

**Curso de Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear 2026**

# **Introducción a los sistemas de adquisición de datos: conceptos básicos y filtrado de señales**

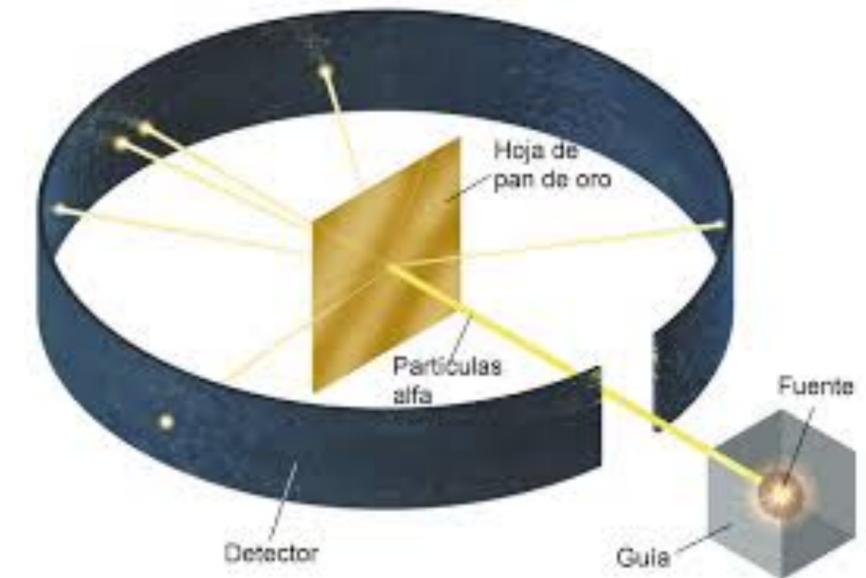
**Jorge Agramunt Ros**

# Objetivos

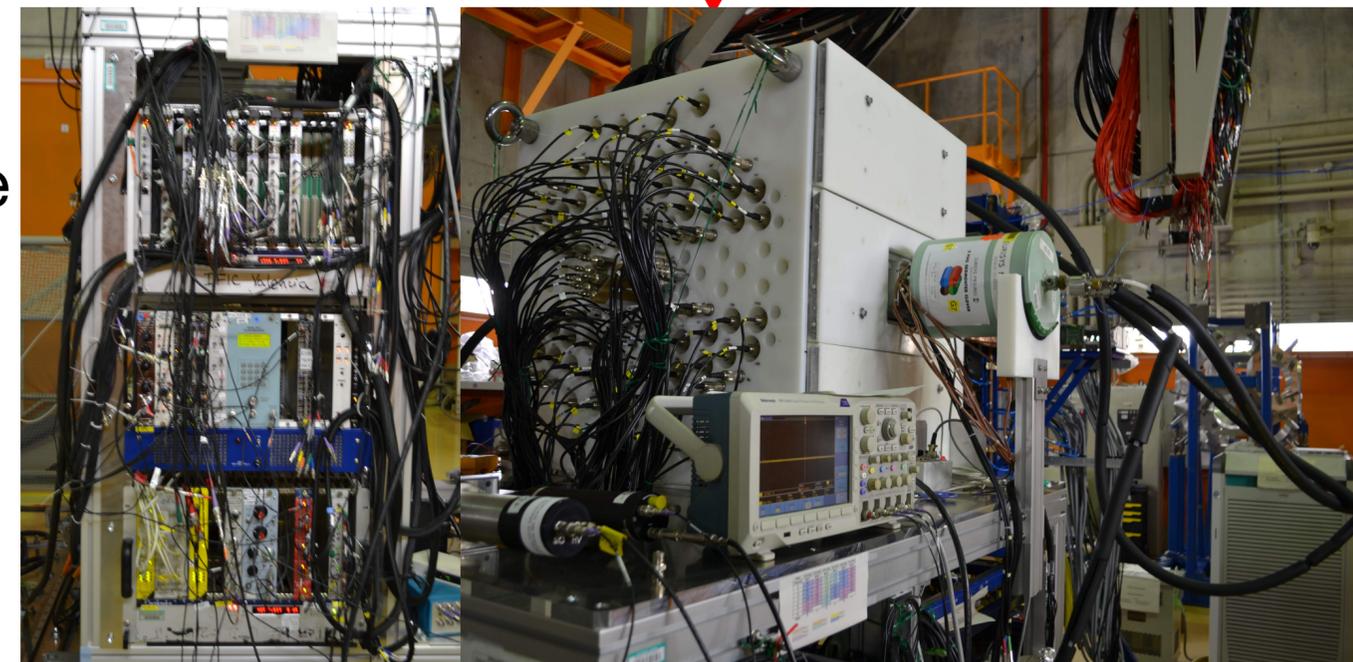
- Entender conceptos básicos relacionados con la adquisición de datos
- Ver la necesidad del procesado/filtrado de señal
- Entender conceptos del filtrado de señales tanto digital como analógico
- Entender las limitaciones del ancho de banda
- Conocer los distintos tipos de digitalizadores
- Tener una visión de los componentes de un sistema de adquisición complejo

# Introducción

- Cualquier toma de datos se hace mediante un sistema de adquisición de datos
  - Un estudiante con un lápiz mirando una pantalla de fósforo
  - Millones de ASICs y FPGAs conectadas a grandes granjas de PCs
- Es una cuestión de escala, los siguientes factores van a definir nuestras necesidades
  - El número de datos que se toman y su frecuencia
  - La precisión temporal y “energética” requerida.
- A la hora de diseñar un DAQ hay que tener en cuenta que vamos a medir

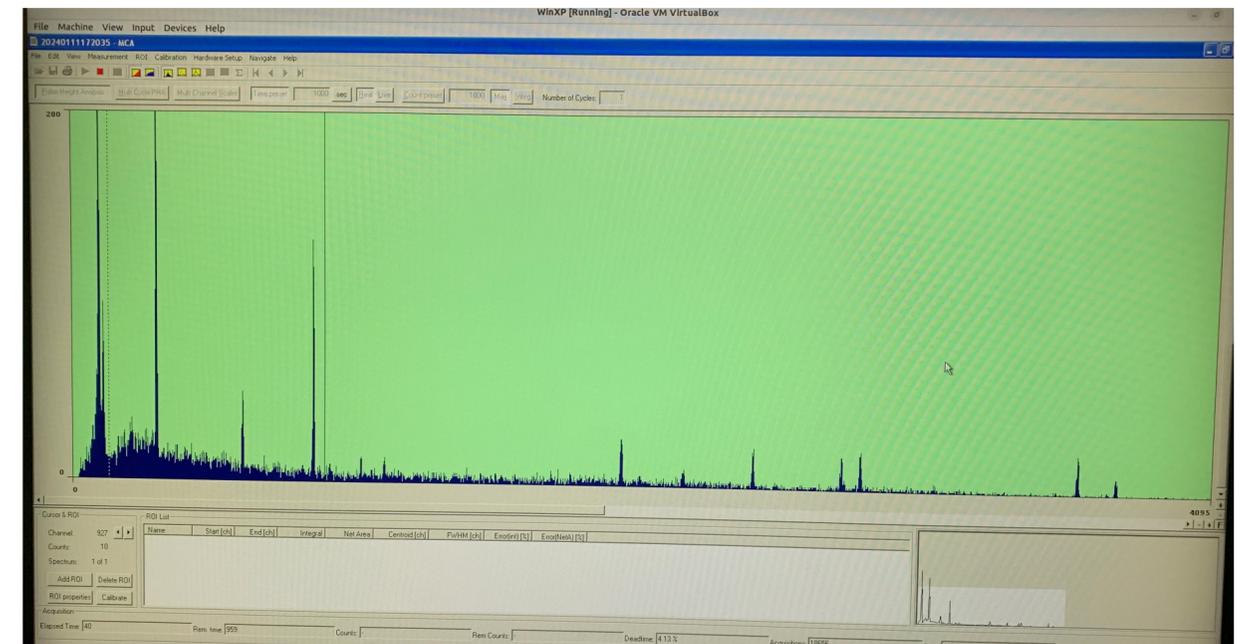


110 años después



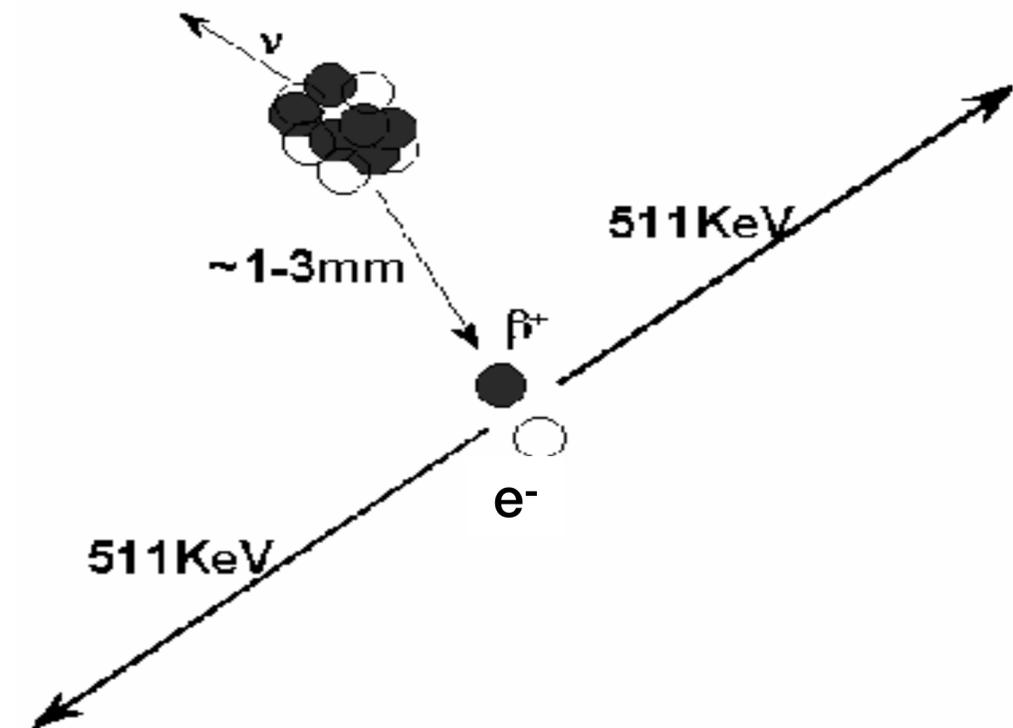
# Generalidades

- Un simple MCA puede ser un DAQ adecuado dependiendo de lo que queramos medir
- Ejemplo:
  - Determinación de las proporciones de elementos radioactivos en una muestra:
    - Un MCA con un HPGe podría servir
    - Sencillo y fácil de usar
    - No hay que matar moscas a cañonazos



# Generalidades

- Detección de la desintegración de un positrón para un PET:
  - Dos detectores...
  - ¿Servirían dos MCA ampliando el caso anterior?
  - ¿Qué faltaría?

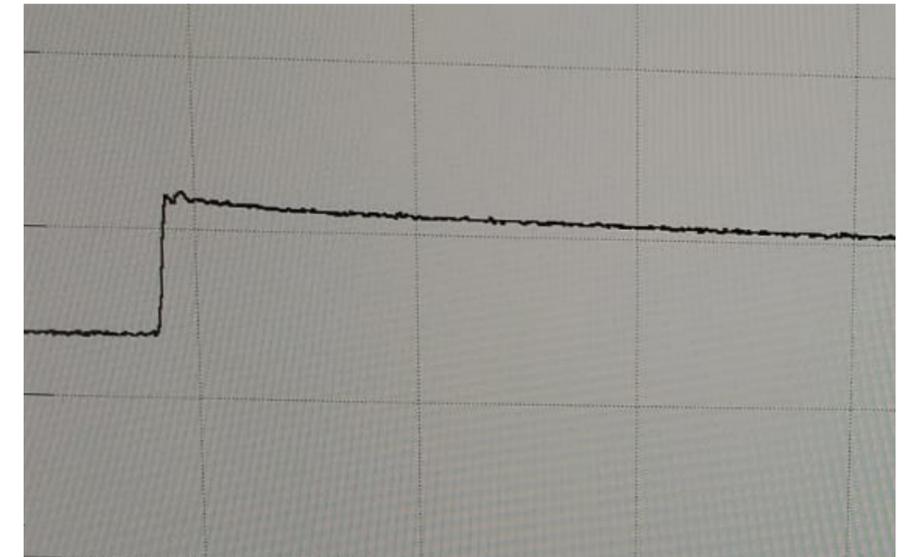
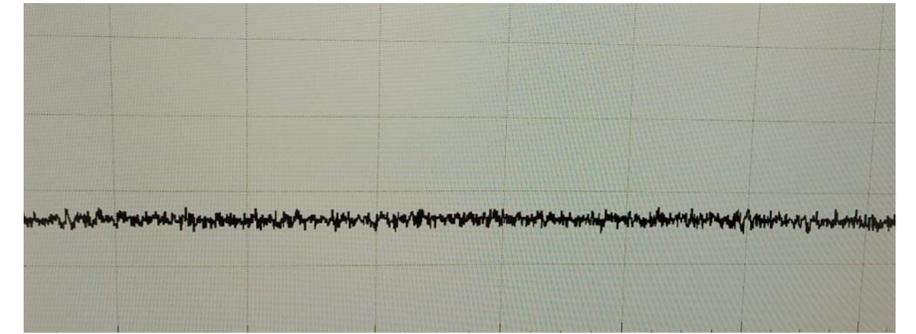


# Definiciones

- ¿Qué es una señal?
- ¿Qué es un dato?
- ¿Qué es un evento en el contexto de la física?
- ¿Y en el de la electrónica?
- ¿Y en el informático?
- ¿Qué consigo con dos MCA?
- ¿Y con dos osciloscópios?
- ¿Qué me falta?
  - Con un osciloscopio de al menos dos canales
  - Un DAQ con tiempos compartidos

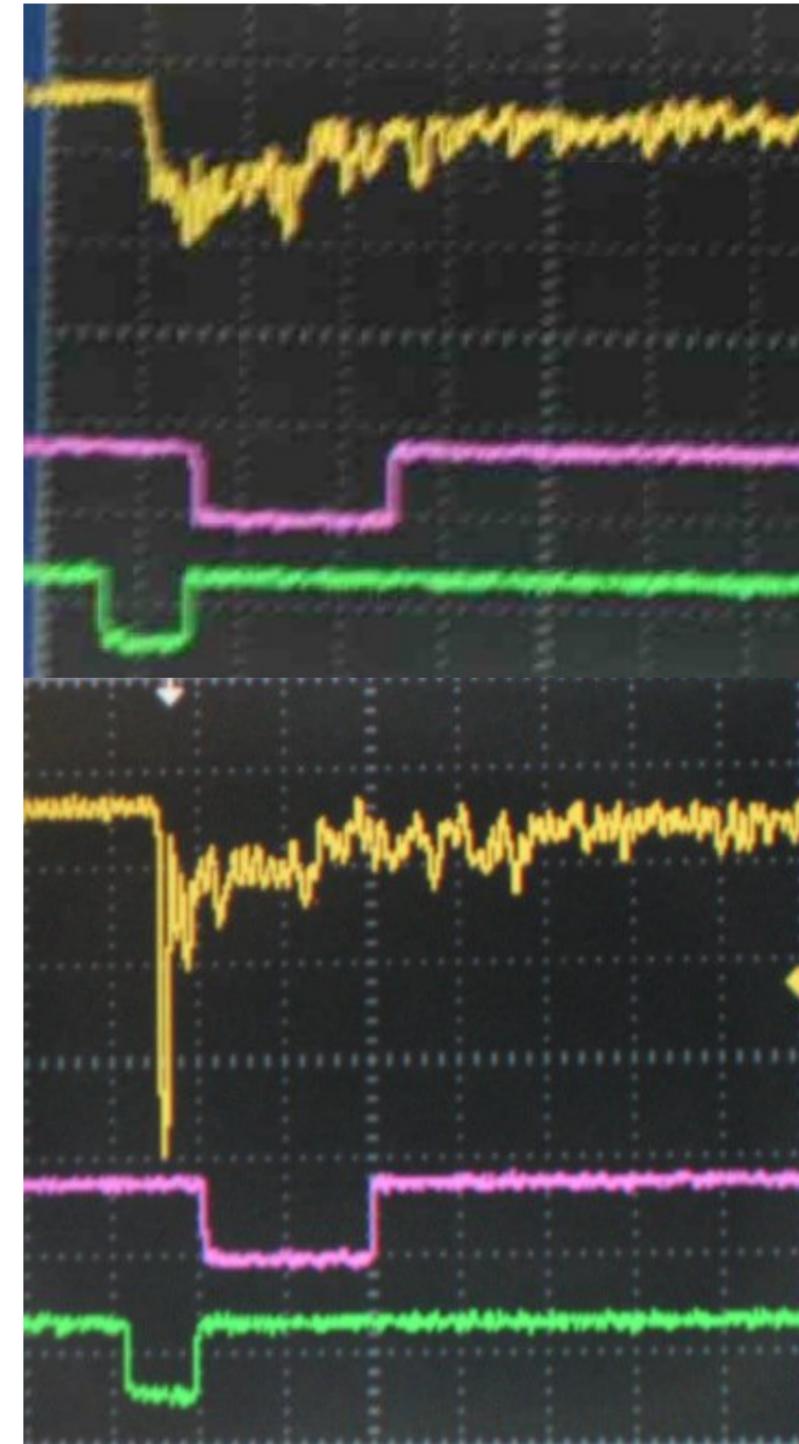
# Definiciones

- Señal:
  - Variación del voltaje proveniente de un detector
    - No deseada:
      - Producida por ruido eléctrico del ambiente o del propio detector
      - Producida por el fondo
      - por sucesos que no son los deseados
    - Deseada:
      - Producida por la interacción de mi detector con el elemento que esta destinado a detectar.



