



Sistemas de Comunicaciones

Radar: Procesamiento Digital

Universidad Nacional de Tucumán

Laboratorio de Telecomunicaciones

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología

Mayo 2022

Diseño de Sistemas de Radar - 2022





Temario

Clases 4

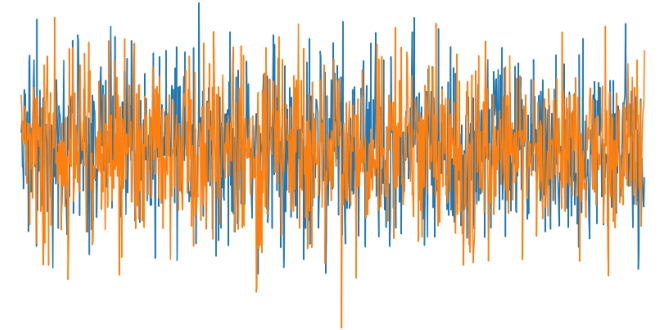
- Adquisición y almacenamiento
- Codificación
- Filtro Adaptado
- Ganancia de Integración
- Filtro MTI
- Filtro STI
- Filtro Doppler (FFT)
- Detector



Señal Recibida

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

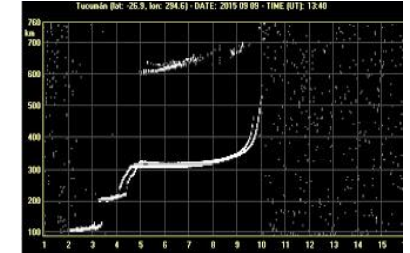
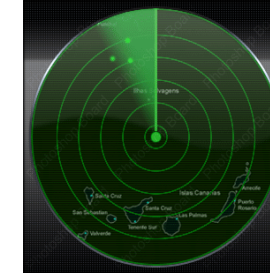
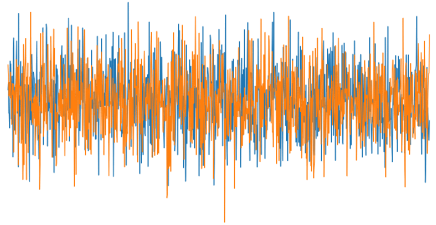
$$\text{Eco}(t) = A(t) \cdot m(t) \cdot \text{RCS}(t) \cdot \mu(t - \tau_0) \cdot e^{j(\omega_c + \omega_D) \cdot (t - \tau_0)}$$



Parámetros Buscados:

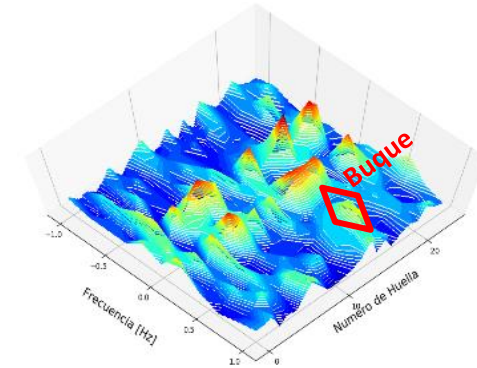
- El Retardo (τ_0), del cual se obtiene el Rango
- La Frecuencia Doppler (ω_D), de la cual se obtiene la Velocidad radial

Procesamiento Digital

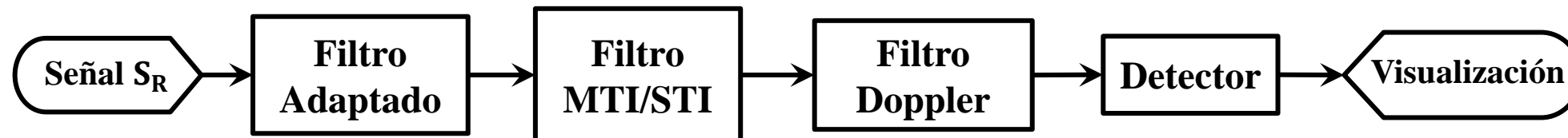


Tareas Realizadas

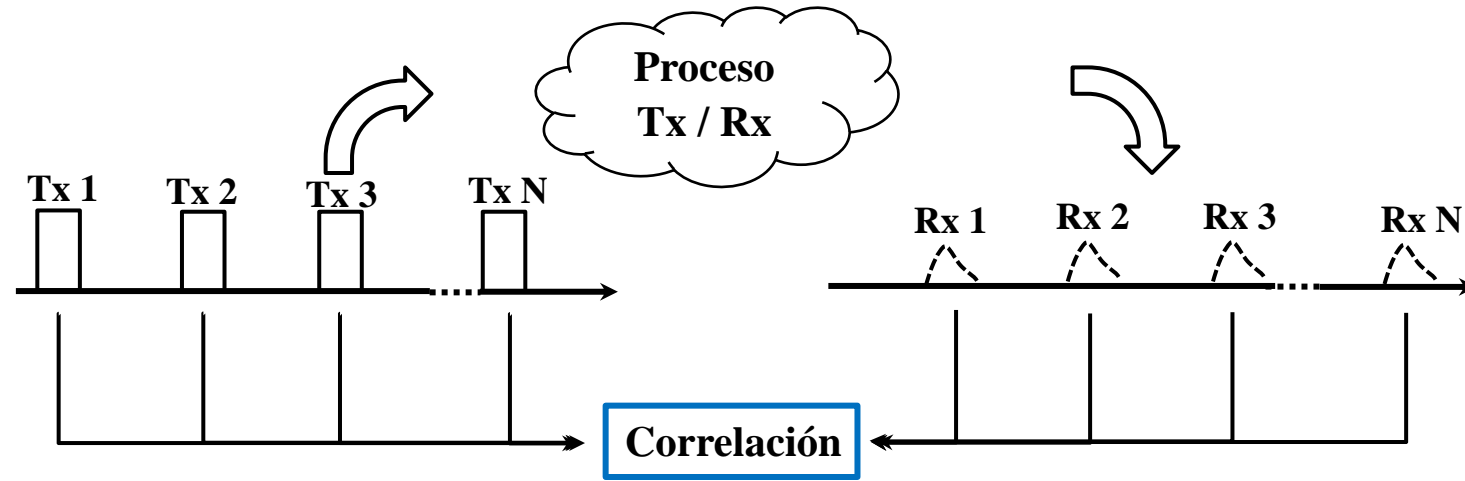
- Limitar los efectos
Atenuación
Contaminación: Clutter
Interferencia
Ruido
- Detectar Objetivos
- Visualización



