

Analizador de Fourier (o ANALIZADOR DINAMICO DE SEÑALES)

①

Aspectos generales

- Concepto de lo transformado de Fourier. Transformado discreto (DFT) y sus ventajas/limitaciones (aproximación a lo. transfr. de Fourier).
- COMPARACION con FILTROS PARALELOS / ANALIZ DE BARRIDO / Audit de red por (salida). (sal). (sal). (ent/sal).
- Transform. RAPIDA de Fourier (FFT) → EFICIENCIA.

$$\text{E} \quad \begin{array}{l} \text{nº de cálculo} \rightarrow O(N^2) \\ \downarrow \\ \text{nº de muestras} \\ (\text{TR}) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{nº calc.} \rightarrow O(N \log_2 N) \\ \downarrow \\ \text{FFT} \\ \downarrow \\ N = \text{POTENCIA DE } 2 \end{array}$$

$$\text{nº calcular} = \text{TIEMPO}$$

- Aspectos PRACTICOS → lo FFT REPITE SIMETRICAMENTE el espectro.
 - ↳ resolución de frecuencia (muestras DISCRETAS)
 - ↳ distorsión y ruido INTERNOS.
 - ↳ AMPLIUD → multiplicar por dos (sueño)
 - ↳ valores PICO → x0,707 p/ tener EFICAC'
- Tiempo de medición FINITO → se considera SEÑAL ESTACIONARIA (en decir q' el TR se REPITE desde $t=-\infty$ a $t+\infty$). A la vez, Fourier es MAS ADECUADO q' BARRIDO p/ señales c/ espectro (muestra estacionaria) VARIABLE. La FFT como auditador de MALLAS. Auditador DINAMICO de señas.

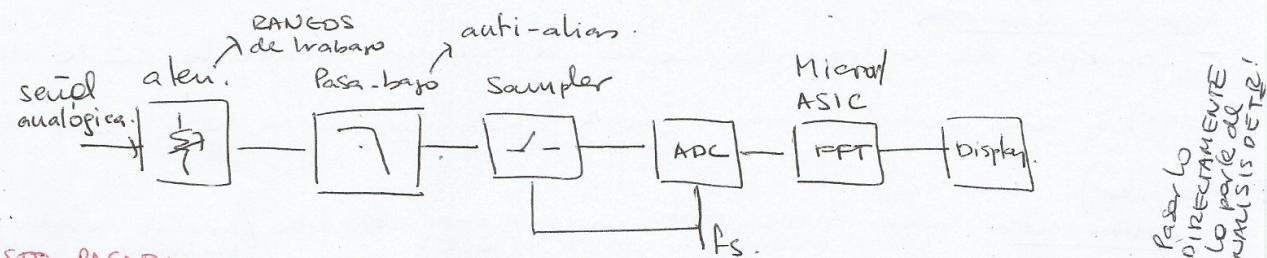
- Audit. de BANCO DE FILTROS us. FFT. RESOLUCION DE FRECUENCIA. (RBW) como FUNCION de f_s y N :

$$\text{Banco de filtros} \rightarrow RBW = f_{\text{max}} / N \quad (N = \# \text{ hilos})$$

$$\text{FFT} \rightarrow RBW = f_s / N \quad (\text{se verá luego en + detalle}) = \frac{1}{\text{TR}}$$

- CONCEPTO: de que SE NECESITAN TODAS las muestras del FFT p/ calcular CADA BIN o LINEA! Luego de lo tra. CARGA pueden tener una NUEVA FFT por cada muestra (muestra).

