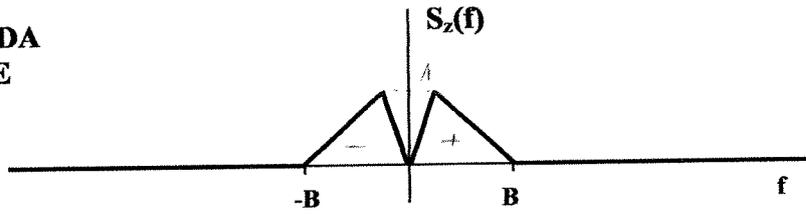


envelope entre 0 y 2

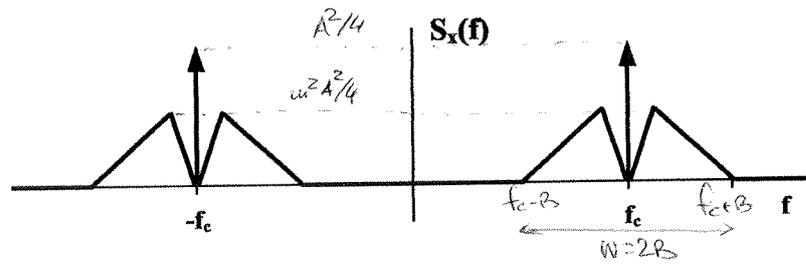


envelope entre 0.5 y 1.5

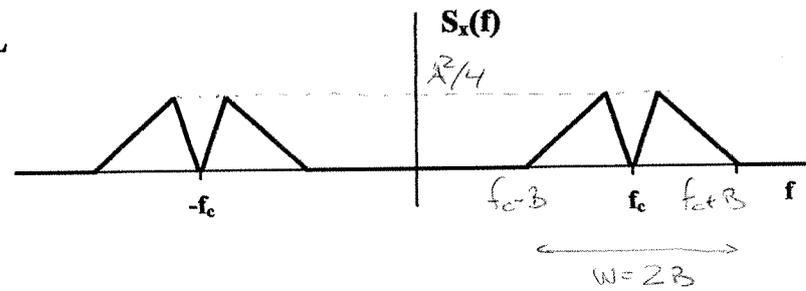
