



Sistemas de Comunicaciones

Radar Técnicas de Detección

Universidad Nacional de Tucumán

Laboratorio de Telecomunicaciones

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Mayo 202

Diseño de Sistemas de Radar - 2022





Temario

Clases 3

- Radar CW
 - Determinación de Rango
 - Determinación de Frecuencia
- Radar Pulsado
- Compresión de Pulso
- Señal Transmitida
 - Modulación
 - Codificación
- Adquisición y Almacenamiento

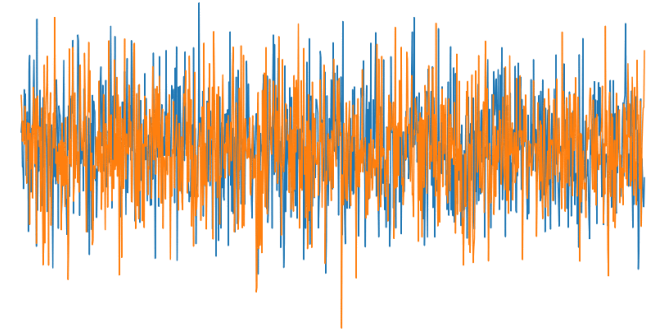


Señal Recibida

Velocidad radial

$$S_R(t) = \boxed{\text{Eco}(t)} + \text{Clutter}(t) + \text{ruido}(t) + \text{Interferencia}(t)$$

$$\text{Eco}(t) = A_t(t) \cdot m(t) \cdot \text{RCS}(t) \cdot \mu(t - \tau_0) \cdot e^{j(\omega_c + \omega_D) \cdot (t - \tau_0)}$$



Parámetros Buscados:

- El Retardo (τ_0), del cual se obtiene el Rango
- La Frecuencia Doppler (ω_D), de la cual se obtiene la Velocidad radial

El método utilizado para determinar esos parámetros, dependerá de las características de la **señal Transmitida**.



Señal Transmitida

La forma de la señal transmitida tiene vital importancia en rendimiento de detección de objetivos, y es ella también quien define en primera medida las técnicas de detección a utilizar.

$$S_T(t) = u(t) \cdot \mathbf{m(t)} \cdot e^{j\omega_c t + \varphi}$$

Existen diversos tipos de **modulaciones** que se aplican a señales eléctricas. En sistemas de rada los tipos mas comunes de modulación de la señal transmitida puede ser:

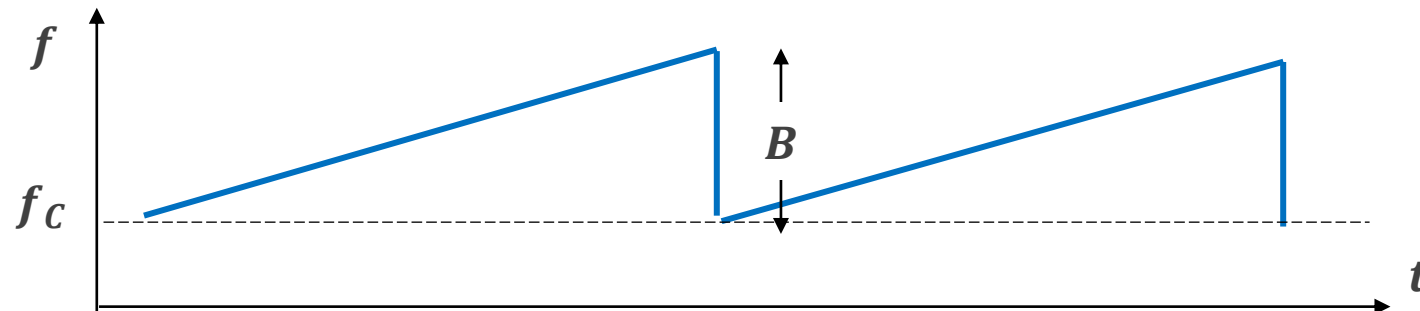
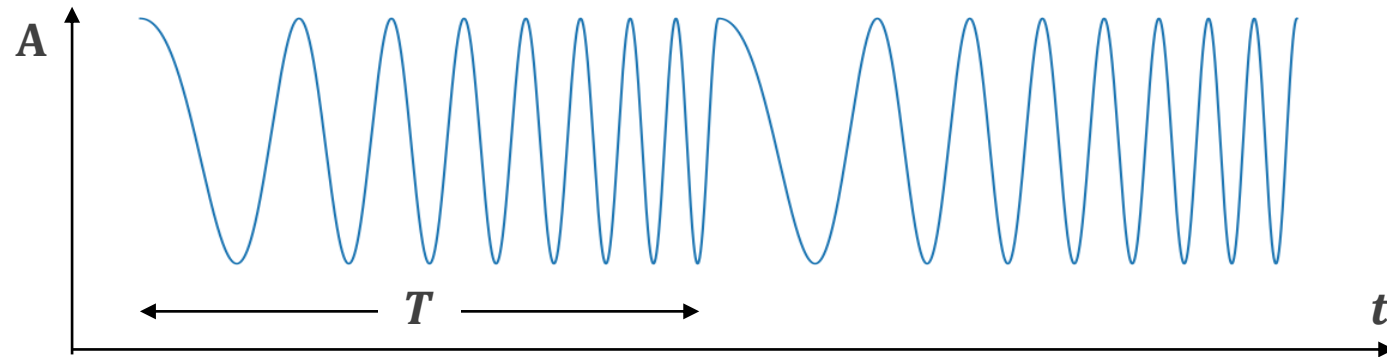
- Frecuencia Lineal (LFM)
- De fase: BPSK, QPSK y QAM, estas hacen uso de uno de un **CODIGO** de modulación.



Señal Transmitida

Modulación: Frecuencia Lineal o “chirp”

La señal tiene una determinada duración **T**, durante este tiempo la frecuencia de la portadora aumenta o disminuye de forma lineal con el tiempo dentro de un ancho de banda **B**.



Tasa de variación de frecuencia:

$$K = \frac{B}{T}$$

B: Ancho de Banda de la señal Tx [Hz]

T: Duración de la señal Tx [s]

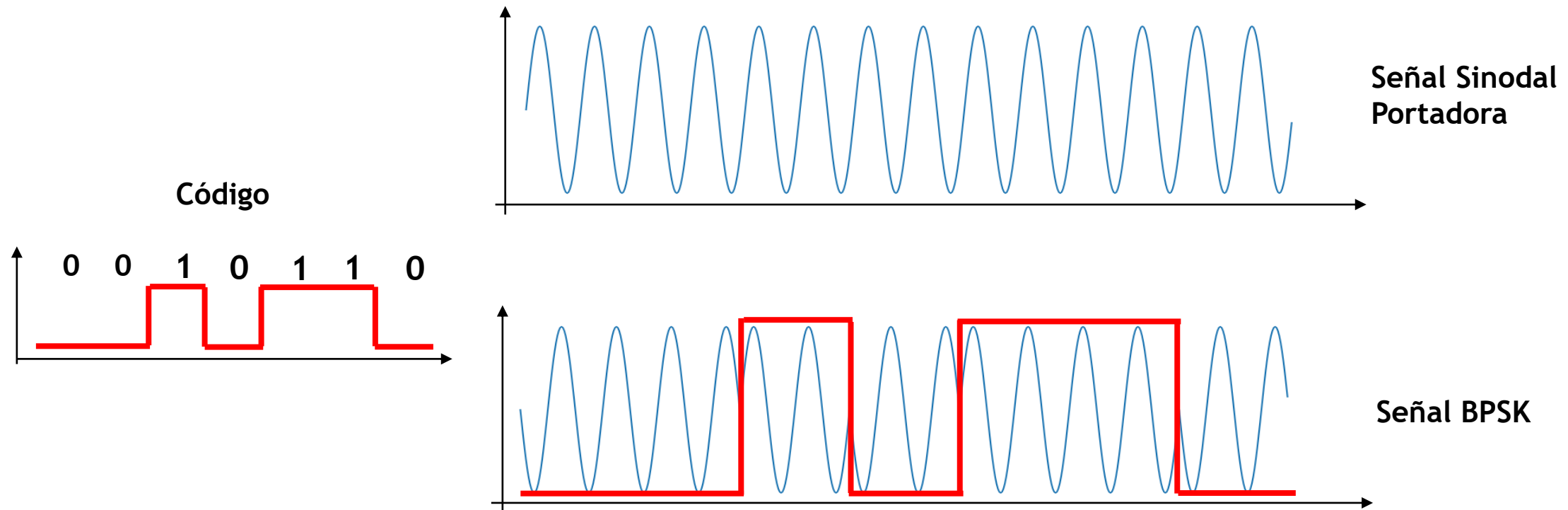
f_c : Frec. de portadora [Hz]



Señal Transmitida

Modulación: Fase Codificada.

