

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

Esteban Fullana

`Esteban.Fullana.Torregrosa@cern.ch`

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear and IFIC,
CSIC-Universitat de Valencia

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS
- El calorímetro hadrónico TileCal

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS
- El calorímetro hadrónico TileCal
- El ROD

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS
- El calorímetro hadrónico TileCal
- El ROD
- Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS
- El calorímetro hadrónico TileCal
- El ROD
- Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD
- Algoritmo de Filtrado Óptimo

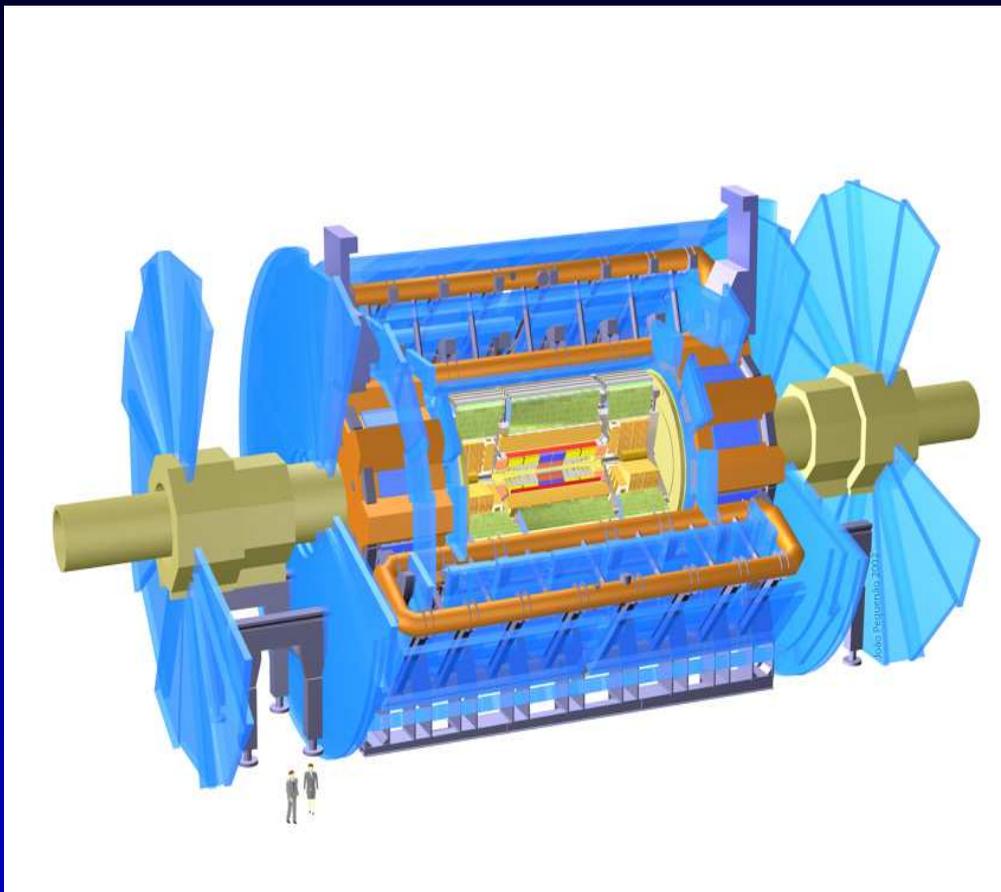
Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS
- El calorímetro hadrónico TileCal
- El ROD
- Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD
- Algoritmo de Filtrado Óptimo
- Resultados