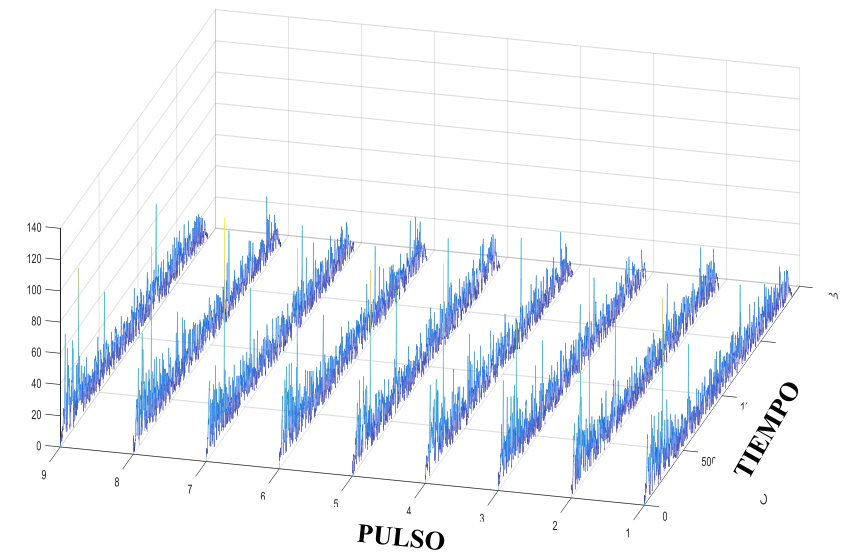
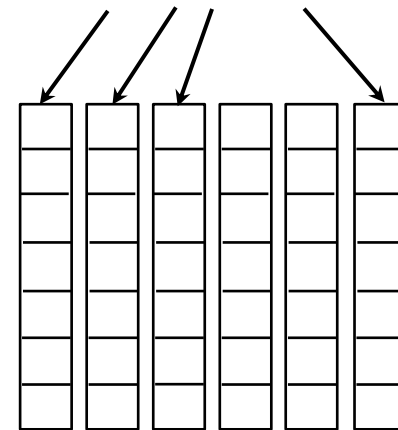
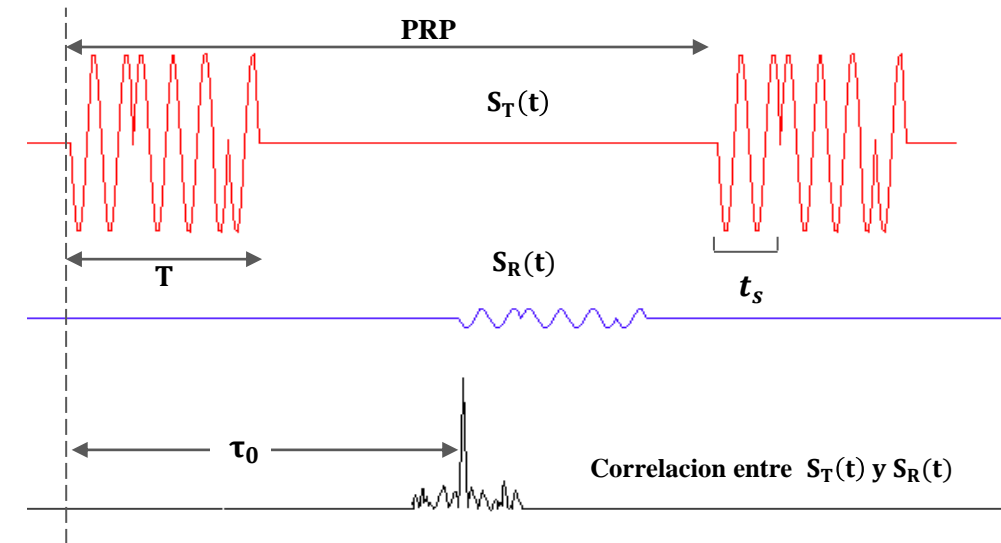
Cadena de Procesamiento Básica:



Adquisición y Almacenamiento

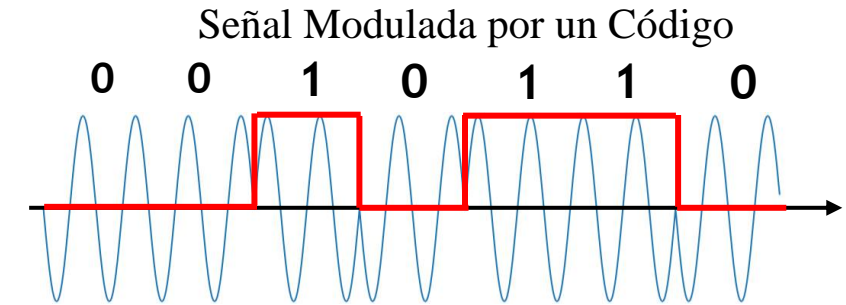


Señales Recibidas



Codificación

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



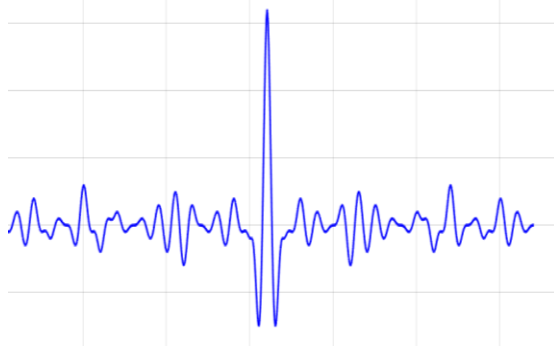
El **código** debe tener ciertas propiedades.

