



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





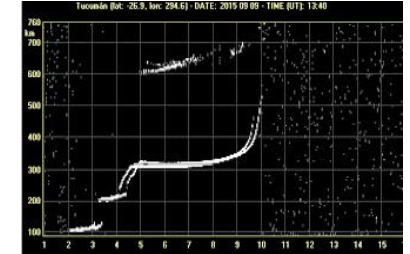
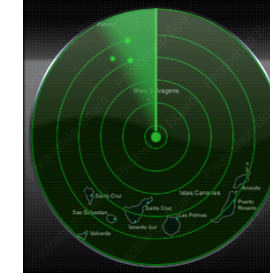
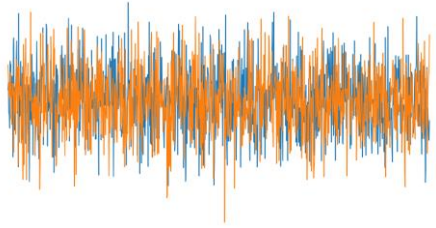
Temario

Clases 4

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

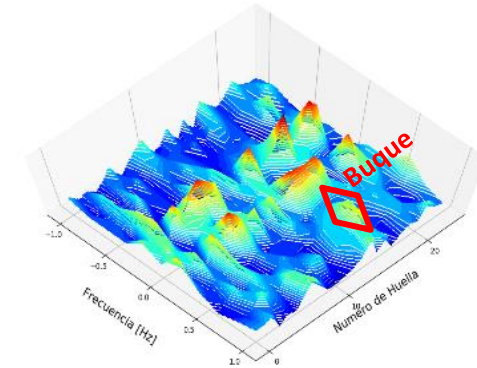


Procesamiento Digital

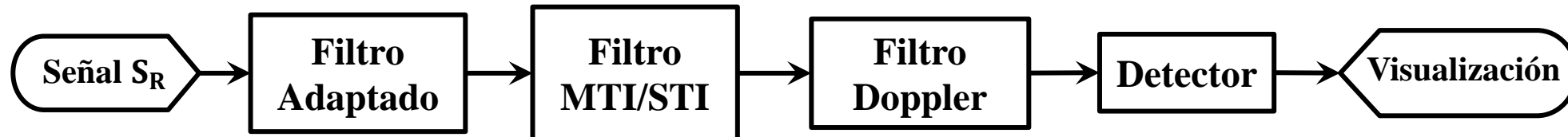


Tareas Realizadas

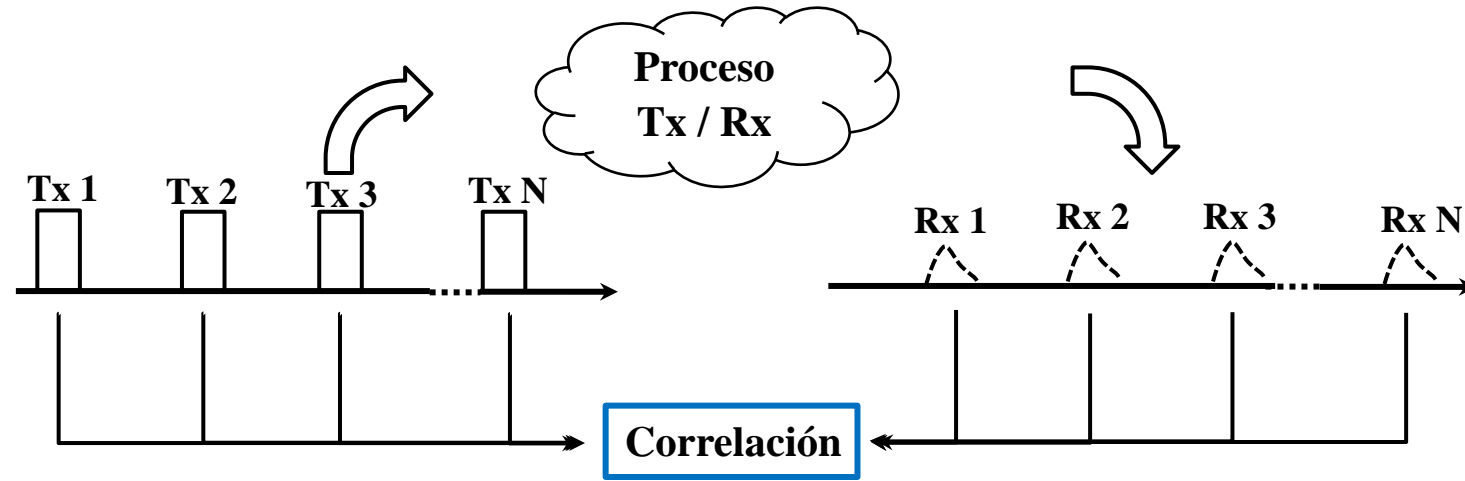
- Limitar los efectos
 - Atenuación
 - Contaminación: Clutter
 - Interferencia
 - Ruido
- Detectar Objetivos
- Visualización



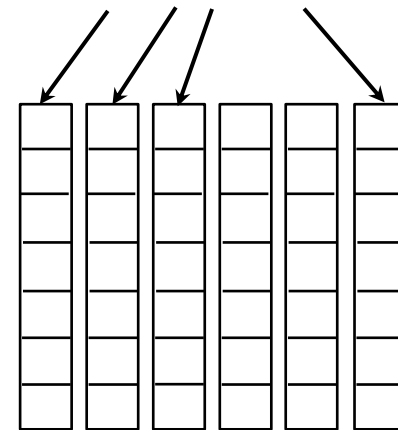
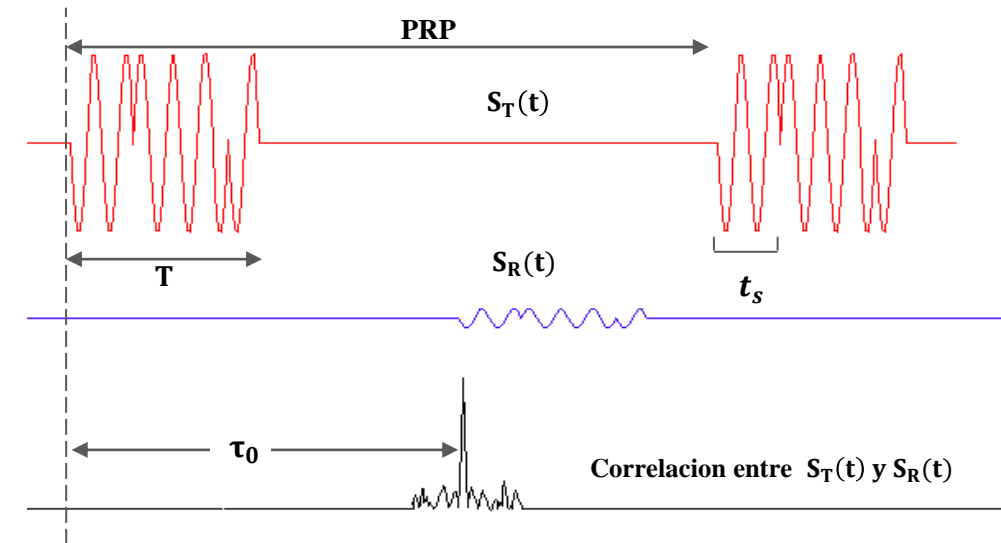
Cadena de Procesamiento Básica:



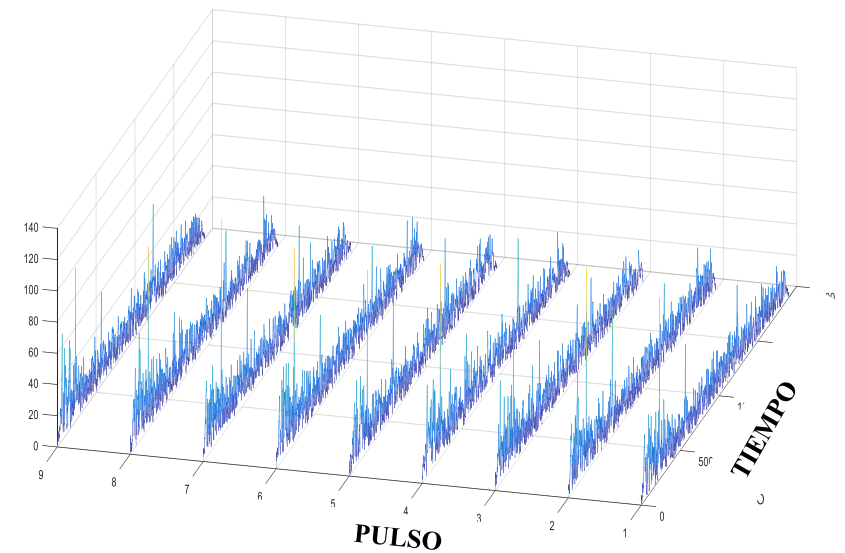
Adquisición y Almacenamiento



Señales Recibidas



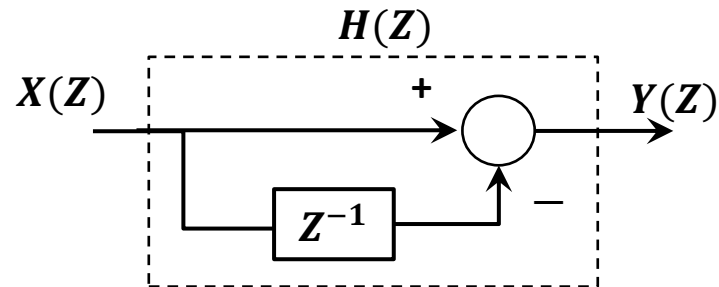
Matriz
M



Objetivos con Velocidad

Indicador de Movimiento de Objetivo (MTI)