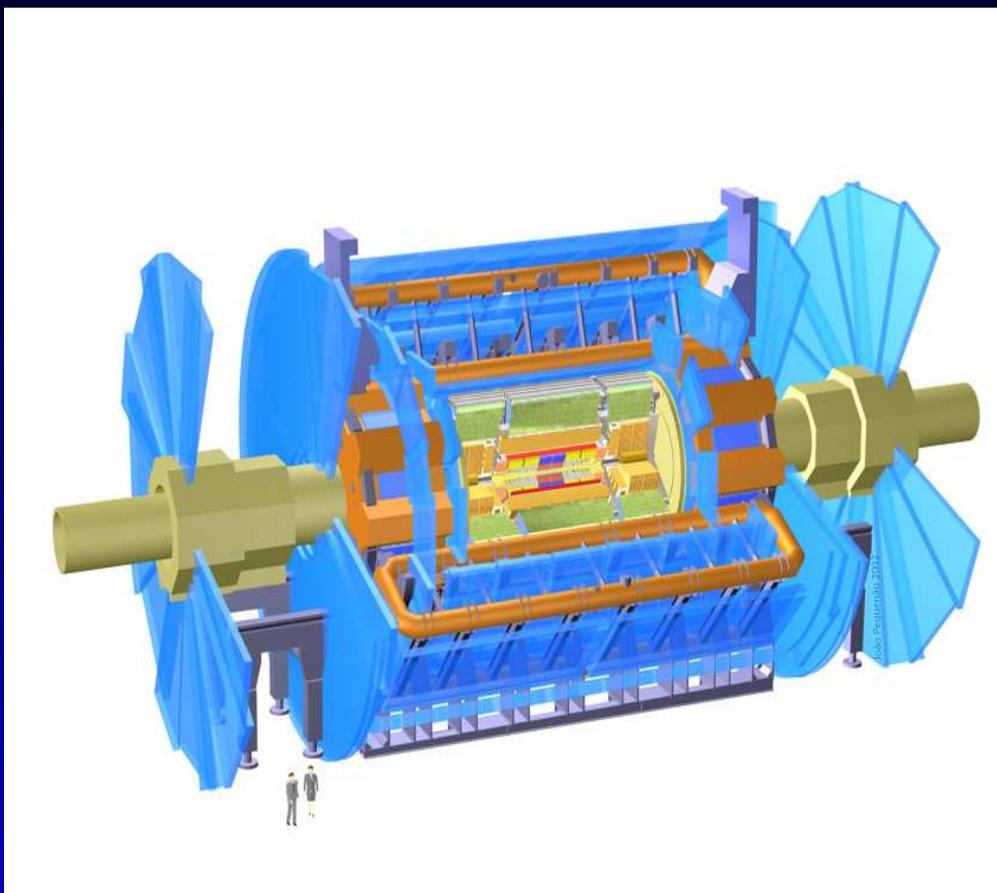
Algoritmos de Reconstrucción de Energía

- El detector ATLAS
- El calorímetro hadrónico TileCal
- El ROD
- Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD
- Algoritmo de Filtrado Óptimo
- Resultados
- Conclusiones

