

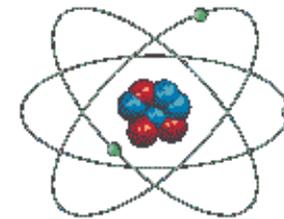


MINISTERIO
DE CIENCIA E
INNOVACIÓN

Olof Tengblad
Instituto de Estructura de la Materia - CSIC

Electrónica y Adquisición de Datos

- Sistema básico
- Sistema modular
- Analizador de multi canales
- Sistema inteligente



Electrónica y Adquisición de Datos

- Sistema básico
- Sistema modular
 - estándar NIM
 - Señales Lineales / Lógicas / ECL
 - Preamplificadores
 - Amplificadores
 - Discriminadores
 - Analizador de un canal
 - Convertidor Tiempo-a-Amplitud TAC
 - Coincidencias en tiempo
- Analizador de multi canales
 - Singles
 - Coincidencias por “hardware”
- Sistema inteligente
 - CAMAC
 - VME
 - Listmode data - Coincidencias por “Software”
 - convertidor Analog-a-Digital ADC
 - convertidor Tiempo-a-Digital TDC

Sistema básico

Si siempre usamos el mismo sistema, puede ser mejor construir un sistema totalmente dedicado entre el detector y la visualización.

Normalmente se encuentra este tipo de electrónica en los laboratorios de curso.



Pero es un sistema no muy practico ni económico, si queremos hacer diferentes tipos de experimentos con distintos detectores y necesidades.

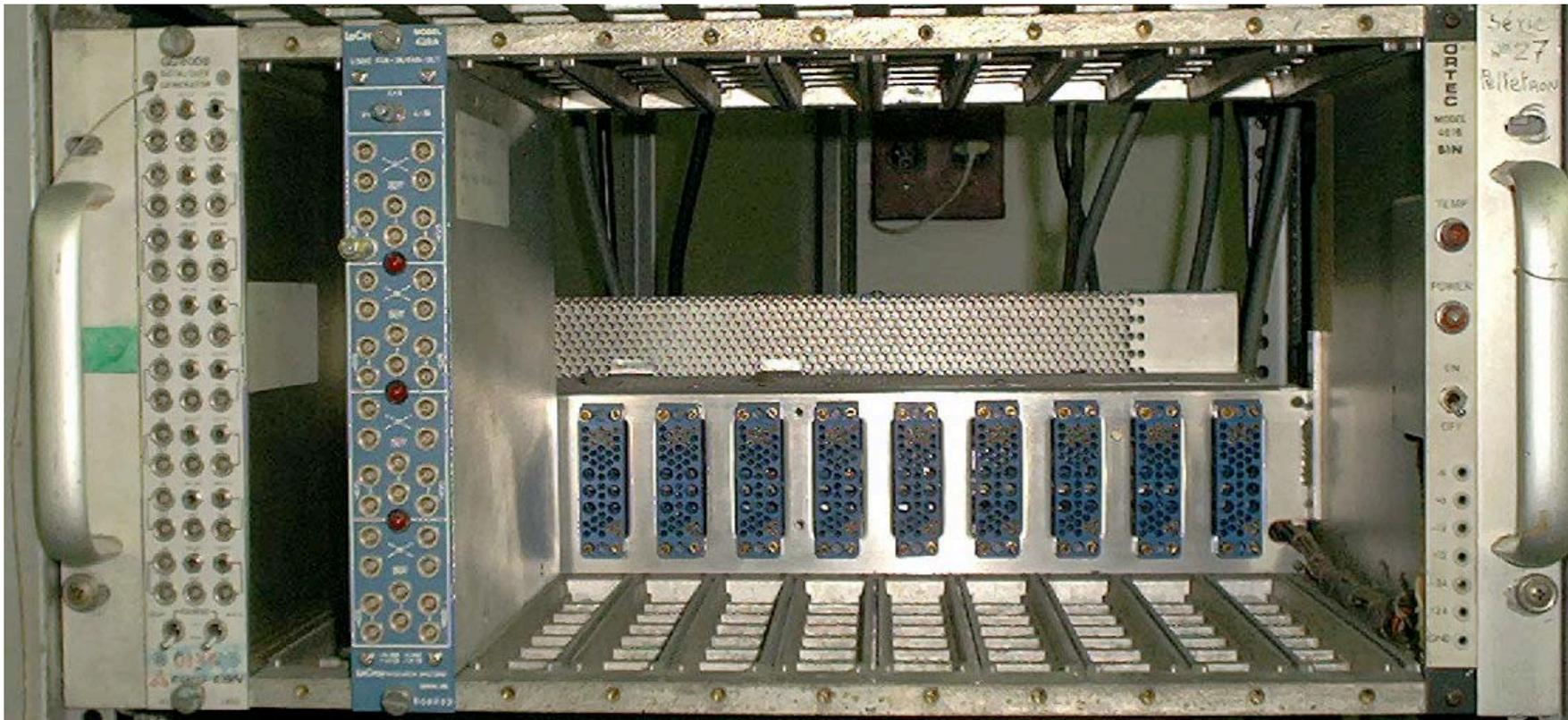
Por eso nació el sistema modular “NIM” = Nuclear Instrumentation Modules

Sistema modular

- **Nuclear Instrumentation Modules – NIM**
 - El sistema NIM es completamente modular, es decir han identificado funciones independientes que son necesarias para construir un set-up electrónico para un experimento nuclear.
 - **Los módulos básicos**
 - PA – preamplificadores (dependiente el tipo de detector)
 - A – amplificadores (señal integrada lenta, para un buena detección de la energía del señal)
 - TFA – amplificador filtrado en tiempo (señal rápida, para identificar y tomar decisión)
 - CFD – discriminadores de fracción constante (señal rápida lógica (tipo SI o NO))
 - LOGICA – tomar decisiones como AND / OR / VETO entre varias señales
 - TAC – mide el tiempo entre dos señales y convierte en un amplitud análoga
 - **El parte común de todo los módulos: es la fuente de alimentación NIM Crate (bastidor NIM)**
 - es un caja donde cabe 25 módulos, y a cada modulo distribuye la alimentación directa
 - Normalmente lleva una capacidad de 300 Patios distribuido entre
 - +/- 24 V
 - +/- 12 V
 - +/- 6 V (especialmente para los módulos lógicos)
 - **Las Conexiones entre módulos se hace con cables de 50 Ω y conectores de estándar BNC por la parte frontera de los módulos.**

NIM - BIN

- bastidor con bus de alimentación para 25 módulos NIM



Nuclear Instrumentation Modules - NIM

- El sistema NIM requiere que usamos un estándar para los señales
 - Señales directas (lineales) donde la amplitud del señal lleva información sobre la carga o energía depositada en un detector de un impacto (evento)
 - Señales lineales lentos: rise time > 50 ns
 - duración 0 - 100 ms
 - amplitud 0 - 10 V
 - Señales lineales rápidos: rise time < 2 ns
 - duración $1 \mu\text{s}$
 - amplitud 0 - 1 V, 0 - 5 V, 0 - 10 V
 - Señales Lógicas: la amplitud y forma es fijo para todos los eventos, para medir tiempo entre detectores, tomar decisiones sobre el evento (coincidencias), y para controlar el sistema de toma de datos
 - NIM lógica positiva lenta : lógica 1 $> +4$ V
 - lógica 0 $< +1$ V
 - NIM lógica negativa rápida
 - lógica 1 < -14 mV
 - lógica 0 > 0 V
 - cables coaxiales estándar, BNC o LEMO de 50Ω

PA - Pre amplificador

La función del preamplificador es de extraer la señal del detector sin degradar significante la razón señal-a-ruido. Por eso es necesario que esta situada muy cerca del detector.

Hay diferentes soluciones dependiente el tipo de detector.

- **Para detectar emisión gamma γ o de neutrones**

Los rayos gamma o partículas neutras no se degradese en el aire y los detectores pueden quedarse en aire relativamente lejos de la fuente emisora.