- La secuencia de código debe tener una función de **auto correlación** con altos lóbulos principales y lóbulos laterales despreciables.
- Su longitud define la ganancia de Compresión de Pulso

Se utiliza un determinado código de acuerdo al uso que se le dará al sistema.

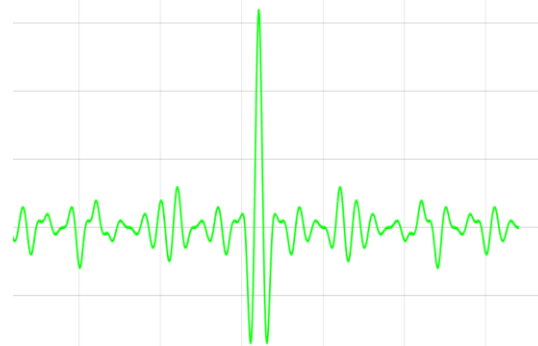
Código: 11011110 10001011

Función de Auto Correlación $R(t)$



Código: 11011110 01110100

Función de Auto Correlación $R(t)$



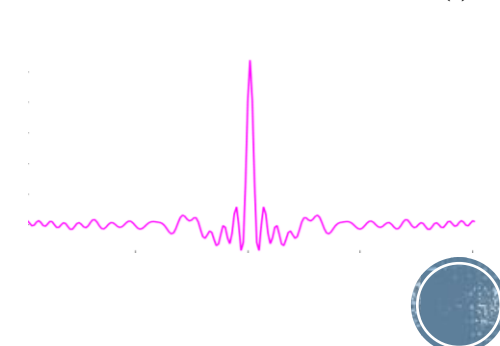
Código: 1111100110101

Función de Auto Correlación $R(t)$



Chirp

Función de Auto Correlación $R(t)$



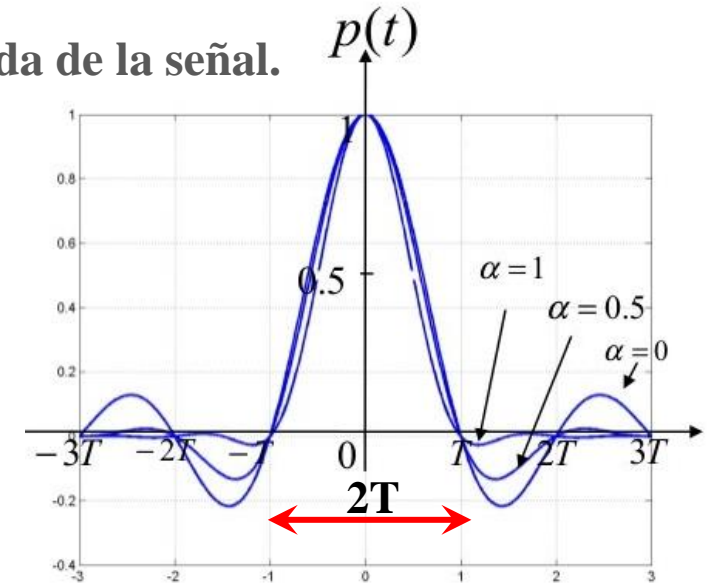
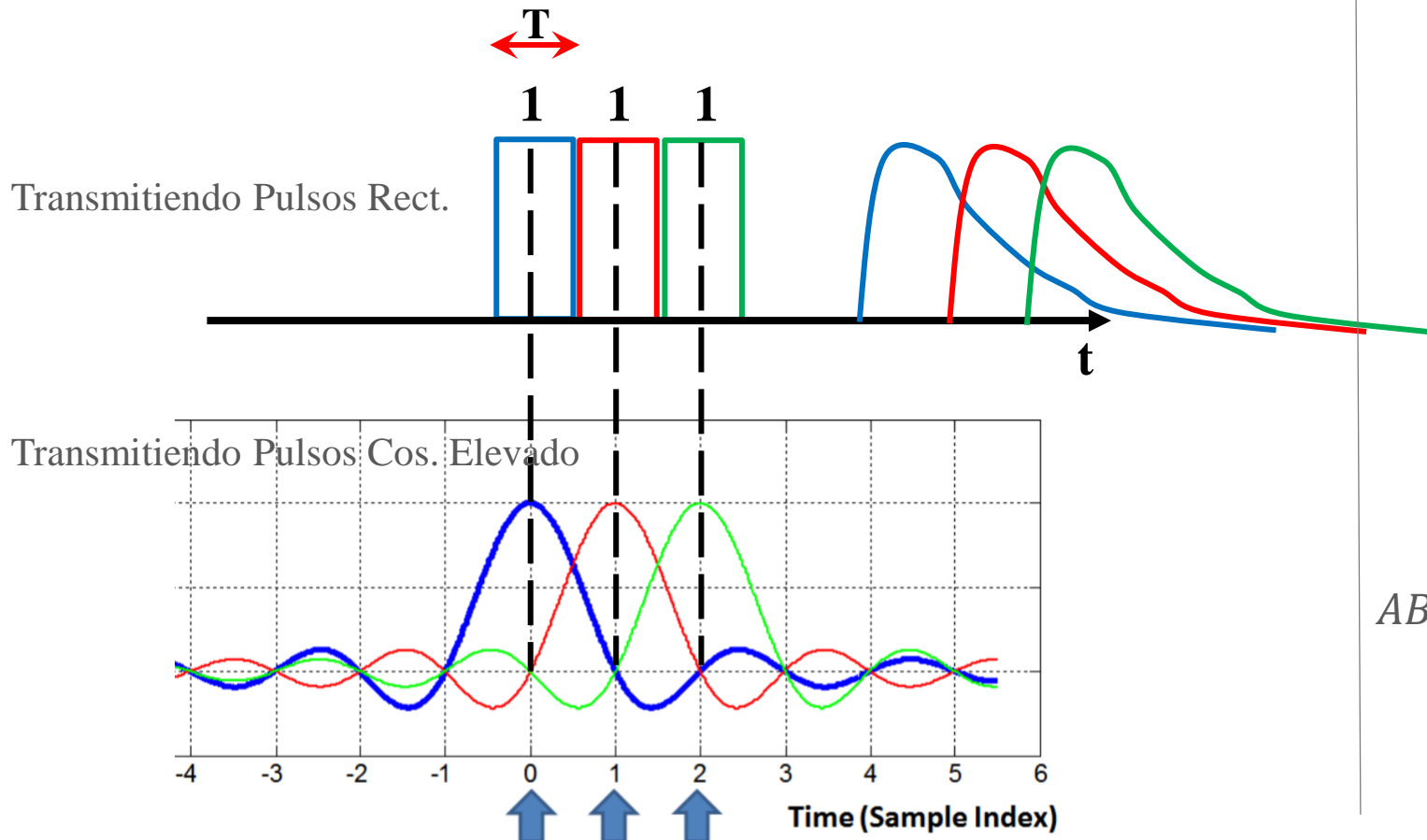
Señal Transmitida