- ESQUEMA GENERAL del analizador - con parámetros de el analizador de hilos (unívoco efecto, pero MATEMATICAMENTE, con DSPs)



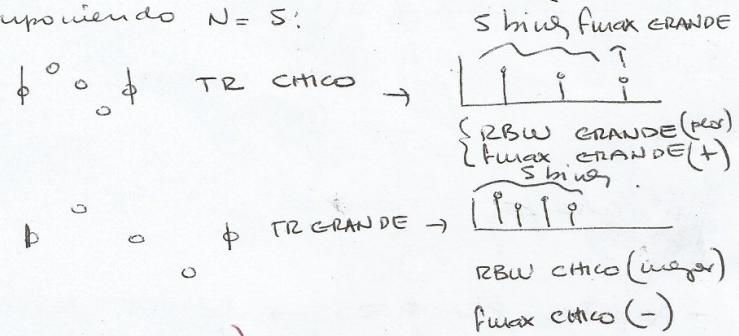
ESTO PASARLO A LA SEC. DE ANÁLISIS DE TR!

- INTRODUCCIÓN a los conceptos de TR, RBW y fmax (243):

$$f_{\text{max}} = \frac{\text{Factor } ①}{\text{Factor } ②} = \frac{N}{Z} \cdot \frac{1}{TR}$$

Suponiendo N = 5:

REC. de 1 linea
plegado (RBW)
(# BINES) (RBW)



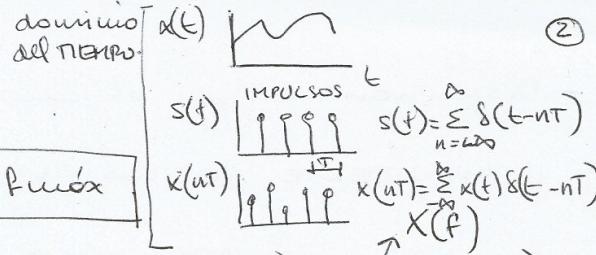
- N FIJO (si lo subo me VARIA EL COMPUTO).

- Si VARIO el PERÍODO DEL TR (regimen de muestreo), CAMBIO un fmax SIN cambiar N ⇒ hago q' las N muestras REPRESENTEN UN PERÍODO DE TIEMPO VARIABLE (FACTOR ②).

- P/ cubrir fmax MAYOR → muestreo +RAPIDO→ PERÍODO RBW

- P/ mejorar RBW → muestro MAS LENTO → PERÍODO fmax.

Muestreo / Digitalización



- Regla de Nyquist $\boxed{f_s > 2f_{\max}}$
- Función muestreo - espectro (f_s) (multiple impulsos separados f_s).
- Convolución con el espectro de señal $S(f) \Rightarrow$ el espectro original se REPITE alrededor de c/u impulso en frec.

FRECUENCIA DE PLEGADO $\boxed{f_f = \frac{f_s}{2}} \rightarrow$ relación con SIMETRÍA DEL

ESPECTRO . Aplicación de filtro Pb, SIEMPRE que el lado de espectro SIMÉTRICO NO INVADA la señal BASE :

$$\boxed{f_s \geq f_{\max} > f_f}$$

\downarrow

f_{\max}

f_f, f_s

$f_s - f_{\max} > \frac{f_s}{2}$

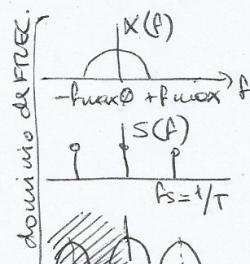
$f_s - \frac{f_s}{2} > f_{\max}$

$\frac{f_s}{2} > f_{\max}$

$\boxed{f_s > 2f_{\max}}$ Theorema del teorema del muestreo.

$f_f = \text{Frec. de PLEGADO} \rightarrow$ depende de f_s !

(no de f_{\max})



- DIBUJOS - ejemplos CON y SIN ALIAS. (distorsión "encimada" en dominios de FRECUENCIA US, TIEMPO) - caso $\begin{cases} f_s > f_{\max} \\ f_s = f_{\max} \\ f_s < f_{\max} \end{cases}$
- CONCEPTO** → el problema del alias es que NO SE PUEDE DIFERENCIAR DE LAS COMPONENTES ORIGINALES! (no lo puedo "filtrar")

- P/ EVITAR el alias \downarrow
- ② CONDICIONES
- NO debe haber componentes de entrada $> f_{\max}$ (deben ser ATENUADAS → FILTRO ANTI-ALIAS).
- la señal de entrada debe MUESTREARSE a una tasa de acuerdo al TEOREMA DEL MUESTREO.