En esta modulación la portadora toma dos valores de fase o más, determinados directamente por la señal moduladora “Código”. El código puede ser binario (modulación de 2 fases “Bifásico”) o una combinación de un determinado número de bits (modulación de n fases “Polifásico”).



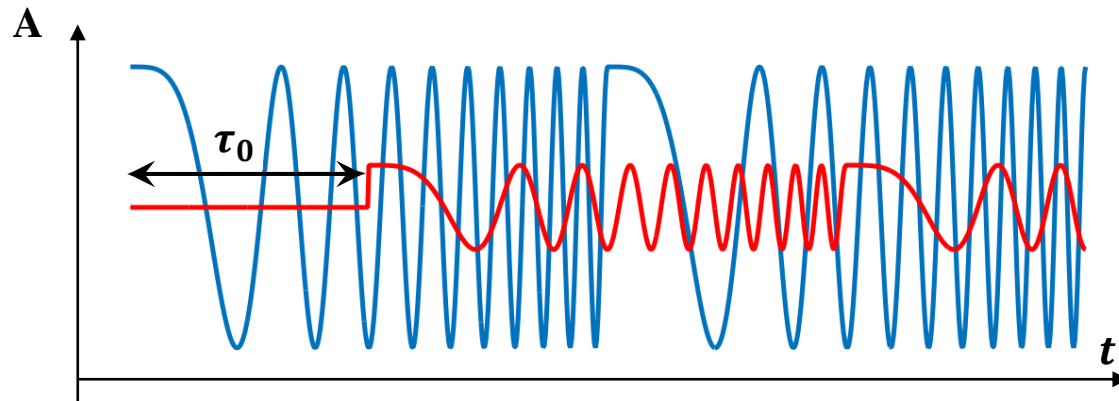
Codificación: Consiste en asignar un símbolo a la información que deseamos transmitir, de manera de poder **reconocerla** de entre todas las señales superpuestas que recibiremos



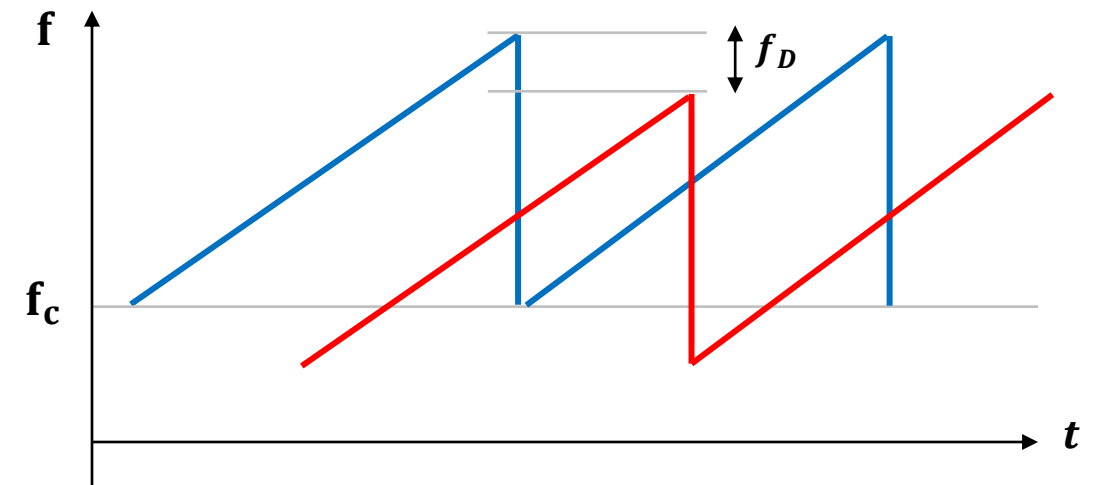
Radar Onda Continua (CW)

La obtención de la velocidad radial en los **Sistemas de Onda Continua** con Chirp, es completamente diferente al de los radares pulsados.

--- Señal Transmitida
--- Señal Recibida



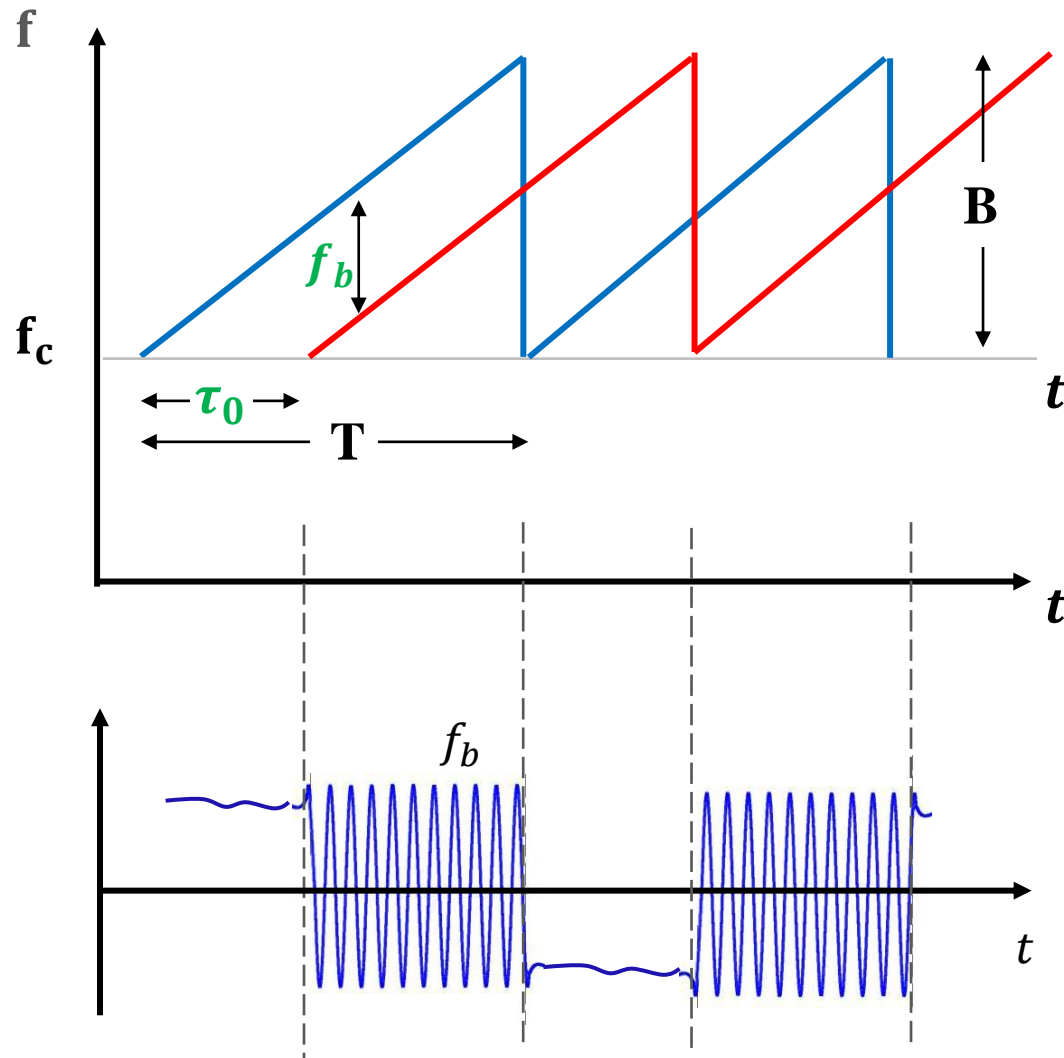
τ_0 : Retardo



f_D : Frecuencia Doppler

Radar Onda Continua

Determinación del Rango (R)