Filtro Raíz Coseno Elevado.

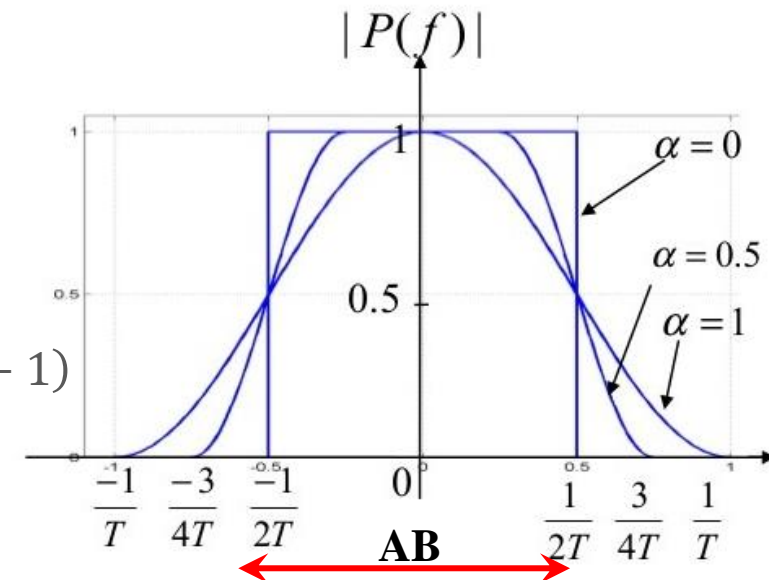
Es de la familia de filtros Nyquist.

Limita el Ancho de Banda de la señal.

Posible solución, al fenómeno de Interferencia Inter Símbolo.



$$AB = \frac{B}{2} \cdot (\alpha + 1)$$



Señal Transmitida

El **código** de modulación, junto al tiempo de duración de la señal transmitida (T) y PRP, definen los siguientes parámetros:

- Resolución en Rango
- Resolución en Frecuencia Doppler
- Máximo Rango sin ambigüedad
- Máxima Frecuencia Doppler sin Ambigüedad
- Ganancia por compresión de Pulso

Estos parámetros se determinan del análisis de la **Función de Ambigüedad** la cual se define de la **Función Auto-Correlación de señal transmitida (Código)**.

Función Autocorrelación, considerando una frecuencia Doppler (f_D) en la señal y un retardo (τ):

$$\chi(\tau, f_D) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s^*(t) e^{j2\pi f_D \tau} dt$$

Función de Ambigüedad:

$$|\chi(\tau, f_D)|^2$$



Función Correlación

La función de correlación puede ser realizada por un **Filtro Adaptado** permite implementar la función correlación entre la $S_T(t)$ y $S_R(t)$.

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 $s(t)$ la señal de interés de duración t_0 , la respuesta al impulso del filtro adaptado será.
$$h_{adapt}(t) = s^*(t_0 - t)$$

Sea la señal de entrada:

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad n(t) \text{ ruido}$$

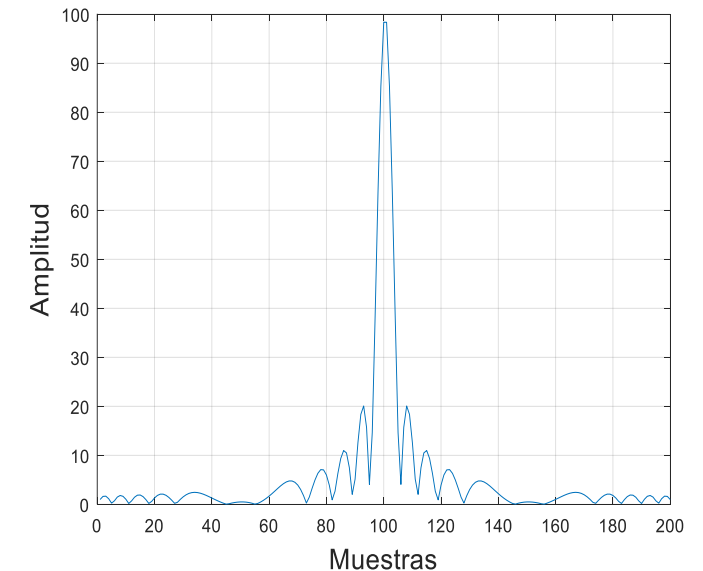
Entonces la señal de salida: $y(t) = x(t) * h(t)$