- Foto multiplicadores o “**PM-tubes**” da una señal suficiente fuerte y buena para que se puede usar directamente como señal de tiempo y lógica. Pero para espectroscopia es mejor integrar la carga y convertir la corriente a un pulso de voltaje.
- **Los detectores resfriados como HPGe y Si(Li) lleva el FET (Field Effect Transistor) dentro del cryostato para reducir el ruido, el resto de preamplificador queda fuera.**

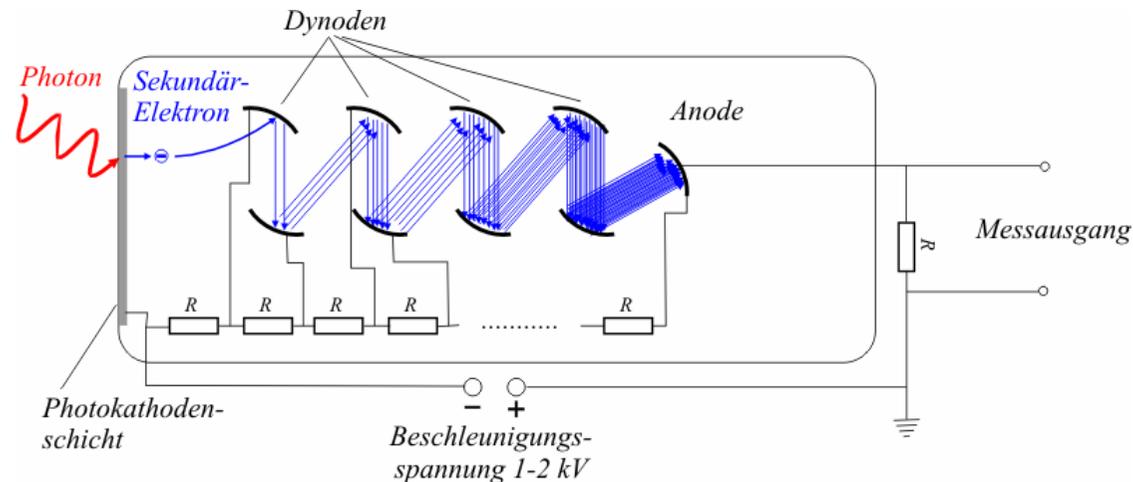
- **Para detectar emisión de partículas cargadas**

las partículas cargadas pierde mucha energía en aire (una alpha de 5 MeV llega mas o menos 4 cm en aire), los experimentos se hace en vacío y los detectores están dentro una cámara de vacío.

- El preamplificador normalmente queda fuera de la cámara de vacío pero en contacto directa para evitar *bucles al retorno de tierra* y reducir la capacitancia en los cables. En sistemas de mucho canales se intenta meter el PA dentro pero necesita que decipita poco efecto, o enfriarles.

fotomultiplicador - usado junto con centelladores

- Se llama **fotomultiplicador** a un tipo de detector óptico de vacío que aprovecha el efecto de **emisión secundaria** de electrones para responder a niveles muy bajos de iluminación, manteniendo un nivel de ruido aceptable.



- Un fotomultiplicador está compuesto de un **fotocátodo**, que emite electrones cuando sobre él inciden fotones de energía adecuada. Un **campo eléctrico** acelera estos electrones y los dirige hacia un **ánodo**, que en estos tubos recibe el nombre de **dinodo**. La energía de los electrones incidentes provoca la emisión un número mayor de electrones secundarios que son dirigidos hacia un segundo dinodo. El número de dinodos y su disposición varía con el modelo de fotomultiplicador.

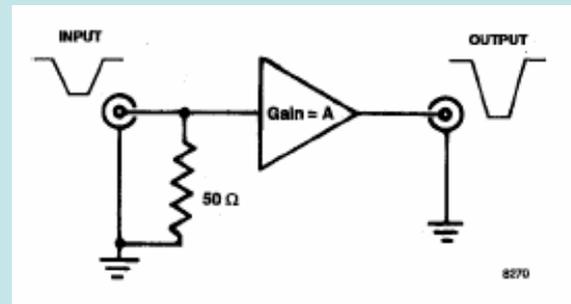
PA - Preamplificador: Current sensitive preamp

- **Convierte un pulso de corriente del detector a un pulso equivalente de voltaje**

Varios tipos de detectores, tal como tubos de photomultiplier y microchannel plates, generera señales suficiente grandes y rápidos por una impedancia de salida alta. Uso del pulso para tiempo o contaje puede ser bastante sencillo. Un acoplamiento con un cable coaxial de 50Ω es suficiente para que la corriente del detector llega a un voltaje deseado a través de esa “impedancia de carga”

$$V_{\text{out}} = 50 \Omega * I_{\text{in}}$$

Para aplicaciones de contaje esta señal vale de “input” a un discriminador rápido.

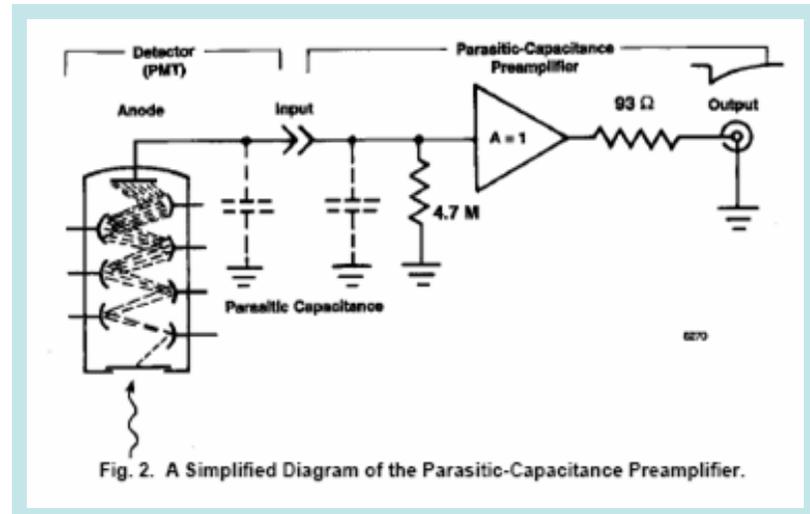


PA - Preamplificador: parasitic-capacitance

- parasitic-capacitance

Los fotomultiplicadores, multiplicadores de electrones, platos de microcanales (micro channel plates) producen señales de salida grandes con subida muy rápidos.

Por lo tanto, el preamplificador mejor rentable para la medida del amplitud del pulso para la espectroscopia es el preamplificador de la *capacitancia-parasitario*.



- Los preamplificadores de capacitancia-parasitario tienen una entrada de alta impedancia $\sim 5 \text{ M}\Omega$. De ahí, el pulso generado por el detector es integrado por la combinada capacitancia parasitario presente a la salida del detector y la entrada del preamplificador. Esta capacitancia combinada es típicamente 10 a 50 pF.

- La señal resultante es un pulso de voltaje que tiene una amplitud proporcional a la carga total en el pulso del detector, y en una subida en tiempo iguala a la duración del pulso del detector.

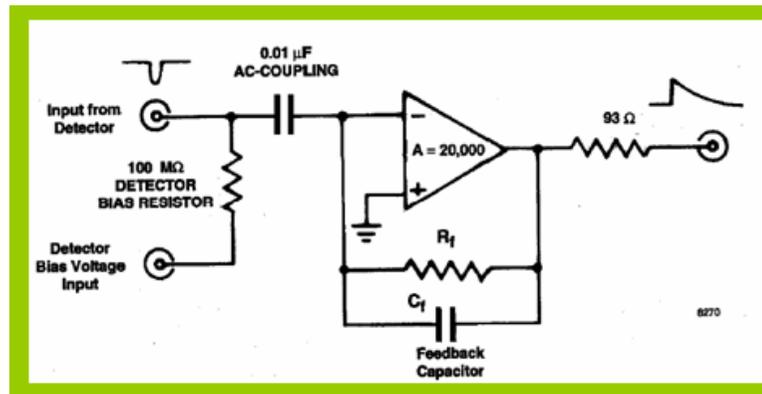
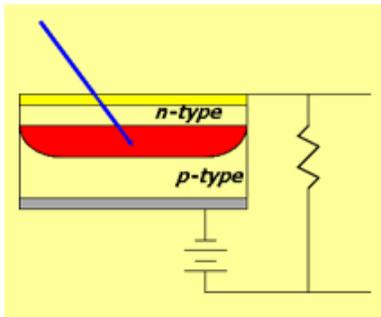
- Una resistencia conectado en paralelo con la capacitancia de entrada causa un decaimiento exponencial del pulso con una constante de tiempo $\sim 50 \text{ }\mu\text{s}$.