$$R = \frac{c \cdot \tau_0}{2}$$

En donde (f_b) es la frecuencia diferencia entre las frecuencias transmitidas y recibidas:

$$f_b = f_{TX}(t) - f_{RX}(t)$$

Sea la Tasa de variación de la frecuencia

$$K = \frac{B}{T}$$

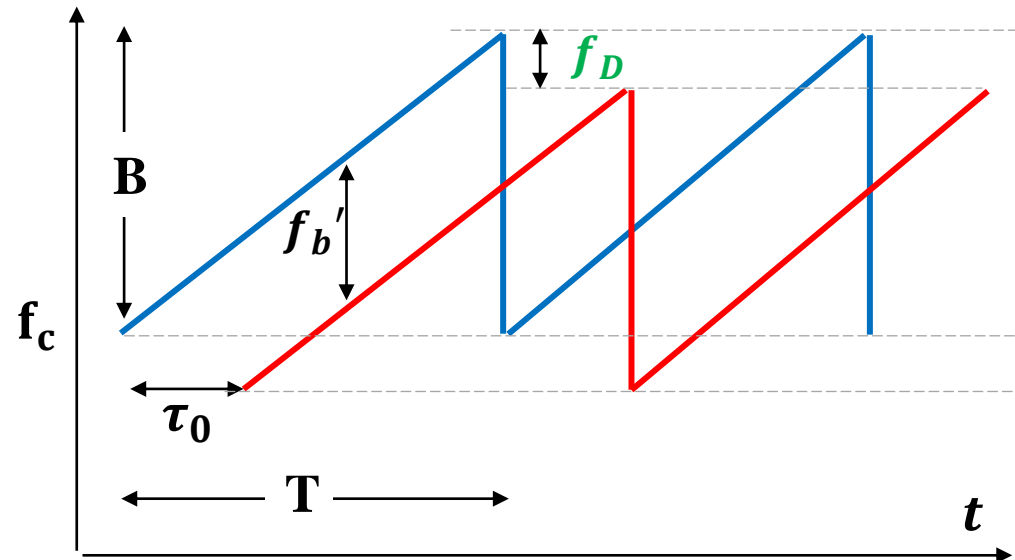
Por medio de la relación de triángulos.

$$K = \frac{f_b}{\tau_0} \longrightarrow \boxed{\tau_0 = \frac{f_b}{K}}$$



Radar de Onda Continua

Determinación del Velocidad:



Recordar: $f_b' = f_{TX}(t) - f_{RX}(t)$

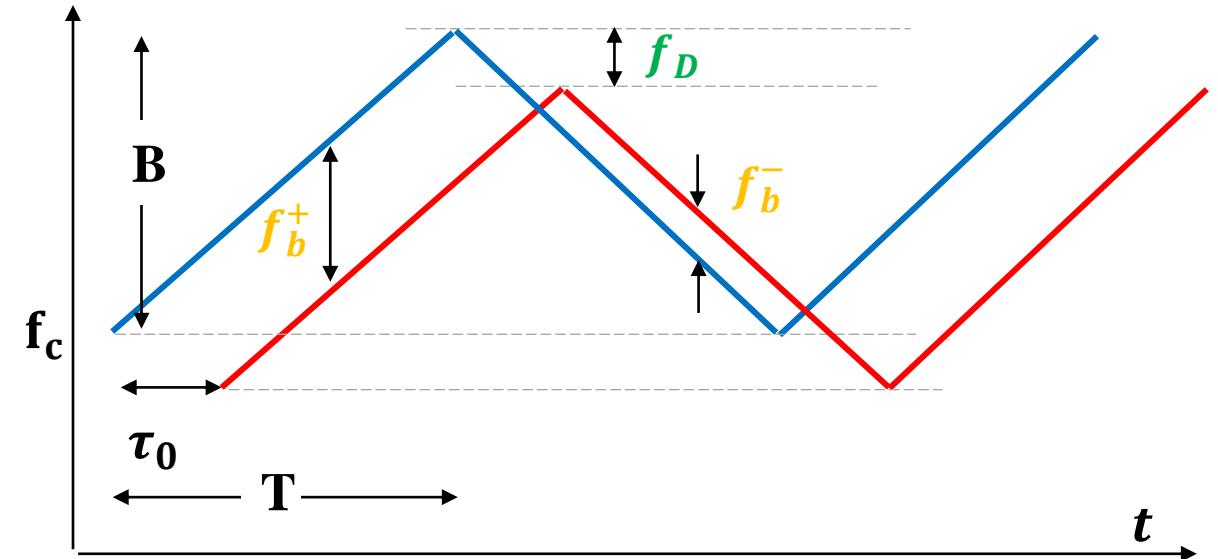
Pero ahora la señal R_X tiene \pm una determinada f_D .

Luego del batimiento se tiene:

$$f_b' = f_b \pm f_D$$

No se puede separar f_D y f_b sin ambigüedad

Solución a esa ambigüedad es: Chirp Up-Down



$$f_b^+ = f_T - f_R = f_b + f_D \quad f_b^- = f_R - f_T = f_b - f_D$$

Sumando y restando se tiene:

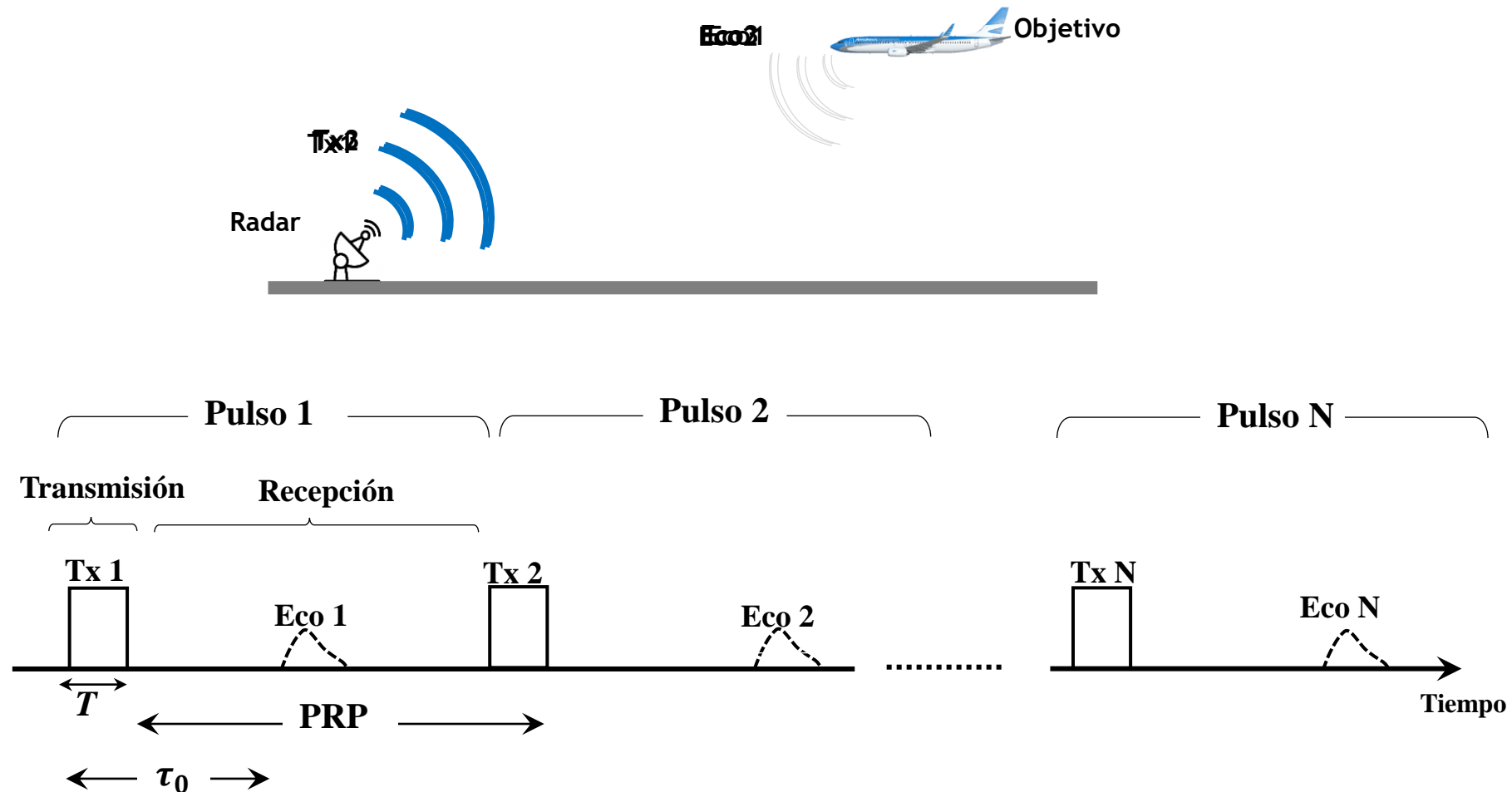
$$f_b^- + f_b^+ = (f_b - f_D) + (f_b + f_D) = 2f_b$$