$$y(t) = s(t) * h(t) + n(t) * h(t)$$

$$y(t) = y_s(t) + y_n(t)$$

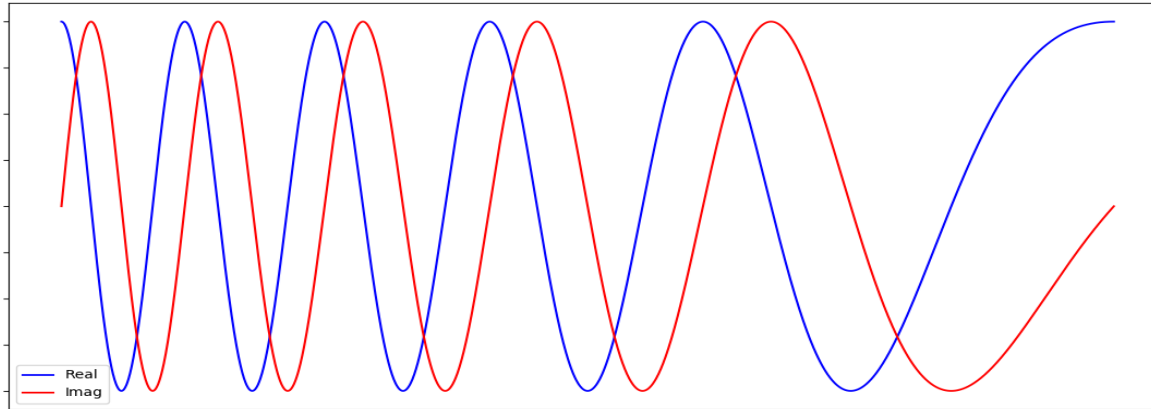
La SNR a la salida del filtro:

$$\frac{S}{N} = \frac{y_s^2(t)}{E[y_n^2(t)]} \longrightarrow \frac{S}{N} = \frac{2}{N_0} \cdot \underbrace{\int_0^{t_0} s^2(t) dt}_{\text{La autocorrelation}}$$