- Un amplificador que tiene una impedancia de entrada alta y ganancia 1 esta incluido para manejar la impedancia baja de un cable coaxial. La resistencia de $93 \text{ }\Omega$ en serie con la salida absorbe pulsos reflejados en cables largos.

PA - Preamplificador: charge sensitive

PA sensitivos en carga son los preamplificadores preferidos para la mayoría de las aplicaciones de espectroscopia para medir la energía depositada.

- La señal de un semiconductor es una cantidad de la carga visto como un pulso de corriente que dura entre 10^{-9} a 10^{-5} s, dependiendo del tipo de detector y su tamaño.
- Para la mayoría de las aplicaciones los parámetros del interés son la cantidad de la carga y/o el tiempo cuando ocurre el evento.
- Un preamplificador de carga-sensible tiene las dos salidas. En la integración de la carga en el capacitancia de retorno (feedback resistor), **la ganancia no es sensible a un cambio en la capacitancia del detector, y en el caso ideal, el tiempo de la subida del pulso de salida es igual al anchura del pulso del detector.**



Q_D - carga liberada por el detector
 C_f - capacitancia de retorno
 (0,1 a 5 pF)

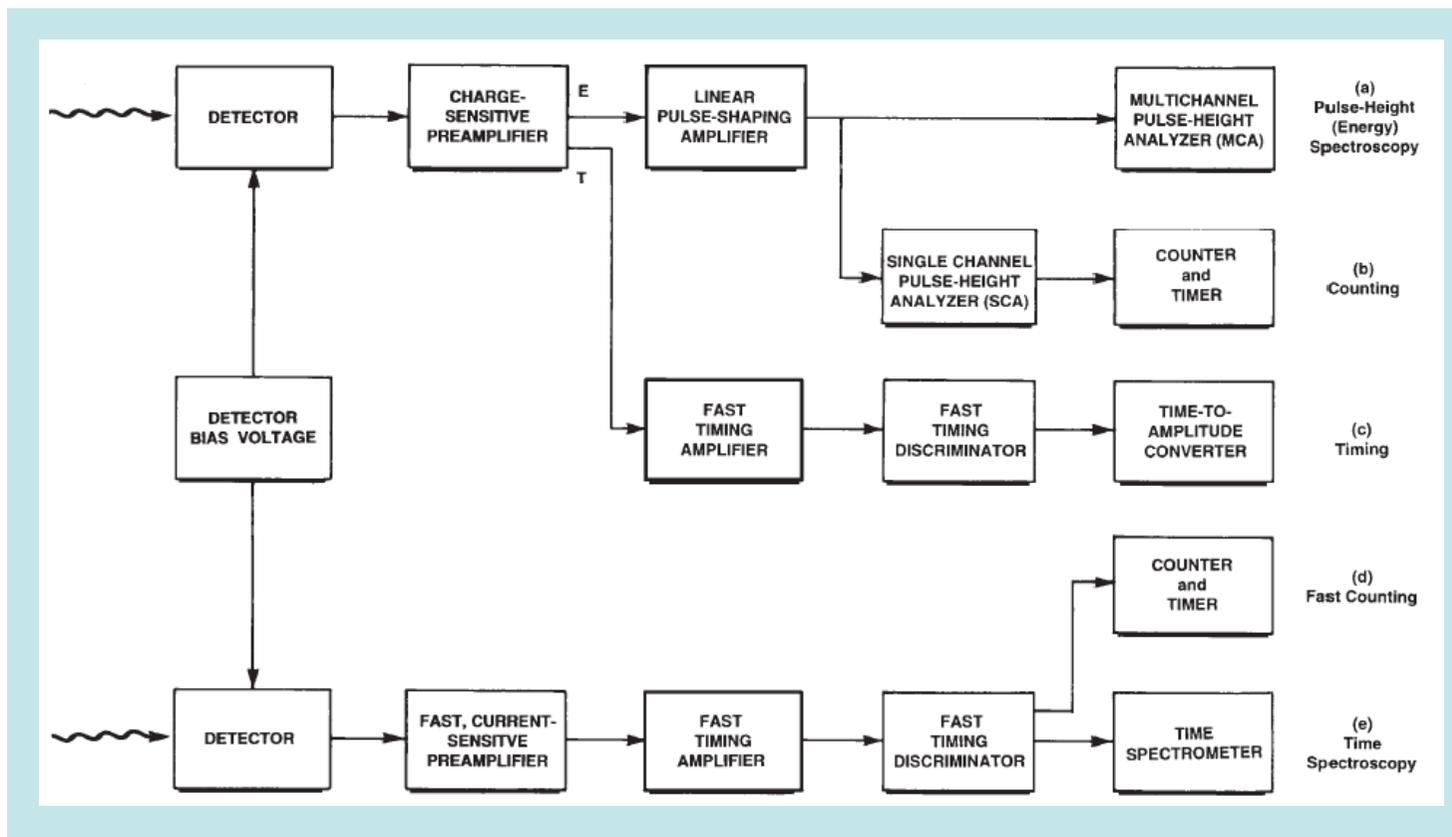
R_f - resistencia de retorno
 (feedback resistor).

R_f es una fuente del ruido y normalmente, es hecho tan grande como sea posible coherente con el señal la corriente de perdida del detector.

$$V_o = \frac{Q_D}{C_f} \text{ and } \tau_f = R_f C_f$$

A - Amplificador

- El amplificador es uno de los componentes más importantes del sistema en aplicaciones para contar, detectar tiempo, o en pulso-amplitud espectroscopia de energía. Normalmente, es el amplificador que proporciona los controles del pulso necesaria para optimizar el desempeño de la electrónica analógica.



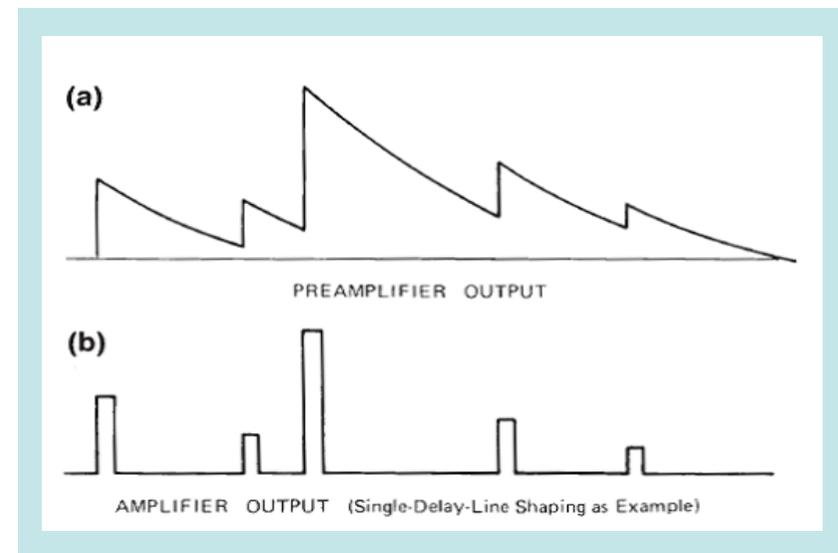
Para la mejor resolución en energía se elige un amplificador lineal formador de pulso.
Para señales de tiempo se utiliza un amplificador rápido TFA.

A - Amplificador. "Shapers" o amplificadores lineales

- "Shapers" o *amplificadores lineales* – son para espectroscopia, es decir la conversión de la amplitud del pulso a energía equivalente detectada. El amplificador realiza varias funciones claves.
- Primario es de aumentar la amplitud de la señal del preamplificador del orden de milivoltios a un rango 0 - 10 V. Esto facilita las medidas exactas de la amplitud de pulso con convertidor analógico a digitales **ADC (Analog to Digital Converter)**, y a los Analizadores de un canal **SCA (Single Channel Analyzer)**.
- Además, el amplificador forma (integra) los pulsos para optimizar la resolución en energía, y para evitar interacción entre pulsos sucesivos. La mayoría de los amplificadores también incorporan un restaurador de la línea de fondo para asegurar el fondo entre pulsos es tenido rígidamente a un potencial fijo.