# Definiciones

- Señal:
  - Contiene mucha más información que sólo la energía de la partícula
    - Por la carga: Energía
    - Por el momento: Tiempo
    - Por la forma: Tipo de partícula (en ocasiones)
- Dato:
  - Información obtenida de la señal de un detector, ya sea correspondiente a la energía, al tiempo, a forma o a todas ellas



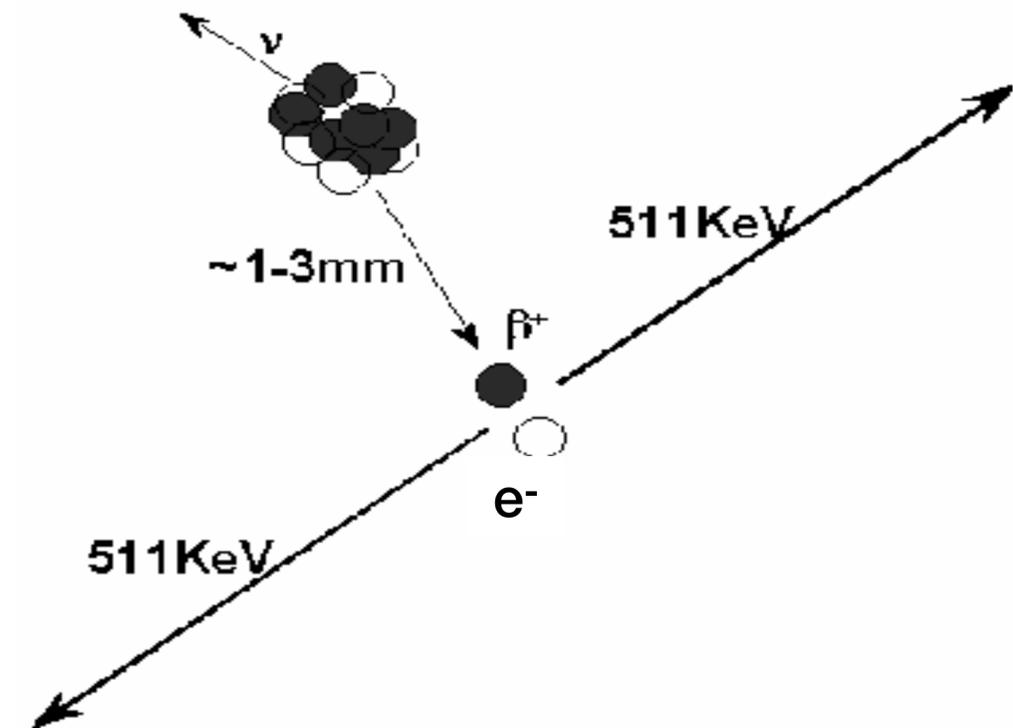
# Definiciones

- Tiempo muerto:
  - Tiempo en el cual el sistema de adquisición no está en disposición de tomar datos, fundamentalmente por estar en un proceso de lectura
- Trigger:
  - Condición que determina la toma de datos
  - Cuando se cumplen unas condiciones mínimas de interés se inicia la toma de datos
  - Reduce la toma de eventos sin interés, con lo que influye en el tiempo muerto

# Definiciones

## Evento físico:

- Suceso físico de interés en mi estudio
- En nuestro caso: una desintegración que emite una serie de radiaciones.
- No tiene tiempo muerto
- Suele producirse de forma aleatoria en el tiempo
- La detección de los productos del suceso no es del 100%



# Definiciones

## Evento electrónico

- Una serie de condiciones lógicas desencadenan la toma de datos
- Esta afectado por el tiempo en el que el sistema no esta disponible para leer datos (tiempo muerto)
- No todos los eventos físicos serán leídos (incluso aunque sean detectados)
- Limitar las condiciones para leer los datos optimiza el sistema al reducir las lecturas no deseadas

# Definiciones

## Evento informático

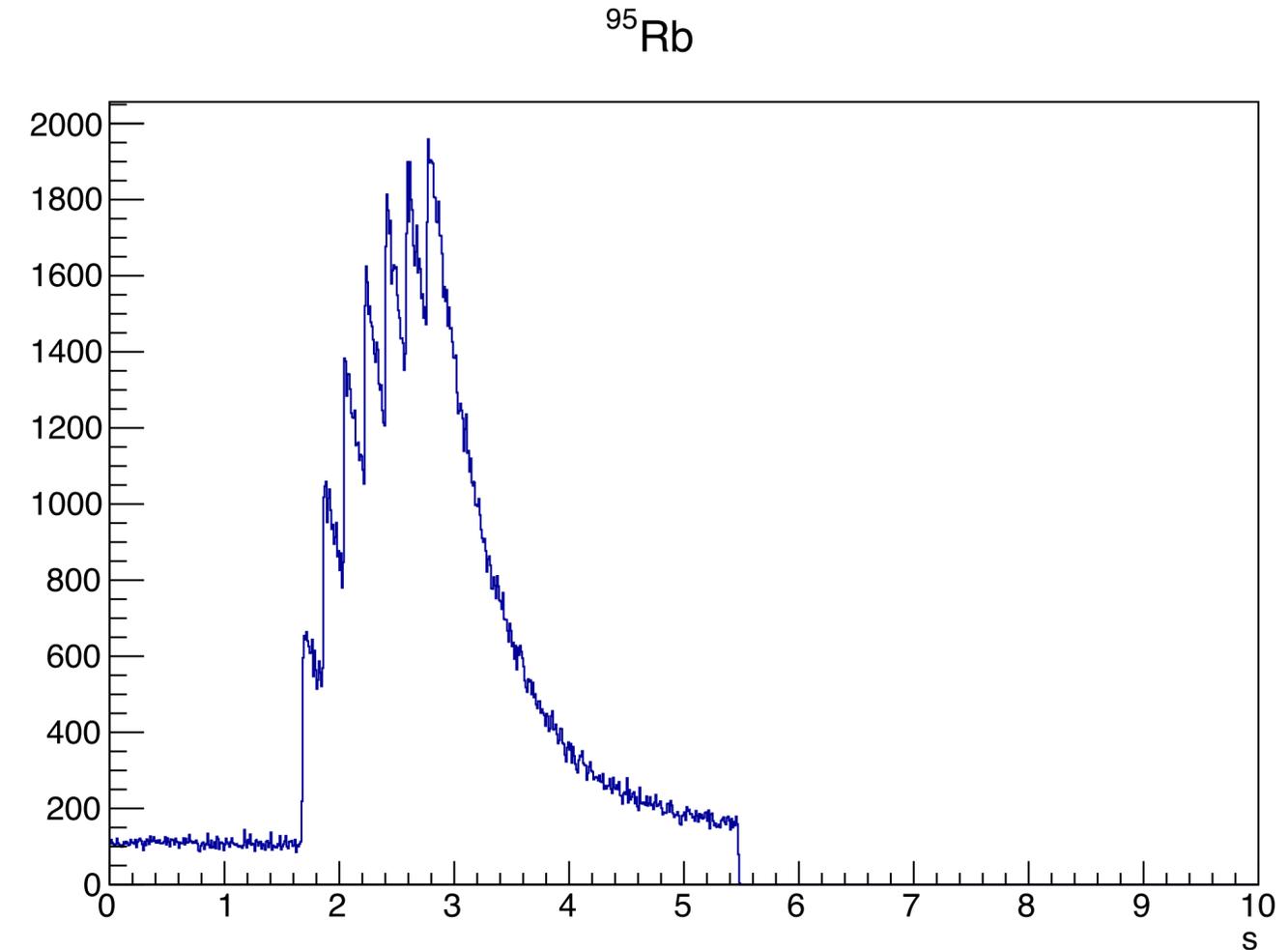
- Conjunto de datos que vienen agrupados en una lectura
- Este conjunto puede coincidir con eventos físicos o electrónicos, o no
- Estos eventos deben ser mínimamente tratados para almacenarlos
- La parte informática también contribuirá al tiempo muerto

# Definiciones: Para que

- Para experimentos mínimamente complejos requeriremos detectar varias señales con una información temporal relativa entre ellas (al menos)
- No solo es importante la determinación de la energía de las radiaciones que detectamos sino también su tiempo. Y en ocasiones la forma del pulso (o algo que relativo a ella que nos permita identificar la partícula detectada)
- Esto nos lleva al tipo de tiempo y a cómo lo determinamos

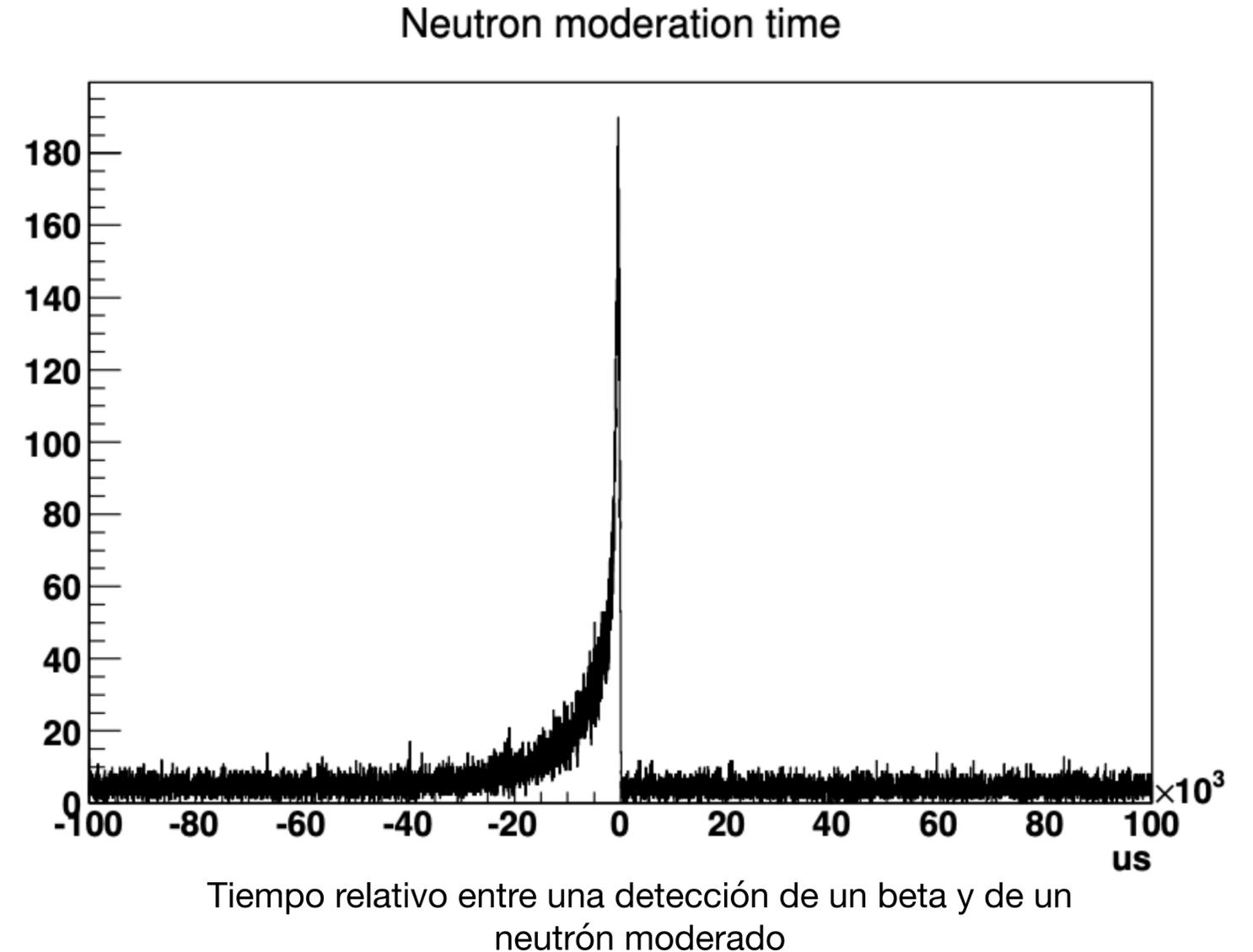
# Tiempo absoluto

- Tiempo medido desde un punto de referencia común a todos los detectores con un punto de inicio arbitrario mediante una marca de tiempo o *Timestamp*.
  - Reinicio DAQ
  - Una señal de reinicio de tiempo enviada al DAQ
  - Tiempo POSIX UTC (1/1/1970)
- Nos permite visualizar una evolución temporal



# Tiempo relativo

- Generalmente conocido como TAC
- Diferencia de tiempo entre dos datos
- Nos permite seleccionar partículas que se emitieron simultáneamente

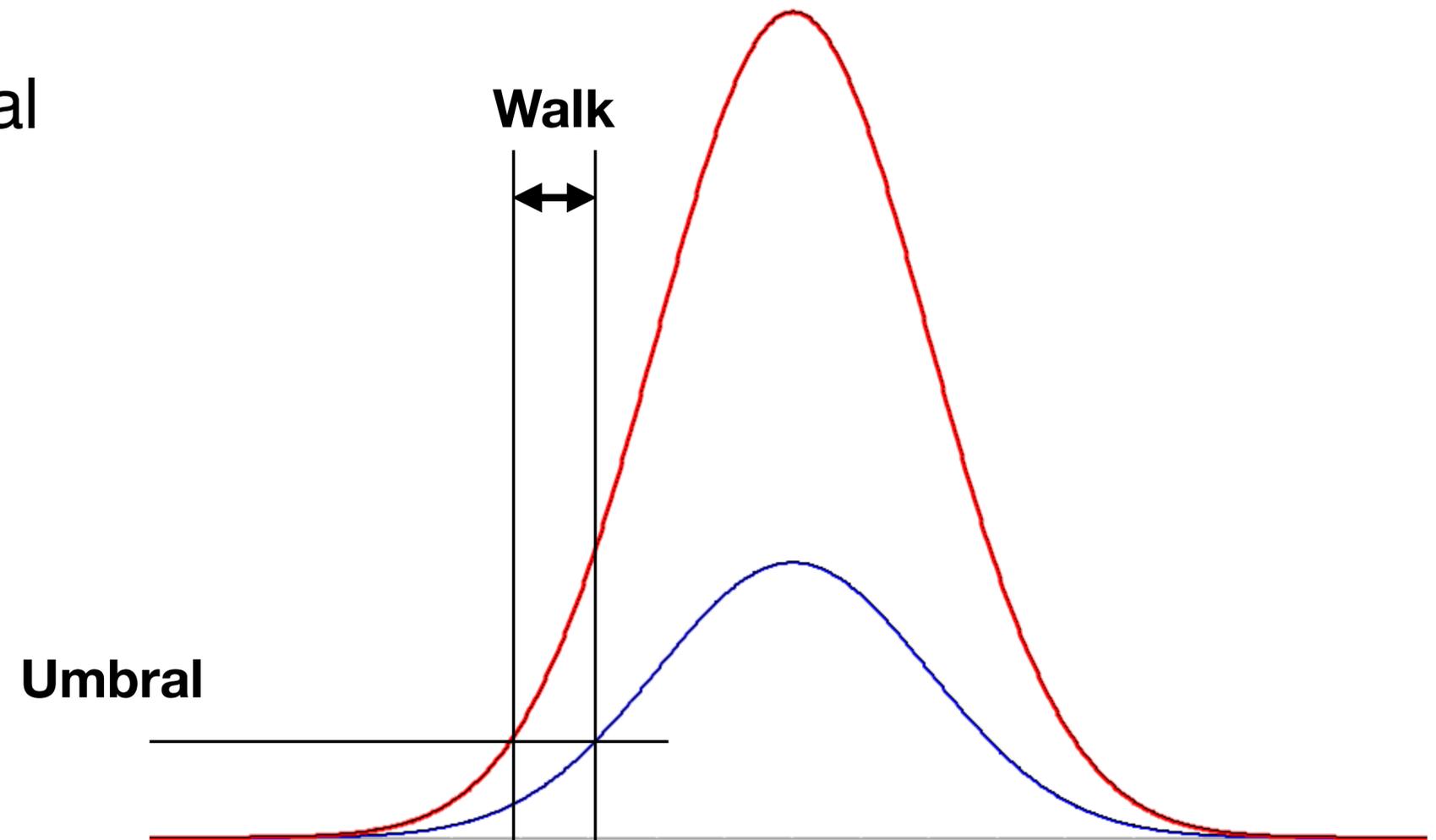


# Determinación del tiempo

- Ya sea el tiempo relativo o el tiempo absoluto, es necesario determinar en que momento de la señal consideramos que ha ocurrido la detección
- Es importante destacar que en la determinación del tiempo las variaciones fijas “Offset” de cada señal no nos preocupan, sino que es la indeterminación del momento de detección “Jitter” lo que nos afecta a la resolución
- Generalmente se filtra previamente la señal (lo veremos más adelante en el apartado de filtrado)