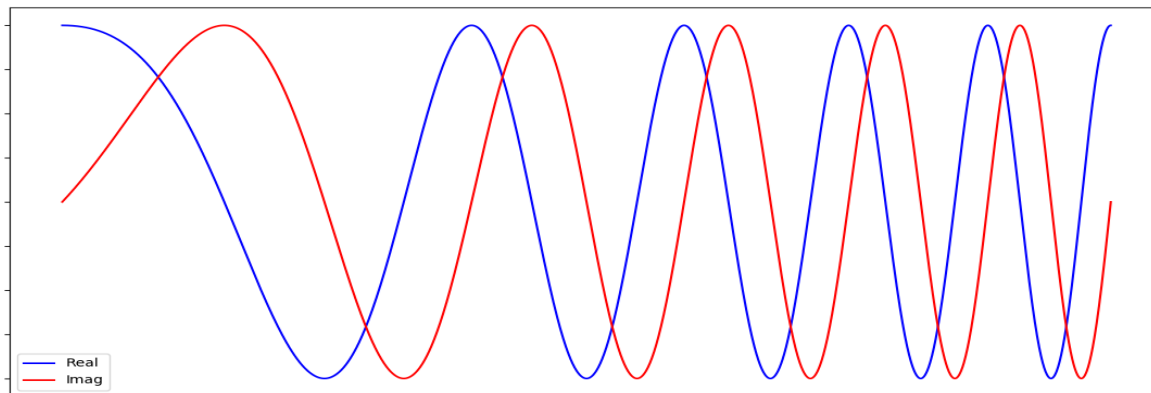


Filtro adaptado

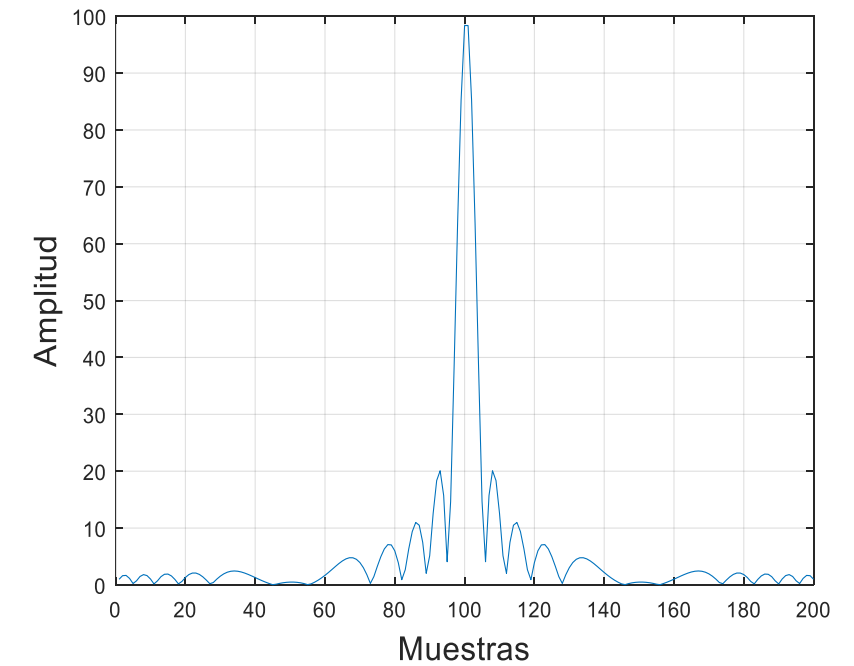
Señal $S_T(t)$



Respuesta al Impulso $h(t)$

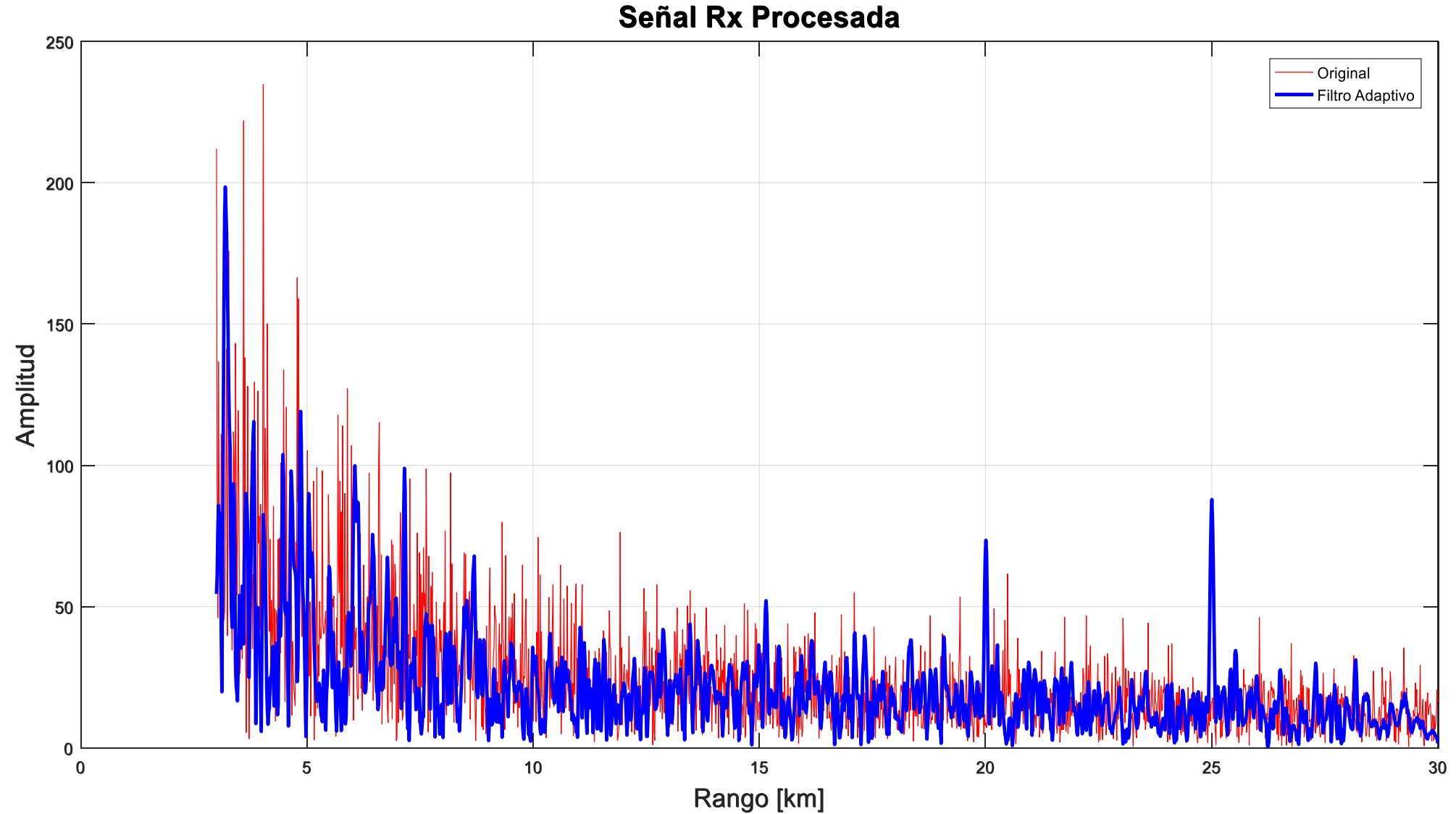


$$\text{Salida}(t) = S_T(t) \cdot h(t)$$



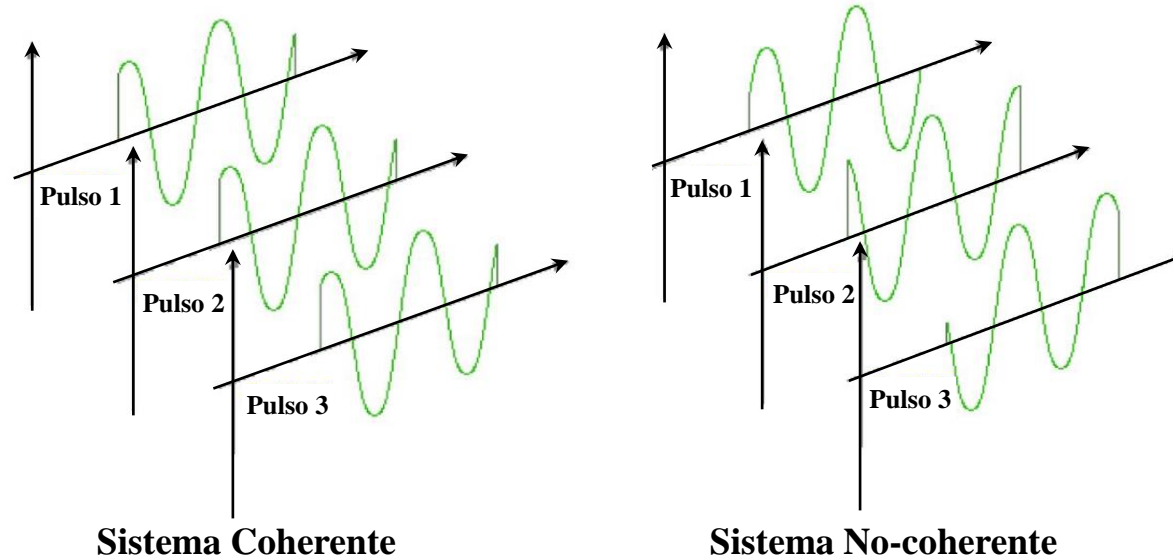
Filtro adaptado

Ejemplo de aplicación del Filtro Adaptado



Integración Coherente

Si existe una relación de fase constante entre pulsos transmitidos, se podría integrarse de manera coherente (pulsos recibidos).

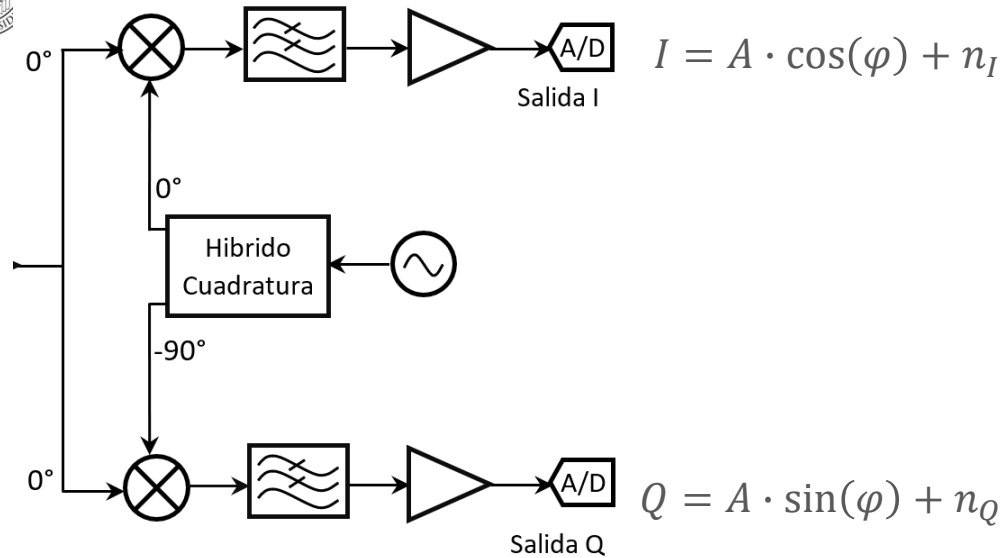


Al integrar (sumar) las señales recibidas en cada pulso, se tiene:

- Una mejora en la S/N al **Sumar** muchos pulsos recibidos.
- Incrementar la señal recibida, mediante contribuciones positivas a la suma.