$$f_b^- - f_b^+ = (f_b - f_D) - (f_b + f_D) = -2f_D$$



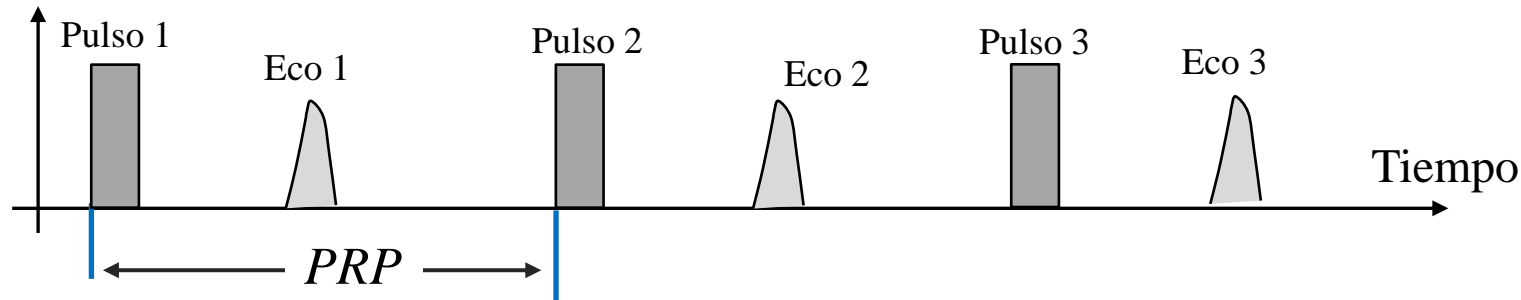
Radar Pulsado

Emite pulsos de corta duración (Transmisión) seguidos de un tiempo de escucha (Recepción), este proceso se repite N veces.

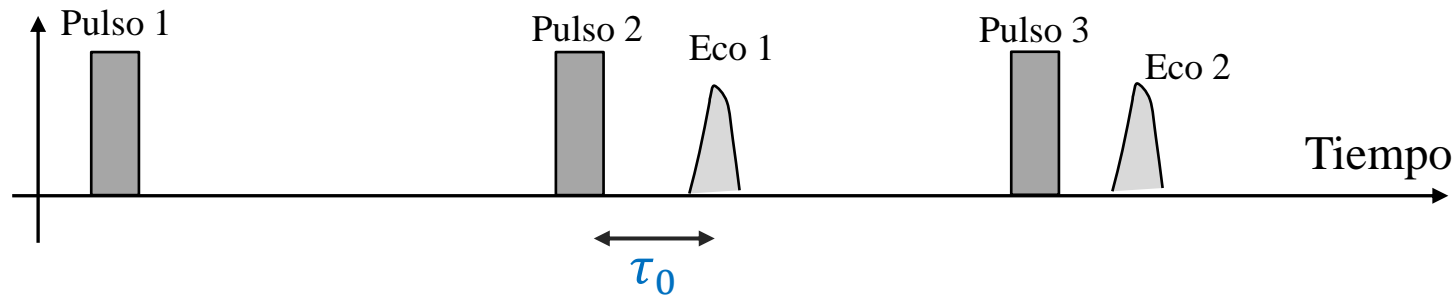


Rango Máximo

Está influenciado por la “capacidad de detección del sistema”. Es posible establecer una relación entre la distancia máxima y la frecuencia de repetición de los pulsos transmitidos, conocida como frecuencia de repetición de pulso (FRP).



$$R_{max} = \frac{c \cdot (PRP - T)}{2}$$



El Eco 1 será interpretado como perteneciente al pulso 2.

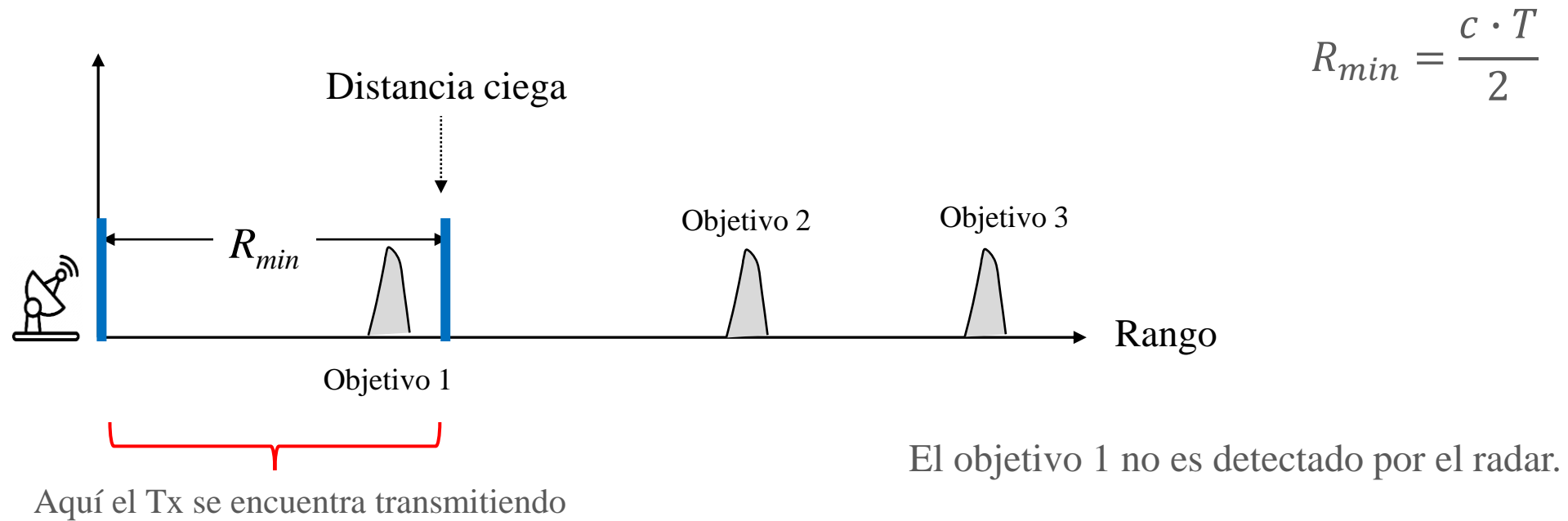
Si un nuevo pulso es emitido antes que todos los ecos esperados, de un pulso previo emitido sean recibidos, surge la superposición de ecos viejos con ecos nuevos (ambigüedad).