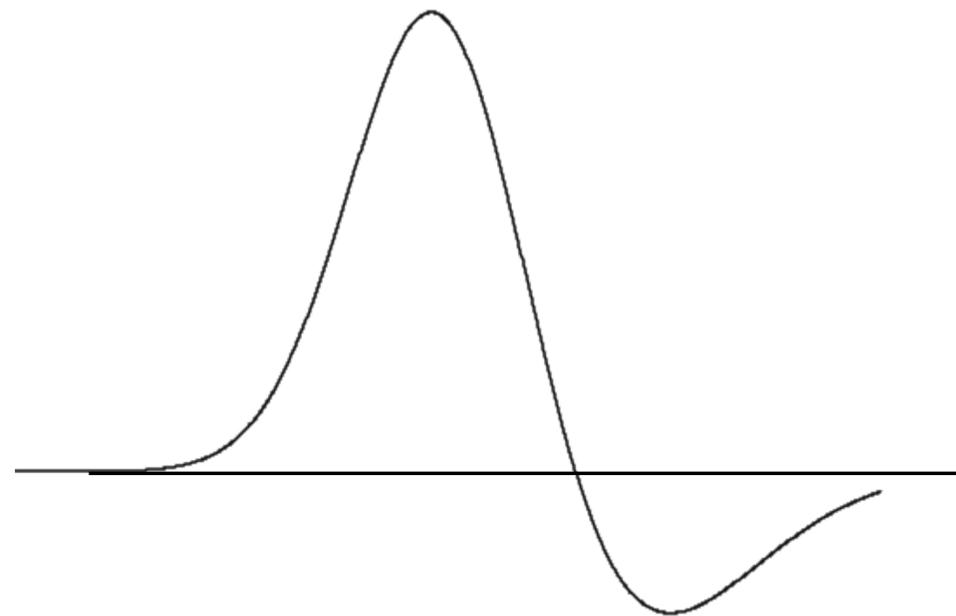
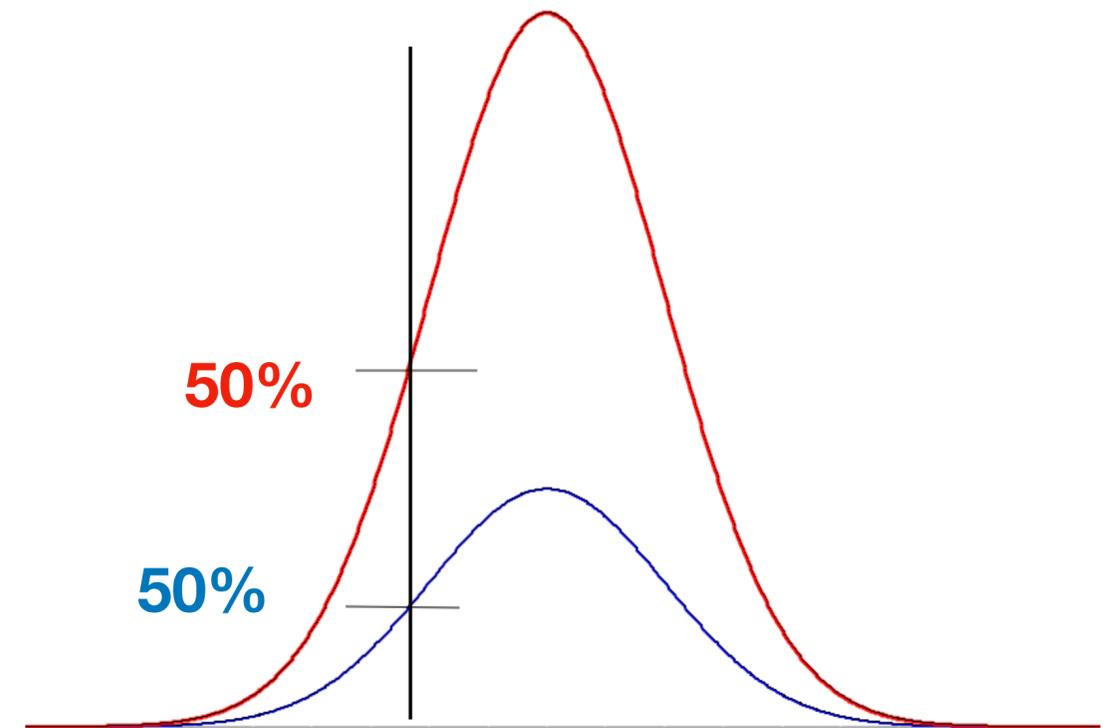
# Formas de asignar tiempo a una señal

- Leading edge:
  - Cuando la señal supera un determinado umbral
  - Problema: “Walk” de la señal



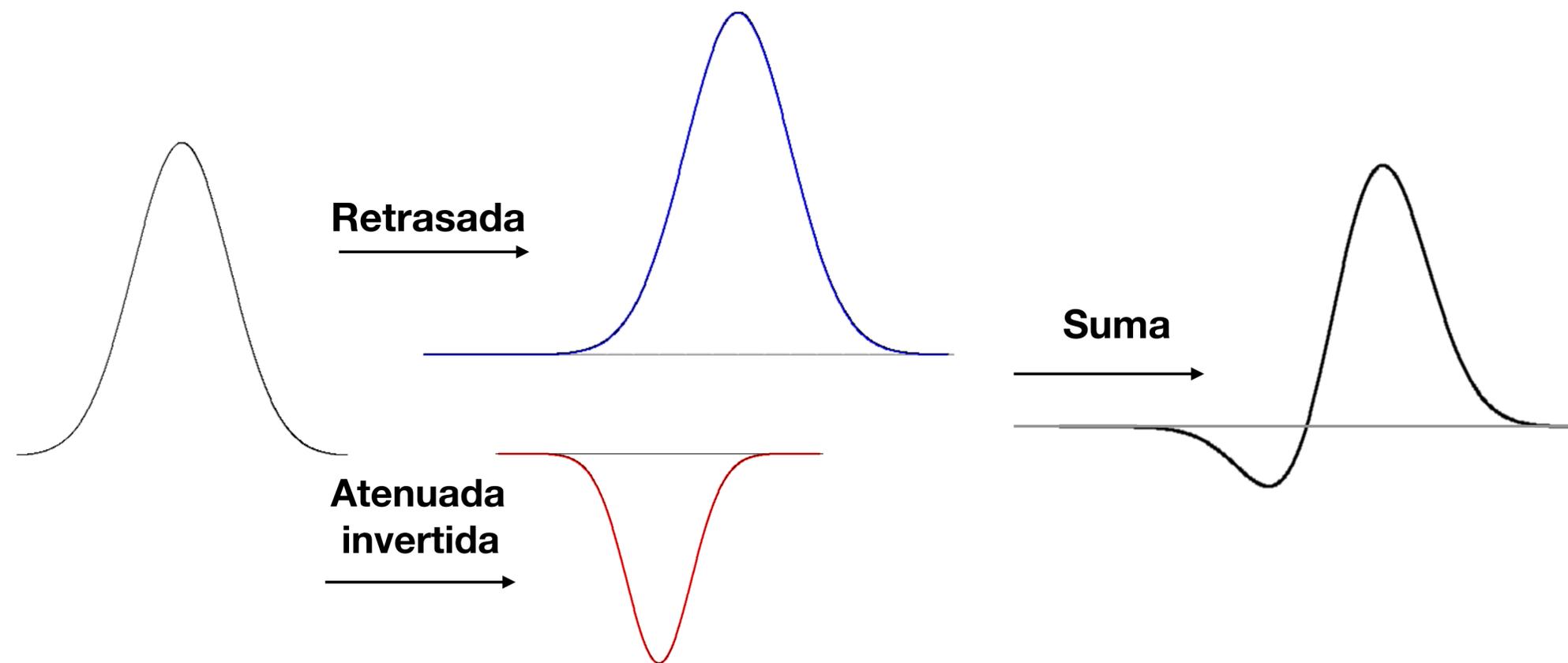
# Formas de asignar tiempo a una señal

- Fracción constante:
  - Cuando la señal sobrepasa una fracción del máximo
- Cruce por cero de una señal bipolar:
  - Mediante un filtro RC-CR2 se construye una señal bipolar



# Formas de asignar tiempo a una señal

- Cruce por cero CF “Constant fraction” discriminator:
  - Se divide la señal
  - Se atenúa y se invierte una
  - se retrasa la otra y se suman
  - el cruce por cero de dicha operación se produce siempre en la misma fracción de la señal.



# Recapitulación

- Dato
- Evento
- Tiempo
- Trigger

# Tratamiento de señal

# Filtrado de señales

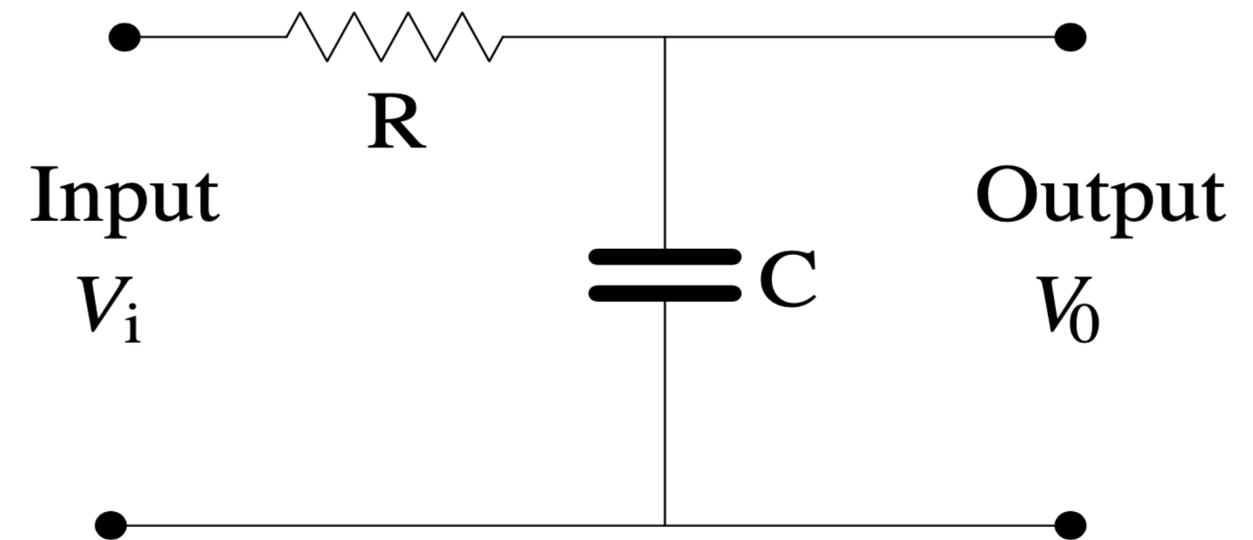
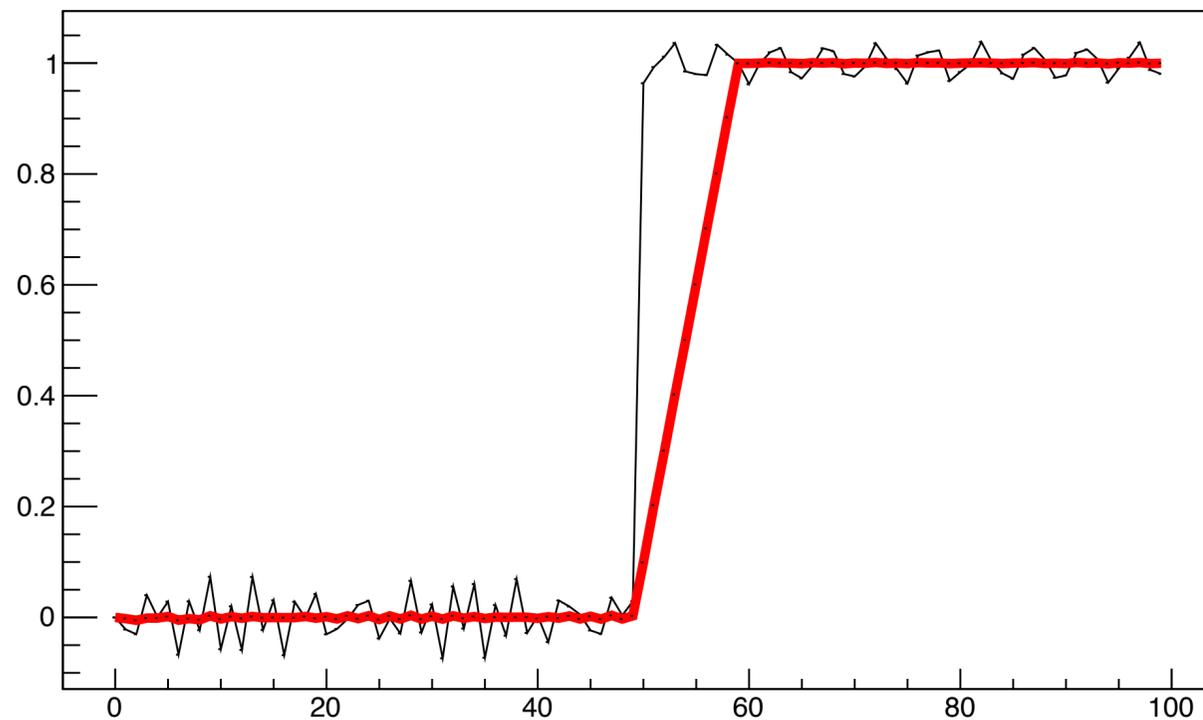
- Como ya hemos visto de una señal podemos sacar varios datos
- Cuidado, si filtramos podemos perder la información (necesaria para la identificación la forma del pulso, por ejemplo)
- La información de la energía esta en la carga-> la integral de la señal -> Proporcional a la altura (en muchas ocasiones)-> En un mundo ideal, no necesito más
- ¿Para que filtramos?

# Filtrado de señales

- ¿Para que filtramos?
  - Oscilaciones de la línea base
  - Oscilaciones de la señal por ruido de alta frecuencia.
  - Longitud excesiva de algunas señales
- Los filtros, ya sean analógicos o digitales hacen la misma función.