- Discusión sobre el uso de $f_s > f_{\max}$ p/~~s~~ considerar la PENDIENTE DE LOS FILTROS REALES (lograr que a f_f le quede una ATENUACIÓN SUFFICIENTE) $\Rightarrow f_f = 2,5 \text{ a } 4 f_{\max}$.
- Esto TAMBIEN produce que MENOS DE $\left(\frac{N+1}{2}\right)$ BINES sean aprovechables (los superiores ya están ATENUADOS).

Registro de tiempo - análogo:

$$f_{\text{esc}} = RBW = \frac{1}{\text{long. TR [s]}} = \frac{1}{TR} \quad \Rightarrow \begin{array}{l} \text{Mayor registro de tiempo} \\ \text{menor mejor RESOLUCION} \end{array}$$

depende de { f_s
de muestras N }

$$f_{\text{esc}} = \frac{f_s}{N} \Rightarrow \boxed{\frac{f_B}{N} = \frac{1}{TR}}$$

frequency del bin $n \Rightarrow f_n = n \times \frac{1}{TR} = \frac{n \times f_s}{N}$

* PERO como solo aproveyo $\frac{N}{2}$ bins, tiempo ULTIMO BIN $\rightarrow \frac{N}{2} \cdot \frac{f_s}{N} = \boxed{\frac{f_s}{2}}$

BIN 0 \rightarrow CONTINUA	PROMEDIO de los señales en el TR (no se usa)
BIN 1 \rightarrow 1 ciclo / TR	
BIN 2 \rightarrow 2 ciclos / TR	
⋮	
BIN $\frac{N}{2}$ \rightarrow $\frac{N}{2}$ ciclos	

Control de RANGO DE FRECUENCIA (SPAN)

$$\text{Ancho} \times \frac{N}{2} \times \frac{1}{T_R} = \frac{N}{2} \cdot \cancel{T_R} \cdot RBW \quad (3)$$

$$= \frac{N}{2} \times \frac{f_s}{N}; \quad RBW = f_s$$

- La FFT trabaja en BANDA BASE (SIEMPRE comienza en 0 Hz).

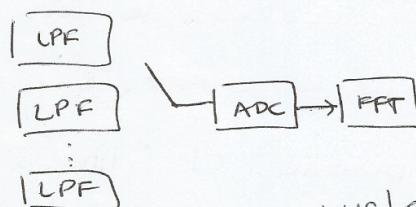
Para INCREMENTAR RESOLUCION las opciones teóricas son:

a) Aumentar N →
$$RBW = \frac{1}{N} \times \cancel{\frac{f_s}{T_R}}$$
. Esto afecta el TIEMPO DE COMPUTO de la FFT.

b) Reducir f_s →
$$RBW = \frac{1}{N} \times \cancel{f_s}$$
. Esto IMPLICARIA tener

MULTIPLES FILTROS ANTI-ALIAS, ya q' p/ una f_{max} ck, si BAJA

f_s tiempo que FILTRAR MAS ABJO:



Esto es MUY COSTOSO, ya que son FILTROS ANALÓGICOS

CON ROLL-OFF ELEVADO. Además, si tiempo > CANALES todos los filtros deben ser APAREADOS.

mejorar a f_s , poner filtos analógicos F1, ..., FN (DECIMADORES, DESTROZADORES)

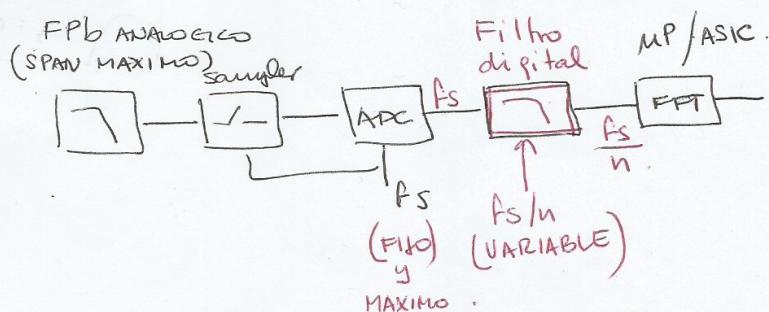
c) Una mejor opción es usar FILTROS DIGITALES con DOBLE