Para minimizar este riesgo el FRP debería ser lo más bajo que sea posible. Pero esto compite con la capacidad de integración



Rango Mínimo

Está determinada por la longitud del pulso (T). En efecto no es posible que el receptor trabaje mientras el transmisor está emitiendo un pulso. R mínimo es la distancia mínima que puede detectar el radar.

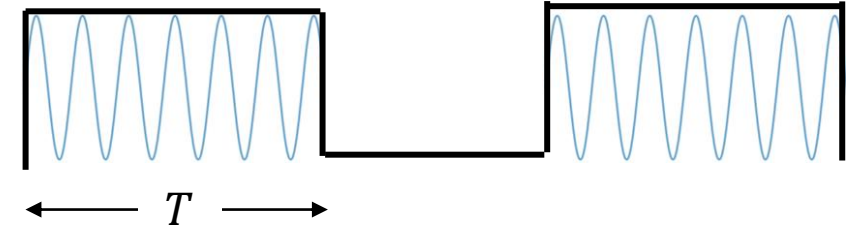


Esto evita daños al circuito del receptor, diseñado para trabajar a muy bajos niveles de señales, caso contrario el pulso transmitido ingresaría al receptor saturándolo o dañándolo.

Resolución en Rango

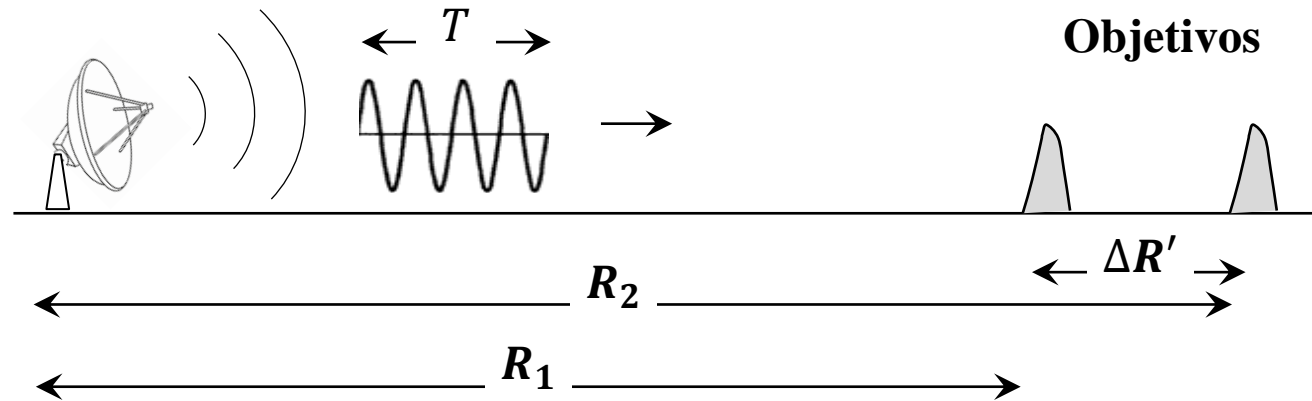
Sea un radar con una resolución de rango determinada ΔR [m].

$$\Delta R = \frac{c \cdot T}{2} = \frac{c}{2 \cdot AB}$$



Sean dos objetivos ubicados a una distancia entre si $\Delta R'$ [m].

$$AB = \frac{1}{T}$$



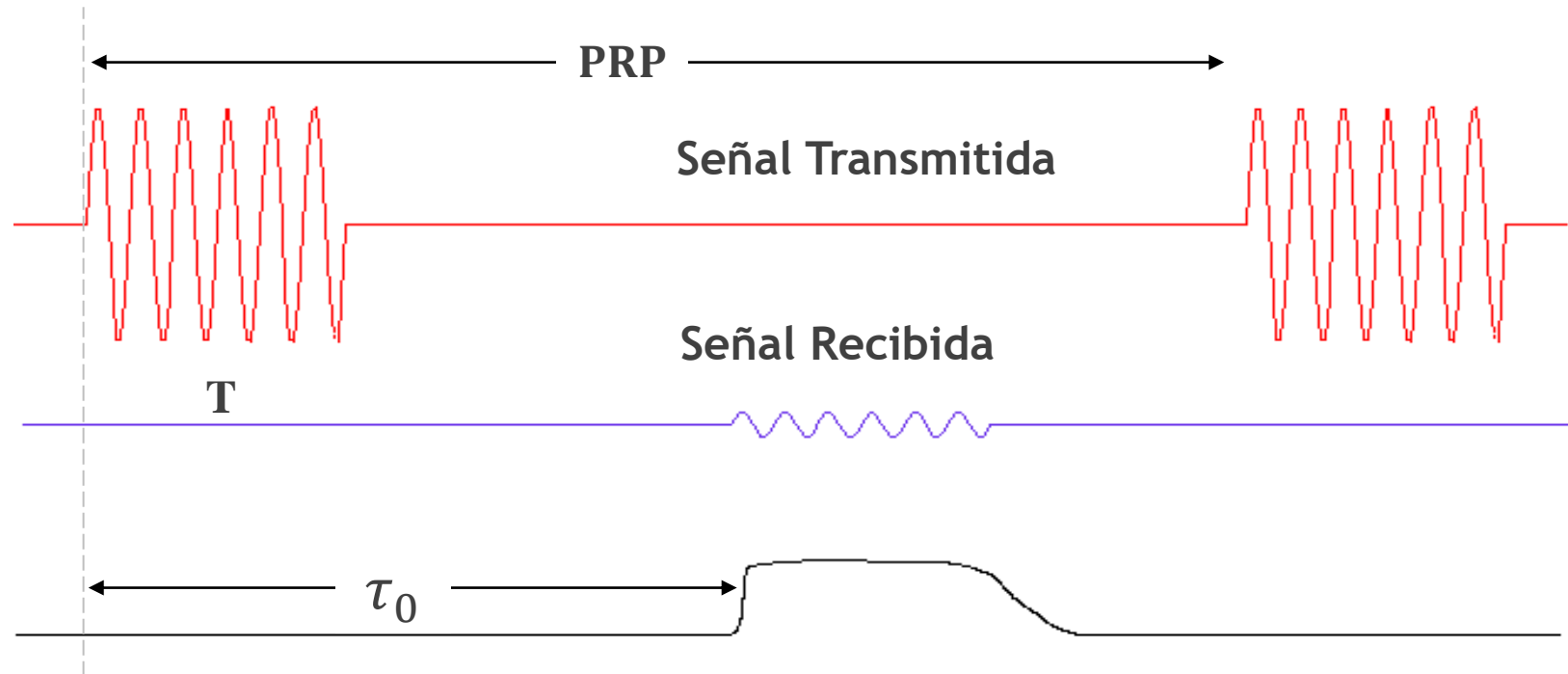
Los objetivos serán detectados de forma independiente si $\Delta R < \Delta R'$

La resolución en Rango de un radar es determinada por ancho de banda (AB).