- Separa objetivos en movimiento de objetivos inmóviles (ejemplo señales de Clutter).
- Utiliza pocas señales (dos o tres pulsos)
- No provee estimación de la velocidad del objetivo.

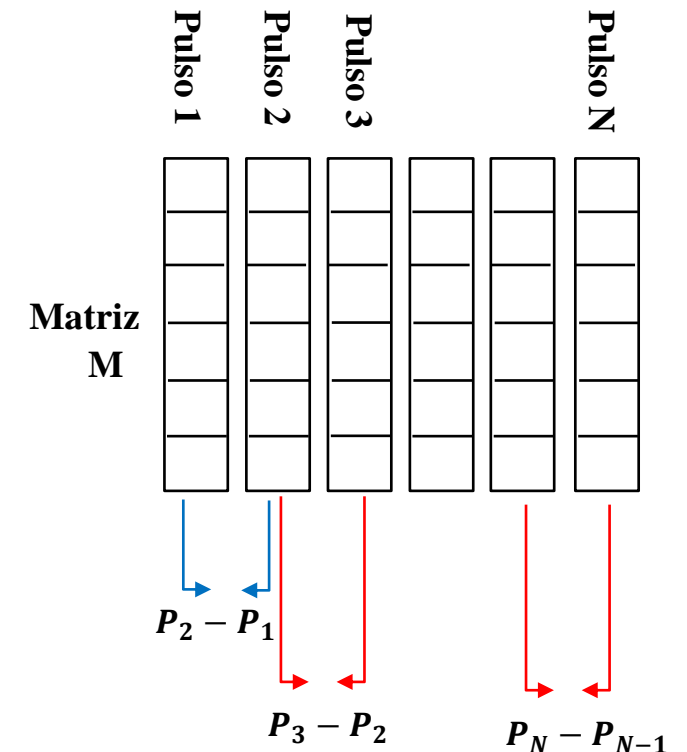


Función Transferencia: $H(z) = 1 - z^{-1}$

Ec. En Diferencia $y_n(k) = x_n(k) - x_{n-1}(k)$

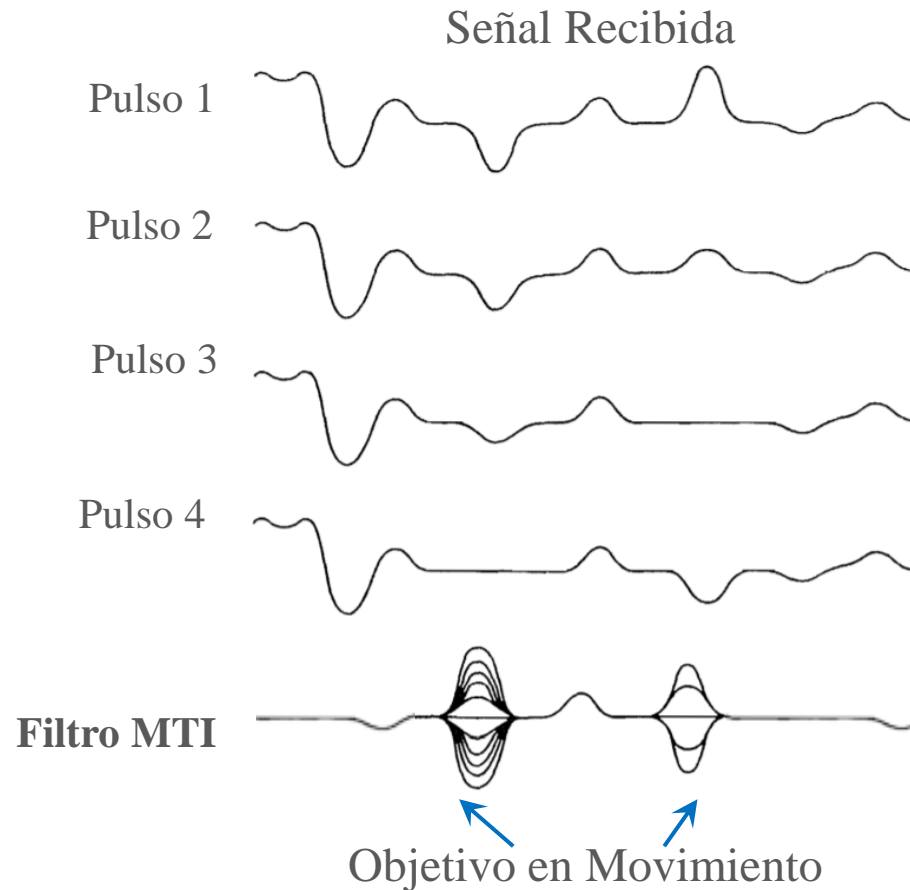
Pulsos Doppler

- Separa objetivos según sus velocidades.
- Utiliza un numero mayor de señales (10 a 100 pulsos)
- Provee un buena estimación de la velocidad del objetivo.



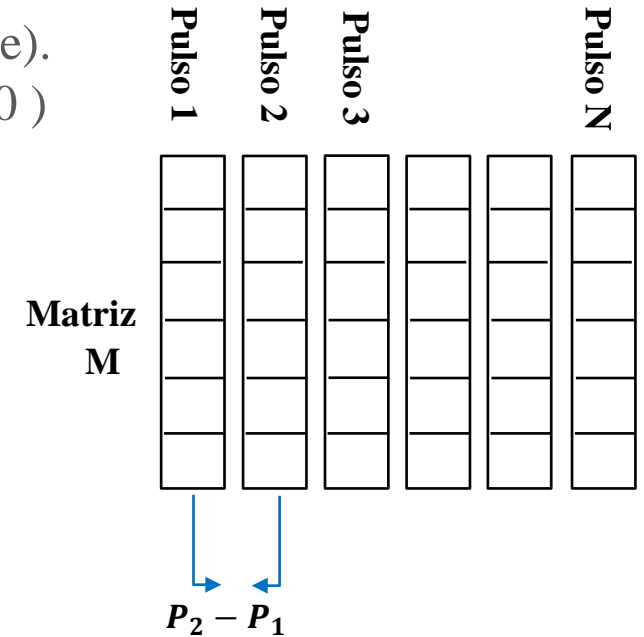
Filtro MTI

- Objetivos estacionarios producen casi un mismo eco en dos **Pulsos** (igual fase).
- Blancos que cambian su fase no se cancelan (blancos con velocidad radial $\neq 0$)

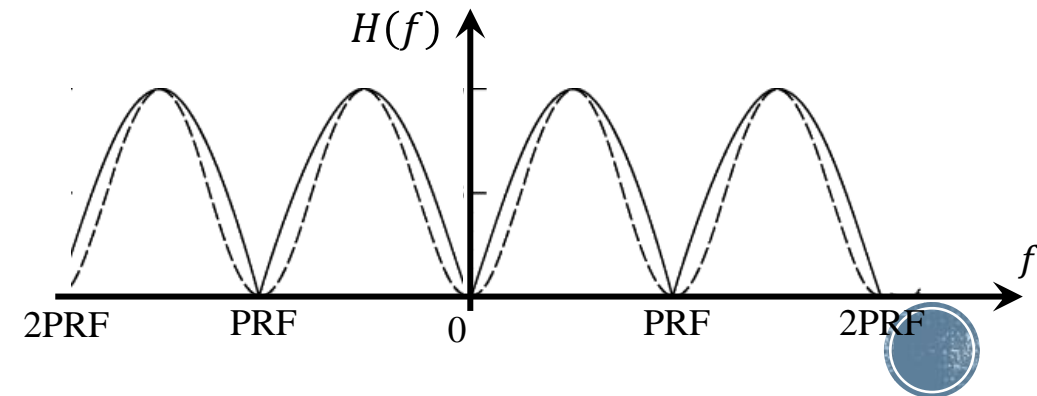


Salida del Filtro:

$$y_n(k) = x_n(k) - x_{n-1}(k)$$



En valores múltiplos de PRF el filtro posee Nulos.