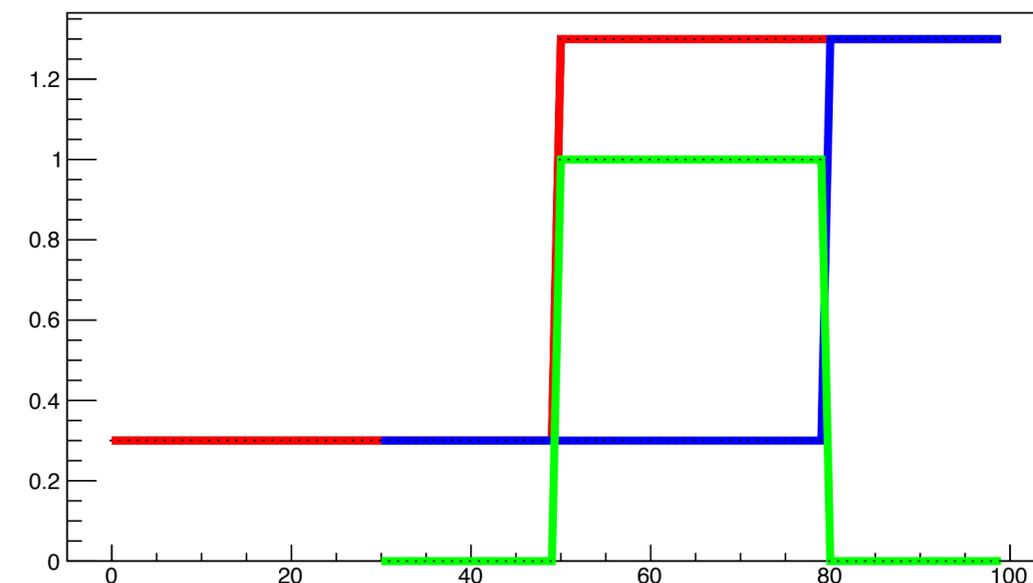
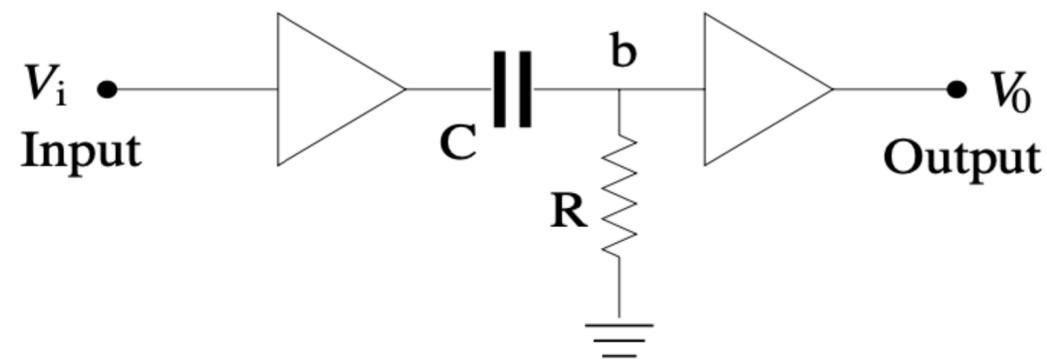
# Filtro pasa-baja (RC visión simplista)

- En analógico se compone de una resistencia y un condensador a tierra
- El condensador conduce por encima de determinada frecuencia
- En digital es una media móvil que promedia las muestras
- Reducirá los ruidos de alta frecuencia



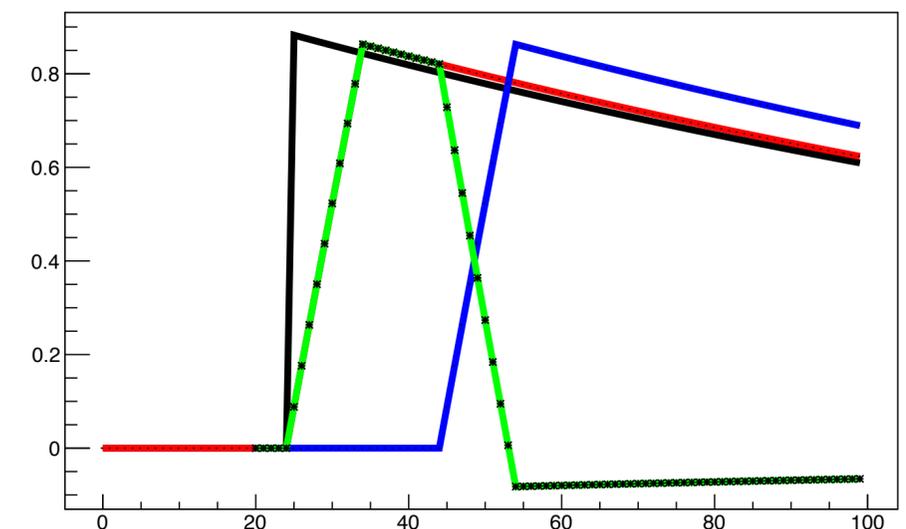
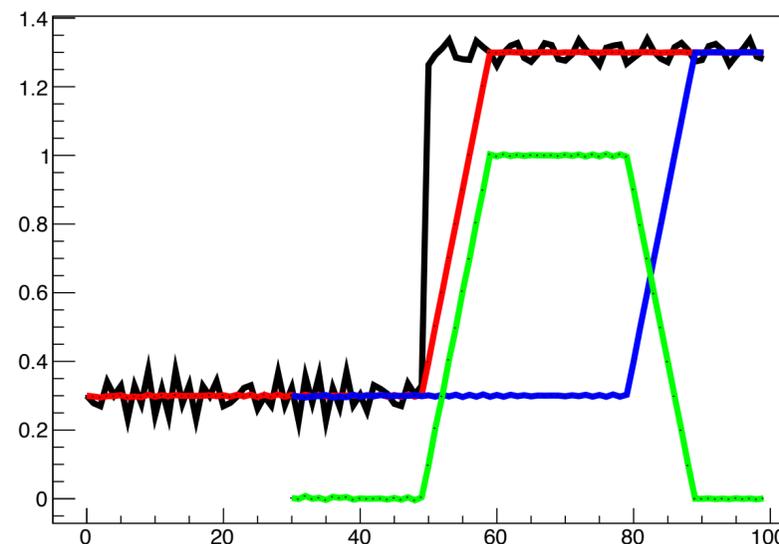
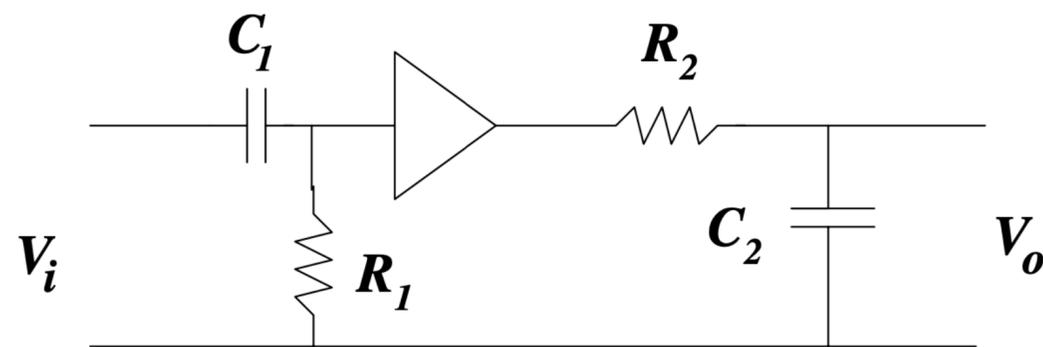
# Filtro pasa-alta (CR) visión simplista

- En analógico se compone de una condensador y una resistencia a tierra (versión simplista)
- El condensador impide el paso de las componentes por debajo de cierta frecuencia
- En digital es resta entre la señal y la propia señal retrasada
- Reducirá las oscilaciones de la línea base



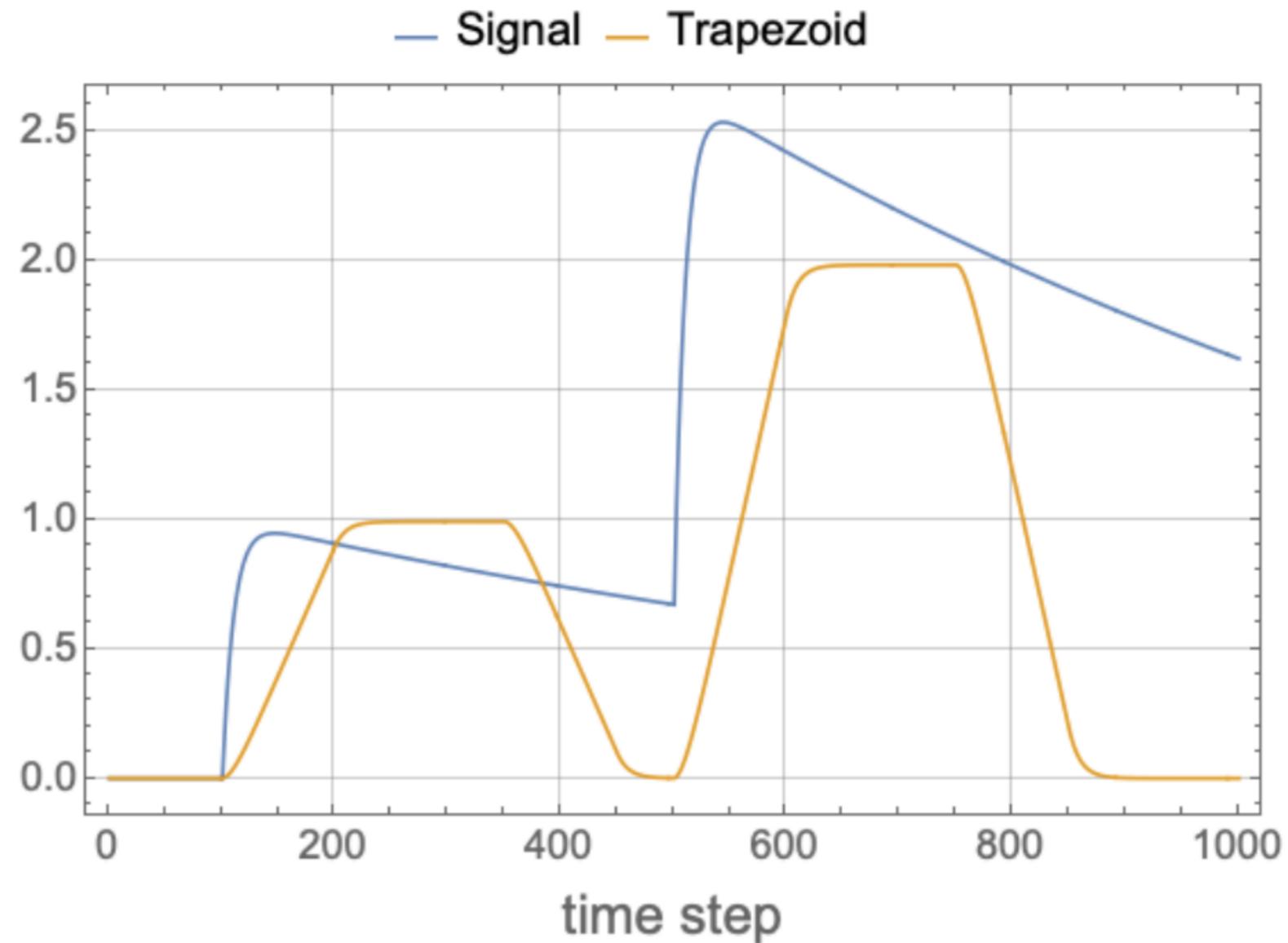
# Filtro CR-RC

- La combinación de ambos filtros limpia la señal permitiéndonos mejorar la resolución energética y temporal
- En analógico tendrá una forma semi-gausiana
- En digital será un trapecio
- Pero la realidad es muy dura, y esto será para una señal de entrada ideal “escalón” las señales reales tiene un decaimiento exponencial, por ello tendremos la “caída” del polo cero
- Dicha caída es compensada tanto en los filtros analógicos como en los digitales



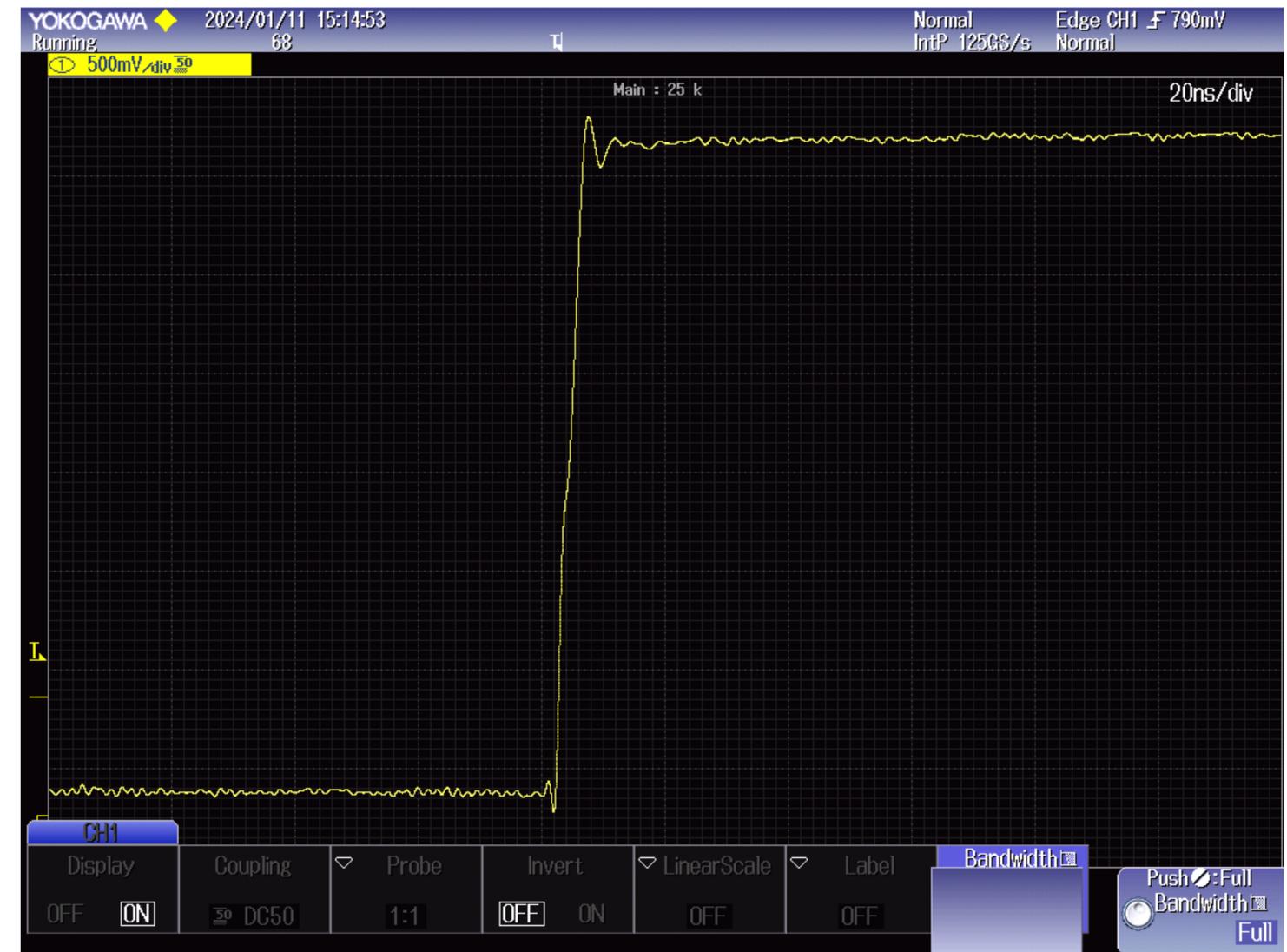
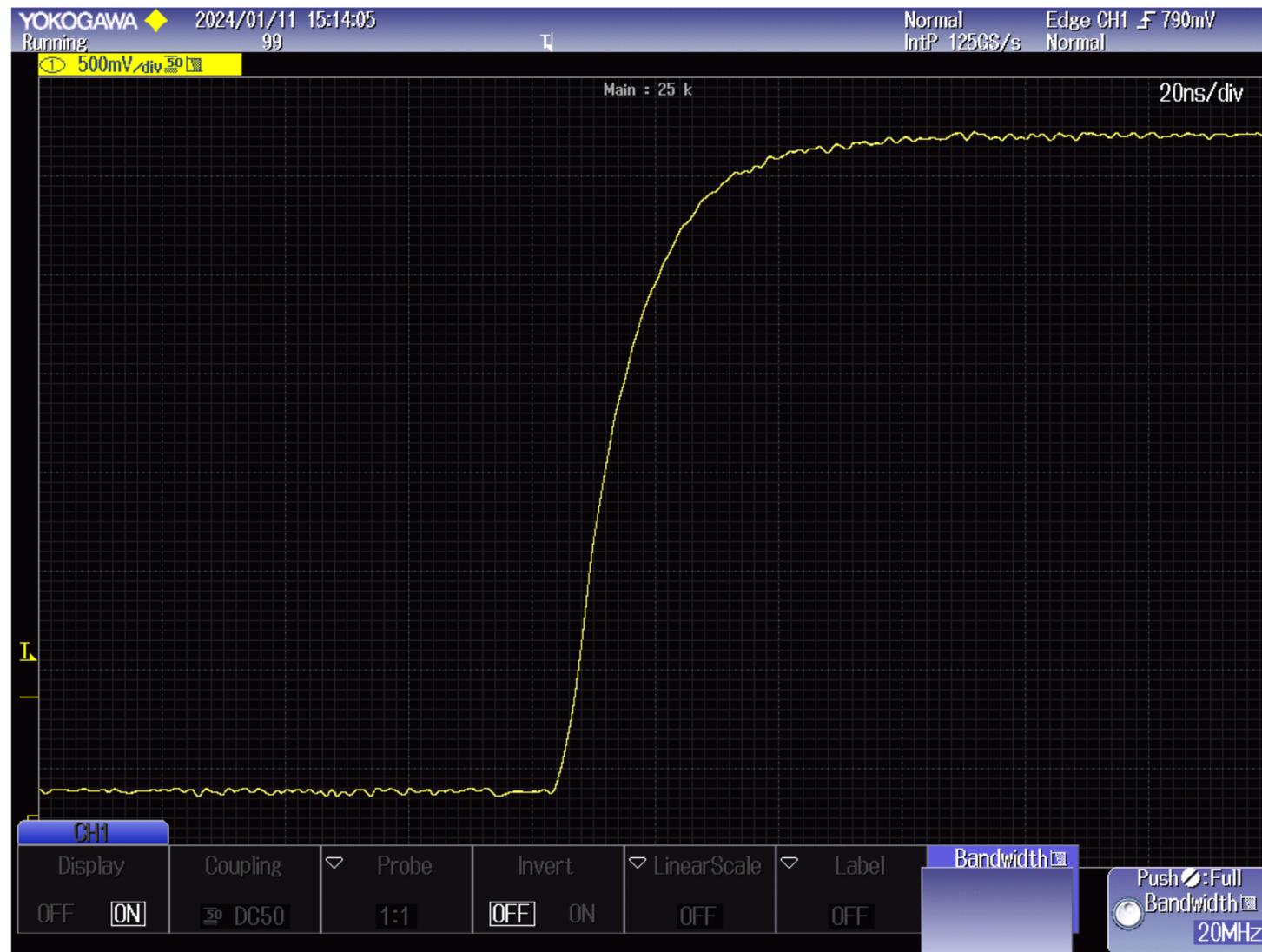
# Filtro CR-RC