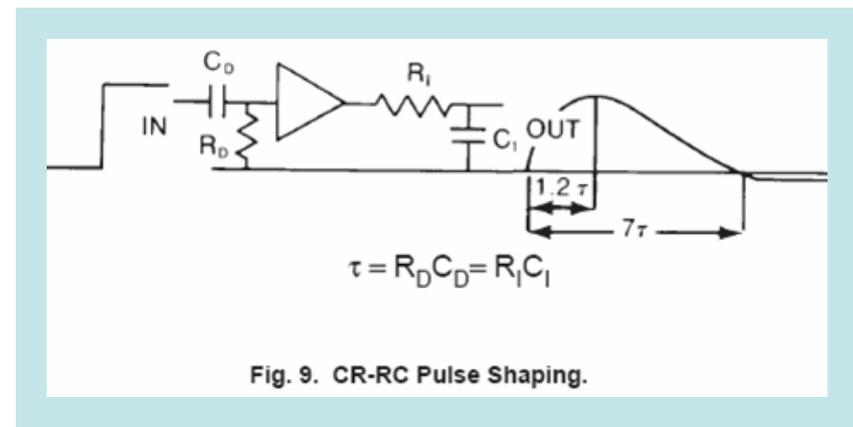
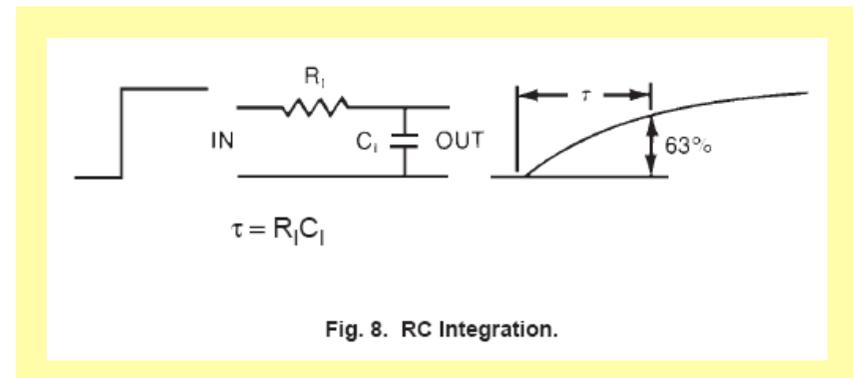
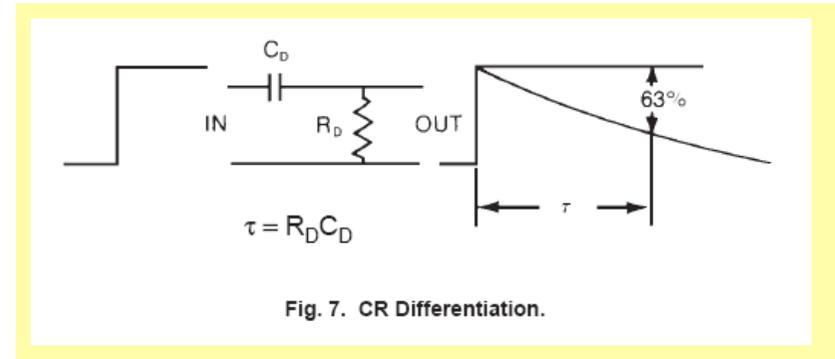
□ La salida de cada pulso consiste en un paso rápidamente creciente, seguido por un lento decaimiento exponencial. Es la amplitud del paso que representa la energía de la radiación detectada.

□ El tiempo exponencial de decaimiento es determinada por el *feedback resistor* en paralelo con *feedback capacitance*. Un decaimiento constante de tiempo de 50 μ s es lo normal.



A - Amplificador. "Shapers" o formar pulso con CR-RC

- El modo mas simple para formar el pulso es un combinación entre un filtro de alta frecuencia (high-pass filter) con un filtro de baja frecuencia (low-pass filter).
- Primero el señal pasa por un CR "high-pass filter", esto mejora la razón señal-a-ruido cuitando las frecuencias mas bajas, que lleva mucho ruido y poco información. Tambien corta el decaimiento del pulso. *CR differentiator*
- Justo antes de la salida del amplificador, el señal pasa por on RC "low-pass filter". Esto mejora razón señal-a-ruido cuitando las altas frecuencias, que contiene ruido exesivo. Esto tambien alarga la subida del pulso. *RC integrator*.
- La combinación de los dos filtros resulta en un señal de salida Unipolar.
 - tiempo diferencial $\tau_D = C_D R_D$ iguala al
 - Timpo integración $\tau_I = R_I C_I$ es decir $\tau_D = \tau_I = \tau$
- → un señal de salida con un crecimiento lento para llegar al maximo altura a 1.2τ



TFA - Timing Filter Amplifier

- Los amplificadores del tiempo son diseñados para tener tiempos de subida en el rango de nano-segundos. Lograr tiempos tan rápidos dar lugar a un compromiso en linealidad y estabilidad con la temperatura del ambiente.
- Pero para la aplicación estos parámetros no son muy importantes. El pulso es normalmente negativo para su compatibilidad con discriminadores rápidos, que fue históricamente diseñados para trabajar directamente con pulsos negativos del ánodo de fotomultiplicadores.

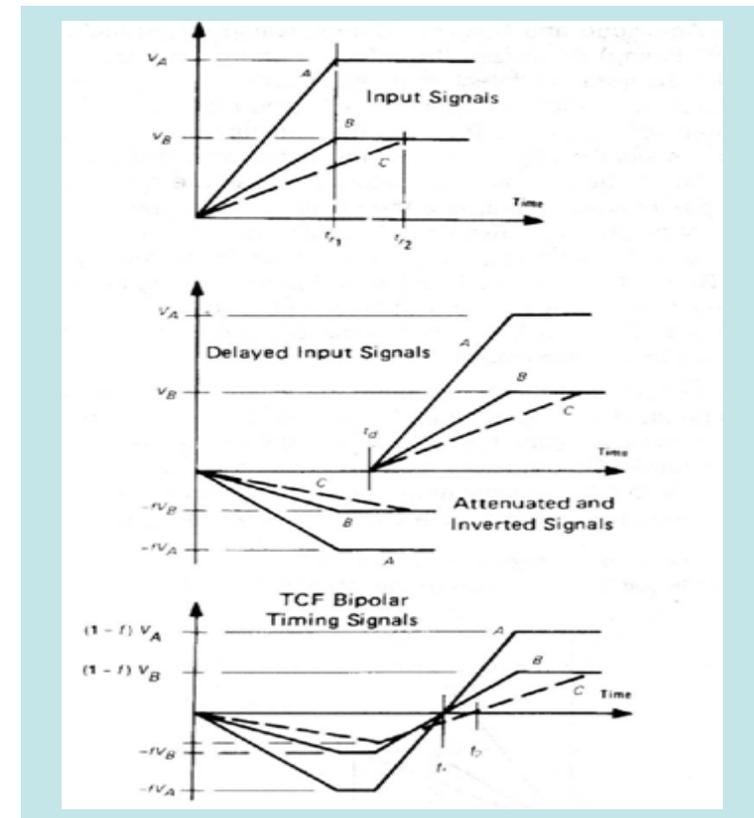
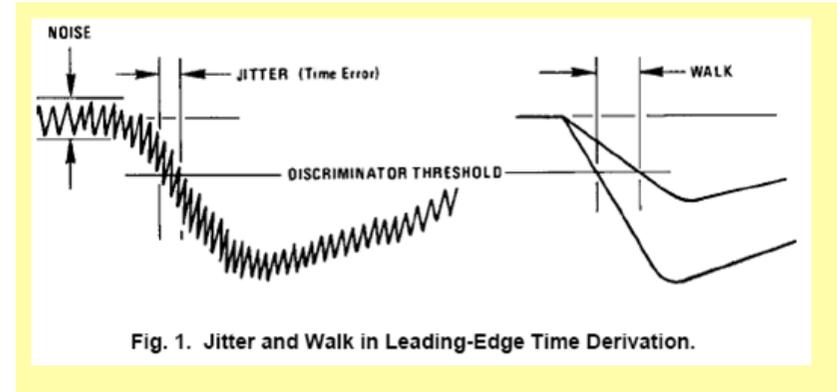
CFD - Constant Fraction Discriminator

- Diseñados para obtener la mejor resolución en tiempo a un alta tasa de conteo utilizando la señal rápida del preamplificador. El pulso análogo que supera la nivel del umbral del discriminador esta convertidos a un pulso lógico fijo a la salida. Tiempo de paso < 10 ns.
- *leading-edge timing*: comparar el nivel de voltaje con el umbral elegido

•CFD constant fraction discriminator

La señal de entrada es partida en dos partes. Una parte es atenuada a una fracción de la amplitud original, y el otro es retrasado y invertido. Las dos señales son sumadas para formar la señal de tiempo de constante-fracción.