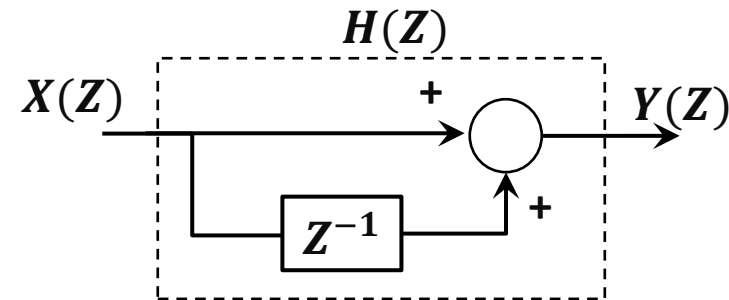


Filtro STI

El Indicador de Objetivo Estático (STI), permite resaltar objetivos estacionarios de otros objetivos en movimiento lento y rápidos.

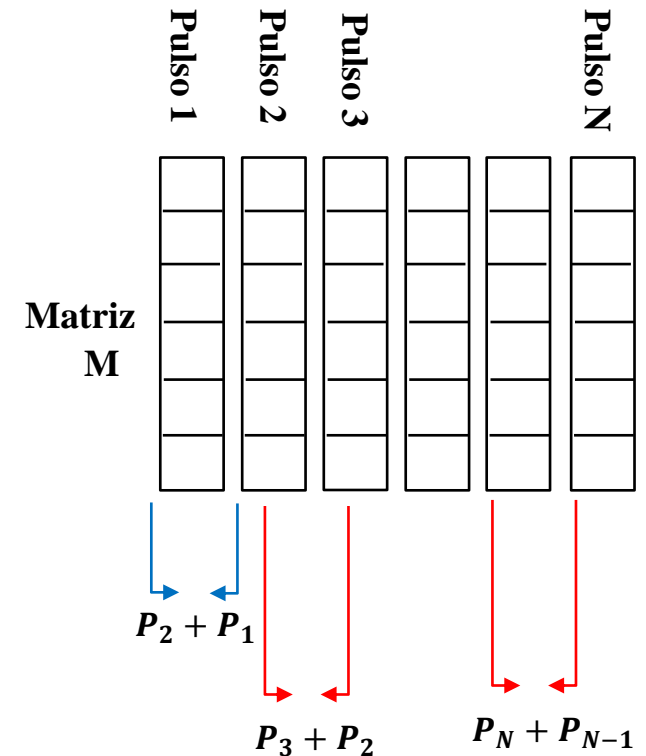
Objetivos que **No** cambian su fase, al sumarlos, lo realizan de forma coherente, por estar estáticos, con lo cual se pueden sumar dos **Pulsos** y resaltar eso ecos de objetivos estáticos frente al ruido y blancos móviles.

Función de Transferencia:

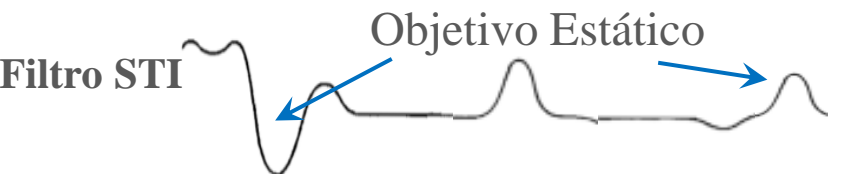
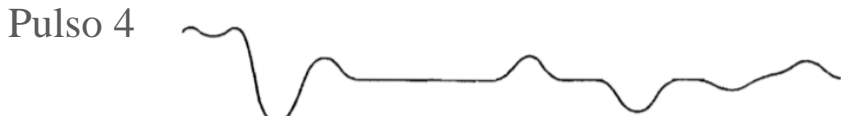


$$H(z) = 1 + z^{-1}$$

$$y_n(k) = x_n(k) + x_{n-1}(k)$$



Señal Recibida

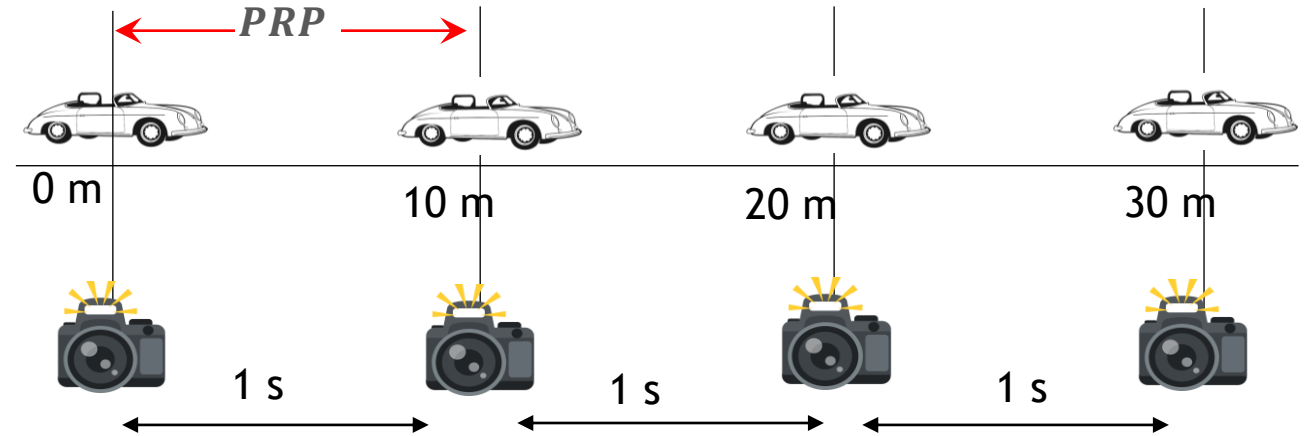


Max. Frec. Doppler no Ambigua

La máxima frecuencia Doppler ($f_{D_{max}}$) sin ambigüedad la define la Frec. de Repetición de Pulso PRF.

Si $f_{D_{max}}$ es mayor que PRF :

No se podrá determinar dicha frecuencia de forma indiscutible.

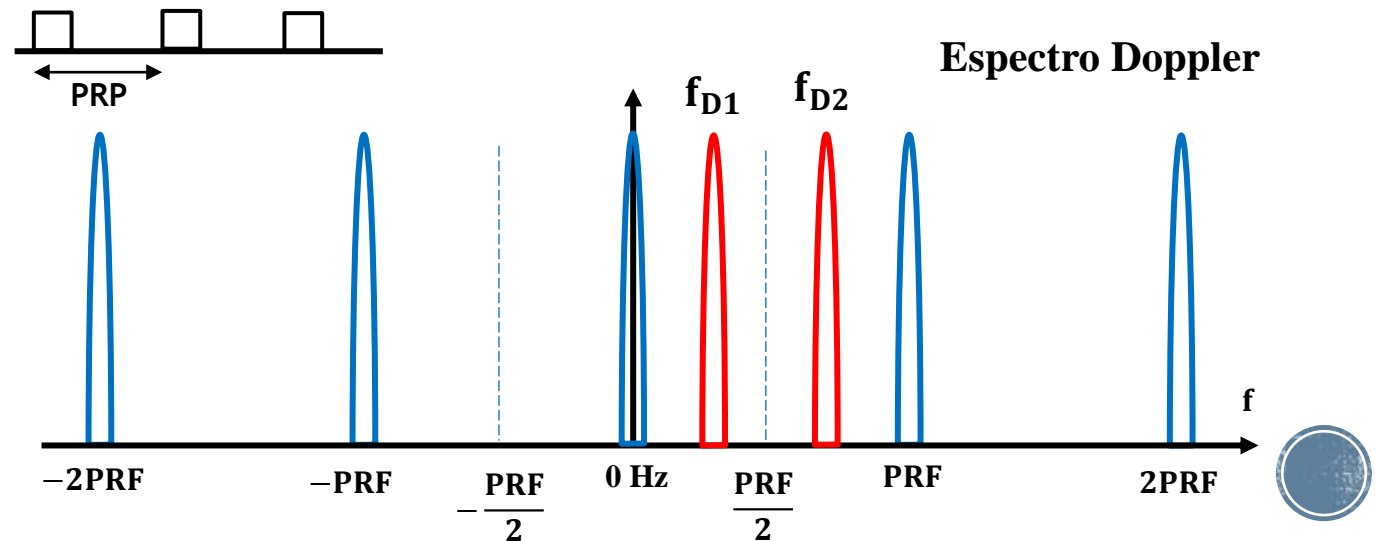


Frec. Doppler Máxima sin ambigüedad es:

$$f_{D_{max}} = PRF$$

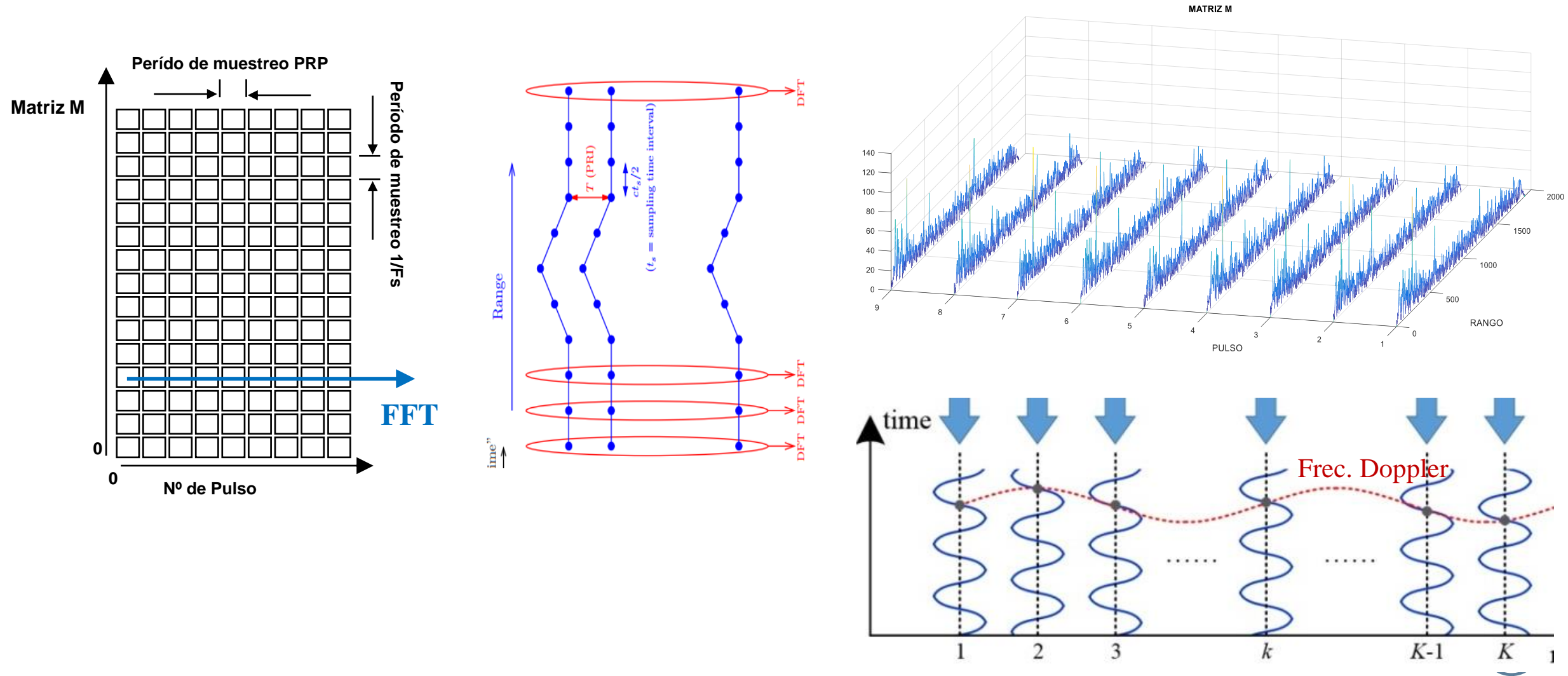
$$\pm f_{D_{max}} = \frac{PRF}{2}$$

$$\pm v_{max} = \frac{\lambda \cdot PRF}{4}$$



Frecuencia Doppler

La determinación de la frecuencia Doppler puede realizarse mediante la aplicación de la operación matemática, FFT (Fast Fourier Transform), la cual es realizada en el dominio del tiempo discreto.



Resolución Doppler

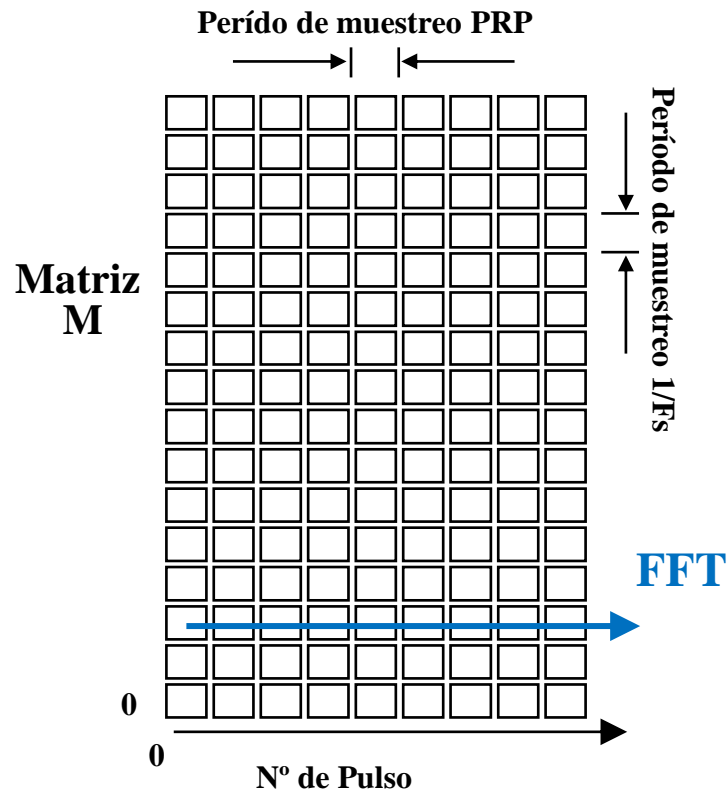
Debido que la frecuencia Doppler se obtiene por medio de una operación matemática en el tiempo discreto, la resolución Doppler esta ligada a la resolución de dicha operación (FFT).

La resolución depende.

- La frecuencia de muestreo. En este caso es $PRF = 1/PRP$
- Del numero de pulso considerados N

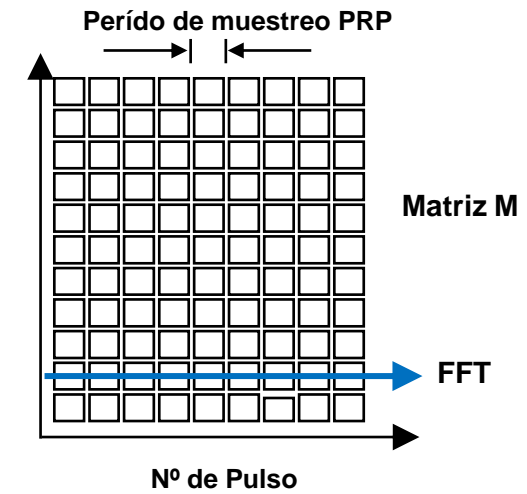
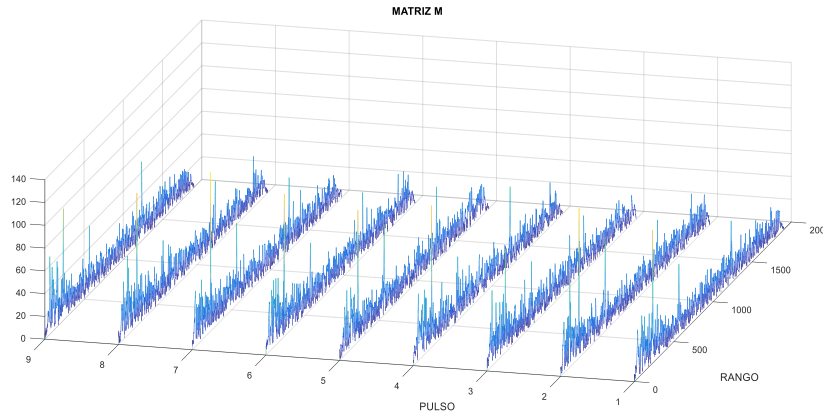
$$\Delta f_D = \frac{PRF}{N}$$

Por que depende de N y de PRF ??



Resolución Doppler

Dependencia del Numero de Pulsos (N) y de la PRF.