- Además, acorta el tiempo de determinación del valor
- Esta dispuesto a tomar datos antes



# Concepto de ancho de banda

- Pero... ¿qué frecuencia tiene una señal?



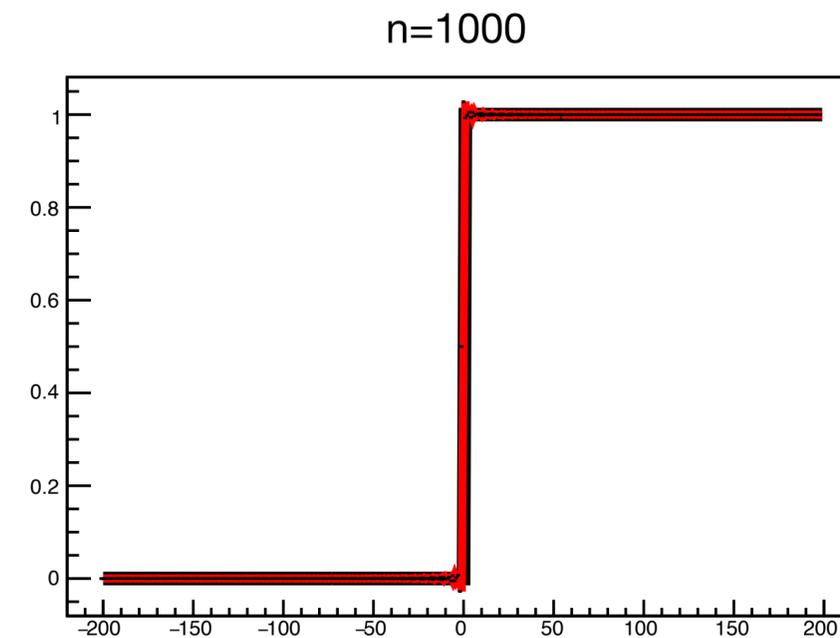
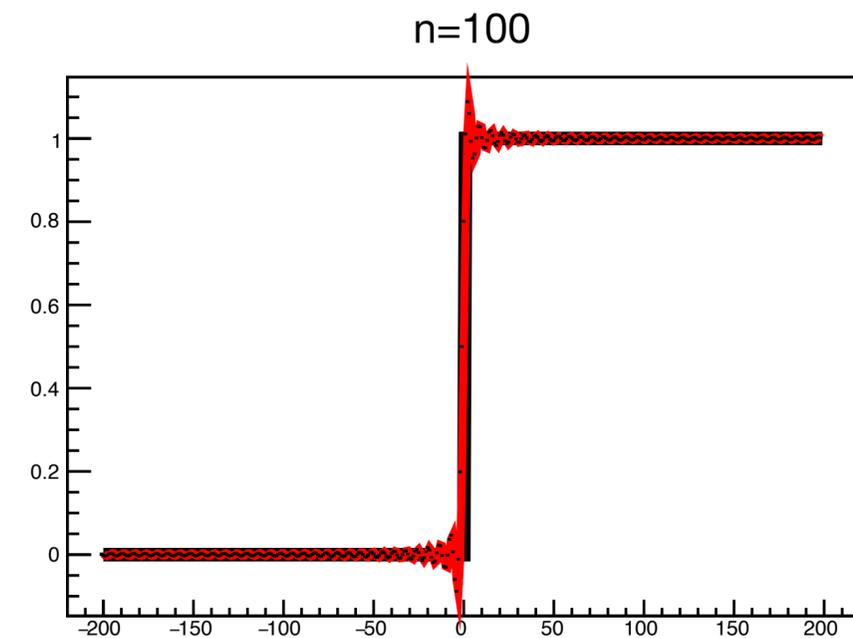
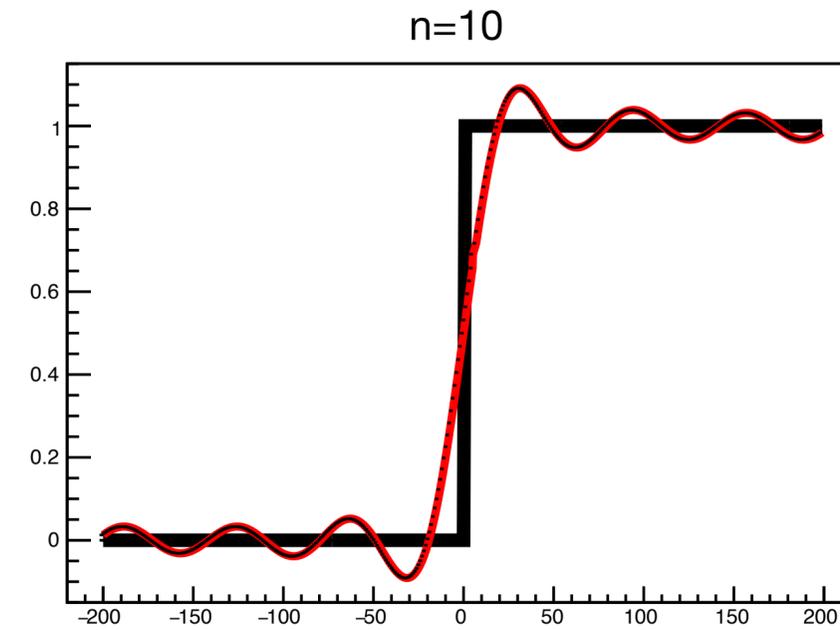
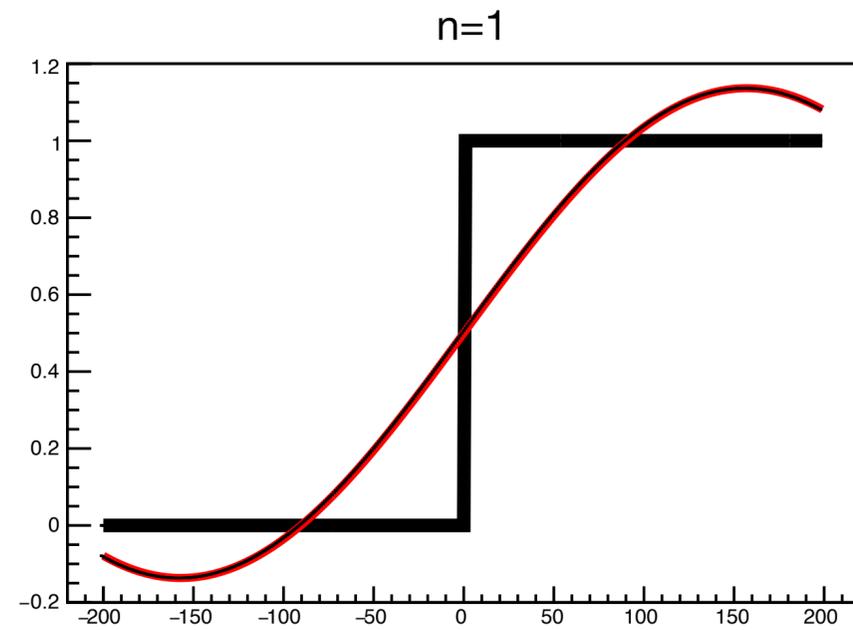
# Concepto de ancho de banda

- Pero... ¿qué frecuencia tiene una señal?
- En el caso de la función escalón tiene...
  - ¡¡Frecuencia infinita!!
- Si vemos la serie de Fourier de la función, vemos que es:

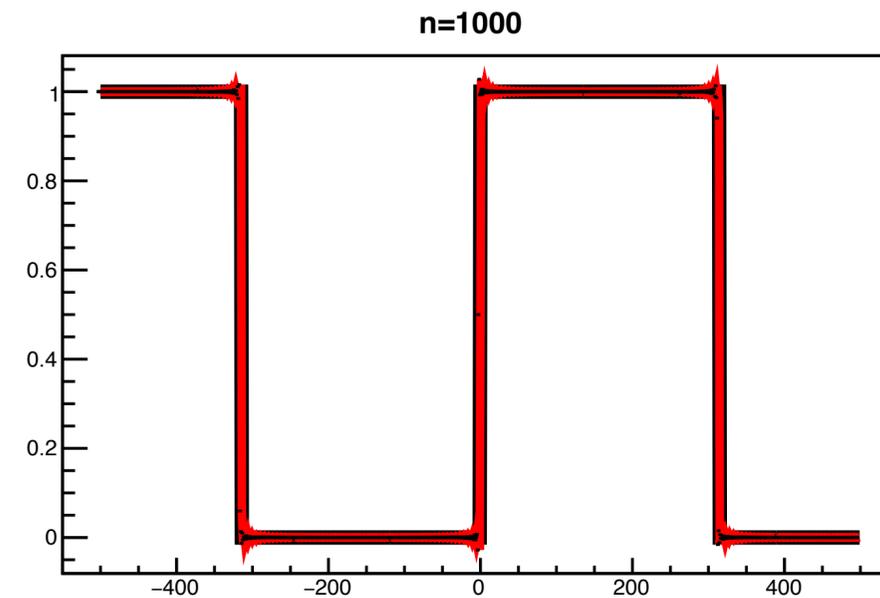
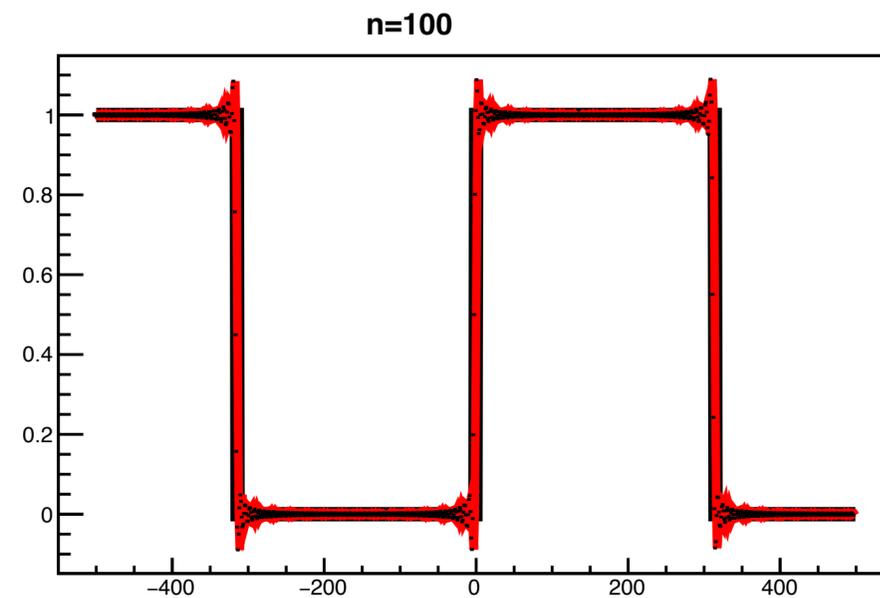
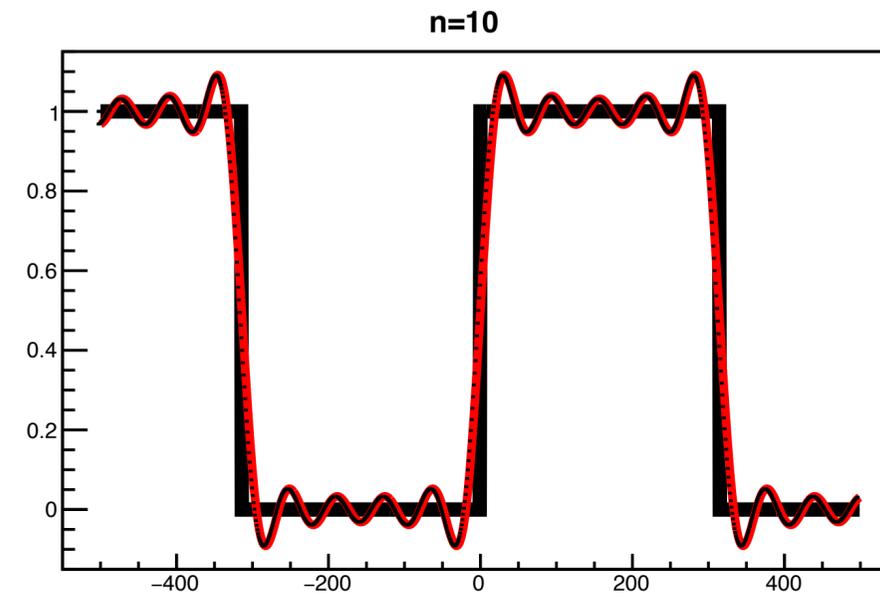
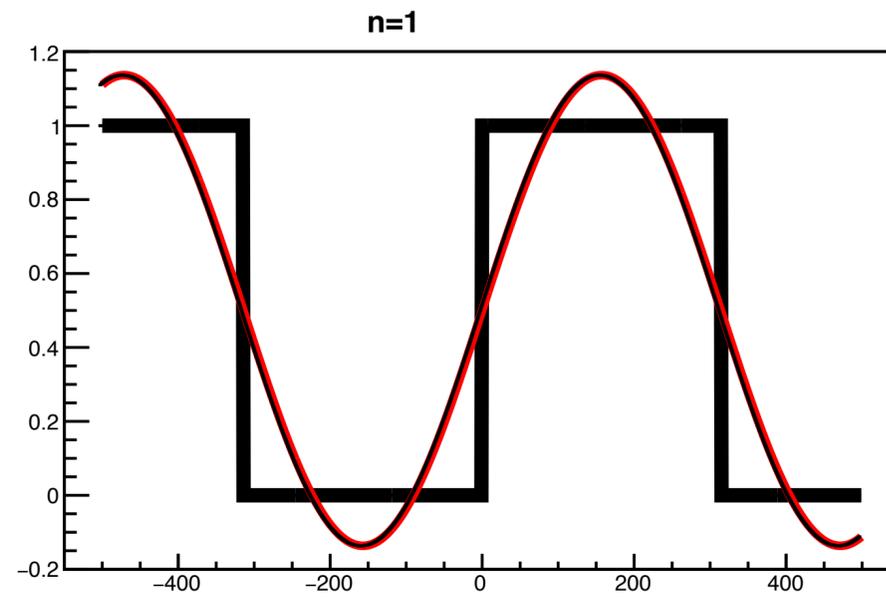
$$F(\theta) = \frac{1}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n\pi} \sin(n\theta)$$

- Y TODOS nuestros aparatos tienen el ancho de banda limitado. Cualquier cruce de pistas, el mismo cable, son condensadores, tienen una capacitancia, y a partir de ciertas frecuencias estos conducirán cortando en la serie de Fourier los armónicos que queden por encima.