FUNCION:

- CORREN la frecuencia según la medida anti-alias

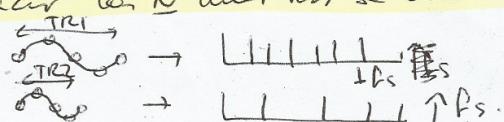
- DISMINUYEN el régimen de muestras a $\frac{f_s}{n}$ ($n = \text{ENTERO} =$

factor de DECIMACION).



[CONCEPTO] → ESTO es lo q' se usa en la PRACTICA!

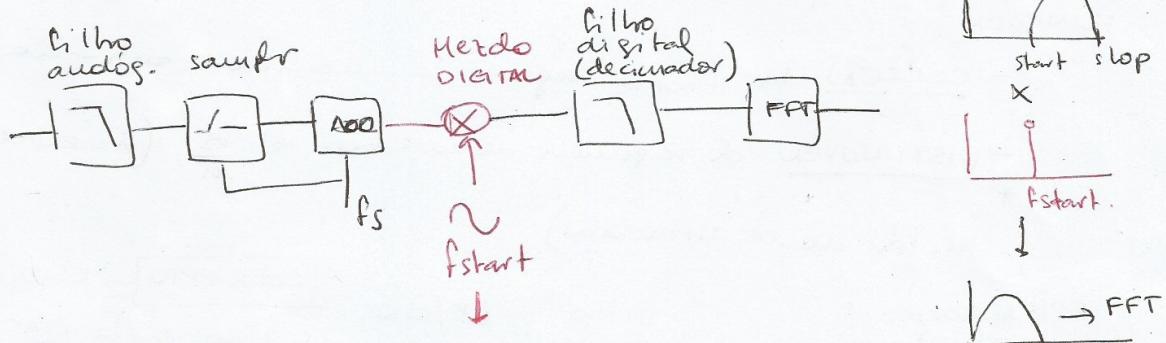
"A MAYOR SPAN, el TR es MAS CORTO → en decir los N muestras se toman en MENOR PERIODO ⇒ lo f_s es MAYOR".



ee-

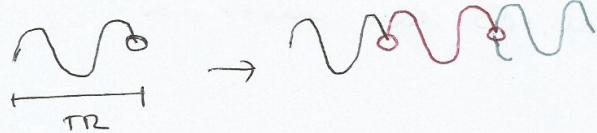
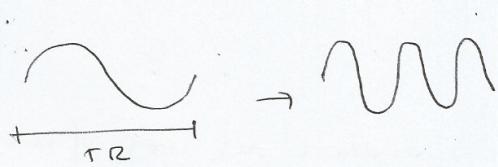
Análisis SELECCIONABLE EN BANDA ("zoom")

- Para la FFT, el contenido del rango de frecuencias es SIEMPRE DC, Debería bajarla si quiero MELJORAR RESOLUCIÓN (con N cle) d coste es UNA MENOR f_{max} (los del lab hacen esto? [K.p. si quieras una resoluc. RENGO QUE BAJAR f_{max}!] TENER BUENA).
- El ANÁLISIS SELECC. EN BANDA ("zoom") permite MELJORAR RESOLUCIÓN y ALA VEC TENER ALTA f_{max}. El RANGO DE FREQS se REDUCE, al igual que antes, pero ALREDEDOR DE UNA FREC CEN MAC CTE. \Rightarrow BANDAS ANTOJOS FUERA DE DC.
- Procedimiento \rightarrow SE MIDE LA SALIDA DEL ADC CON UNA SENOIDE COMPLEJA, ~~AT~~ TRANSPORTANDO TODO EL RANGO DE FRECS. DE INTERÉS A LA ZONA DC - f_{max} q' SOporta la FFT ("banda base"). Esto es un HETERODINAJE DIGITAL. El filtro, a su vez, se agrega como antes p/ el rango de frecs. deseado.