En la suma, al ser el Ruido aleatorio incrementa en menor medida, “cambia su fase continuamente”.

Integración Coherente



Sumando las señales I y Q recibidas en K pulsos:

$$\begin{aligned}\sum I &= \sum A \cdot \cos(\varphi) + \sum n_I \\ &= K \cdot A \cdot \cos(\varphi) + \sum n_I\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum Q &= \sum A \cdot \sin(\varphi) + \sum n_Q \\ &= K \cdot A \cdot \sin(\varphi) + \sum n_Q\end{aligned}$$

Potencia de la señal:

$$S = (K \cdot A \cdot \cos(\varphi))^2 + (K \cdot A \cdot \sin(\varphi))^2 \longrightarrow S = (K \cdot A)^2$$

Potencia de ruido:

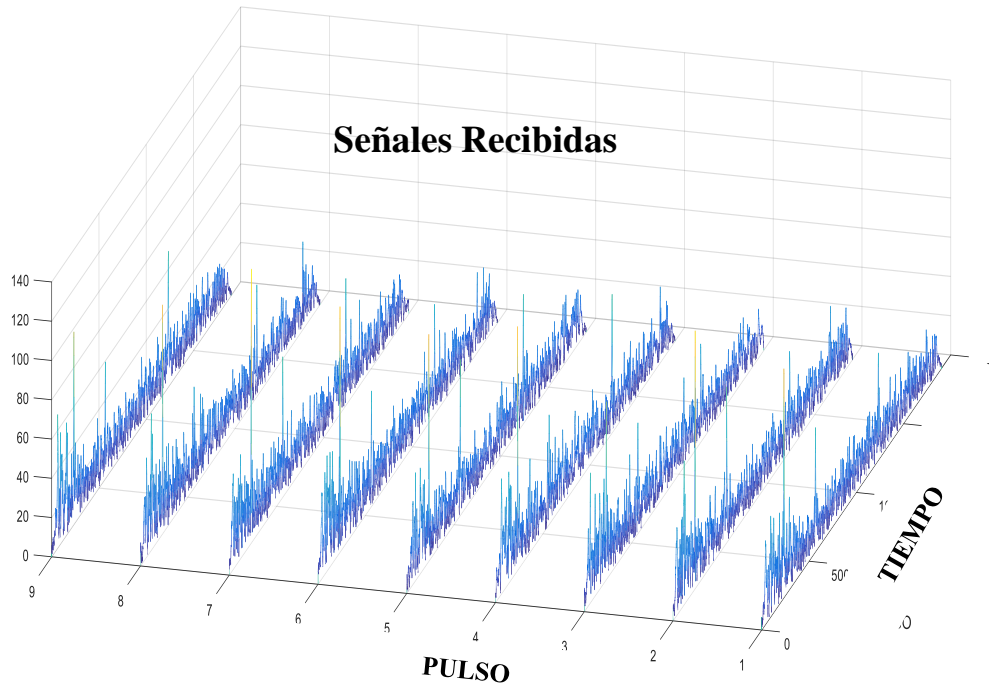
$$N = E \left[\sum n_I \right] + E \left[\sum n_Q \right] \longrightarrow N = K \cdot \sigma^2 + K \cdot \sigma^2$$