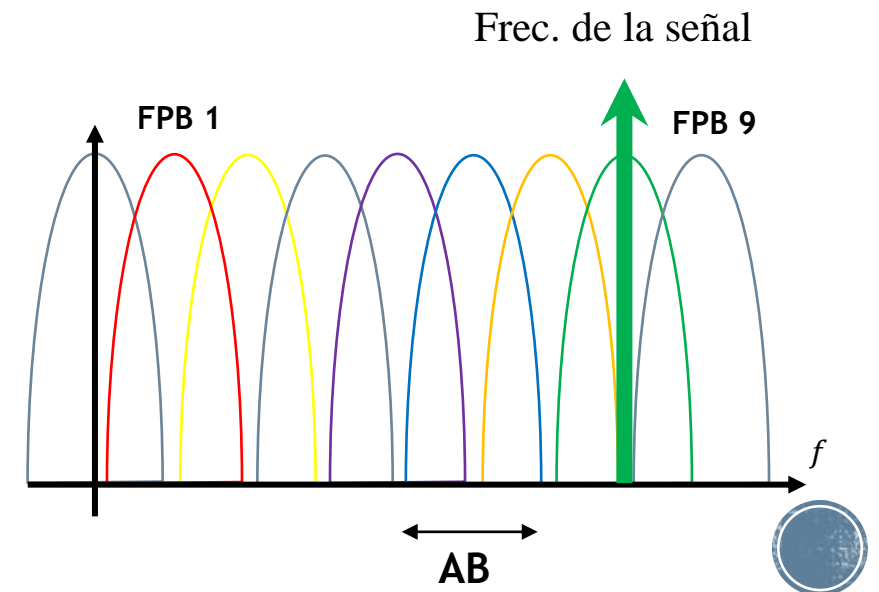


FFT. Transformada Rápida de Fourier (Algoritmo)

- Se tienen tantos Filtro P.B como n° de muestras: En este caso N
- El ancho de banda de cada filtro P.B: $AB = \frac{f_{muestreo}}{N}$

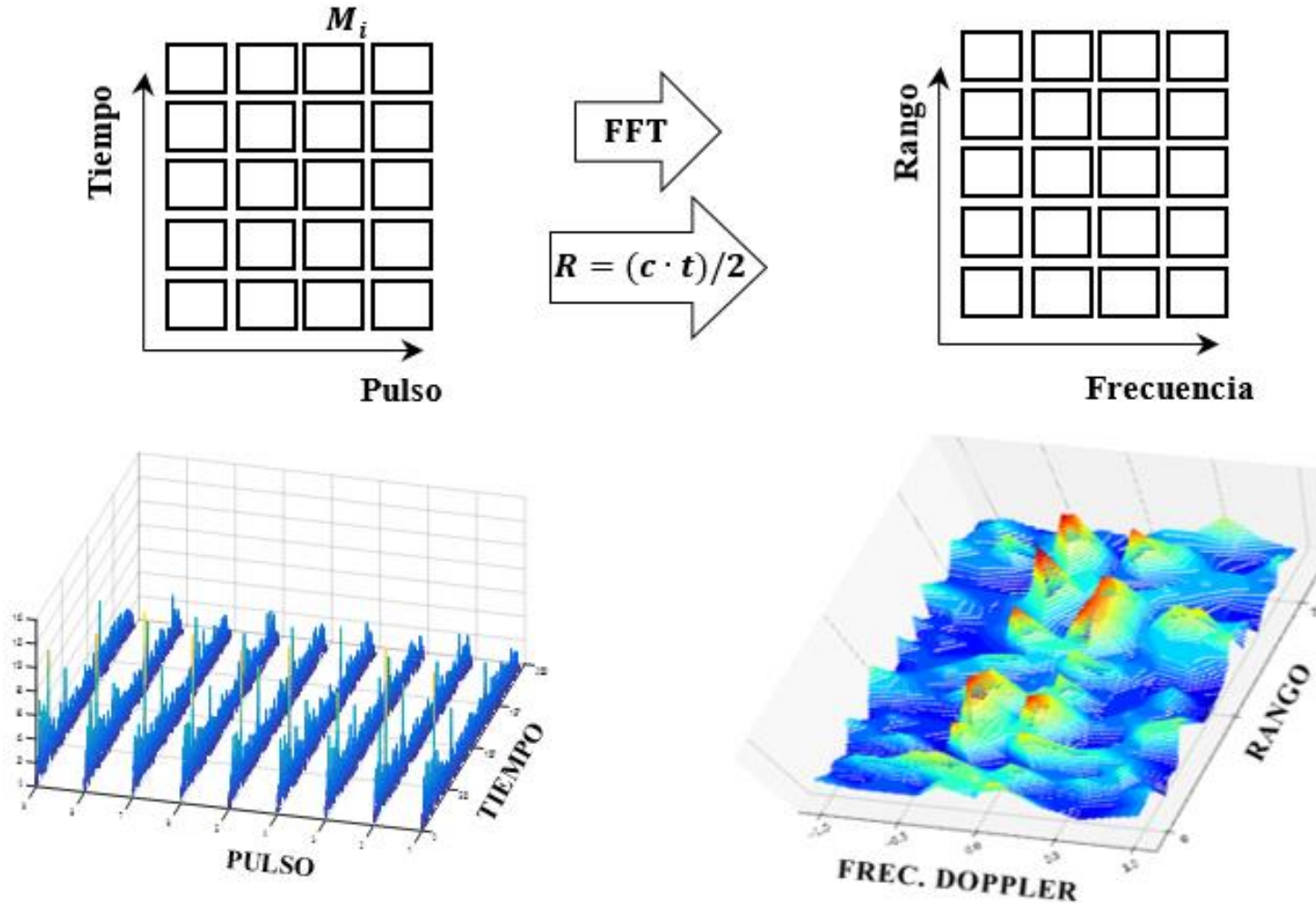
$$\text{En nuestro caso : } AB = \frac{PRF}{N}$$

La resolución de Frec. Doppler esta determinada por PRF y N



FFT (Filtro Doppler)

Finalmente luego de aplicar la correlación junto a la ec. de la velocidad y por otro la FFT, se tiene:



Los valores de Rango y Frecuencia Doppler, son visibles.

**Falta Casi Nada!!
Solo Detectar los objetivos.**

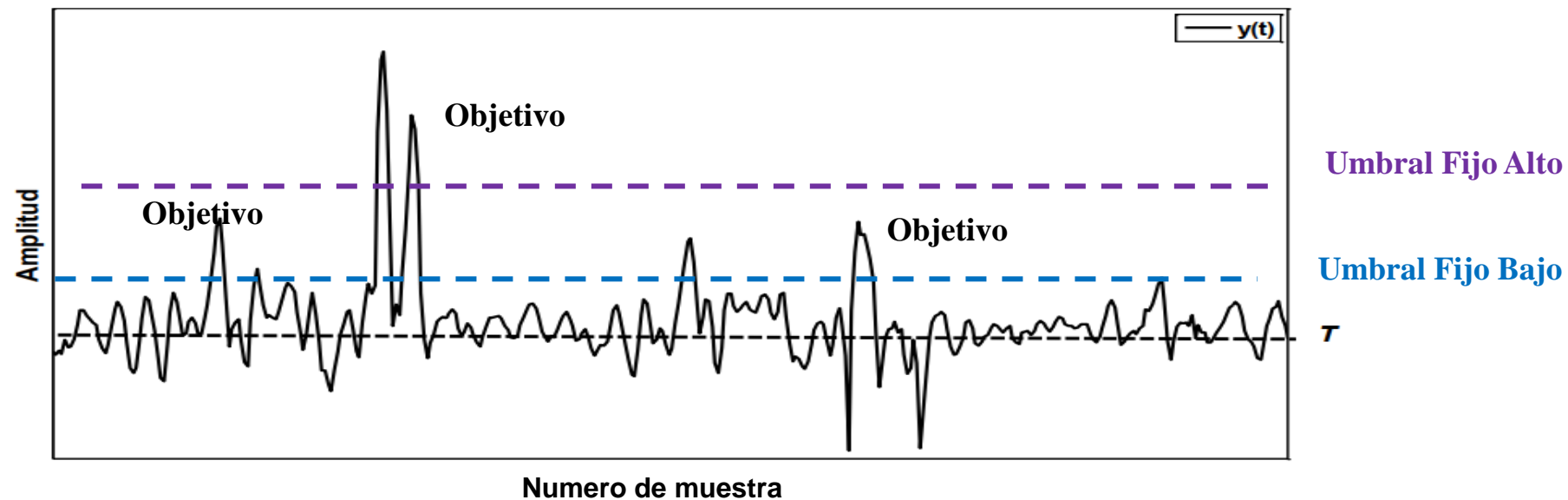


Detector

Umbral Fijo de Detección

Cuando el valor de la muestra bajo test, es mayor que el **Umbral**, se declara que en esa muestra se tiene la presencia de eco del objetivo.