Fuga Espectral

- La FFT se basa en las mejoras del REG. DE TIEMPO (FINITO) y supone q el enfoque se REPITE desde $t = -\infty$ a $t = \infty$ p/ APROXIMAR la func. de Routhier. Se dan dos casos:



Entra un MULTIPLO ENTERO de longs de onda \rightarrow la FFT

aproxima MUY BIEN a Routhier

+
1 LINEA en frec.

Discontinuidades \rightarrow TRANSITORIOS.

La FFT NO approxima bien a Routhier.



DRENAGE o FUGA ESPECTRAL \rightarrow la linea se ENSANCHA.

- Como en lo anterior hay un RANGO DE FRECS, el operador NO TIENE CONTROL sobre esto.

\Rightarrow se FUERZA q la onda tenga el MISMO VALOR $R=0$ en los extremos.

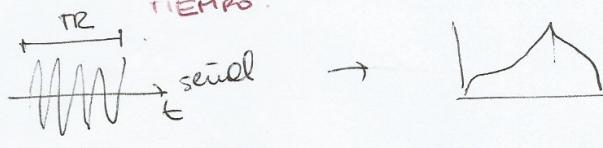
\Rightarrow multiplico el TR por una FUNCION VENTANA. Hay varios tipos

HANNING (Hann): de unos muy cortos, SUAVE TRANSICION en los extremos del TR.

BUENA RESOLUCION DE FREC.

EXACTITUD DE AMPLITUD REDUCIDA.

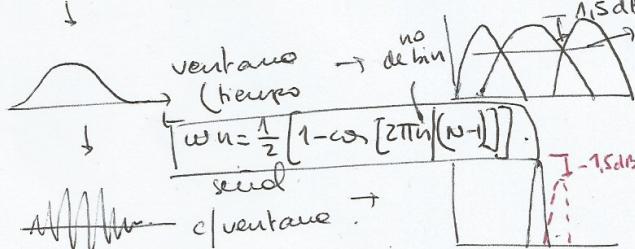
TIEMPO.



CONCEPTO:

según DONDE CAIGA MISÉNAL, puedo tener un ERROR DE HASTA

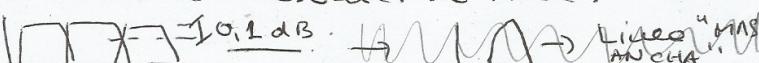
1,5 dB en la amplitud del fondo!



FLATTOP (Plano) \rightarrow reduce la profundidad entre bins, mejorando la exactitud en componentes q caigan ENTRE CENTROS de los bin

Pero se SOLAPAN MAS, reduciendo la RESOLUC. DE FREC.

Aplicacion \rightarrow distorsion ARMONICA.



UNIFORME → AUSENCIA DE VENTANA. Sirve cuando la señal tiene DE POR SI el MISMO valor en los extremos del TR ("AUTO-VENTANA")

Ejemplos: pseudo-nido aleatorio (PRN), Ráfagas suicidas (burst), impulsos, suicidas amortiguados. Cuando se usa el grader de PRN del analizador.

EXPONENCIAL → para aproximar la capacidad del FPT p/ medir TRANSITORIOS RÁPIDOS (ya q' no basta) → respuestas al impulso de media, décimas o décimas.

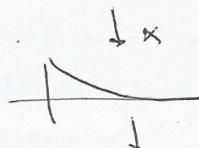
- Un transitorio PUEDE SER AUTOVENTANA (si se dirige) o NO.
Ponte ultimo como NO se puede usar p. ej. Manning ya q' aténiese AMBOS EXTREMOS! ⇒ se usa EXPONENCIAL (en el rango).