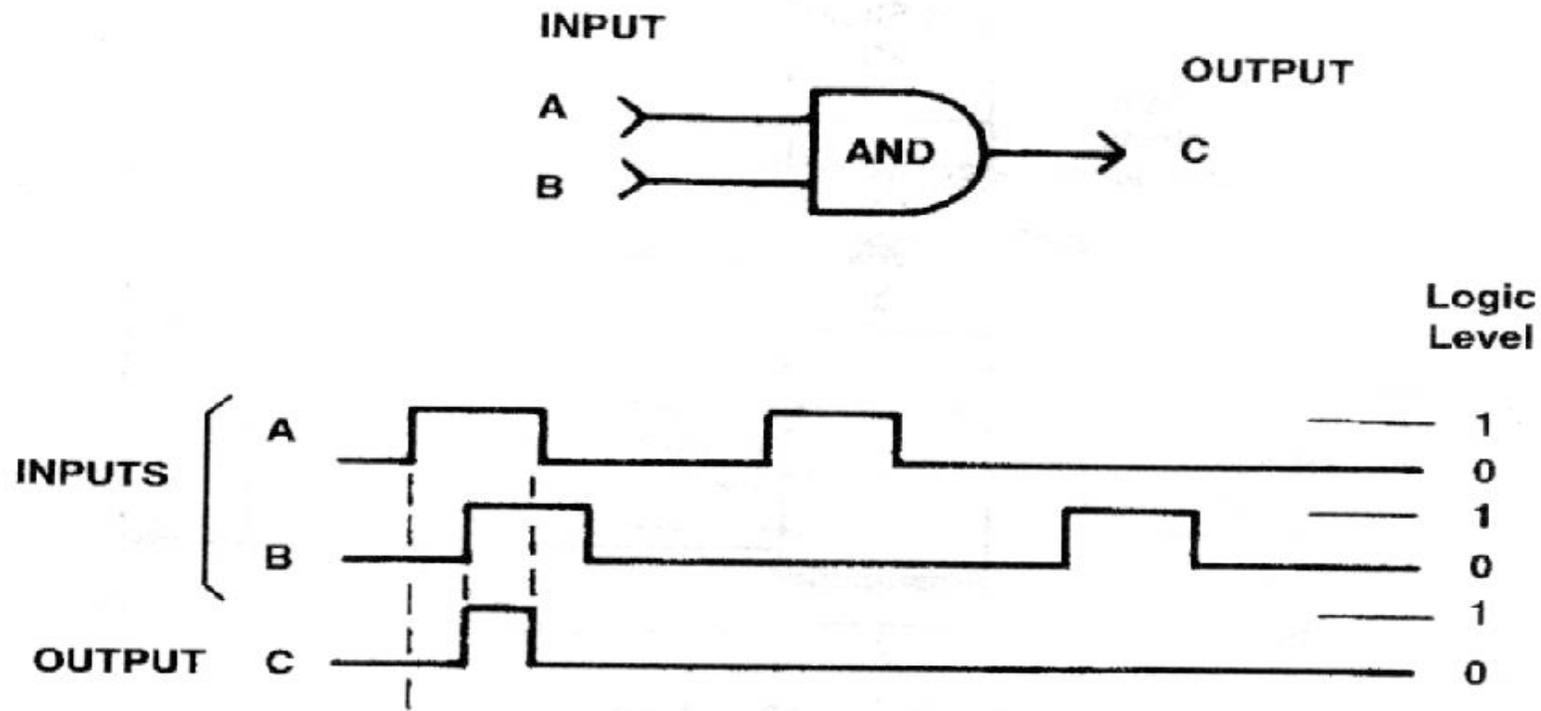
Los dos señales rinden un pulso bipolar que cruza a cero correspondiente al punto original de la fracción óptima.



Circuitos Lógicos (AND, OR, VETO)

Coincidence Units

El modulo de coincidencia mide si dos o varias señales ocurre al mismo tiempo y genera un señal logica VERDAD (1V) o FALSO (0V)



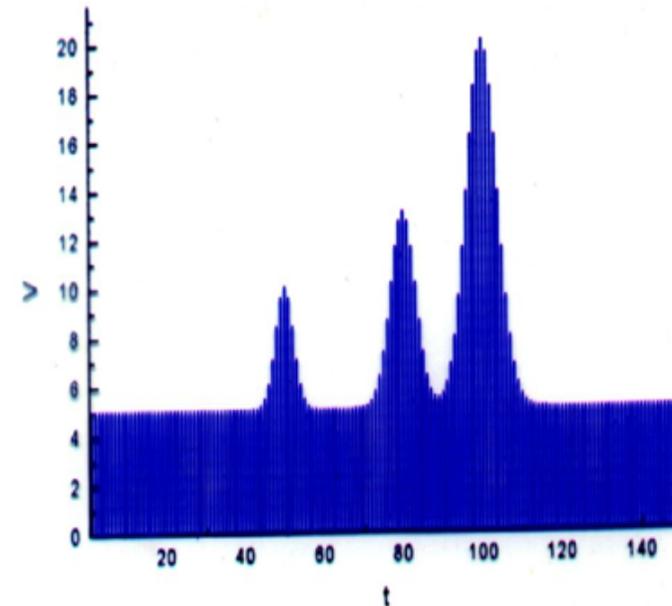
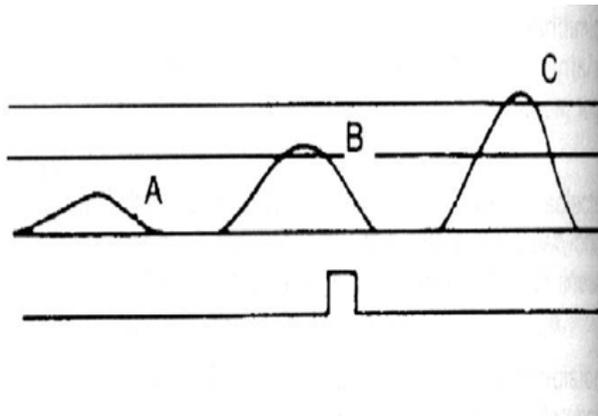
Simple Overlap Coincidence

$$C = A \cdot B$$

8270

Analizador de muchos canales

- *Un conversor analógico digital convierte la altura del pulso en un número binario **C** (0-4095)*
- *los número de veces **N** que un dado valor binario **C** ocurre esta almacenado en la posición de la memoria **C** (canal del histograma).*