Compresión de Pulso

Técnica de Envolvente



VENTAJAS

Sistema Tx muy simple

Sistema Rx muy simple

Receptor analógico (Sin Proceso Matemático)

DESVENTAJAS

Compromiso de T

La **resolución** debe ser limitada

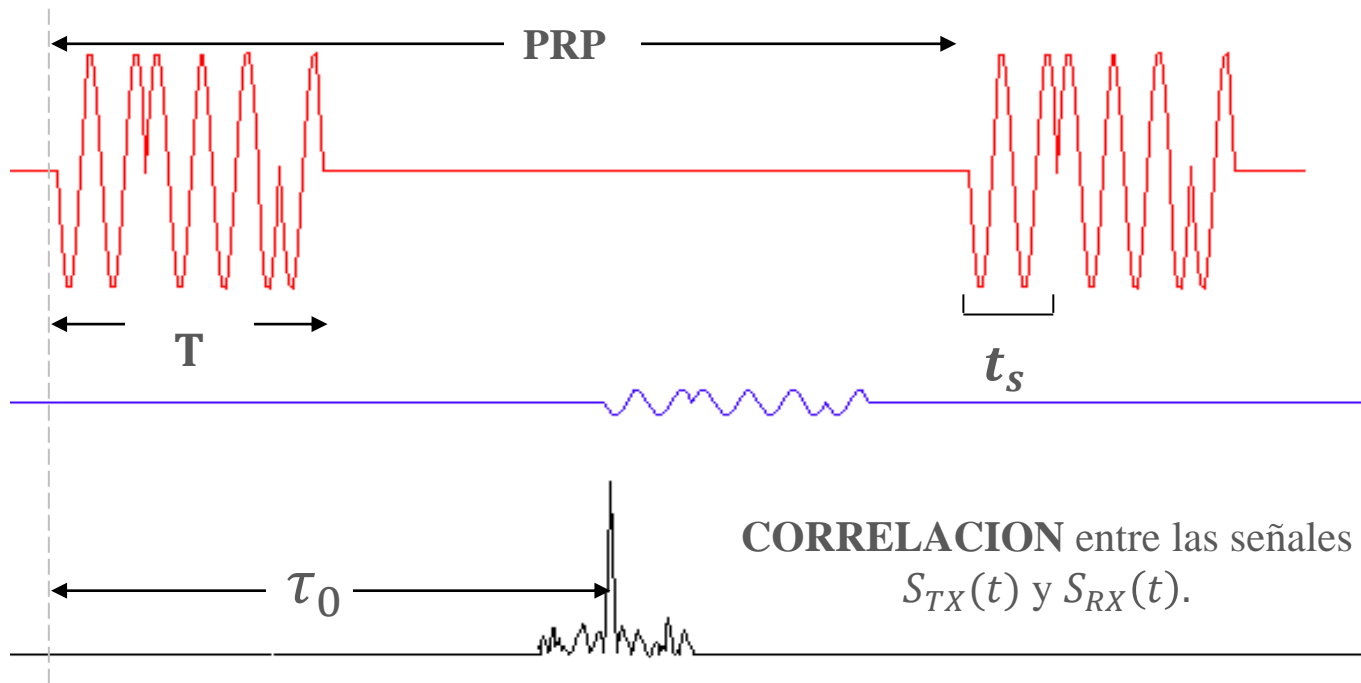
Gran potencia para una buena relación S/N



Compresión de Pulso

En los sistemas pulsados, se desea tener pulsos cortos para obtener una mejor resolución en rango. Pero como consecuencia de esto es difícil transmitir suficiente energía para obtener un SNR (Relación señal ruido) adecuada con pulsos cortos.

La técnica de **Compresión de Pulso** resuelve ambos problemas.



Se transmiten pulsos **modulados**

Por que se llama Compresión de Pulso ????

Compresión de Pulso

Esta técnica permite.

- Una resolución en Rango que solo depende del ancho t_s y no de T .
Esto se logra, gracias a sub dividir el pulso (T) en sub pulsos (t_s), por la Modulación.
- Obtener una buena SNR emitiendo bajas potencias.
Por medio de la emisión de largos pulsos, con portadora modulada.

VENTAJAS

- La resolución depende sólo de t_s
- El ancho del pulso T puede incrementarse.
- Menos potencia para la misma energía.
- Se incrementa la S/N a la salida del recepción.

Ganancia de Compresión

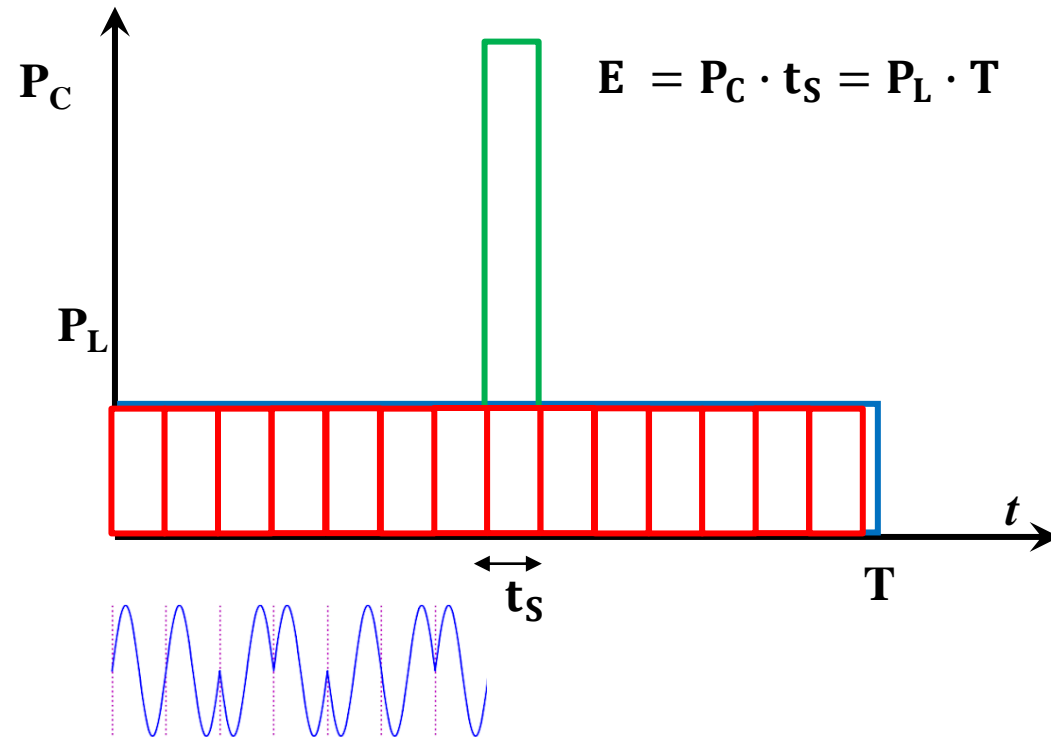
DESVENTAJAS

- Generar el pulso TX es más complejo.
- Mayor complejidad en el receptor.
- Necesario Proceso matemático (correlación).



Compresión de Pulso

Ganancia de Compresión de Pulso (M)



SNR de un pulso corto.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{corto}} = \frac{P_C}{N} = \frac{E}{N \cdot t_s}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{corto}} = \frac{P_L \cdot T}{N \cdot t_s}$$

Por otro lado, SNR de un pulso Largo:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{largo}} = \frac{P_L}{N}$$

Entonces:

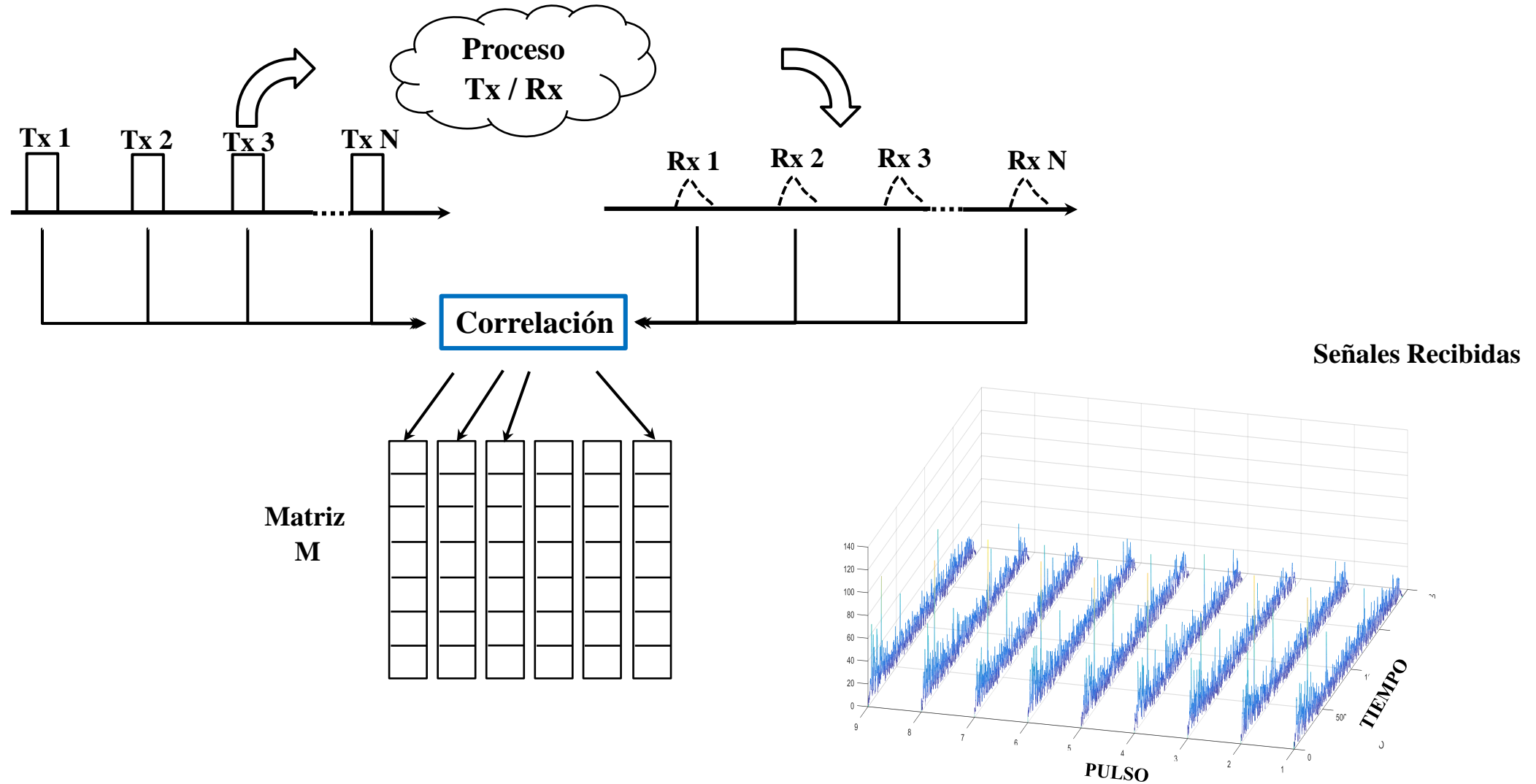
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{corto}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{largo}} \cdot \frac{T}{t_s}$$

en donde $M = \frac{T}{t_s}$

$$\boxed{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{corto}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{largo}} \cdot M}$$

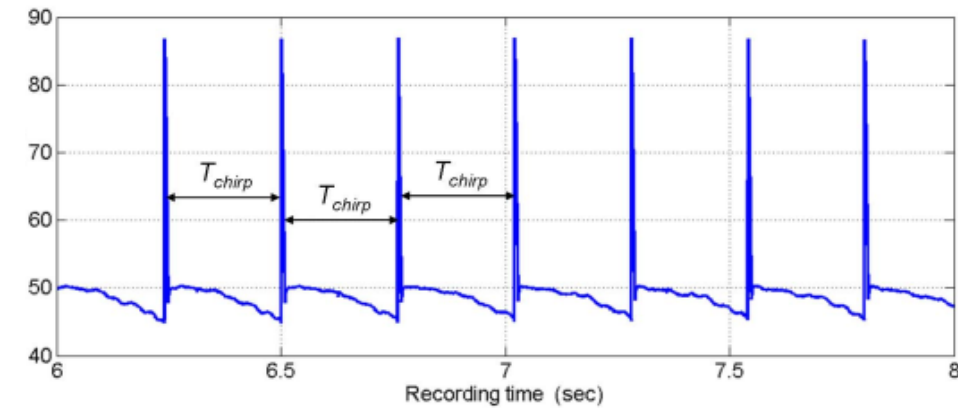
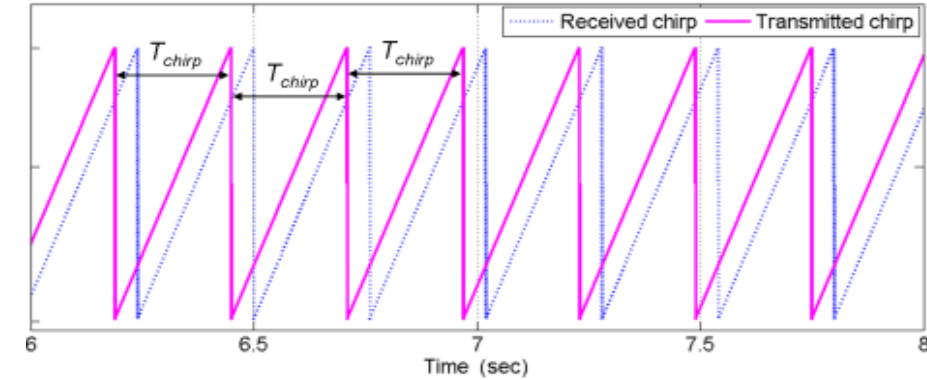
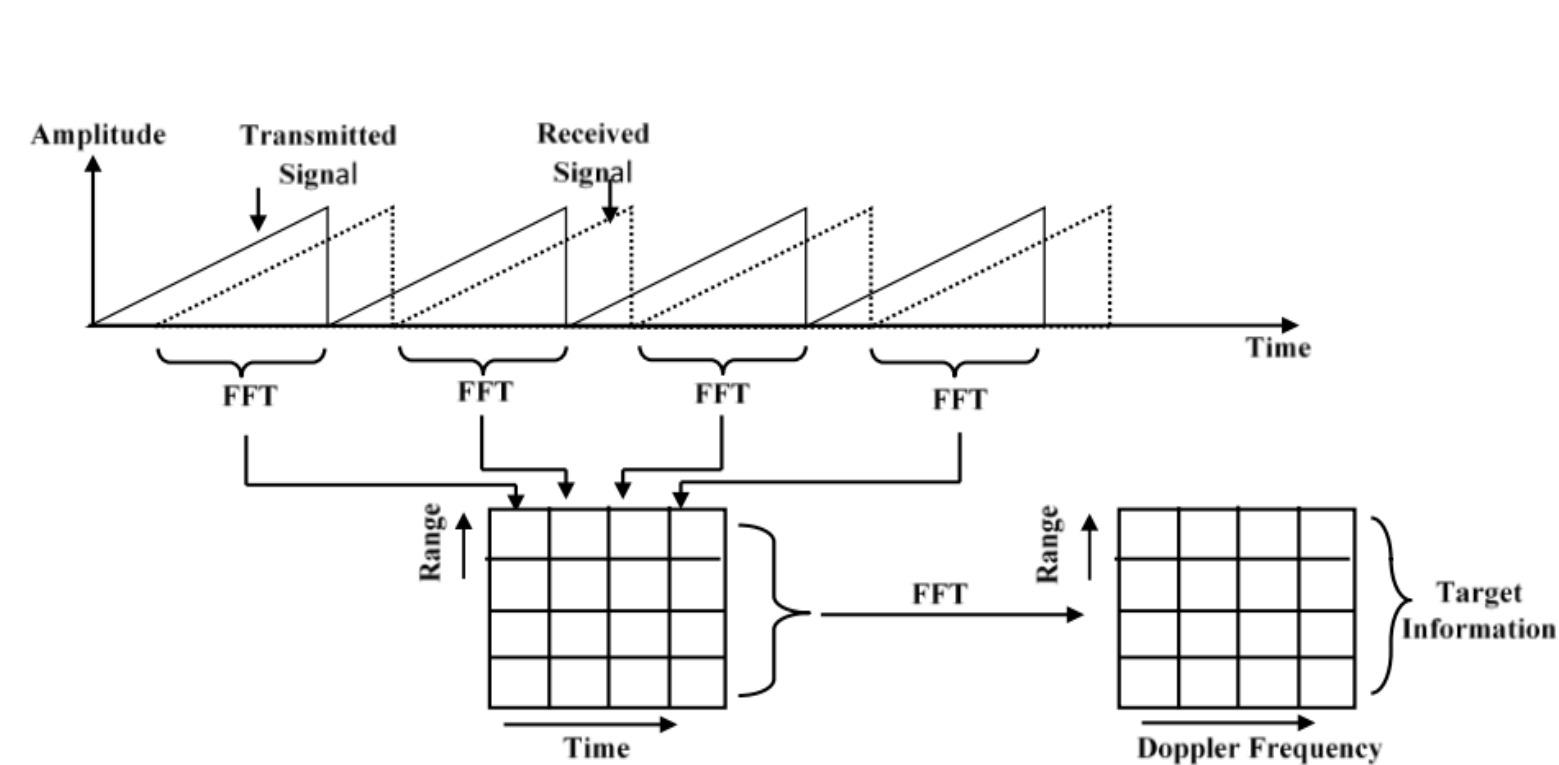