**BANDA
BASE**



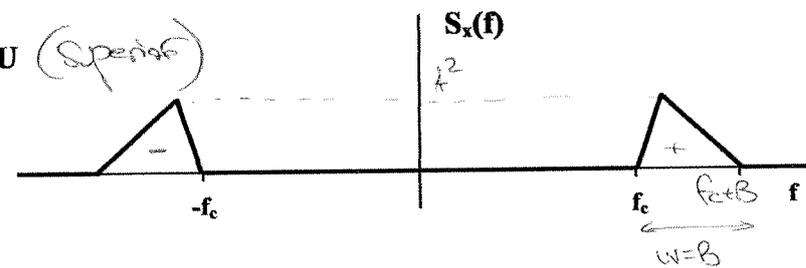
AM



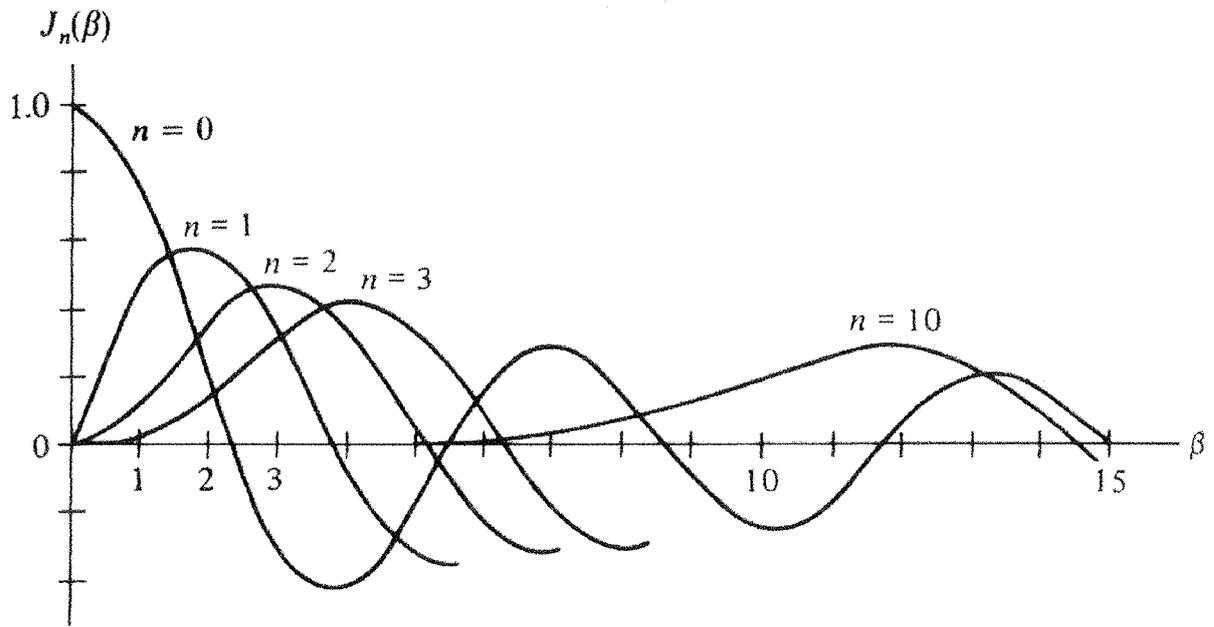
DBL



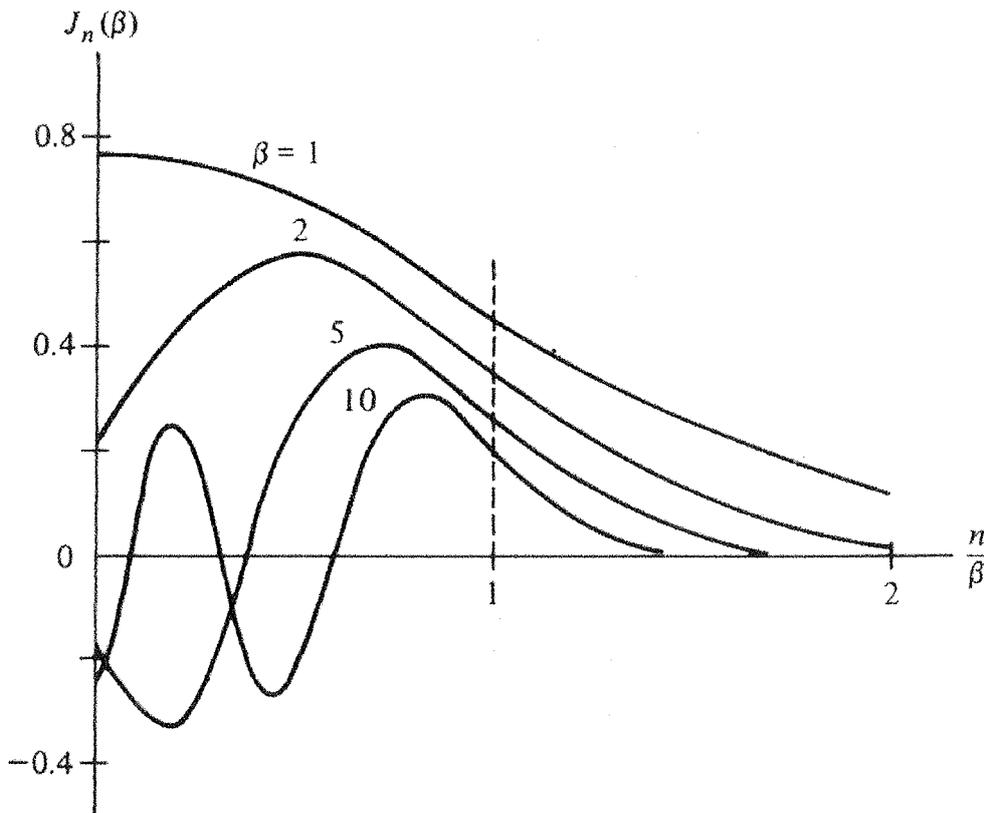
BLU (Spenis)