El detector ATLAS

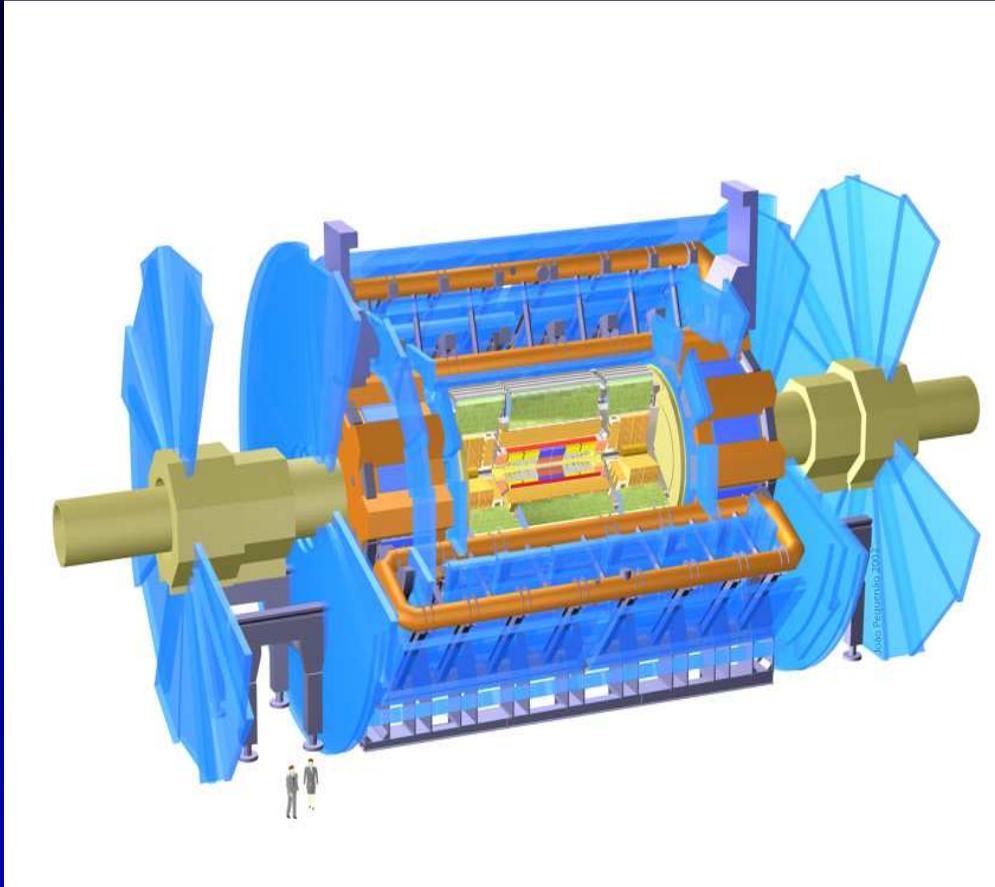


El detector ATLAS



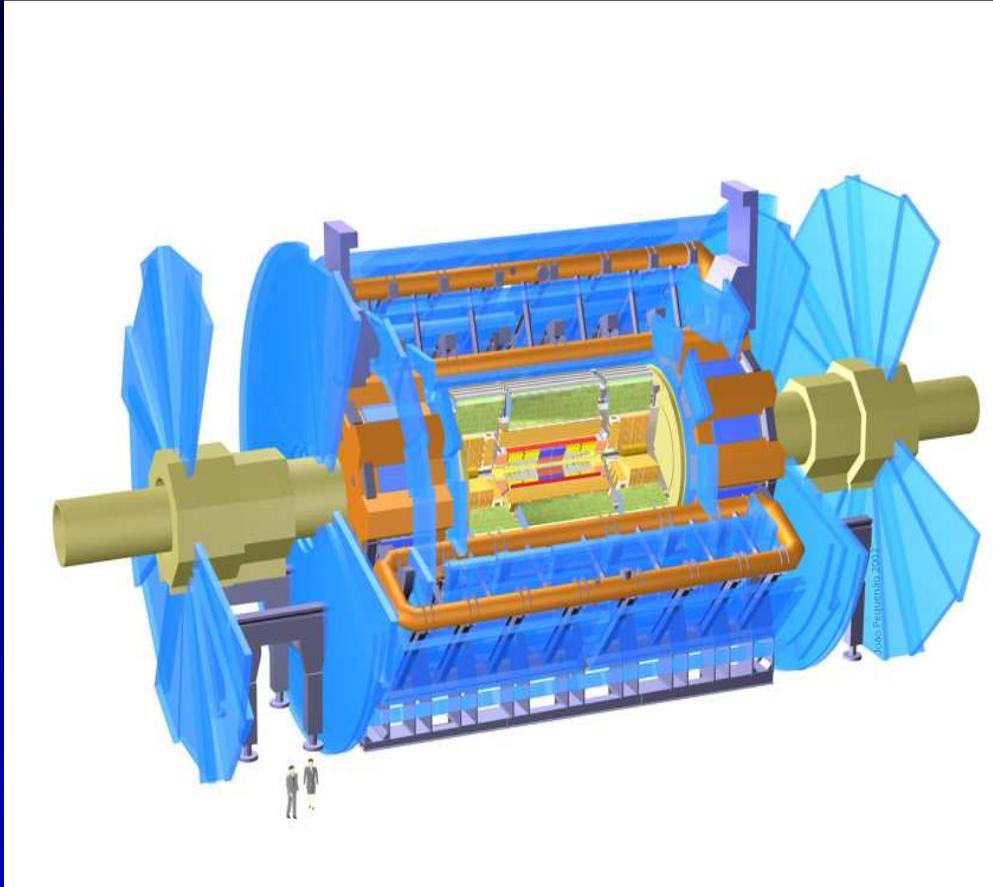
- Detector Interno (barril):
30% en $P_T = 500$ GeV