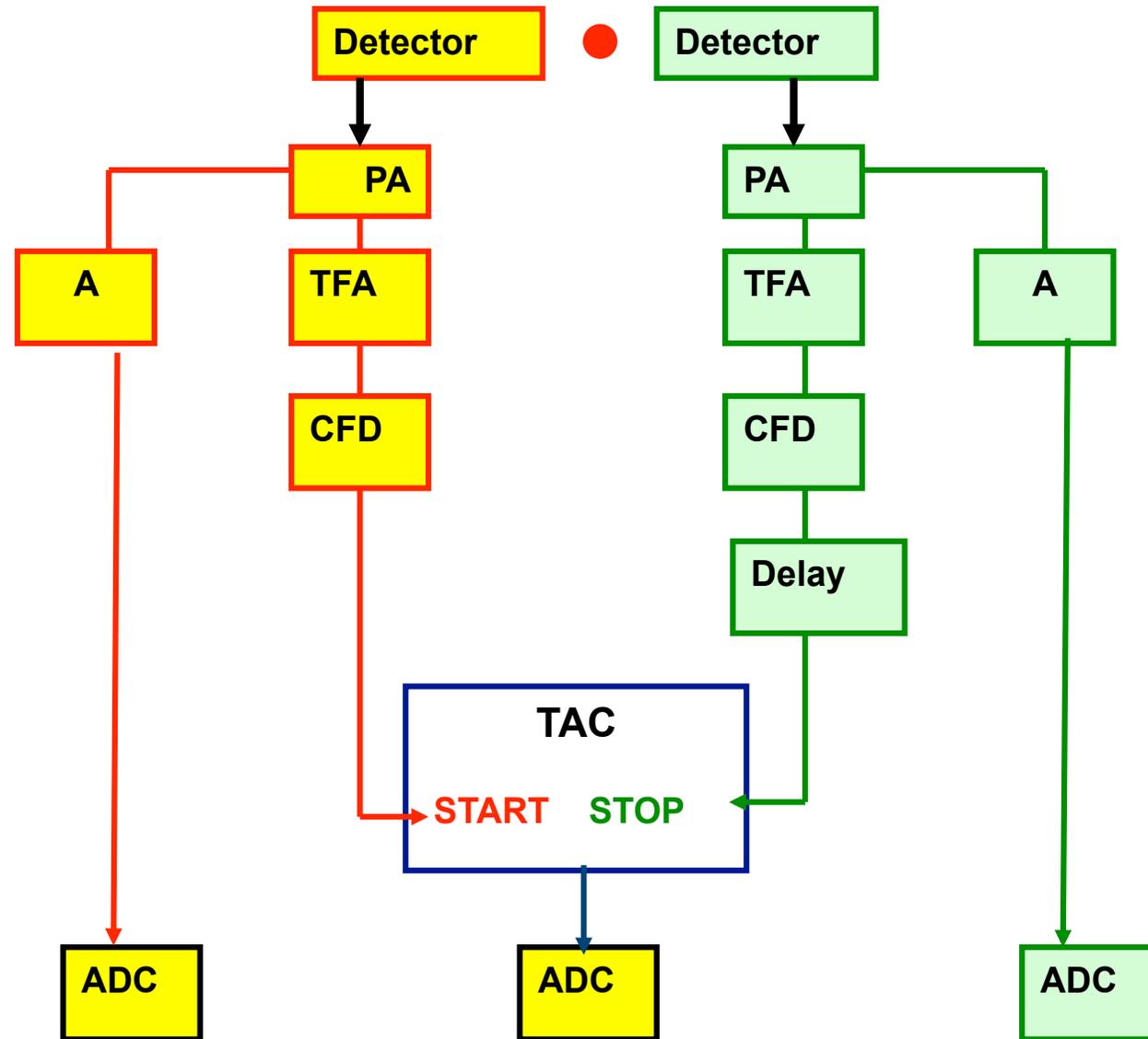


TAC Time-to-Amplitude converter

- El TAC es una unidad que convierte un período de tiempo entre dos pulsos de la lógica en un pulso de salida cuya altura es proporcional a esta duración. Este pulso puede ser analizado por un MCA o ADC.
- Una medida del tiempo por el TAC es disparado por un pulso de START y parado por una señal de STOP.
 - Un método sencillo es de empezar una descarga de un condensador en la llegada de un START y el corte de operaciones cuando llega el STOP.
 - La carga total es entonces proporcional a la duración en tiempo entre el START y el STOP.



Coincidencia de dos detectores usando un TAC



Si elige los buenos sucesos poniendo “gates” en el espectro del TAC en el ADC off-line.

ADC - Conversor Analógico-Digital (Analog to Digital Converter)

TDC - Conversor Tiempo-Digital (Time to Digital Converter)

Un conversor analógico-digital es un dispositivo electrónico capaz de convertir un voltaje determinado en un valor binario, en otras palabras, este se encarga de transformar señales análogas a digitales (0's y 1's)

- Poseen dos señales de entrada llamadas V_{ref+} y V_{ref-} y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada.
- El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (Digital) dependiendo de su resolución.
- Por ejemplo, el convertidor análogo digital ADC0804 tiene la capacidad de convertir una muestra analógica de entre 0 y 5 voltios →
 - Resolución = valor analógico / (2^8)
 - Resolución = 5 V / 256
 - Resolución = 0.0195v o 19.5mv.
- es decir que por cada 19.5 milivoltios que aumente el nivel de tensión entre las entradas, éste aumentará en una unidad su salida (siempre sumando en forma binaria bit a bit). Por ejemplo:

Entrada	- Salida
0 V	- 00000000
0.02 V	- 00000001
0.04 V	- 00000010
1 V	- 00110011
5 V	- 11111111

Wilkinson method:

The input is used to charge a capacitor which is *run-down* at constant current. At the same time a fixed frequency oscillator is gated ON and the number of pulses generated during the time it takes for the capacitor to discharge is counted.

- TDC – Conversor Tiempo-Digital (Time to Digital Converter)
 - Como el ADC pero convierte el tiempo entre dos señales en un valor binario

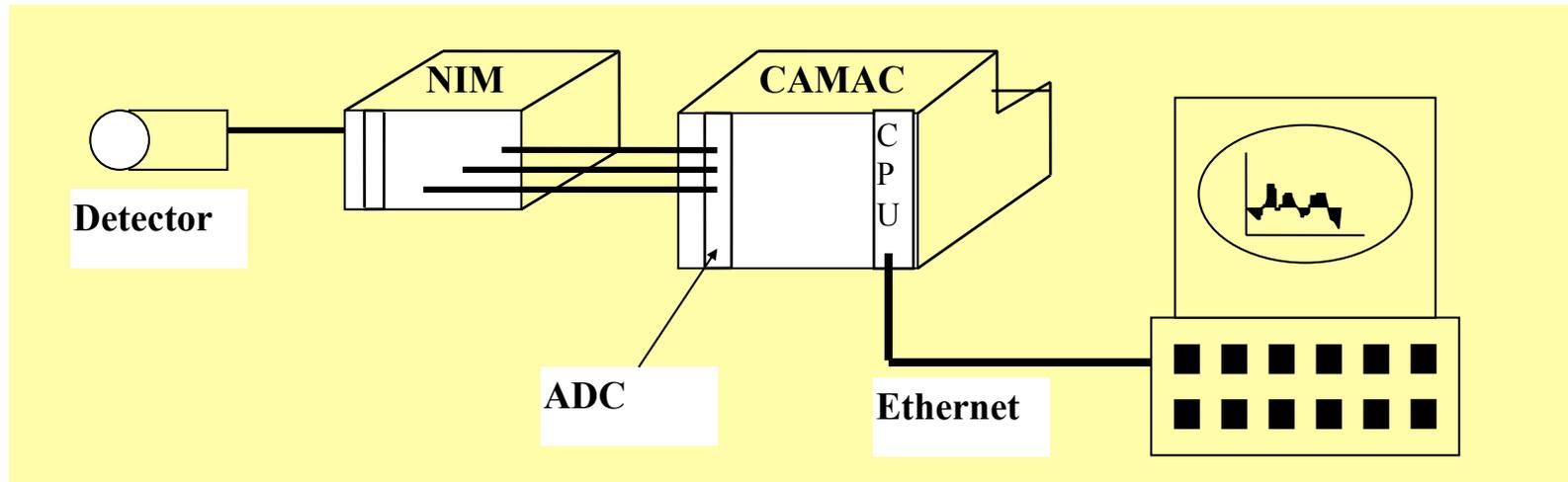
Sistema inteligente: CAMAC

Hasta ahora hemos hablado de sistemas básicas. Pero cuando juntamos varios detectores y mucho canales y cuando queremos saber que detectores que tiene señales al mismo momento, necesitamos resolver muchas coincidencias y no sabemos con antelación cuales. Este tipo de análisis es necesario hacer off-line después el experimento cuando tenemos tiempo suficiente (años) para tratar los datos.