Adquisición y Almacenamiento



Radar Onda Continua

Adquisición de Señales:



En este caso, no se usa FFT, sino la Correlación.



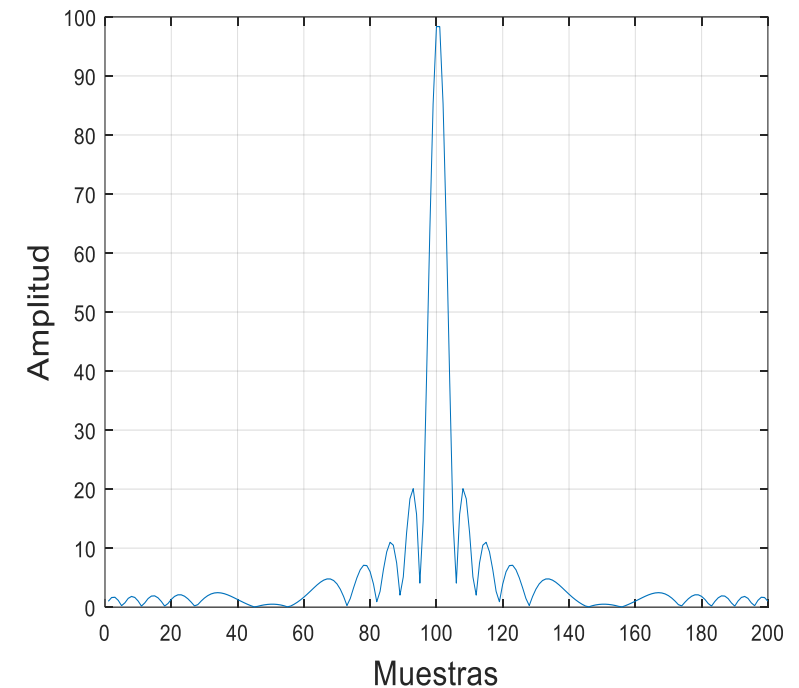
Función Correlación

El **Filtro Adaptado** permite implementar la función correlación entre la $S_T(t)$ y $S_R(t)$.

Es un filtro lineal con la característica más destacable de producir la SNR instantánea máxima alcanzable en su salida cuando hay una señal más ruido blanco aditivo en la entrada. La SNR instantánea máxima en la salida del filtro se puede lograr haciendo coincidir la función de transferencia del filtro con la señal Transmitida.

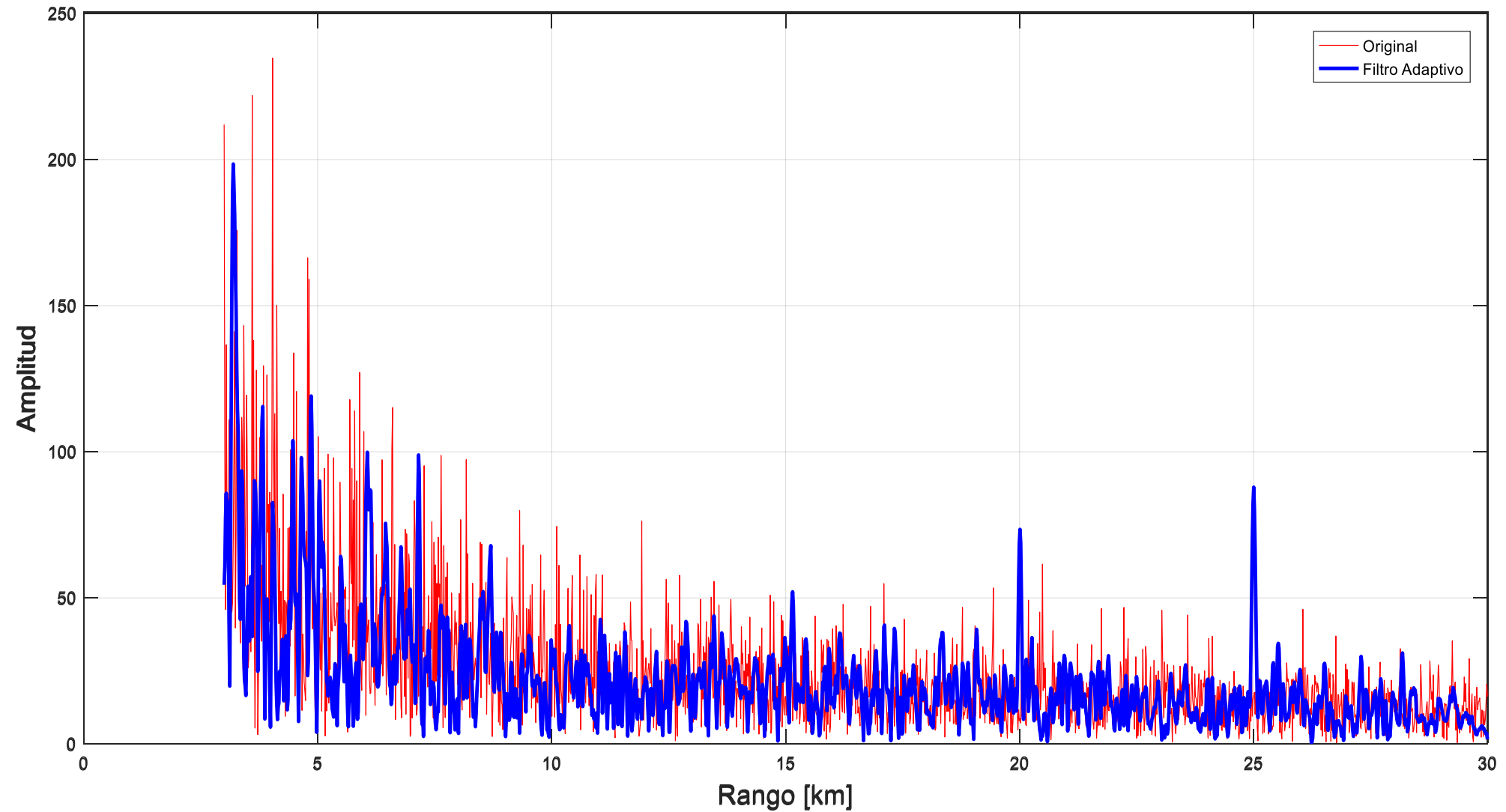
Sea la función de transmitida $S(t)$, la respuesta al impulso del filtro adaptado será.

$$h_{\text{adaptado}}(t) = S^*(t_0 - t)$$



Filtro adaptado

Ejemplo de aplicación del Filtro Adaptado





Fin de la 3 Clase.