Funciones de Bessel de 1ª especie

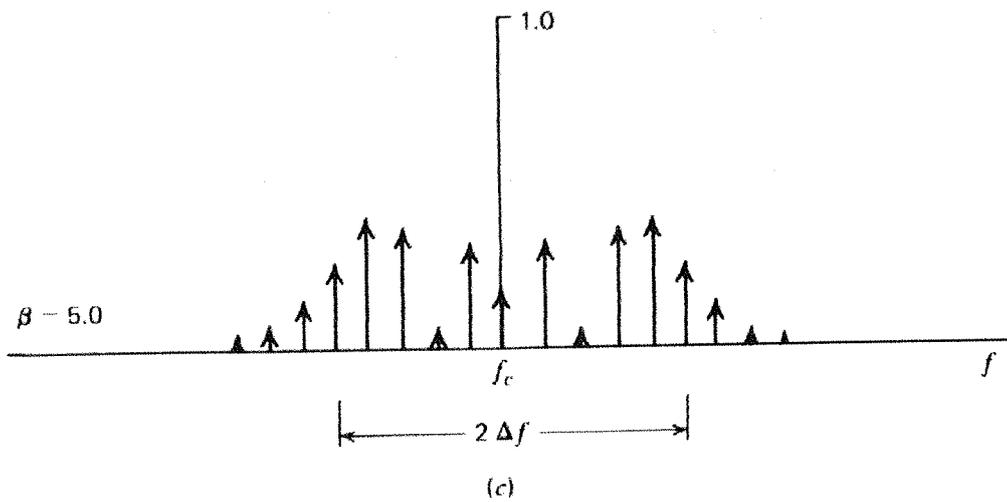
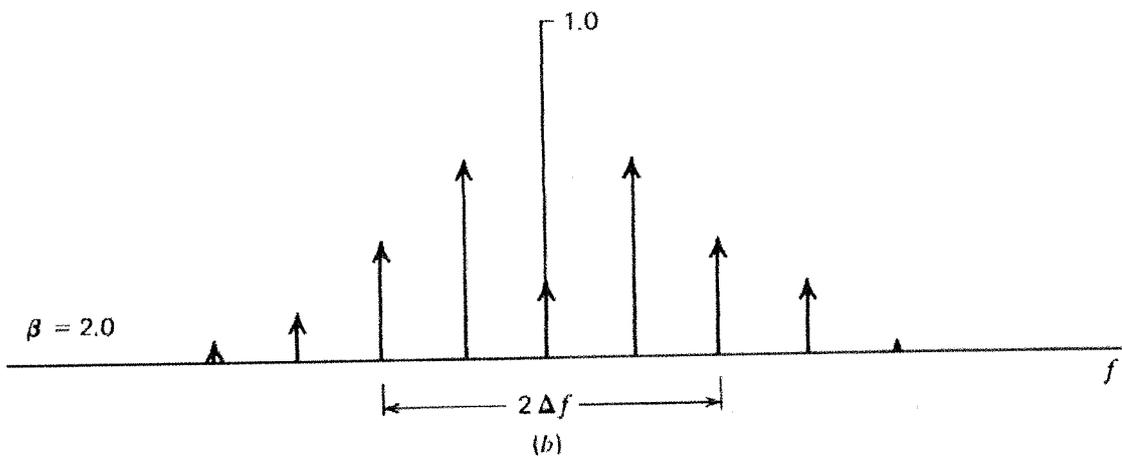
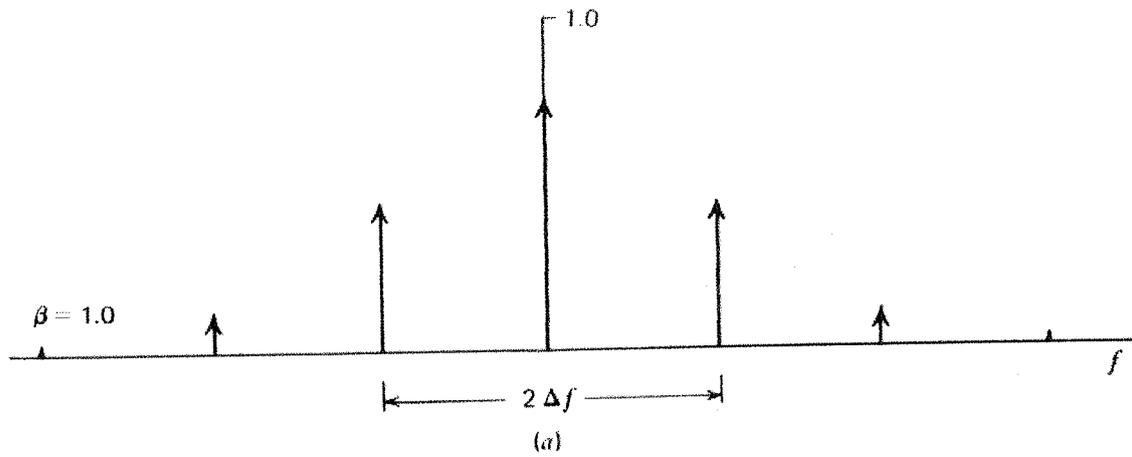


(a)