Es necesario tomar datos suceso por suceso con un TimeStamp *sello de tiempo* en cinta o en un disco duro

Suceso (evento) = datos de todos los detectores que ocurre al mismo tiempo, normalmente dentro 2 - 4 μ s

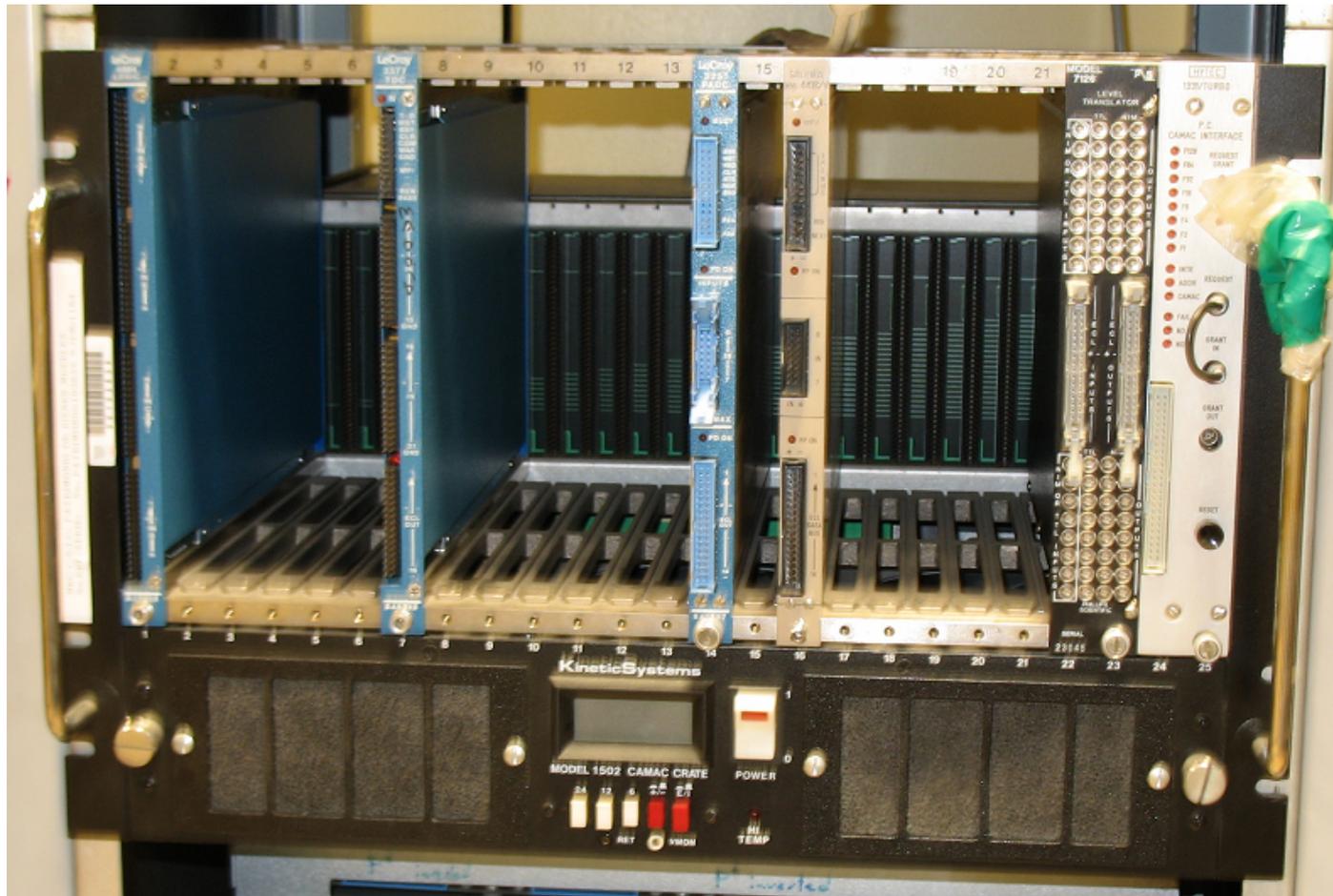
Necesitamos otro interfase entre el NIM y el ordenador:



CAMAC: Computer Automated Measurement And Control

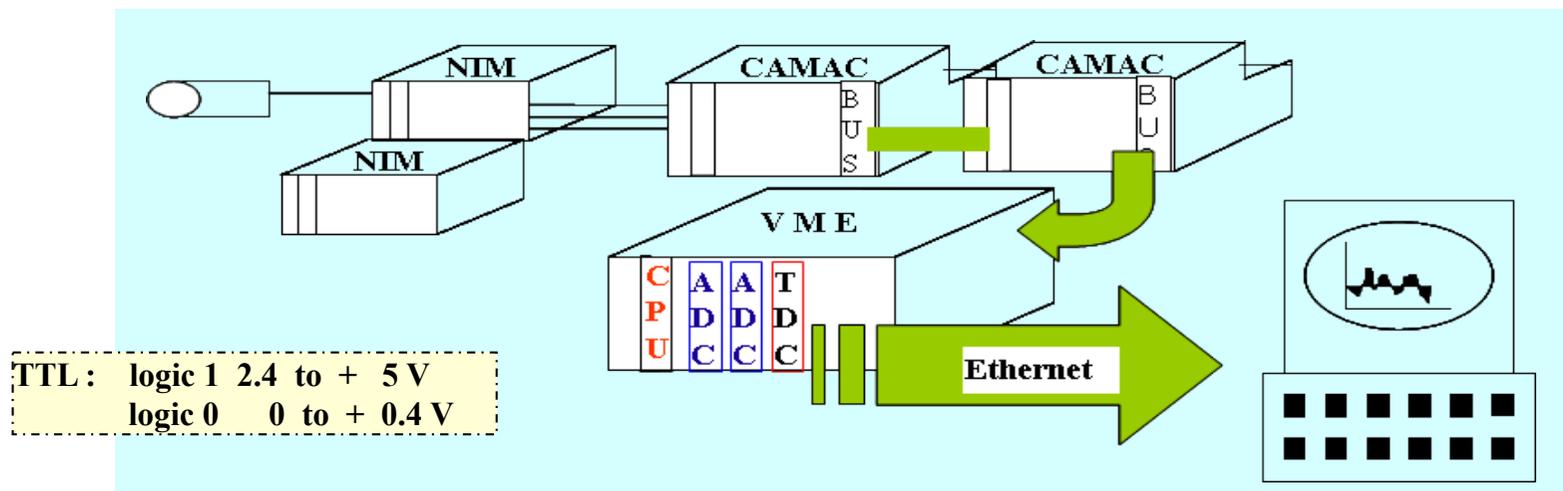
- CAMAC igual que NIM es un sistema modular pero el bastidor no sólo distribuye la alimentación para los módulos por el *BACKPLANE* (placa trasera del bastidor) es al mismo tiempo un bus de datos *DATABUS*, para que todos los módulos sean conectados con el controlador (CPU).
- CAMAC es un estándar internacional de electrónico definido por el comité de ESONE, (desarrolló originalmente en el CERN). Su función es de proporcionar un esquema para permitir una gran variedad de módulos a comunicarse por un *backplane* uniforme el *DATAWAY*.
 - El bastidor tiene 25 posiciones
 - posición 25 es reservado para el controlador
 - La placa trasera lleva 86 *pin sockets* a todas las posiciones del bastidor.
 - Por vía del bus se puede enviar comandos de CAMAC que incluye:
 - *station number a subaddress and a function (F)*
 - El modulo genera una respuesta *acceptance (X)*
 - Hay comandos para leer un modulo *READ* y escribir a un modulo *WRITE line*.
 - El controlador puede ser mas o menos inteligente para que se puede usar el sistema sola “standalone”, o conectada a un ordenador por vía de ethernet .
 - Data rate en el orden de 600 Kbytes/s