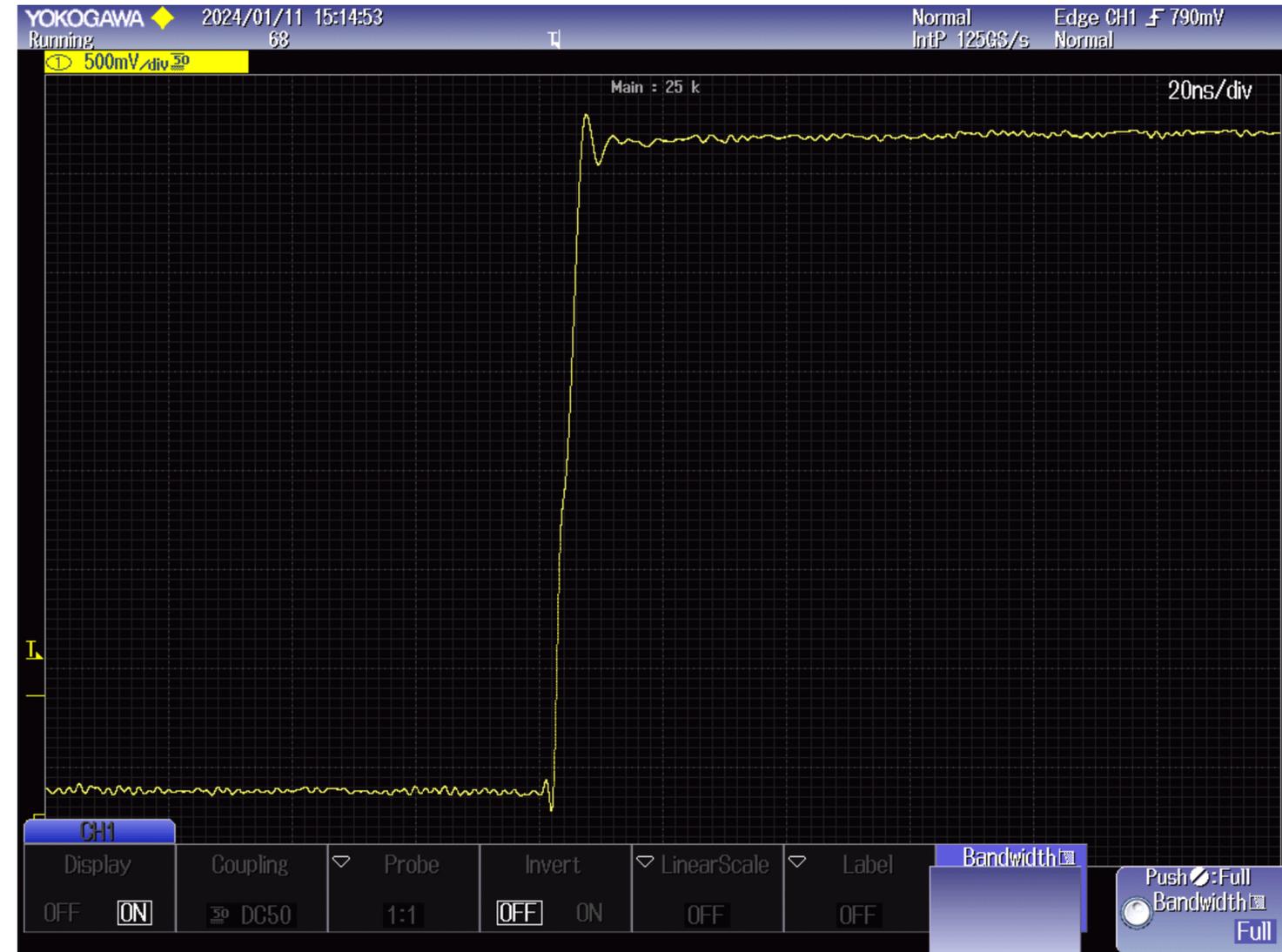
# Concepto de ancho de banda



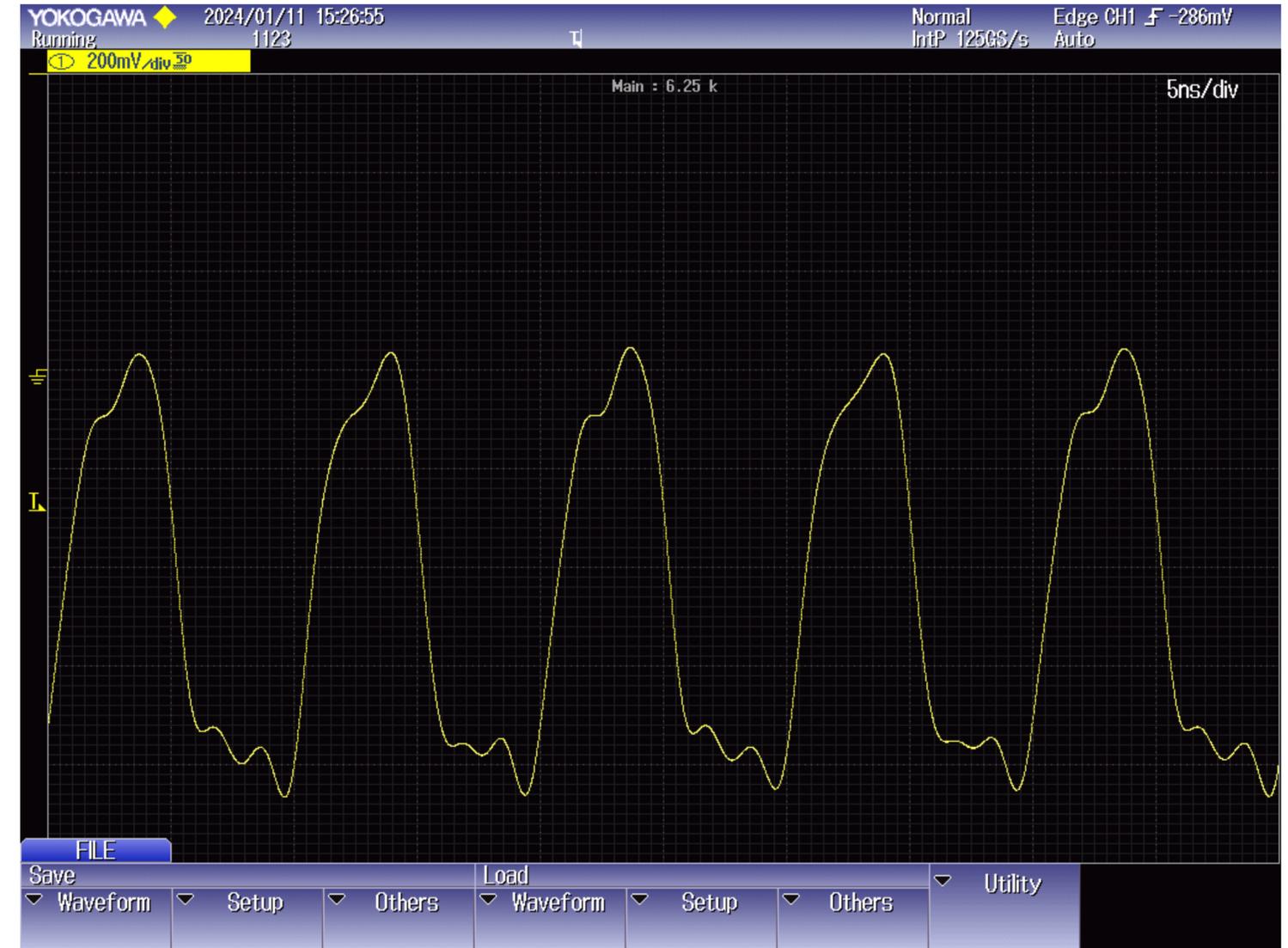
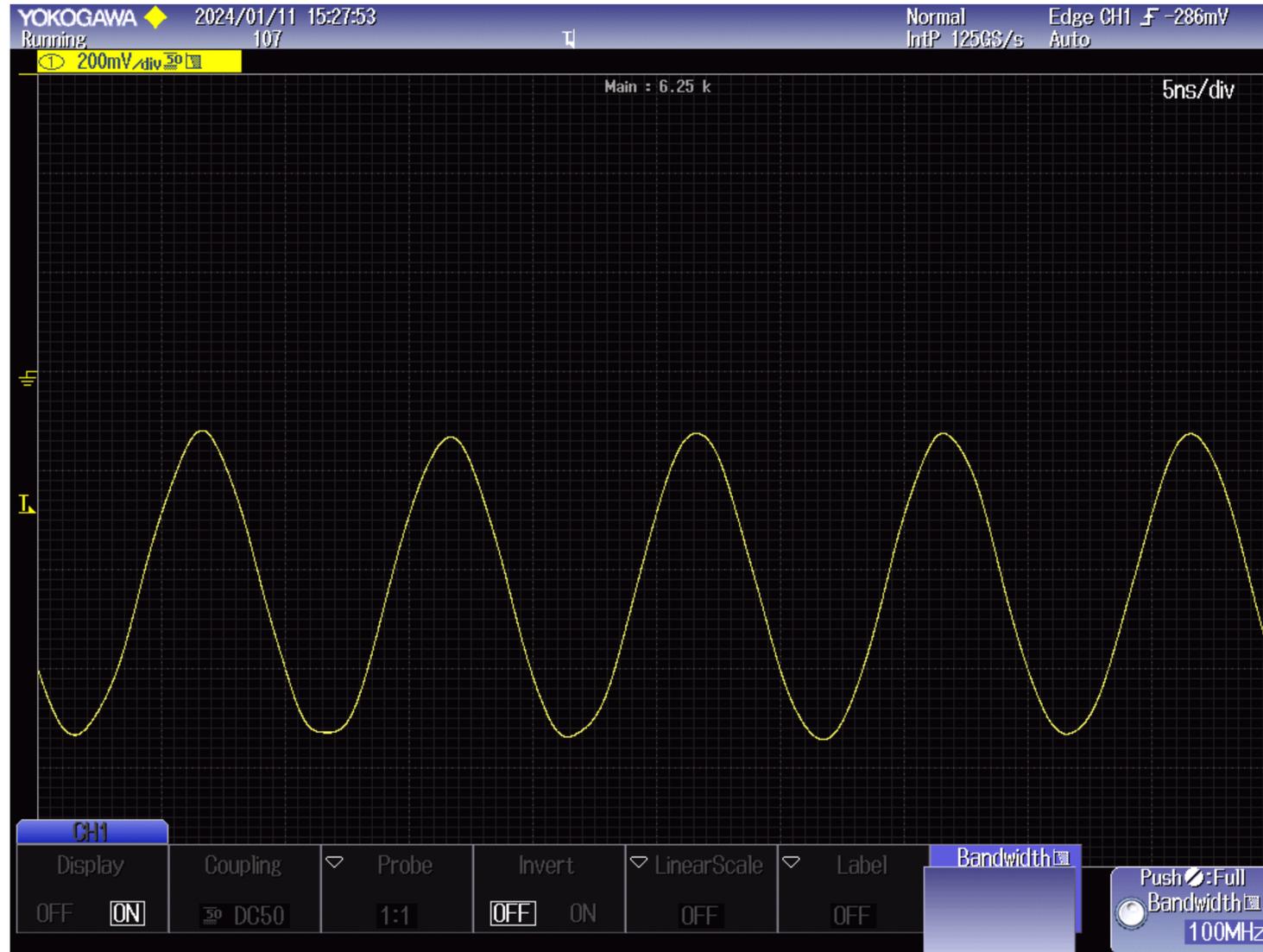
# Concepto de ancho de banda



# Concepto de ancho de banda

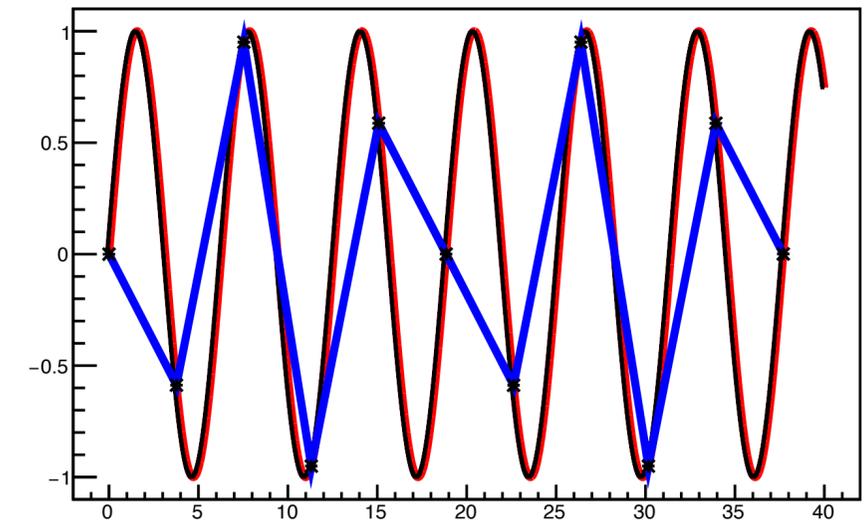
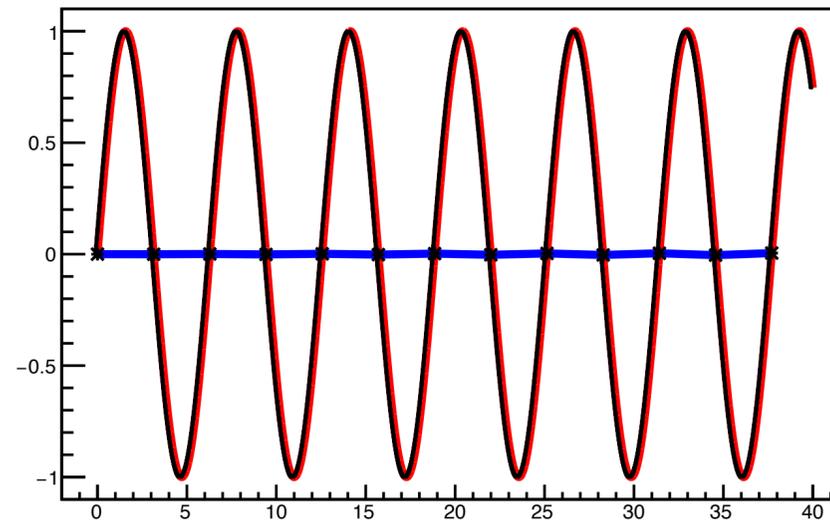
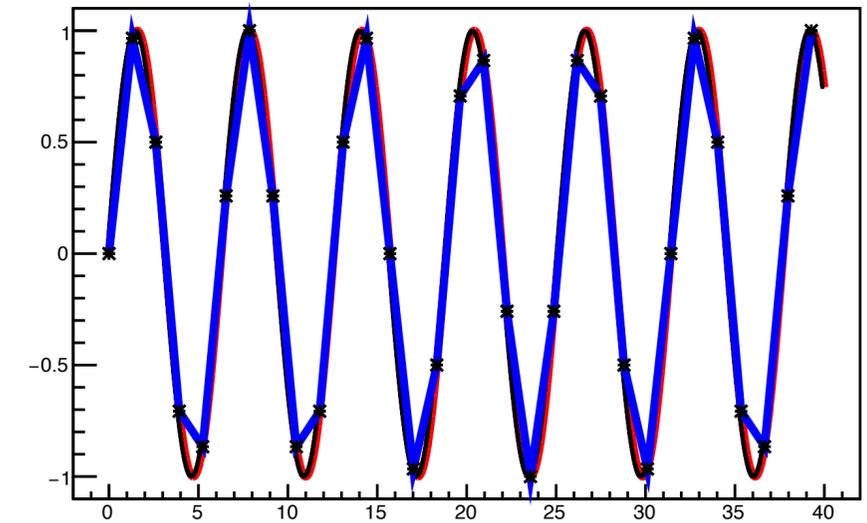
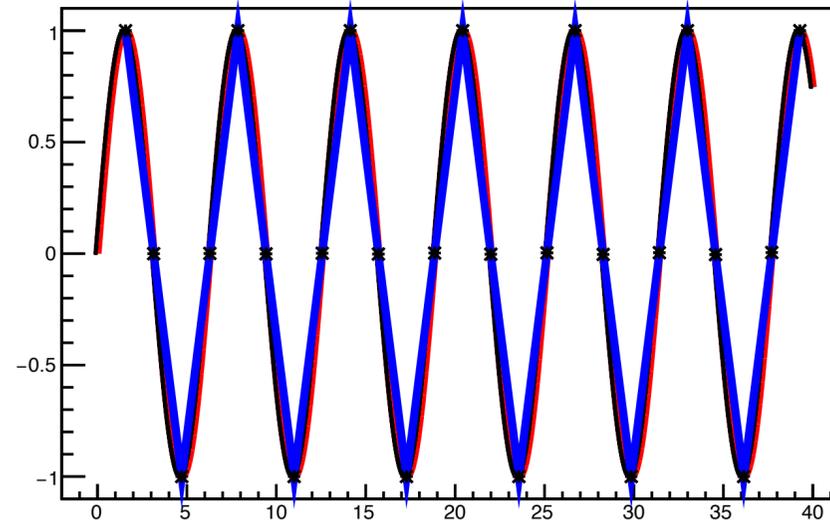