TRANSITORIO
AUTO-VENTANA



TRANSITORIO
NO-AUTOVENT.



$$w_n = e^{-n(N-1)K} \quad \text{ele de tiempo}$$



Aplicaciones del Analizador de Fourier

(COMPLETAR CON
LIBRO WITTE)

(S)

a) En FRECUENCIA.

Spectrum & Network Measurements

- Caracterización de osciladores

- Se analiza especialmente la DISTORSIÓN ARMÓNICA.
- - ajuste de SENSIBILIDAD → sin SOBRECARGA (si supera el rango del AD)
 ↳ hay MUCHA distorsión
- - sin INFRA-CARGA (mucho información perdida)
 ↳ debajo del RANGO DEL AUDÍCIO
- SE AJUSTA AL RANGO MÁS SENSIBLE QUE NO SOBRECARGUE.
- se suele elegir ESCALA LOGARÍTMICA p/ ver los productos de distorsión más pequeños.

- Uso de PANTALLA EN DOMINIO DEL TIEMPO

- Es útil pero EXISTEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS RESPECTO A UN OSCILOSCOPIO.
- El REGIMEN DE MUESTREO se ajusta para la FFT ($n = 2,5$ fmax). Con esta tasa, la forma de onda en el tiempo no se asemeja a lo real. Los osciloscopios toman MÁS MUESTRAS y PROCESAMIENTO ADICIONAL DE LA FORMA. Además, cuando se hace análisis selecc. en banda (BSA), la onda es COMPLEJA y se dificulta su análisis en el tiempo.

- Mediciones de MUELLAS

- Un método p/ medir muelle aplica una SINUSOIDAL a diferentes frecuencias y obtiene la respuesta a la onda de la muelle. Si medimos con FFT, esto BARRE LOS FILTROS PARALELOS SECUENCIALMENTE, perjudicando la velocidad propia del analizador.
- Si suministras una SEÑAL QUE ENTREGUE ENERGÍA SIMULTÁNEAMENTE

a code bin, puedo hacer la medición en PARALELO. Para ello uso RUIDO ALEATORIO → el PRN que genera señas de AMP CTE, aleatoriamente mezcladas en frec., las cuales son TODAS AUTO-VENTANA.

- el PRN se SINCRONIZA con el TR de modo de NO PRODUCIR DRENAGE.
⇒ se usa VENTANA UNIFORME.

• para MALLAS NO LINEALES se usa RUIDO VERDADERO.

- en general, la resp. en frecuencia depende TANTO de lo malla como del ESTIMULO. X lo tanto, se suele ensayar cf un estímulo parecido al utilizado en SERVICIO! → NO SE, Rabinovich dice q' depende solo de la malla! (serio muy lógico).

Ver LINEAL/NO LINEAL!

- Mediciones de FASE

- en realidad, el análisis de malla se debe redituar en MAGNITUD y en FASE. La FFT provee ambos (puntos COMPLEJOS).

"FASE" → DIFERENCIA de fase entrado-salido ⇒ el analiz. puede indicar dos entradas p/ borrar esta diferencia.

- para ~~las~~ MEDICIONES DE ESPECTRO (SOLO SALIDA), no pregunta "FASE RESPECTO A QUÉ?". La fase medida DEPENDE DE LA POSICION EN, EL TR. Se usa p/ ello una ENTRADA DE CALIDAD (como en los oscilloscopios).

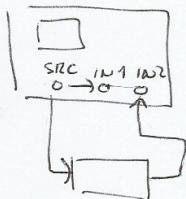
- Mapas especkulares

- Muestra la VARIACION DEL ESPECTRO EN FUNCION DEL TIEMPO.
Es un caract. UNICO del analiz. FFT, ya q' ~~los~~ los de bandas pueden perder percepción de onda cuando barren.

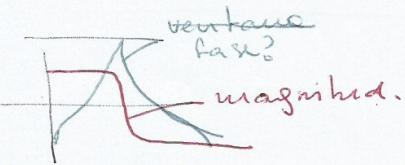
• Caracterización de Filtros (en BAJA FRECUENCIA).