CAMAC: Computer Automated Measurement And Control



Sistema inteligente: VME Versa Module Europe

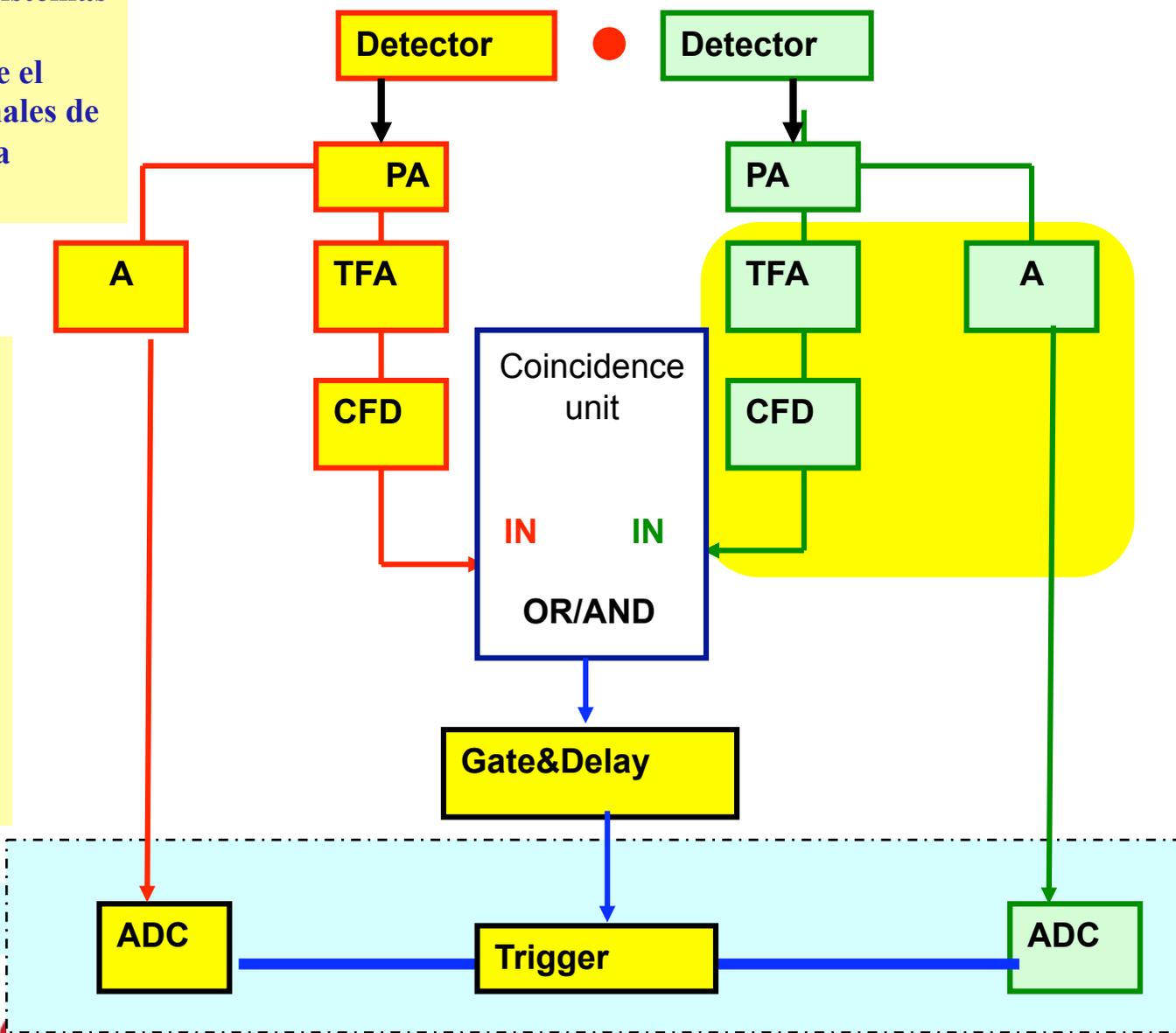
- En arquitectura de ordenadores un bus es un subsistema que transfiere los datos o alimentación entre componentes dentro de un ordenador o entre ordenadores y es controlado típicamente por *device driver software*.
- VMEbus es un “computer bus” el estándar originalmente desarrollado por Motorola para la línea de CPUs 68000, pero luego extensamente utilizado para muchas aplicaciones y estandarizado. Es basado físicamente en el Eurocard.
 - El bús de VME es basado en señales de TTL que pasa por la placa madre del bastidor (backplane of the crate), pone el datarate a acerca de 20 MBytes/s.
 - Definido como IEEE 1014-1987 estandard (desarrollado en el CERN pero adoptado y introducido comercialmente por las empresas Motorola, Phillips, Thompson, y Mostek en 1981).



Coincidencia de varios detectores usando un logical OR y Trigger

Ahora podemos construir sistemas todavía mas complejas. Pero siempre independiente el numero de detectores y canales de electrónica el esquema es la misma

Se construye un TRIGGER y abre una ventana en tiempo GATE durante su duración el ADC esta abierta para analizar el pulso A terminar el gate empieza la conversión a numero digital



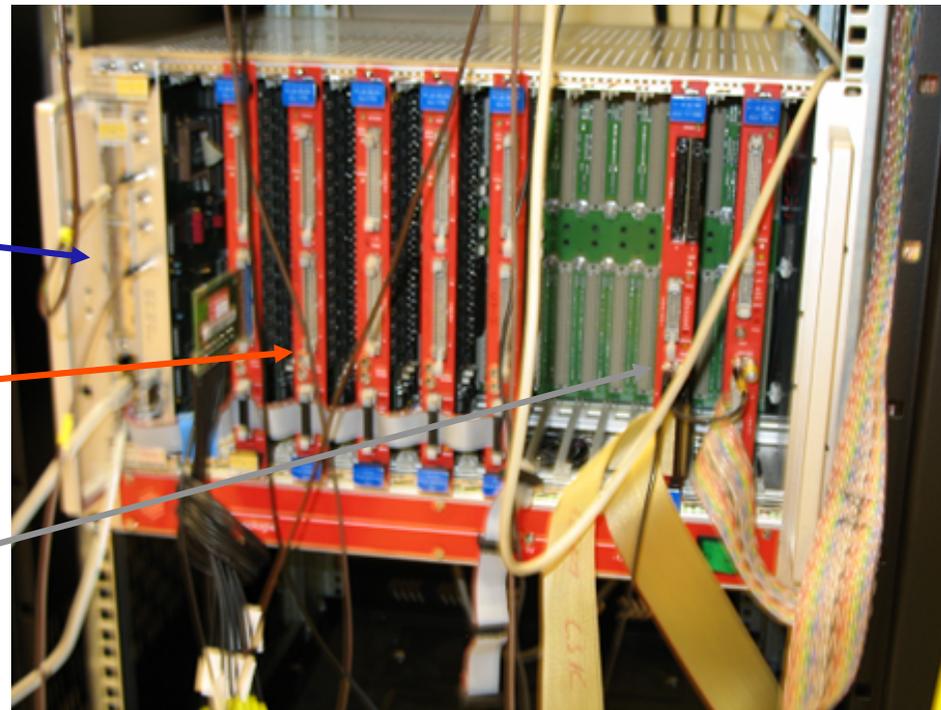
Sistema inteligente: VME

- Definido como IEEE 1014-1987 estandard (desarrollado en el CERN pero adoptado y introducido comercialmente por las empresas Motorola, Phillips, Thompson, y Mostek en 1981).
- Es un sistema que esta completamente “mapeado en memoria”, de modo que cada modulo es visto como una dirección en memoria del CPU.
- Existe procesadores, *CPU*, muy potentes (power PC) y el sistema puede manejar varias CPUs al mismo tiempo

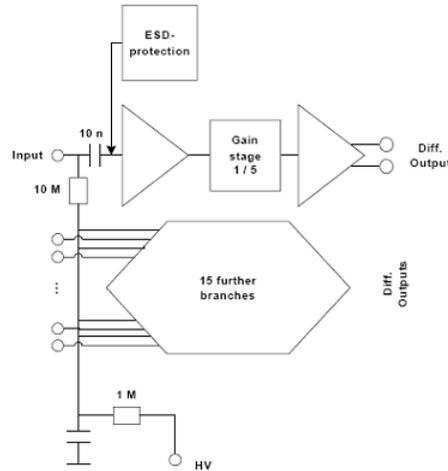
Motorola MVME5500
1 GHz power PC
512 MByte RAM

CAEN V785AG
32ch ADC

CAEN V1190
128 ch TDC



Electrónica semi-integrada: módulos de 16 canales



- SubD9 connector: 1, 2 = gnd, 3 = +6V, 4 = +12V, 5 = -6V
- +6V 90mA
- -6V -80mA
- +12V 100mA



Sistema semi integrada:
PA de 16 canales con muy baja consumo de energía.
Conectado con señales de ECL y cable de “twisted pair” 34 pines a un modulo NIM también de 16 canales, incluyendo 16 TFA, 16 LED, 16 Shapers, 16 retrasos.
Tambien de muy baja consumo.