# Concepto de ancho de banda



# Teorema de Nyquist

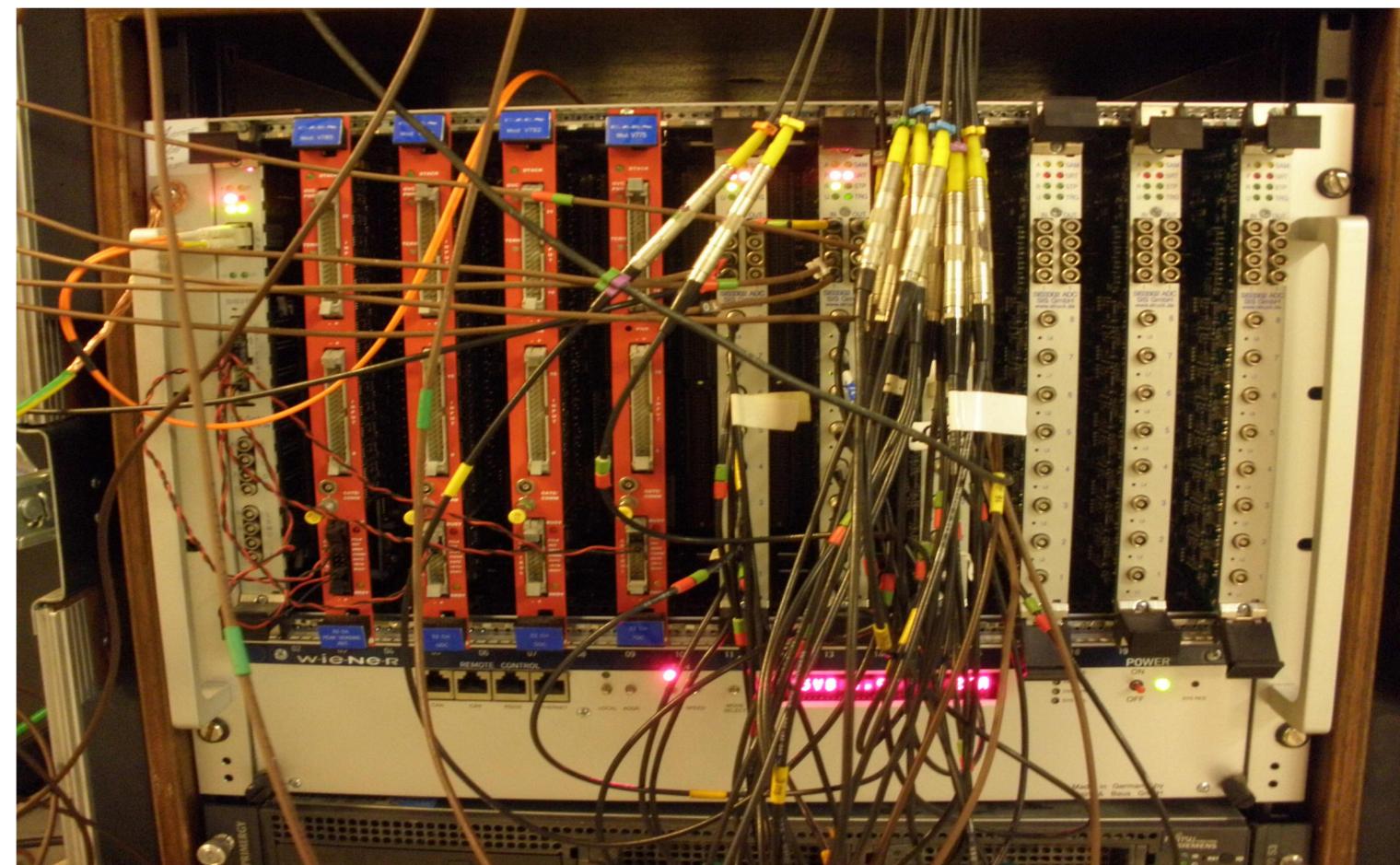
- Para muestra una señal es necesaria que la frecuencia de muestreo sea al menos el doble que la máxima frecuencia de dicha señal, es decir, del ancho de banda
- En caso de no cumplirse no se puede reconstruir toda la información de la señal y se producen “fantasmas”, fenómeno conocido como “aliasing”



# Sistemas de Adquisición

# Digitalización de datos

- Ya sea con ADCs, QDCs “convencionales”, ya sea con digitalizadores modernos, de muestreo, para poder almacenar las señales eléctricas en un formato informático hay que digitalizarlas.
- Los digitalizadores convencionales digitalizan el máximo de una señal ya filtrada (ADC) o integran la carga de la señal durante un tiempo.
- Los digitalizadores por muestreo, digitalizan una gran cantidad de muestras de la señal sin filtrar (o después del preamplificador) y aplican filtros similares a los analógicos, pero en el plano digital



# Digitalización de datos

## ADCs por altura máxima o máximo local

- Toman los datos evento a evento de forma simultanea todos los ADCs y los TDCs, para mantener la coherencia del evento
- Las ventajas de los son:
  - En ocasiones pueden dar una mejor resolución, en especial a bajas energías
- Desventajas:
  - Tiempo muerto elevado por cada dato que digitalizan
  - Requieren desdoblar la señal para obtener una información temporal, empleando otro sistema de filtrado, trigger y un TDC.
  - Requieren un amplificador espectroscópico.
  - No se puede hacer análisis de forma de pulso.

# Digitalización de datos

## QDCs Integran una fracción de la señal

- Toman los datos evento a evento de forma simultanea todos los QDCs y los TDCs, para mantener la coherencia del evento
- Ventajas
  - Desdoblando la señal puede hacerse análisis de pulso
  - No requieren amplificador
- Desventajas:
  - Influidos por la oscilación de la linea base
  - Influidos por la “cola de la señal”

# Digitalización de datos

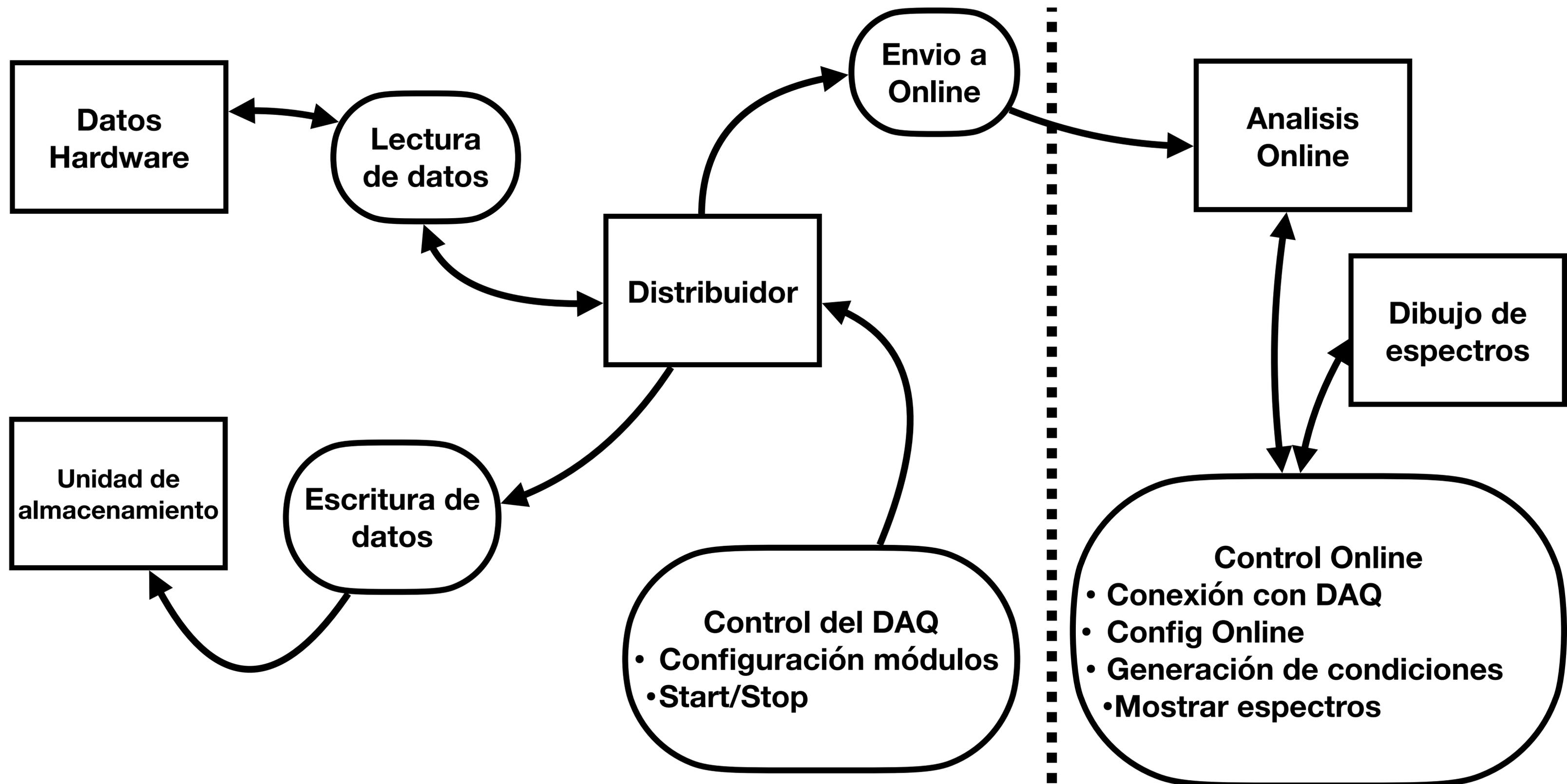
## Digitalizadores por muestreo

- Toman los datos de cada canal de forma asíncrona asignándoles una marca de tiempo a cada uno, y se guardan en una memoria independiente para cada canal, sin mantener la estructura del evento
- Cada canal tiene su propio trigger.
- Ventajas
  - No requiere electrónica de filtrado ni de *trigger*
  - Con la misma señal se extraen de la señal los datos de energía tiempo y en su caso análisis de pulso
  - El tiempo muerto es muy reducido, y en la mayoría de las ocasiones despreciable
- Desventajas:
  - Para bajas energías la resolución se deteriora, debido al ruido blanco
  - El volumen de datos es superior

# Sistemas de adquisición de datos *Eventless*

- Los datos se agrupan en la memoria de cada canal de forma asíncrona
- El evento desde el punto de vista físico y de DAQ, se “deconstruye”
- Pero está ahí, tenemos la información necesaria para reconstruirlo
- La marca de tiempo mantiene la correlación entre canales
- Los eventos “perdidos” pueden reconstruirse en el PC
- Pero también puede no hacerse, y trabajar con las condiciones que necesitamos poniendo ventanas de coincidencia con el TS

# Esquema de un DAQ

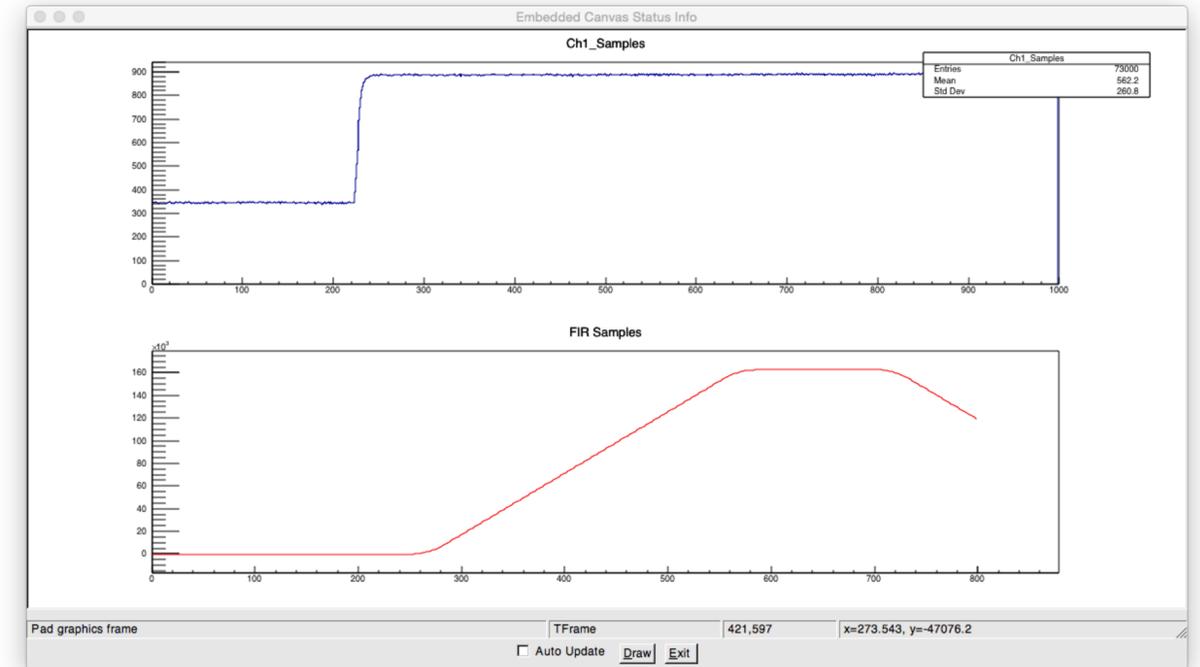


# Esquema de un DAQ

- La prioridad es la escritura en disco
- Un control para la toma de dato y su configuración
- Analisis Online: Analisis de un porcentaje de los datos adquiridos de forma simultanea a la adquisición
- Analisis Nearline: Analisis de un porcentaje de los datos un tiempo después de la toma de estos, pero no excesivo (algunas horas)
- Uno de estos análisis es necesario para verificar que los datos que se están tomando son los deseados