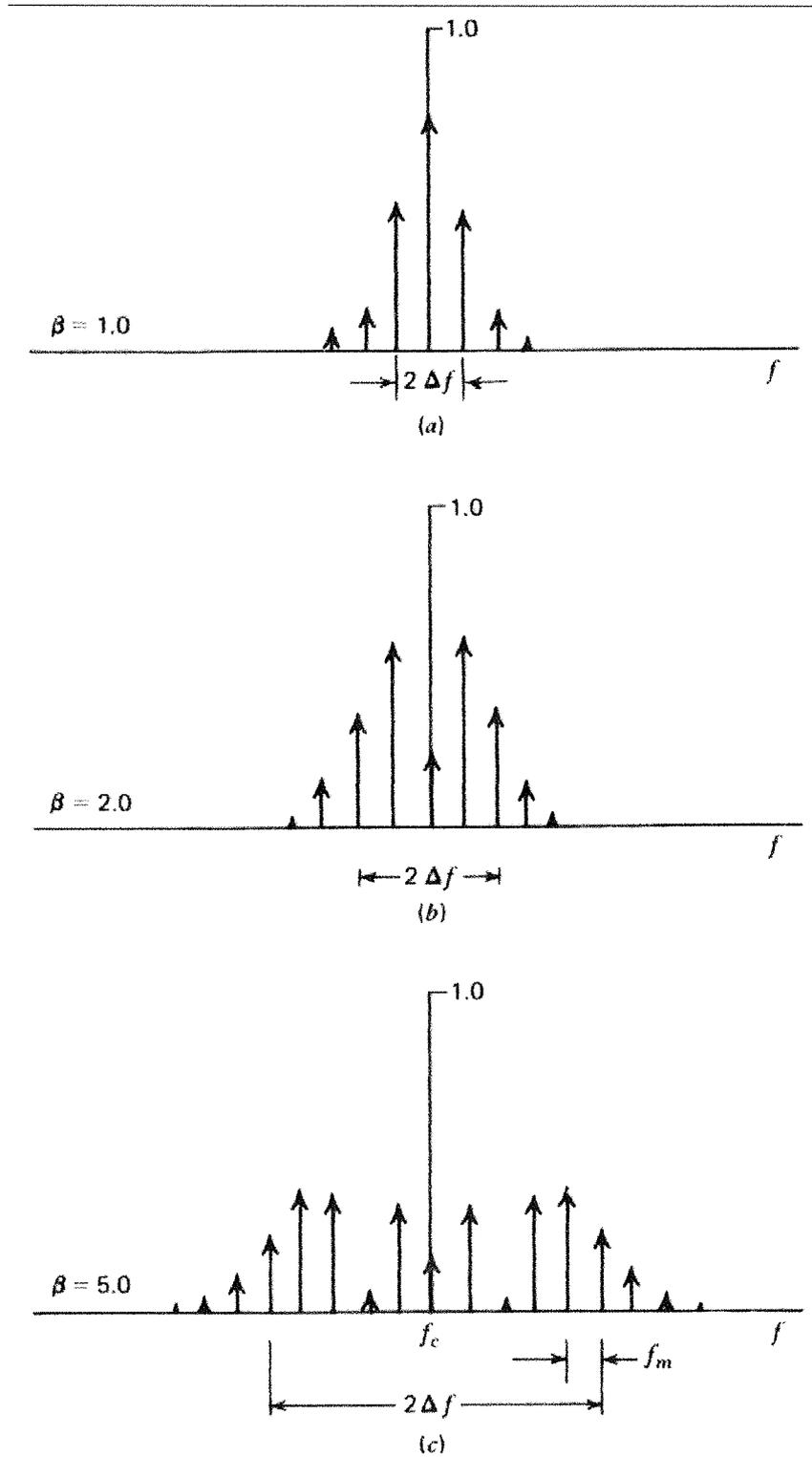


(b)

Espectro de un tono modulado
Variación de β y f_{Δ} fija



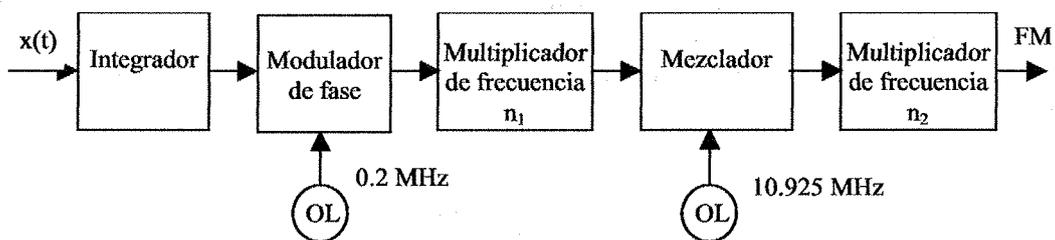
Espectro de un tono modulado
Variación de β y f_m fija



RELACIÓN DE PROBLEMAS DE COMUNICACIONES ANALÓGICAS
TEMA III: MODULACIONES ANALÓGICAS

✓ **III.1.** En la figura se representa un diagrama de bloques de un modulador FM basado en el método indirecto. La señal moduladora es un tono de frecuencia 12.5 KHz. El modulador de fase es atacado por una portadora de 0.2 MHz procedente de un oscilador controlado por cristal. La señal de FM tiene una portadora de valor $f_c = 90$ Mhz y la desviación máxima de frecuencia es $f_\Delta = 75$ KHz. Calcule:

- a) La desviación máxima de frecuencia a la salida del modulador de fase siendo el índice de modulación $\Phi_\Delta = 2 \cdot 10^{-3}$ rad.
- b) Los factores n_1 , n_2 que producen la portadora y desviación máxima de frecuencia especificadas.
- c) Ancho de banda de la señal FM de salida.



III.2. Considere las técnicas de modulación DBL, BLU y BLR.

- a) Dibujar el diagrama de bloques de los transmisores y receptores coherentes de cada una de ellas.

Suponga que el oscilador usado en el receptor presenta una diferencia de frecuencia Δf con la portadora usada en el modulador. Suponga también que dicho error es pequeño respecto al ancho de banda de la señal moduladora, de forma que la señal pasa sin distorsión por los filtros usados en el receptor.

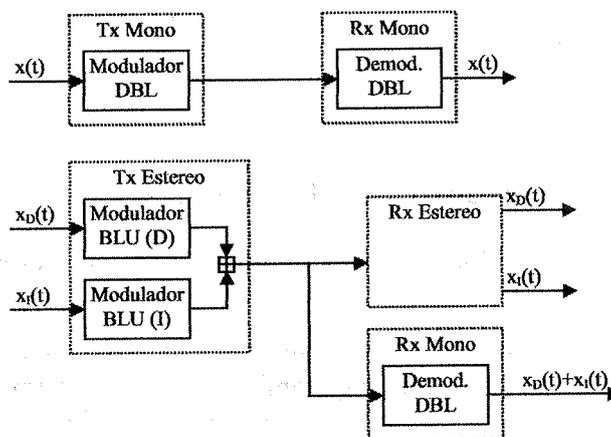
- b) Obtenga justificadamente la expresión de la señal a la salida del demodulador.

Nota: Considere que el canal no introduce distorsión ni ruido.

III.3. Sea $x(t)$ un proceso estacionario banda base de media nula.

- Demostrar que cuando se modula en doble banda lateral, el proceso resultante es cicloestacionario.
- Demostrar que cuando se modula en banda lateral única, el proceso resultante es estacionario.

III.4. Un sistema de radiodifusión transmite una señal de audio de 20 KHz de ancho de banda. Para ello emplea modulación doble banda lateral (DBL) y demodulación coherente, con una frecuencia de portadora de 1 MHz. Se pretende mejorar el sistema sustituyendo el transmisor monofónico anterior por otro estereofónico, de forma que la banda de la señal modulada no se modifique, y que la transmisión estereo sea compatible con el uso de receptores monofónicos, siendo en ese caso la salida del mismo la suma de las señales del canal derecho e izquierdo. En la figura adjunta se muestra un diagrama del sistema planteado.