El detector ATLAS



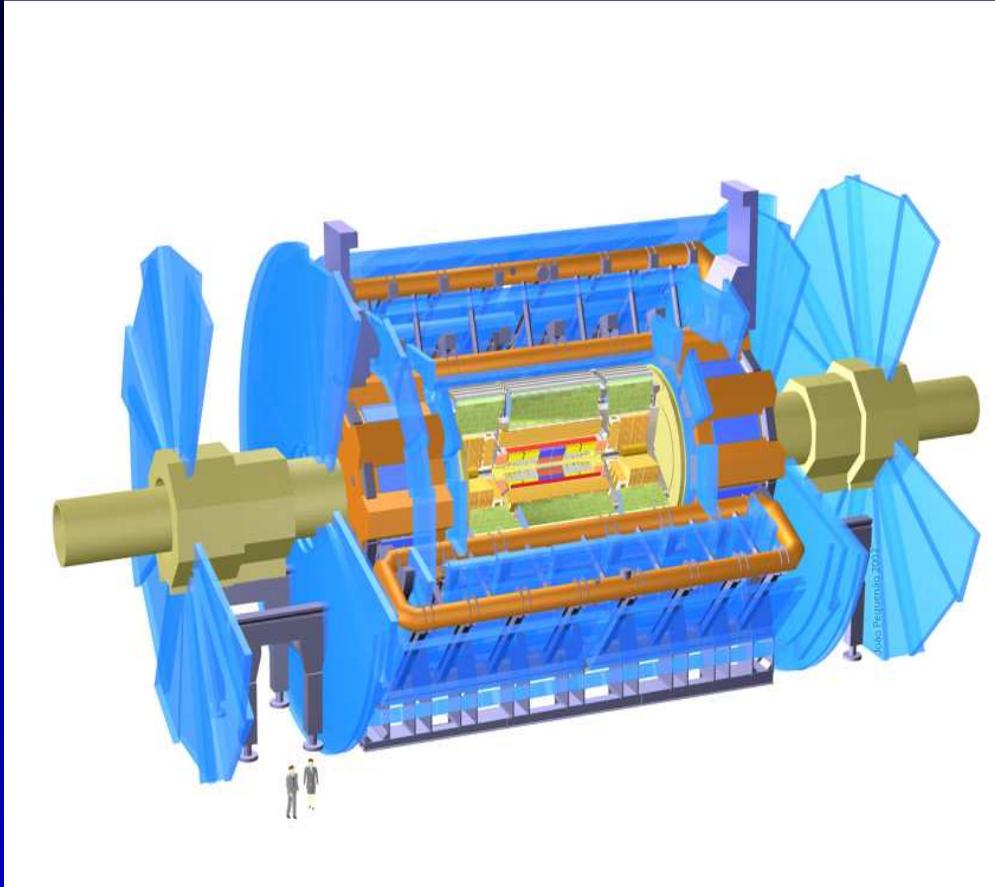
- Detector Interno (barril):
30% en $P_T = 500 \text{ GeV}$
- Calorímetro e.m. (barril):
 $\frac{10\%}{\sqrt{E}} + 0.7\%$

El detector ATLAS



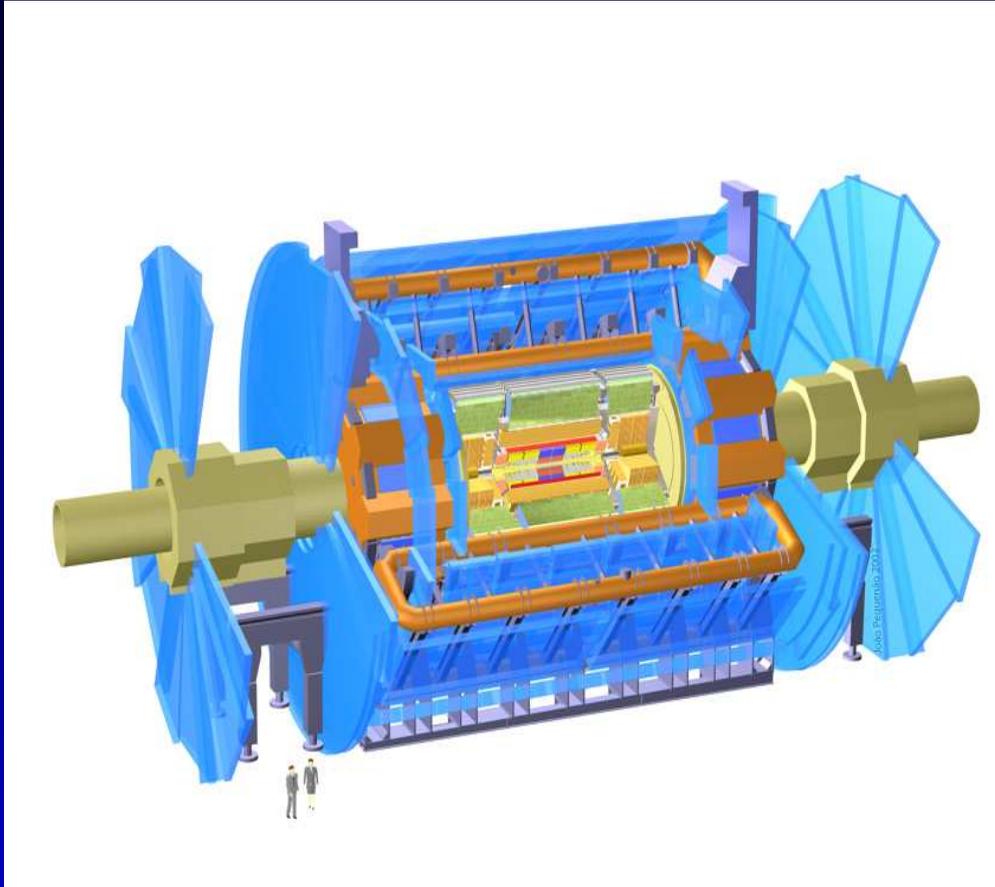
- Detector Interno (barril):
30% en $P_T = 500 \text{ GeV}$
- Calorímetro e.m. (barril):
 $\frac{10\%}{\sqrt{E}} + 0.7\%$
- Calorímetro Had. (barril):
 $\frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$