En función de ese Umbral se puede tener muchas o pocas detección.



Detector adaptivo

CFAR (Relación de Falsa Alarma Constante)

El objetivo es estimar en forma adaptiva un umbral utilizando para ellos las muestras vecinas a la muestra/celda bajo test, manteniendo una probabilidad de falsa alarma constante.

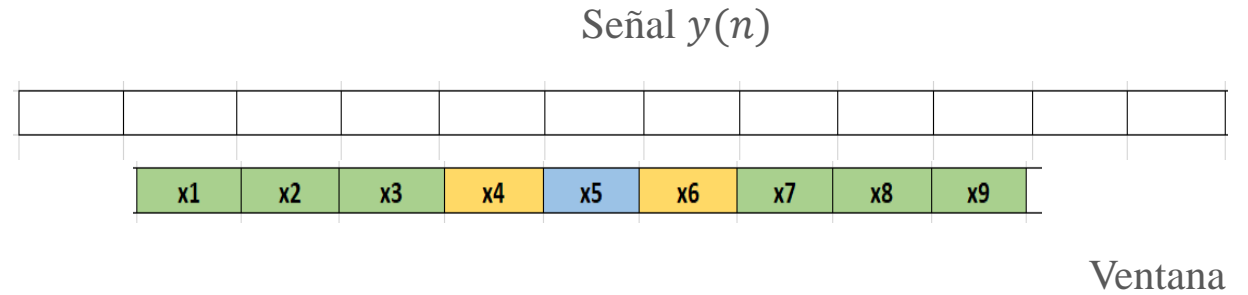
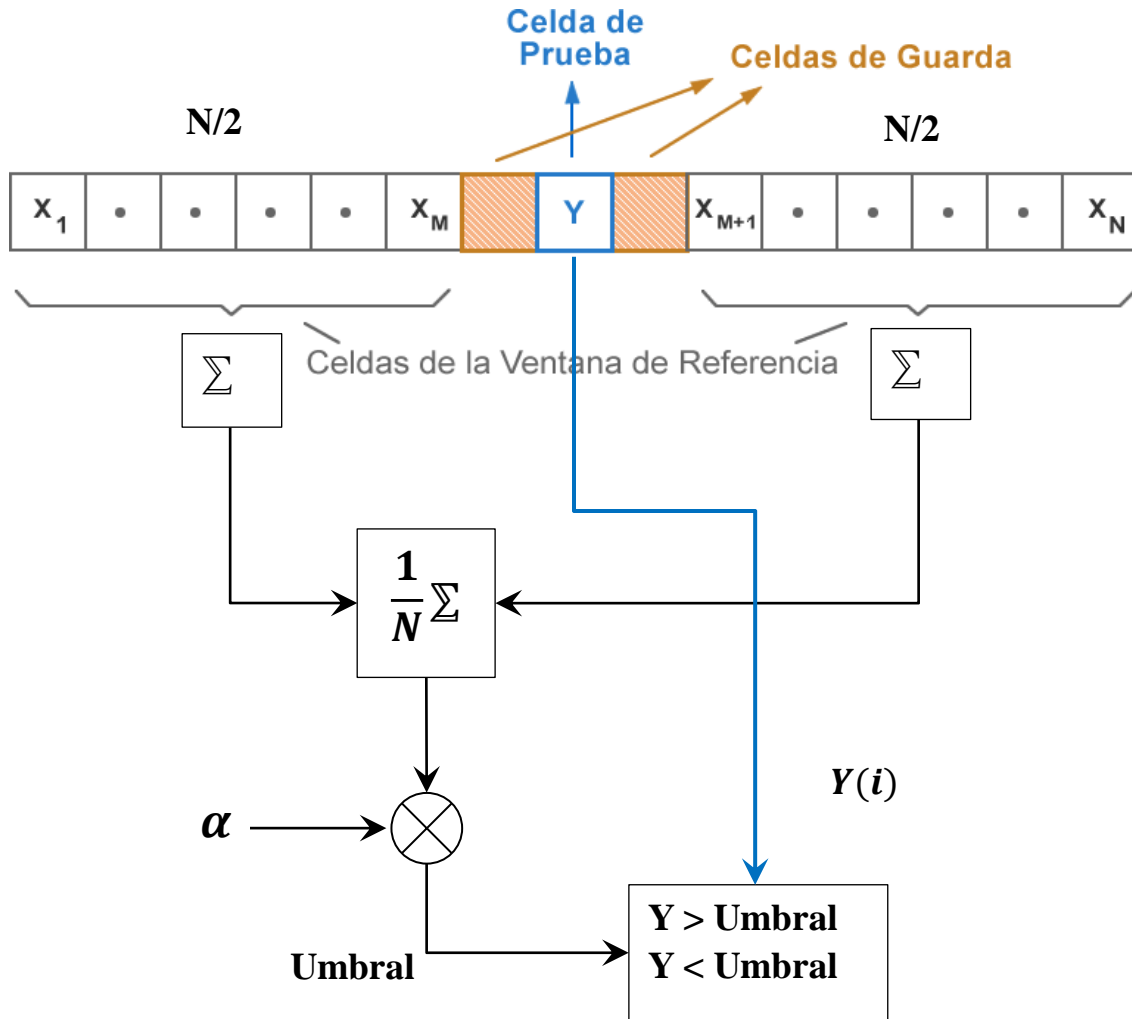
Este tipo de detector utiliza para determinar su Umbral un conjunto de Probabilidades.

- Probabilidad de detección (P_d): Es la probabilidad de que un blanco sea detectado cuando el blanco está presente en la muestra.
- Probabilidad de falsa alarma (P_{fa}): Es la probabilidad de que un blanco sea detectado, cuando en realidad el blanco no está presente.
- Probabilidad de fallo (P_m): Es la probabilidad que el sistema no se detecte un blanco que si está presente

	No hay Detección	Hay Detección
No hay blanco	Sin detección	Falsa alarma
Hay blanco	Fallo	Detección positiva

Detector adaptivo

CA-CFAR (Cell-Averaging CFAR)



Celda bajo Prueba: x_5

Celdas de Guarda: x_4 y x_6

Celdas para cálculo del promedio: $x_1:x_3$ y $x_7:x_9$

$$\text{Promedio} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_9}{6}$$

$$\text{Umbral} = \text{Promedio} \cdot \alpha$$

$$\alpha = N \left(P_{fa}^{-\frac{1}{N}} - 1 \right)$$

Factor de Escala:

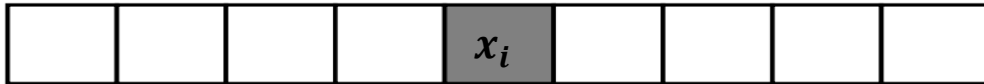
P_{fa} : Deseada probabilidad de falsa alarma

$$\text{Comparación} \quad x_5 < \text{Umbral} \quad \text{o} \quad x_5 > \text{Umbral}$$

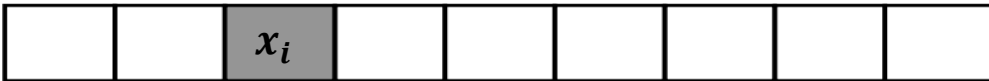
Detector adaptivo

OS-CFAR (Order-Statistics CFAR)

Celda
Bajo Test

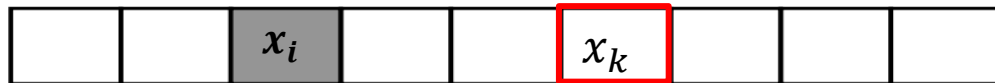


Re ordenando de menor a mayor



Determinara la desv. Estándar (σ)

Dividir toda la ventana en σ



Celda
Bajo Test

Celda que representa
el ruido

$$\text{Umbral} = x_k \cdot \alpha$$

$$P_{fa} = k \binom{N}{k} \cdot \frac{(k-1)! \cdot (\alpha + N - k)!}{(\alpha + N)!}$$