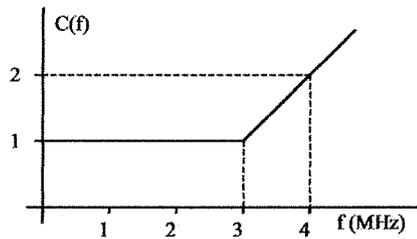
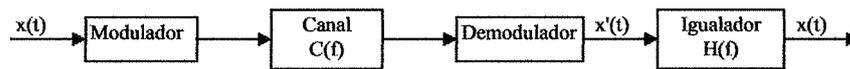


- Describa y justifique las características de los moduladores de Banda Lateral Única usados en el transmisor estereo para modular las señales del canal derecho e izquierdo.
- Dibuje los diagramas de los transmisores y receptores: Tx Mono, Tx Estereo, Rx Mono y Rx Estereo.

Nota: En los diagramas emplee solamente multiplicadores, sumadores, osciladores y filtros ideales, e indique la frecuencia de los tonos usados, así como la banda de los filtros.

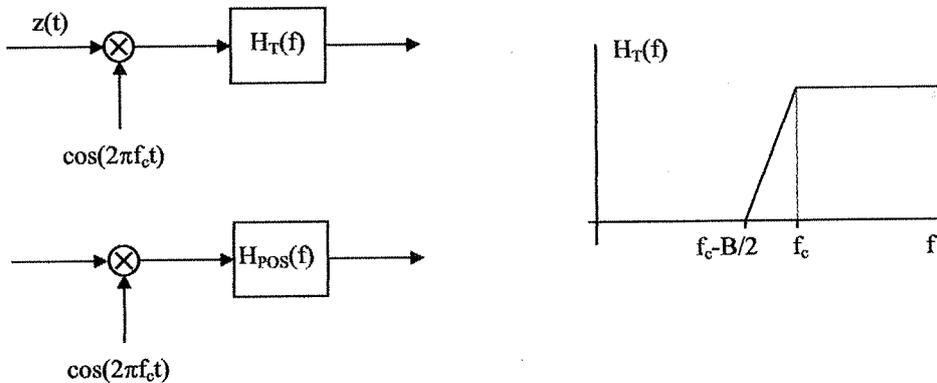
III.5. La figura adjunta representa la respuesta en frecuencia de un canal lineal. Dicho canal es usado para transmitir señales moduladas. La señal moduladora $x(t)$ es una señal banda base de 1 MHz de ancho de banda.

- a) Si se utiliza un sistema de modulación DBL con frecuencia de portadora 3 MHz y demodulación coherente, obtenga la respuesta en frecuencia $H(f)$ de un filtro (igualador), situado tras el demodulador, capaz de compensar la distorsión producida por el canal en la señal moduladora.
- b) Repita el ejercicio para un sistema de modulación BLU de banda superior y frecuencia de portadora 3 MHz.
- c) Repita el ejercicio para un sistema de modulación BLU de banda inferior y frecuencia de portadora 3 MHz.



III.6. En la figura adjunta se muestra el esquema de un transmisor y un receptor analógico. Se considera que la señal de información $z(t)$ se encuentra normalizada por su valor máximo y es una señal de voz con ancho de banda B .

- Obtenga la respuesta en frecuencia del filtro de pos-detección para que su salida, en ausencia de ruido, sea proporcional a la señal de información $z(t)$.
- ¿Cómo se podría modificar el transmisor y el receptor para que, usando la misma banda, se pudiera hacer una demodulación incoherente?



III.7. Las siguientes expresiones corresponden a los equivalentes paso bajo de algunos tipos de modulaciones:

- $\cos[z(t)] + j.\text{sen}[z(t)]$
- $\cos(\omega_1 t) - j.\text{sen}(\omega_1 t)$
- $\cos(\omega_1 t) + j.\text{sen}(\omega_2 t)$
- $\cos[z(t)]$

Indique para cada caso, de que tipo de modulación se trata, y cual es la señal moduladora. Justifique la respuesta

III.8. Cierta canal real presenta una respuesta impulsiva $h(t)$:

$$h(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \delta(t - t_i)$$

Por dicho canal se transmiten dos señales de información $z_1(t)$ y $z_2(t)$ moduladas en cuadratura con frecuencia de portadora f_c . Las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$ son estacionarias y verifican:

$$R_{z_1 z_2}(\tau) = 0$$

$$R_{z_i}(\tau) = R_{z_j}(\tau) = 0, \quad |\tau| \geq \text{Min}|t_i - t_j|, \quad i \neq j$$

a) Calcular la relación entre las potencias a la entrada y a la salida del canal.

Para demodular se utiliza un tono de frecuencia exactamente igual a la del transmisor, pero con una diferencia de fase respecto a este de ϕ radianes.

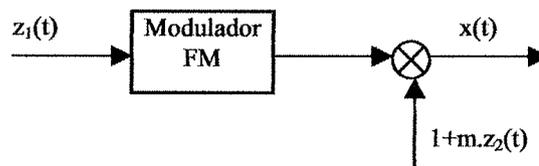
b) Calcular la expresión de las señales obtenidas en el receptor en función de $z_1(t)$ y $z_2(t)$.

c) Obtener la expresión de la relación señal a interferencia cocanal.

d) Obtener la expresión de ϕ que hace máxima dicha relación, en el caso $N=1$.

e) Repetir d) en el caso general.