La SNR es:

$$\frac{S}{N} = \frac{A^2 \cdot K^2}{\sigma^2 \cdot K} \longrightarrow \frac{S}{N} = \frac{A^2}{\sigma^2} \cdot K$$

Ganancia de Integración Coherente

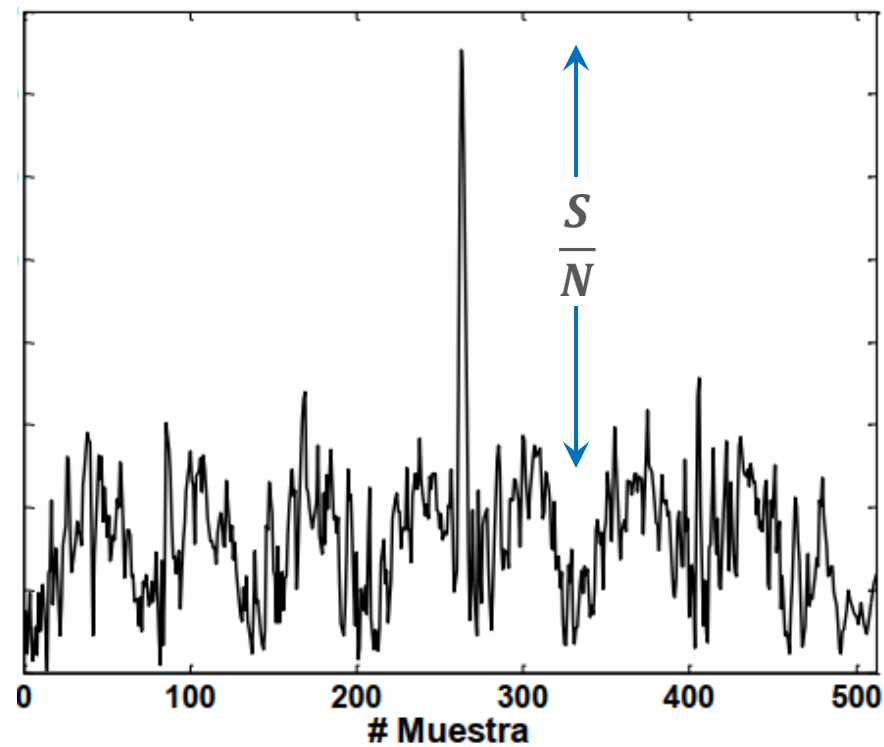
$$\left(\frac{S}{N} \right)_{K \text{ pulsos}} = \left(\frac{S}{N} \right)_{1 \text{ pulso}} \cdot K$$



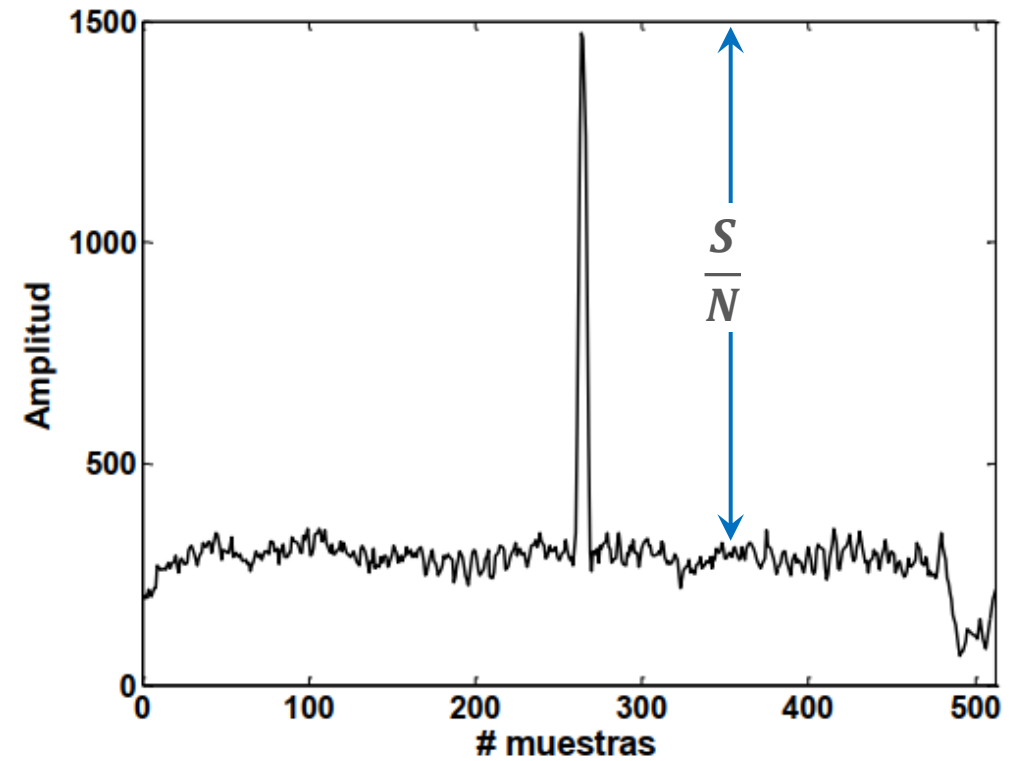
Integración Coherente

Ejemplo de la Integración Coherente

Señal Sin Integración



Señal con Integración (30 Pulsos)





Fin Clase 4