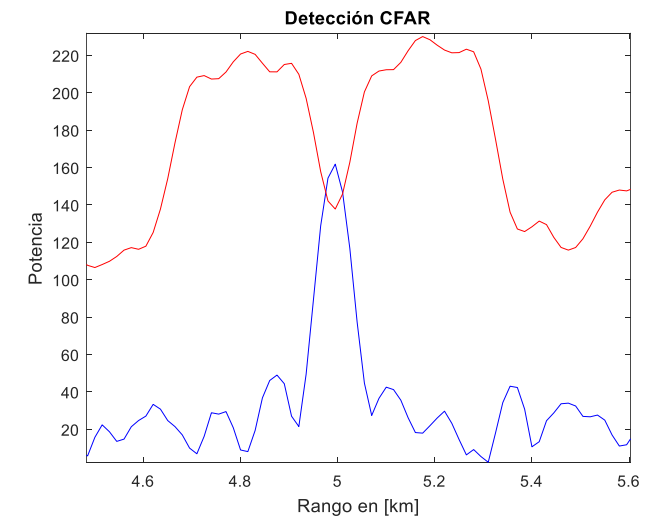
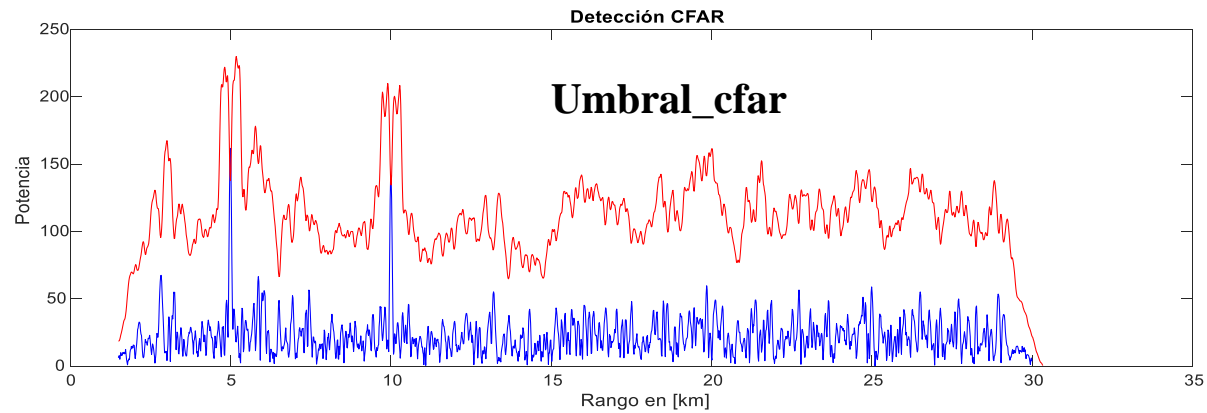
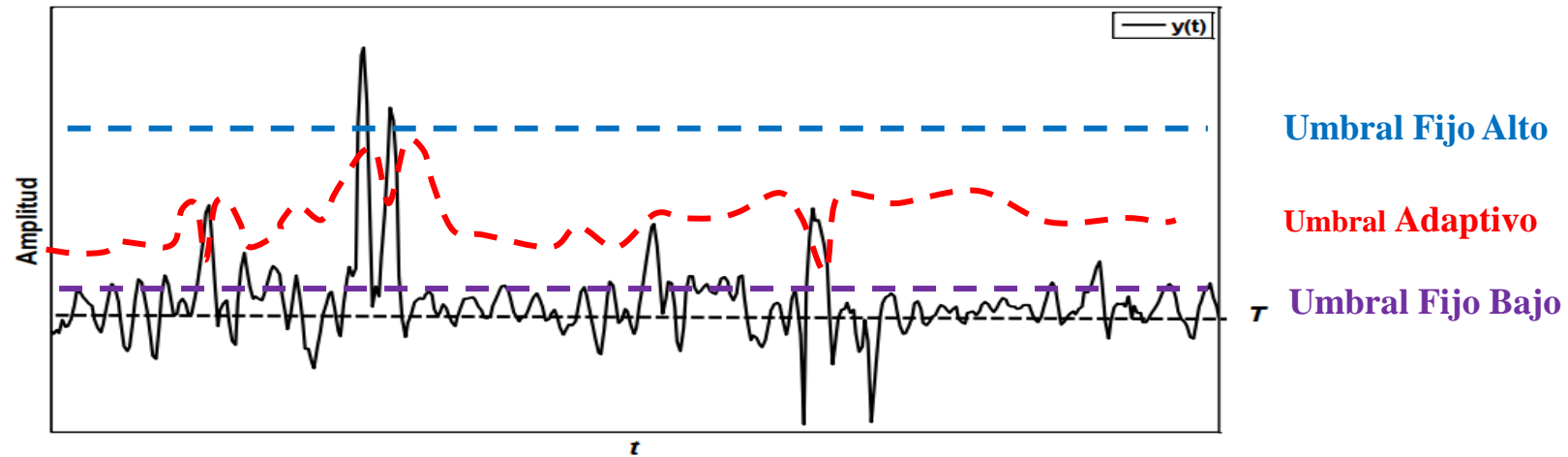
Factor de Escala (α)