III.9. Considere el siguiente esquema de modulación:



Las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$ son dos señales de información normalizadas en amplitud, independientes entre sí, y de ancho de banda B . El modulador FM tiene una frecuencia de portadora f_c y produce una desviación máxima de frecuencia f_Δ .

a) Obtenga una expresión para el ancho de banda de la señal modulada.

b) Dibuje la estructura detallada de un receptor que permita recuperar ambas señales (indique claramente los distintos bloques funcionales, y especifique la banda de los filtros usados).

c) De una idea cualitativa de cómo afecta el valor del parámetro m a la relación señal a ruido de cada una de las dos salidas del receptor (correspondientes a las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$).

III.10. Considere dos señales de información $z_1(t)$ y $z_2(t)$ con las mismas características e independientes entre sí. Ambas señales se multiplexan modulándolas respectivamente en BLU superior e inferior y con la misma frecuencia de portadora.

- a) Dibuje un esquema detallado del modulador y demodulador.
- b) Considere que dispone de un demodulador en cuadratura. Obtenga una expresión de sus salidas en función de las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$.
- c) Dibuje el esquema de un sistema que permita separar las señales $z_1(t)$ y $z_2(t)$ a partir de las salidas del demodulador en cuadratura.

III.11. Demuestre que una modulación en cuadratura de las señales z_1 y z_2 es equivalente a la superposición de dos señales v_1 y v_2 moduladas respectivamente en BLU superior e inferior, en todos los casos usando la misma portadora.

- III.1 a) 25 Hz
 b) $n_1=64, n_2=47$ ó $n_1=48, n_2=63$
 c) 175 KHz

- III.5 a) $H(f) = \frac{2}{2+|f|}$ $0 \leq |f| \leq 1 \text{ MHz}$
 b) $H(f) = \frac{1}{1+|f|}$ $0 \leq |f| \leq 1 \text{ MHz}$
 c) $H(f) = 1$ $0 \leq |f| \leq 1 \text{ MHz}$

$$\text{III.6 a) } H_{POS}(f) = \begin{cases} \frac{2B}{B-|f|} & 0 \leq |f| \leq \frac{B}{2} \\ 4 & \frac{B}{2} \leq |f| \leq B \end{cases}$$

$$\text{III.8 a) } P_{SALIDA} = \sum_{i=1}^n a_i^2 P_{ENTRADA}$$

$$\text{b) } z_1(t) = \sum_{i=1}^N a_i [z_1(t-t_i) \cos(\phi + 2\pi f_c t_i) + z_2(t-t_i) \text{sen}(\phi + 2\pi f_c t_i)]$$

$$z_2(t) = \sum_{i=1}^N a_i [z_2(t-t_i) \cos(\phi + 2\pi f_c t_i) - z_1(t-t_i) \text{sen}(\phi + 2\pi f_c t_i)]$$

$$\text{c) } \frac{S}{I} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{z_1} a_i^2 \cos^2(\phi + 2\pi f_c t_i)}{\sum_{i=1}^N P_{z_2} a_i^2 \text{sen}^2(\phi + 2\pi f_c t_i)} \quad \text{d) } \phi = -2\pi f_c t_1$$

$$\text{e) } \phi = -\frac{1}{2} \arg \text{tg} \left[\frac{\sum_{i=1}^N a_i^2 \text{sen}(4\pi f_c t_i)}{\sum_{i=1}^N a_i^2 \cos(4\pi f_c t_i)} \right]$$

III.9

$$\text{a) } B_T = 2(f_\Delta + 2B)$$

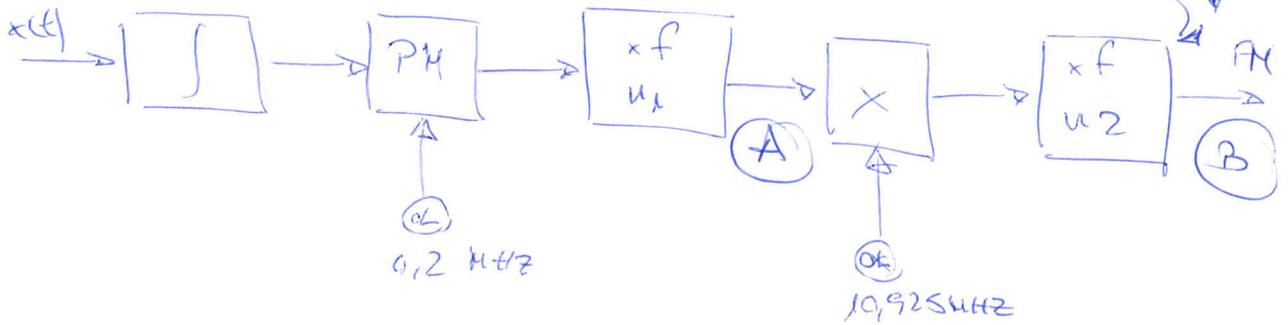
$$\text{III.11 } v_1(t) = \frac{z_1(t) - z_2(t)}{2} \quad v_2(t) = \frac{z_1(t) + z_2(t)}{2}$$

III. 1

$f_m = 12,5 \text{ kHz}$

$f_c = 90 \text{ kHz}$

$f_{\Delta} = 75 \text{ kHz}$



a) $\phi_{\Delta} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \rightarrow f_{\Delta \text{PM}} ?$

$f_{\Delta \text{PM}} = f_m \cdot \phi_{\Delta} = 25 \text{ Hz}$

b) ¿ u_1, u_2 ?