6 ⑥

- como el filtro es LINEAL, se puede usar PRN a su entrada. El ensayo es RÁPIDO, con voltaje UNIFORME y SIN PROMEDIACIÓN (respecto al VNA). Se debe ajustar bien la SENSIBILIDAD.



→

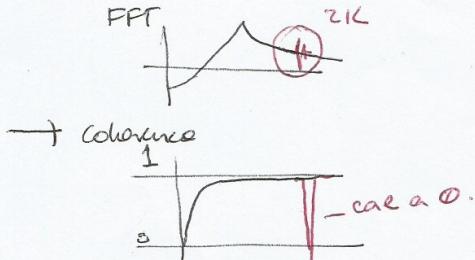
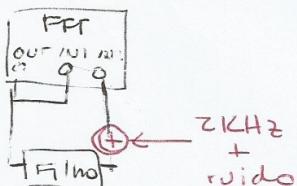


• Coherencia.

- Se usa cuando existe posibilidad de PERTURBACIONES q' afecten un señal de salida, ya q' la medición no se puede AISLAR. (por EJEMPLO, si quiero medir la RENF de una máquina sometida a vibración de OTRA MAQUINA).

- El valor de la función COHERENCIA es ADIMENSIONAL, e indica CUANTO DE LA POTENCIA DE SALIDA es causado (\equiv en coherente) por la excitación de entrada. El valor va de 0 a 1.

Ejemplo: un filtro al que ARTIFICIAMENTE se le agrega RUÍDO y una SENOIDAL DE 2KHz a lo salida \Rightarrow la COHERENCIA CAE A 0 en 2 KHz.



Se puede aplicar esto a CUALQUIER DISPOSITIVO LINEAL (o sea q' se puede evaluar con PRN).

b) En el dominio del TIEMPO (las obtiene ANITRANSFORMANDO)

- CORRELACION

- es una medida de la SIMILITUD ENTRE 2 CANTIDADES (2 SEÑALES).
- Si tengo $x(t)$ y $x(t+\tau)$, los multiplico y sumo los productos. Si lo sumo en MAXIMA si ambas son IDENTICAS, y desde allí va disminuyendo.
- Si tengo la MISMA SEÑAL DEFASADA, la correlación DECRECE AL AUMENTAR EL DEFASAJE.

- AUTO-CORRELACION

- Se DIVIDE la correlación de una señal defasada τ por el uno de producto, y se grafico como FUNCION DEL DEFASAJE. Esto es la AUTO-CORRELACION.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt$$

- Si $x(t)$ es periodico, $R_{xx}(\tau)$ TAMBIEN lo es con el mismo PERIODO.
El Ruido Aleatorio solo CORRELACIONA en $\tau=0$; esto se usa por ej. para MEJORAR LA SNR DE SEÑALES PERIODICAS, o EXTRAYER UNA SEÑAL OCULTA EN EL RUIDO \rightarrow la DIFERENCIA del PROMEDIADO en τ de la AUTOCORR. NO REQUIERE SINCRONISMO!
- Ejemplo gráfico: autocorr. del RUIDO, SENOIDAL, CUADRADA, señal oculta en ruido

- Correlación cruzada.

(+)

- mide la similitud entre 2 SEÑALES NO IDÉNTICAS en función de su desfasaje. Si la misma señal está presente en ambas otra parte se refuerza, mientras que se reduce el ruido. Por ej. se usa para reducir el ruido en audios de audio, correlacionando la SALIDA con la ENTRADA (en ruido). Donde la ~~correlación~~ es MINIMA está la interferencia/ruido.

$$R_{xy} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T x(t) y(t+\tau) dt$$