Comparación $x_i < \text{Umbral}$ o $x_i > \text{Umbral}$



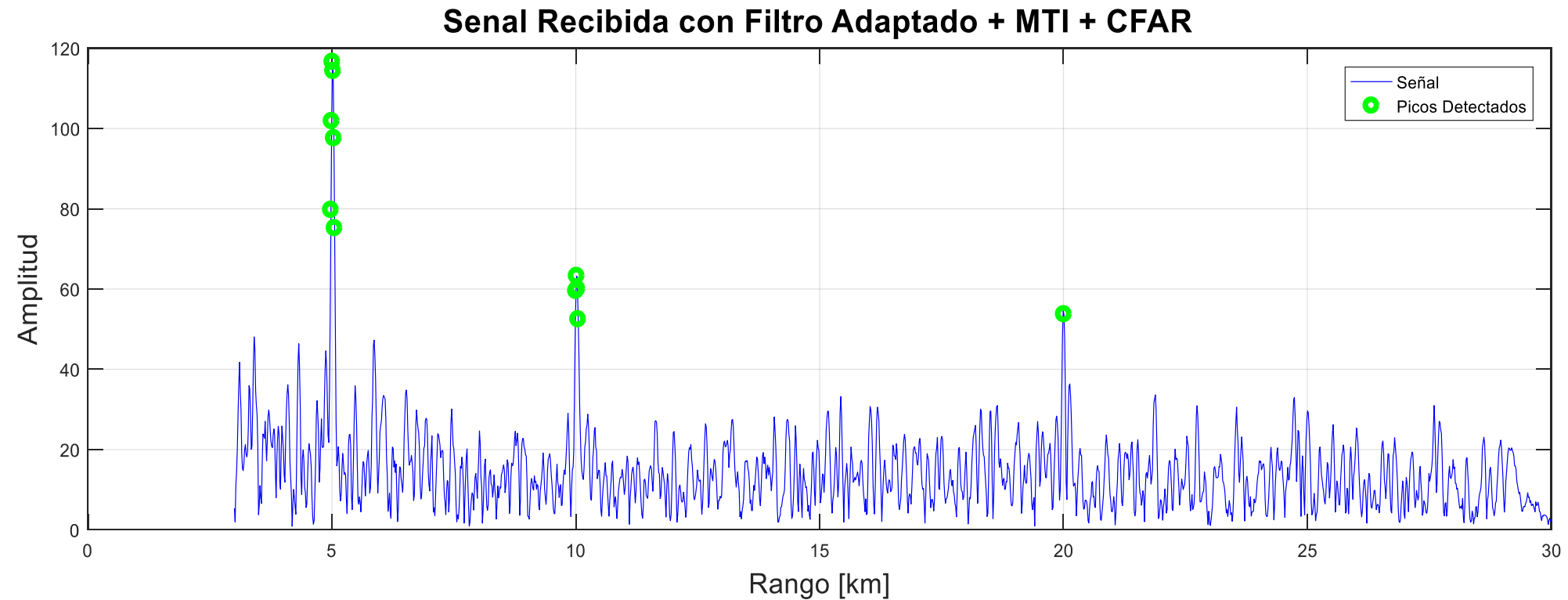
Detector adaptivo

Comparación Umbral Adaptivo vs Umbral Fijo



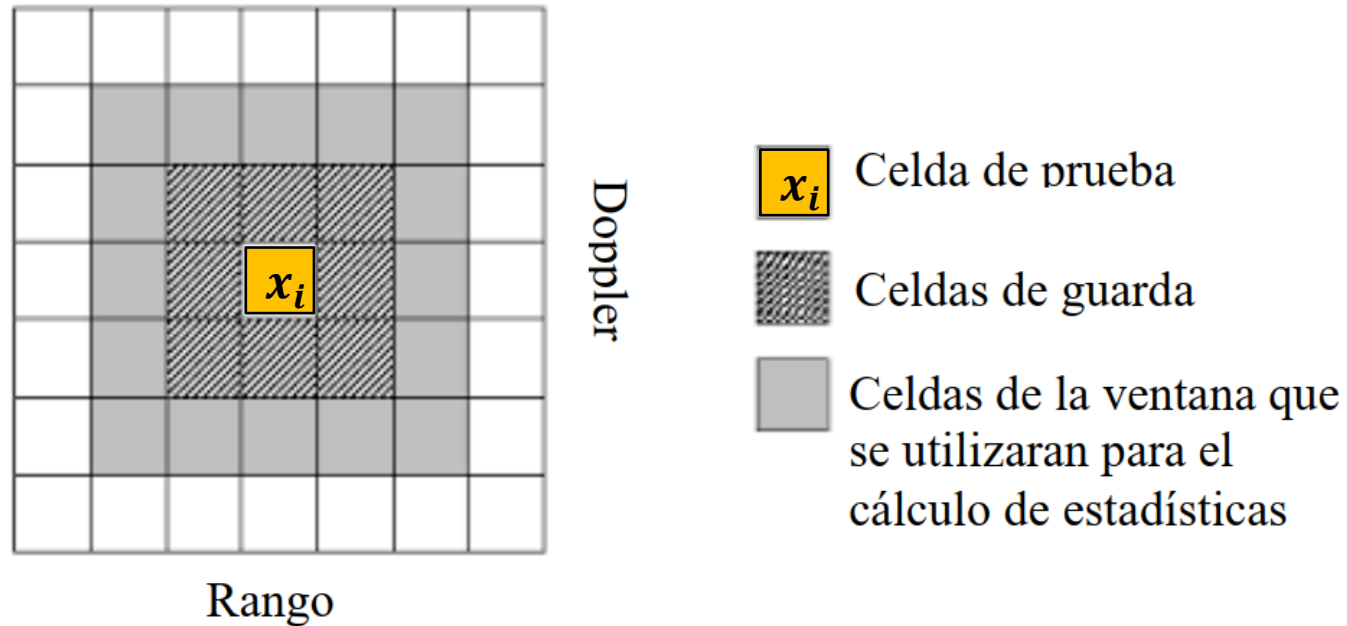
Detector adaptivo

Ejemplo de aplicación de un Umbral adaptivo



Detector adaptivo

CFAR en 2 Dimensiones.



Parámetros del Radar

Modo de Operación: Pulsado

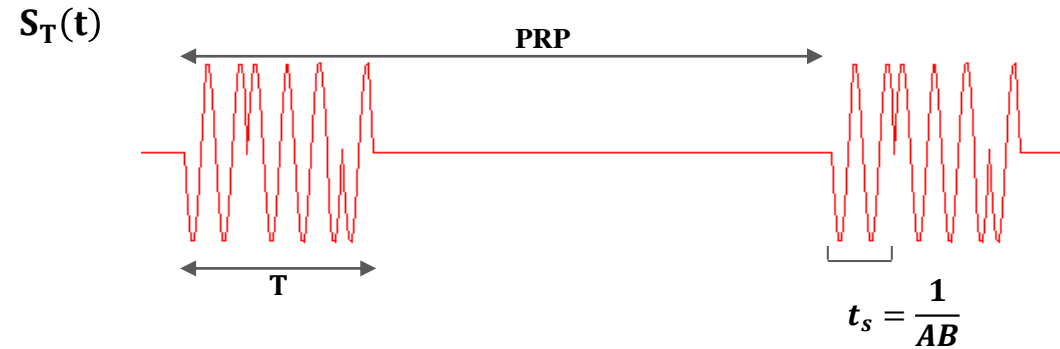
Frec. Portadora: 100 MHz

AB: 5 kHz

Tipo de Código: 1,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0 Barker -11

PRF: 50 Hz

N: 50



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

$$R_{min} = \frac{T}{2} \cdot c$$

$$\Delta R = \frac{t_s}{2} \cdot c$$

$$R_{max} = 2670 \text{ km}$$

$$R_{min} = 330 \text{ km}$$

$$\Delta R = 30 \text{ km}$$

$$f_{D_{max}} = \frac{PRF}{2}$$

$$v_{max} = \frac{f_{D_{max}} \cdot c}{2f_c}$$

$$\Delta f_D = \frac{PRF}{N}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta f_D \cdot c}{2f_c}$$

$$f_{D_{max}} = 25 \text{ Hz}$$

$$v_{max} = 135 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\Delta f_D = 1 \text{ Hz}$$

$$\Delta v = 1,35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$



Simulación

Parámetros de Objetivos

Rango: 500 km

Rango: 1000 km

Rango: 1500 km

Rapidez: 60 km/h

f_D : 11 Hz

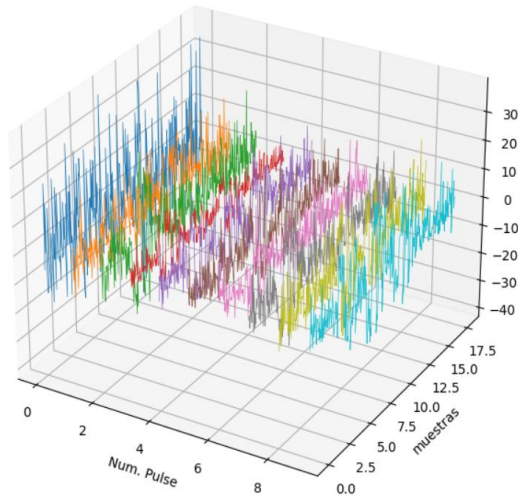
Rapidez: 100 km/h

f_D : 19 Hz

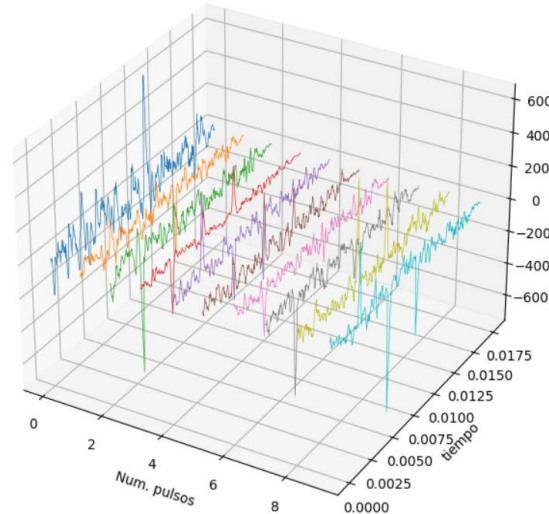
Rapidez: -100 km/h

f_D : -19 Hz

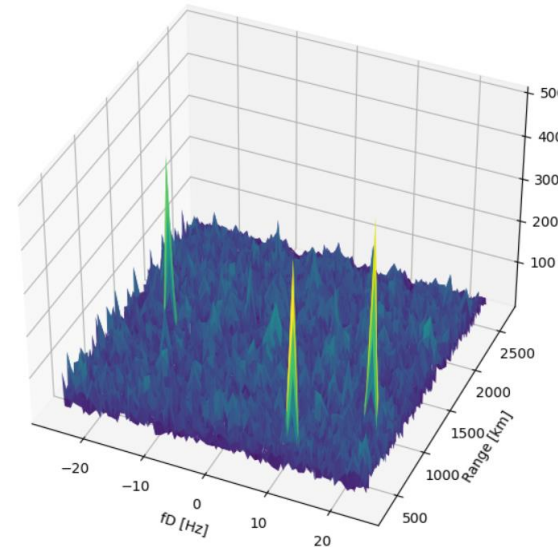
Aplicación del DSP



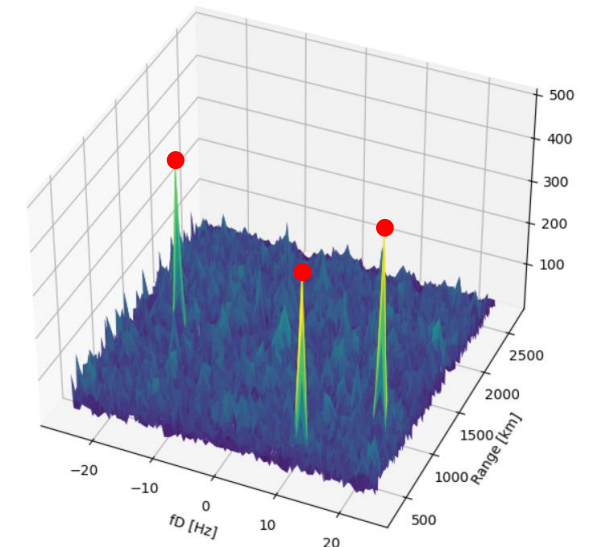
Matriz de señales Recibidas



Matriz luego de aplicar F. Adaptado



Matriz luego de aplicar F. Doppler



Matriz luego de aplicar Detector





Fin Clase 4