Ⓐ $\rightarrow f_{c2} = f_{c1} \cdot u_1 \quad f_{c1} = 0,2 \text{ MHz}$
 $f_{\Delta 2} = f_{\Delta 1} \cdot u_1 \quad f_{\Delta 1} = 25 \text{ Hz}$

Ⓑ $\rightarrow f_c = u_2 |f_{c2} \pm f_{c1}| \quad f_{c2} = 10,925 \text{ MHz}$
 $f_{\Delta} = u_2 f_{\Delta 2} = u_1 u_2 f_{\Delta 1}$

$90 \text{ kHz} = u_2 |f_{c2} \pm f_{c1}| = u_2 |u_1 f_{c1} \pm f_{c1}|$
 $75 \text{ kHz} = u_1 u_2 f_{\Delta 1} = u_1 u_2 25$

el modo de ser
 cambia la frecuencia
 de la portadora

$u_1 = \frac{3 \cdot 10^3}{u_2} \rightarrow 90 \text{ kHz} = u_2 \left| \frac{3 \cdot 10^3}{u_2} f_{c1} \pm f_{c1} \right| = 0$

$\rightarrow |3 \cdot 10^3 f_{c1} \pm u_2 f_{c1}| = 90 \text{ MHz} \Rightarrow u_2 = 46,7 \rightarrow \boxed{u_2 = 47}$

$\rightarrow |3 \cdot 10^3 f_{c1} - u_2 f_{c1}| = 90 \text{ MHz} \Rightarrow u_2 = 63,0 \rightarrow \boxed{u_2 = 63}$

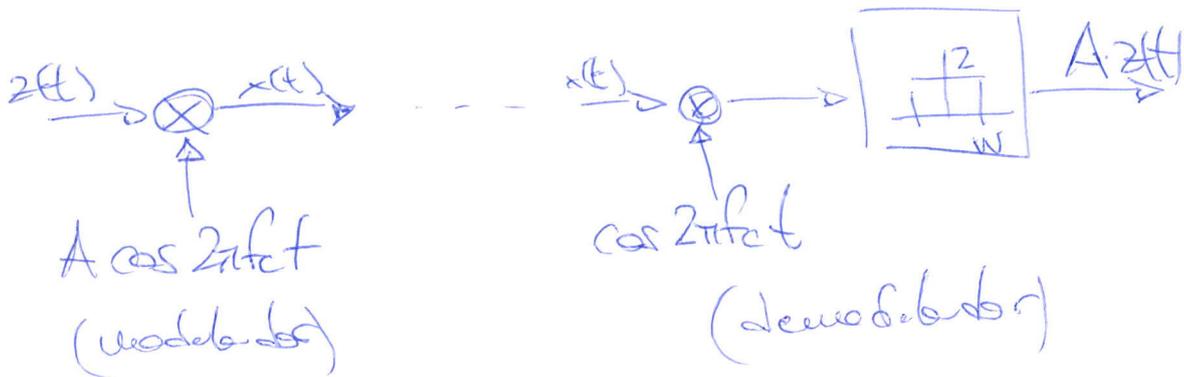
$\boxed{u_2 = 47 \quad u_1 = 64}$

$\boxed{u_2 = 63 \quad u_1 = 48}$

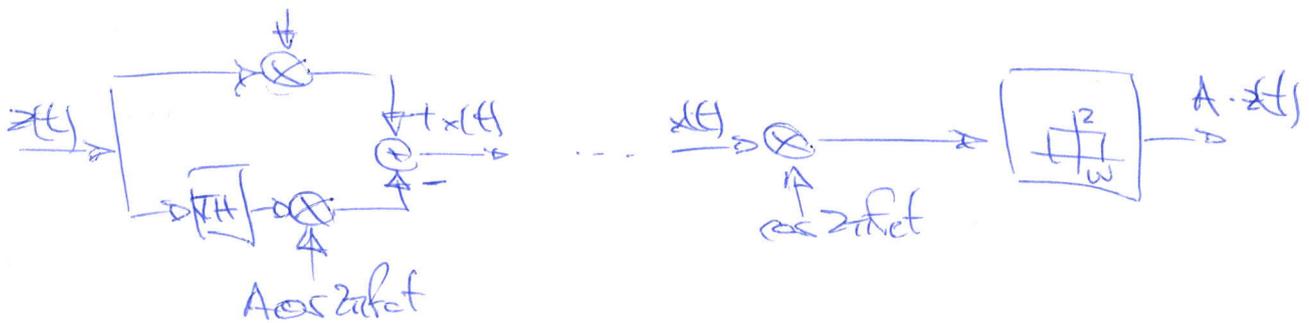
$$c) \left[W = 2(B + f_{\Delta}) = 2(12,5 \text{ kHz} + 75 \text{ kHz}) = 175 \text{ kHz} \right]$$