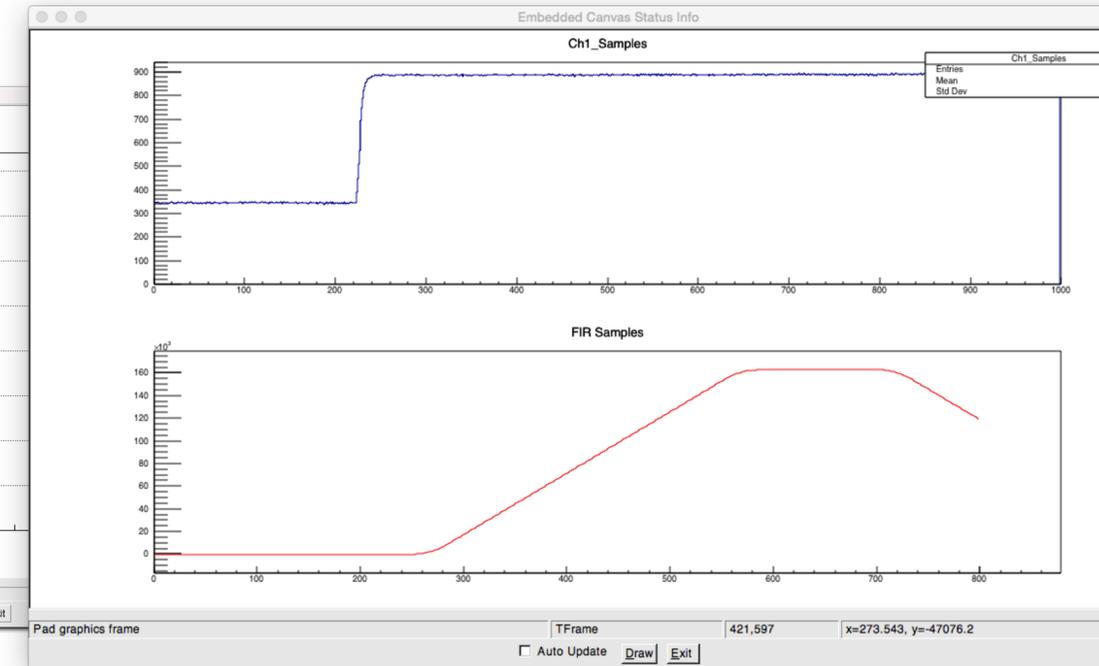
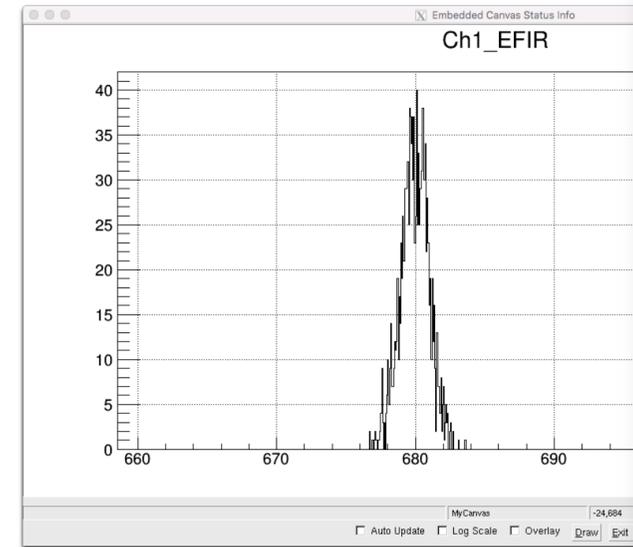
# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



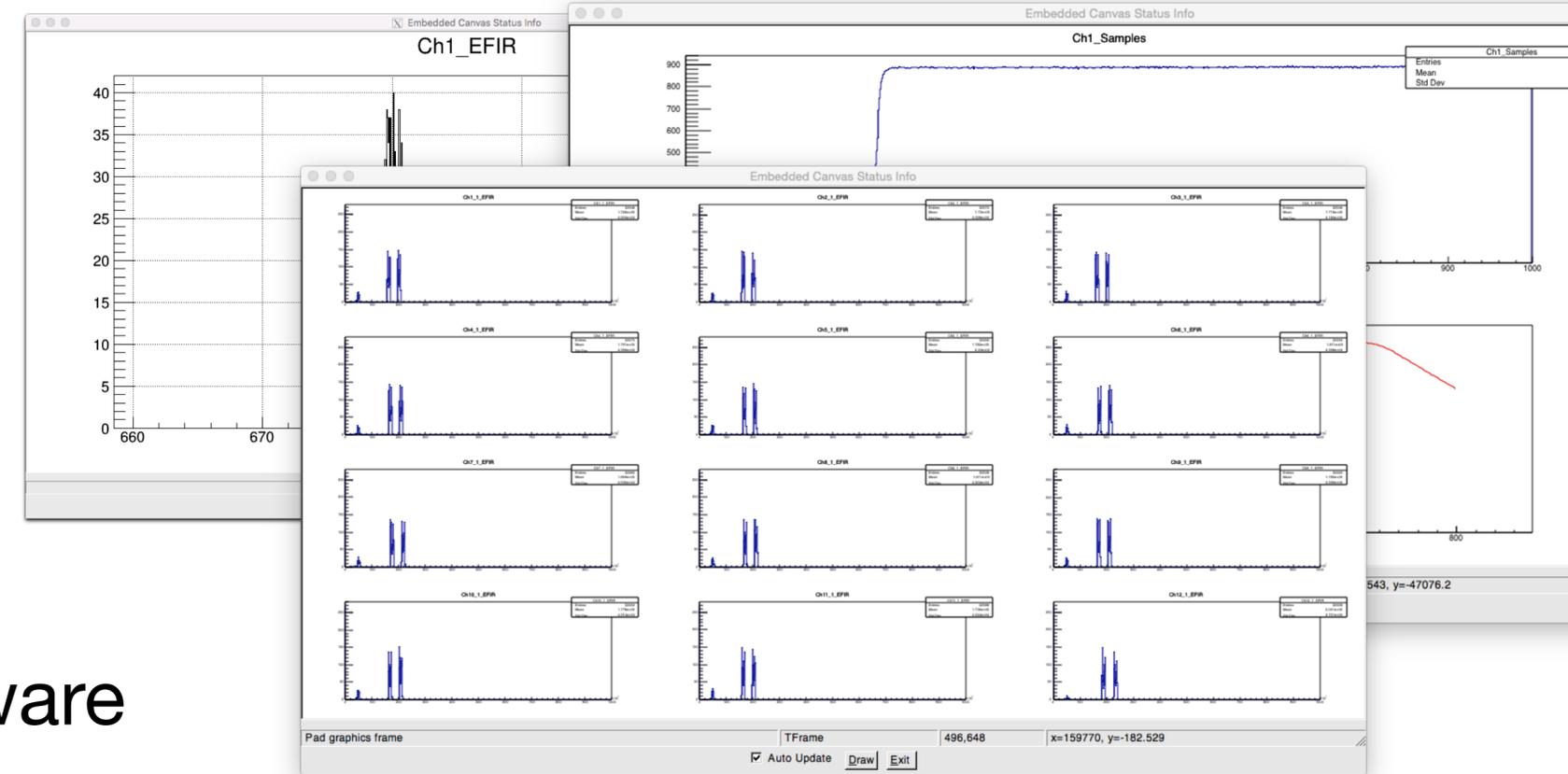
# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



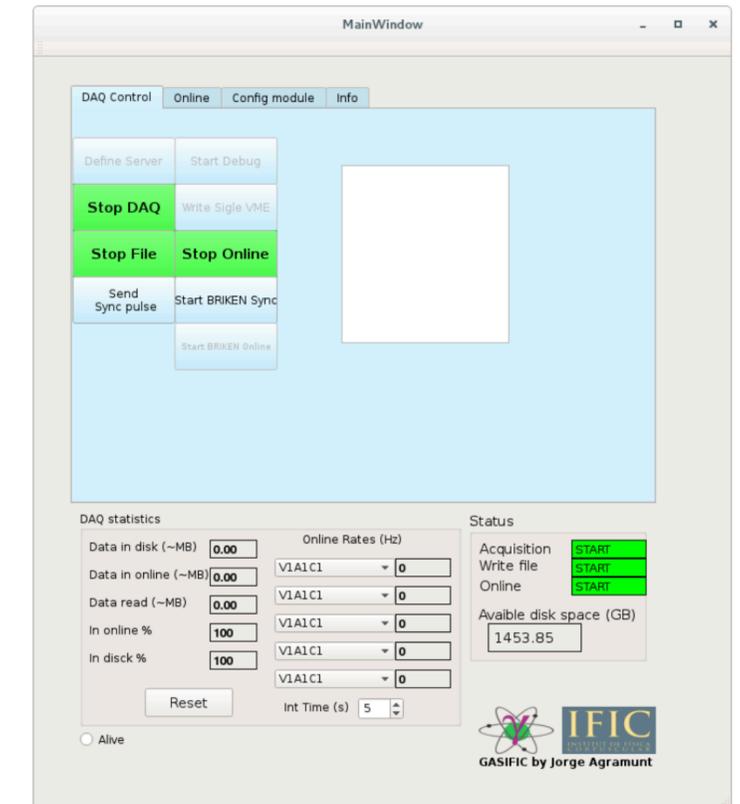
# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



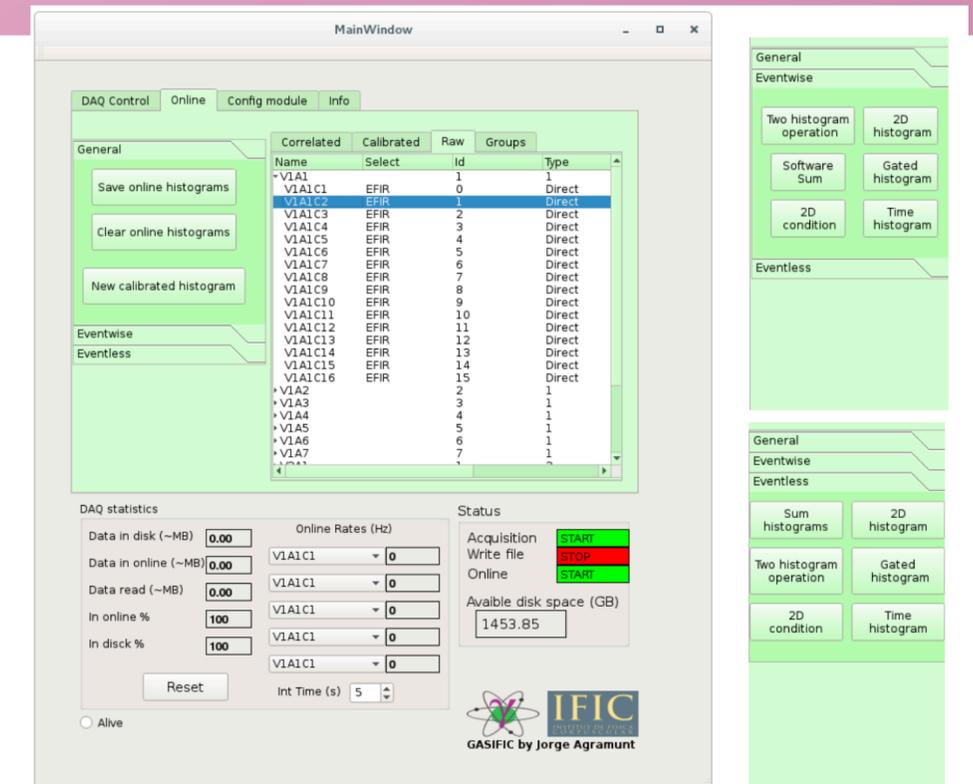
# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



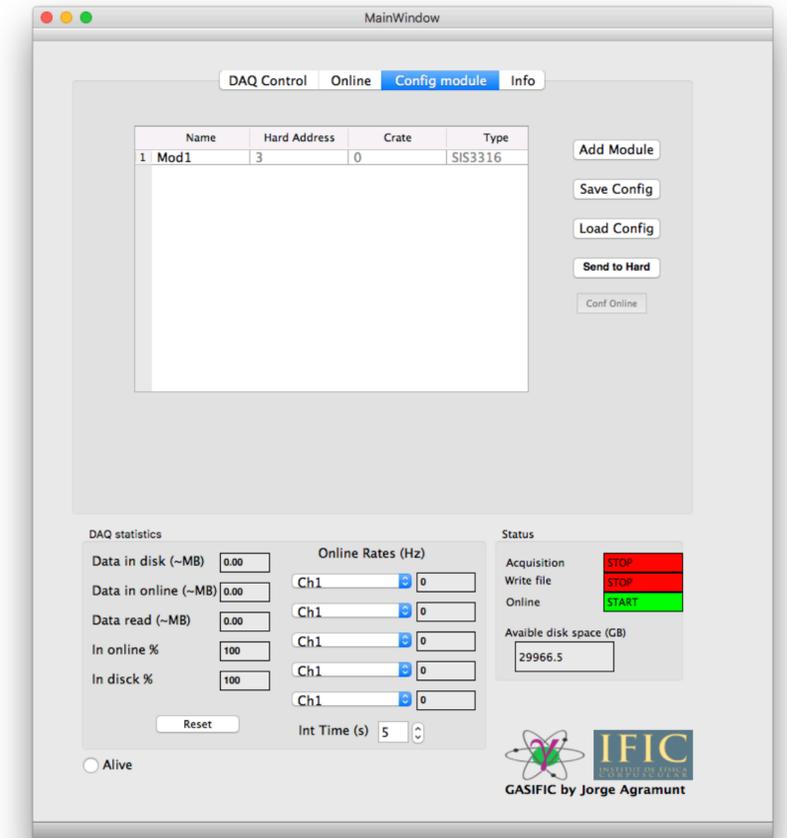
# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



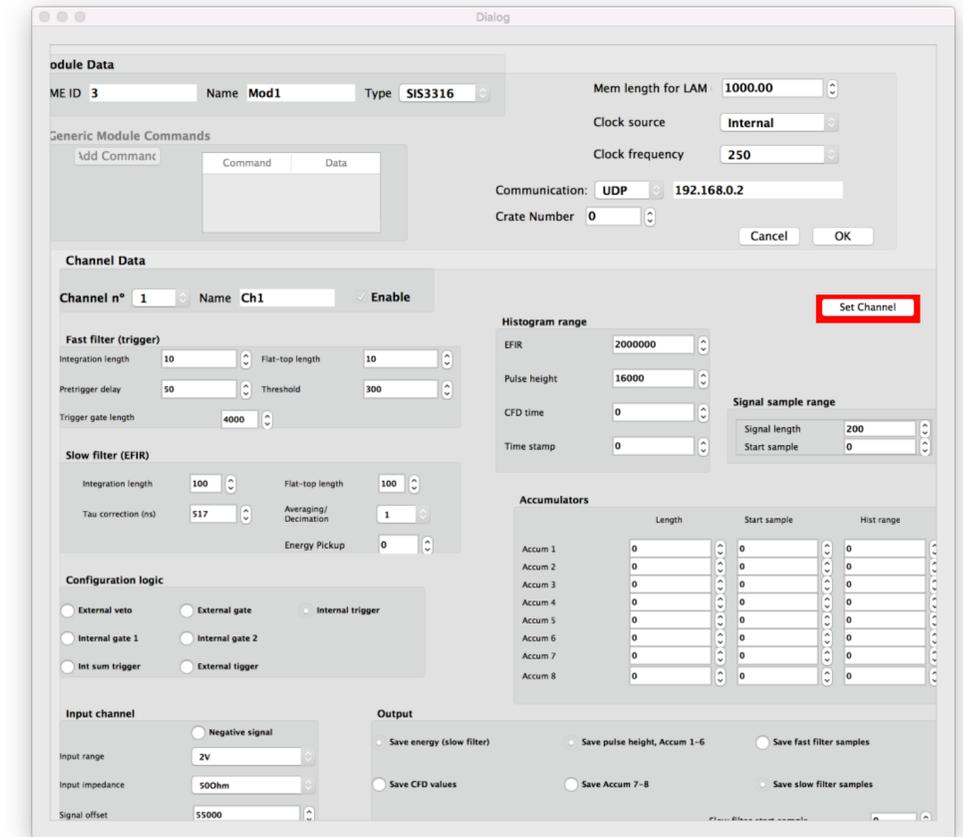
# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



# Un poco de publi: Gasific 7.0

- Sistema de adquisición eventless
- Integramente desarrollado en el IFIC
- El mismo paquete integra el Online
- Los módulos son objetos de C++
- Diseñado para no depender del hardware
- Programado en la actualidad para los módulos SIS de Struck
- En desarrollo para la serie DT de CAEN
- Con un GUI diseñado en Qt
- Analisis Online con librerías de root que permite emplear todas sus herramientas.



**GRACIAS  
POR LA ATENCIÓN**