{ desfasaje }

Análisis de banda en tiempo real

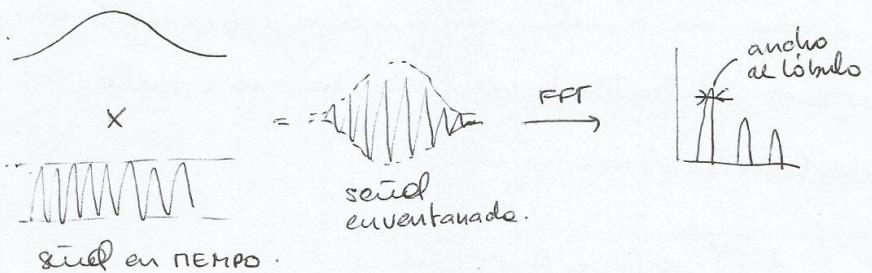
Ventanas

Hanning } general
Flat top }
Rectangular } especial
Exponencial }

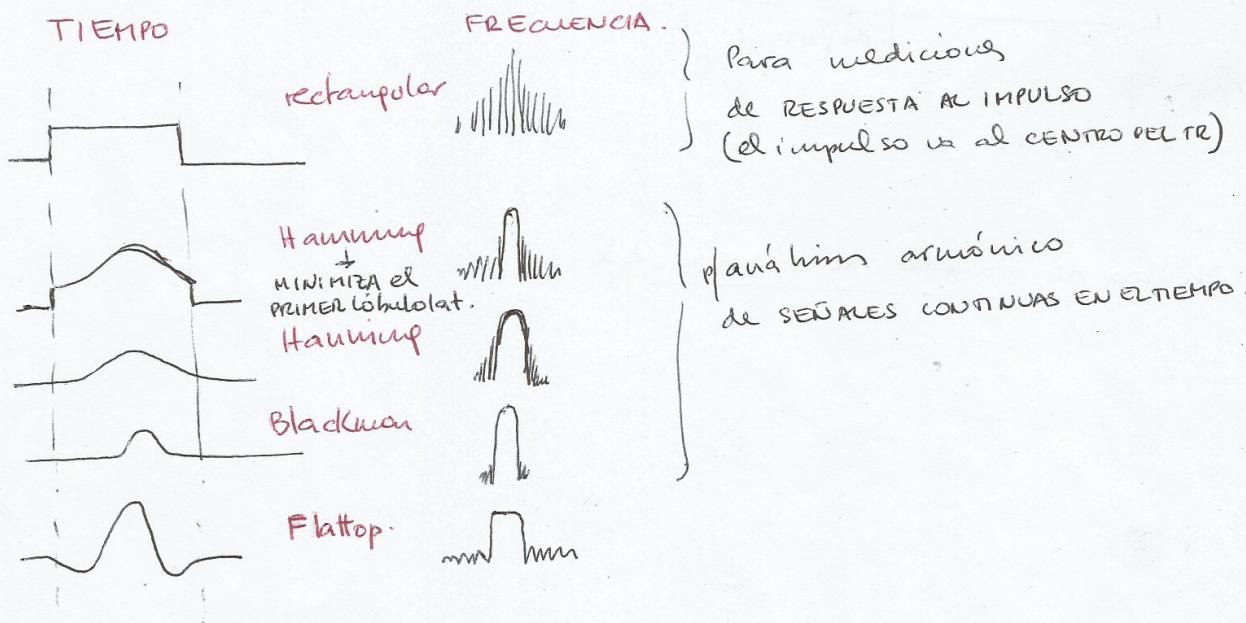
decreasing freq. resol.,
increasing lobe width.

En gral se unen 4 tipos gral: Rectangular, Hanning, Hamming,
y Blackman/Harris. (Según nota TEK)

window



señal en TIEMPO



Relac. tasa de muestreo/base de tiempo vs. f_{max} / freq. resolution.

(analog a Apilant)

sampling rate f_s

- Resoluc. de frecuencia \rightarrow de peu de de # de puntos N

- Esto a su vez depende de la BASE DE TIEMPO seleccionado, t_{esc} .

que afecta f_{max} y ~~bin~~ (bin).

(TR)

- La FFT se toma sobre lo PRESENTADO EN PANTALLA, que puede NO COINCIDIR con todo el record del osciloscopio.

$f_{eff} = \text{eff. sampling rate} =$