III.2 | DBL, BLU, BLR

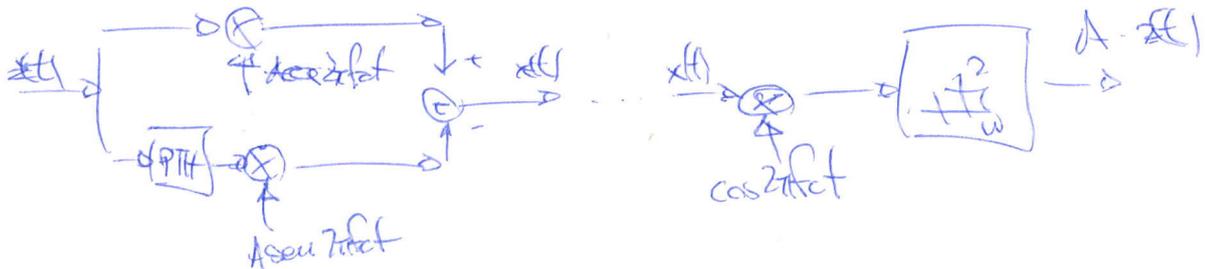
a) DBL:



BLU:



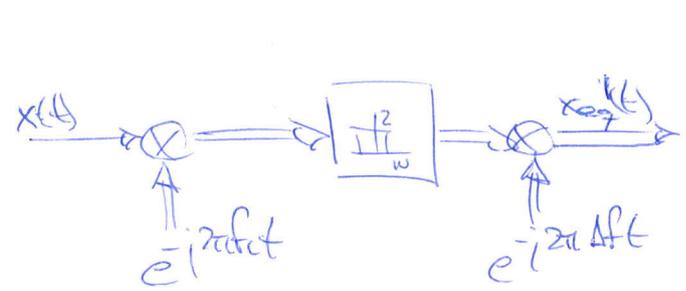
BLR:



b) $\cos 2\pi f_c t \rightarrow \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t$
 (t_x) (t_y)
 $\Delta f \ll w$

DBL:

$x(t) = z(t) \cdot A \cdot \cos 2\pi f_c t \rightarrow z'(t) = z(t) A \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t$



$x_{DBL}(t) = x(t) \cos 2\pi \Delta f t + x(t) \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t$
 $x_{CB}(t) = x(t) \cos 2\pi \Delta f t - x(t) \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t$

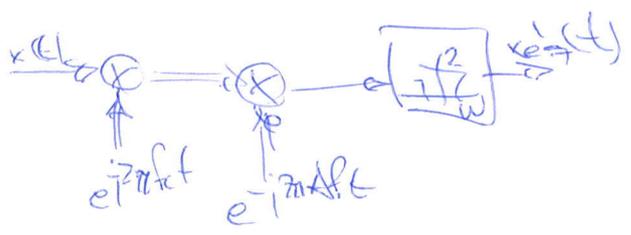
DBL $\Rightarrow x_{CB}(t) = 0 \Rightarrow x_{DBL}(t) = x(t) \cos 2\pi \Delta f t$

$z'(t) = A z(t) \cos 2\pi \Delta f t$

modulação residual

BLU: $x_{DBL}(t) = z(t) \cdot A$
 $x_{CB}(t) = \hat{z}(t) \cdot A$

Antes del filtro P.B. $\therefore x_{DBL}(t) = A(z(t) \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t + \hat{z}(t) \sin 2\pi f_c t \cos (2\pi f_c + \Delta f)t)$



$x_{BLU}(t) = A(z(t) \sin 2\pi f_c t \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t + \hat{z}(t) \cos 2\pi f_c t \cos (2\pi f_c + \Delta f)t)$

III.3

$x(t)$ estacionario, $w_x = 0$

a) DBL $\rightarrow x_{\text{reg}}(t) = x(t) \cos 2\pi f_c t$

$$w_{x_{\text{reg}}}(t) = E[x(t) \cos 2\pi f_c t] = E[x(t)] \cos 2\pi f_c t = 0$$

$$R_{x_{\text{reg}}}(t, t-\tau) = E[x_{\text{reg}}(t) x_{\text{reg}}(t-\tau)] =$$

$$= E[x(t) x(t-\tau)] \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c (t-\tau) = R_x(\tau) \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c (t-\tau)$$

$$= R_x(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left(\cos 2\pi f_c \tau + \cos (4\pi f_c t - 2\pi f_c \tau) \right)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{período de período } 1/2f_c}$

b) BLU $\rightarrow x_{\text{reg}}(t) = \cancel{x(t) + j\hat{x}(t)} \cos 2\pi f_c t / R_x(\tau) = R_{\hat{x}}(\tau)$
 $R_{\hat{x}}(\tau) = -\hat{R}_x(\tau)$

$$w_{x_{\text{reg}}}(t) = E[\cancel{x(t) + j\hat{x}(t)} \cos 2\pi f_c t] = 0$$

$$\cancel{R_{x_{\text{reg}}}(t, t-\tau) = E[(x(t) + j\hat{x}(t))(x(t-\tau) + j\hat{x}(t-\tau))] \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c (t-\tau)}$$

$$E[x(t)x(t-\tau) - \hat{x}(t)\hat{x}(t-\tau) + j(x(t)\hat{x}(t-\tau) + \hat{x}(t)x(t-\tau))] =$$
$$= \cancel{R_x(\tau) - R_{\hat{x}}(\tau) + j(R_{x\hat{x}} + R_{\hat{x}x}(\tau))}$$

$$x_{\text{reg}}(t) = x(t) \cos 2\pi f_c t - \hat{x}(t) \sin 2\pi f_c t$$