El detector ATLAS



- Detector Interno (barril):
30% en $P_T = 500 \text{ GeV}$
- Calorímetro e.m. (barril):
 $\frac{10\%}{\sqrt{E}} + 0.7\%$
- Calorímetro Had. (barril):
 $\frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Espectrómetro de Muones: 10% en $P_T = 1 \text{ TeV}$

El detector ATLAS

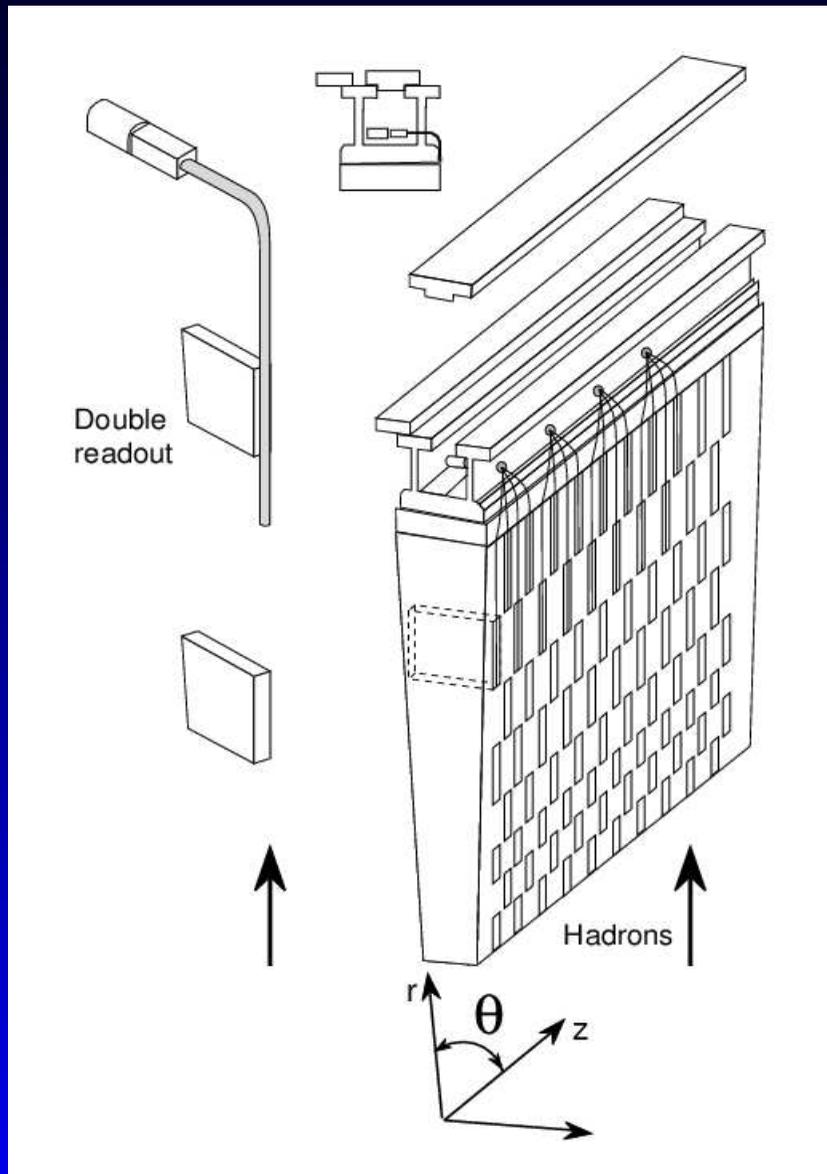


- Detector Interno (barril):
30% en $P_T = 500 \text{ GeV}$
- Calorímetro e.m. (barril):
 $\frac{10\%}{\sqrt{E}} + 0.7\%$
- Calorímetro Had. (barril):
 $\frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Espectrómetro de Muones: 10% en $P_T = 1 \text{ TeV}$
- Cobertura total (en pseudorapidity) : $0 < |\eta| < 5$

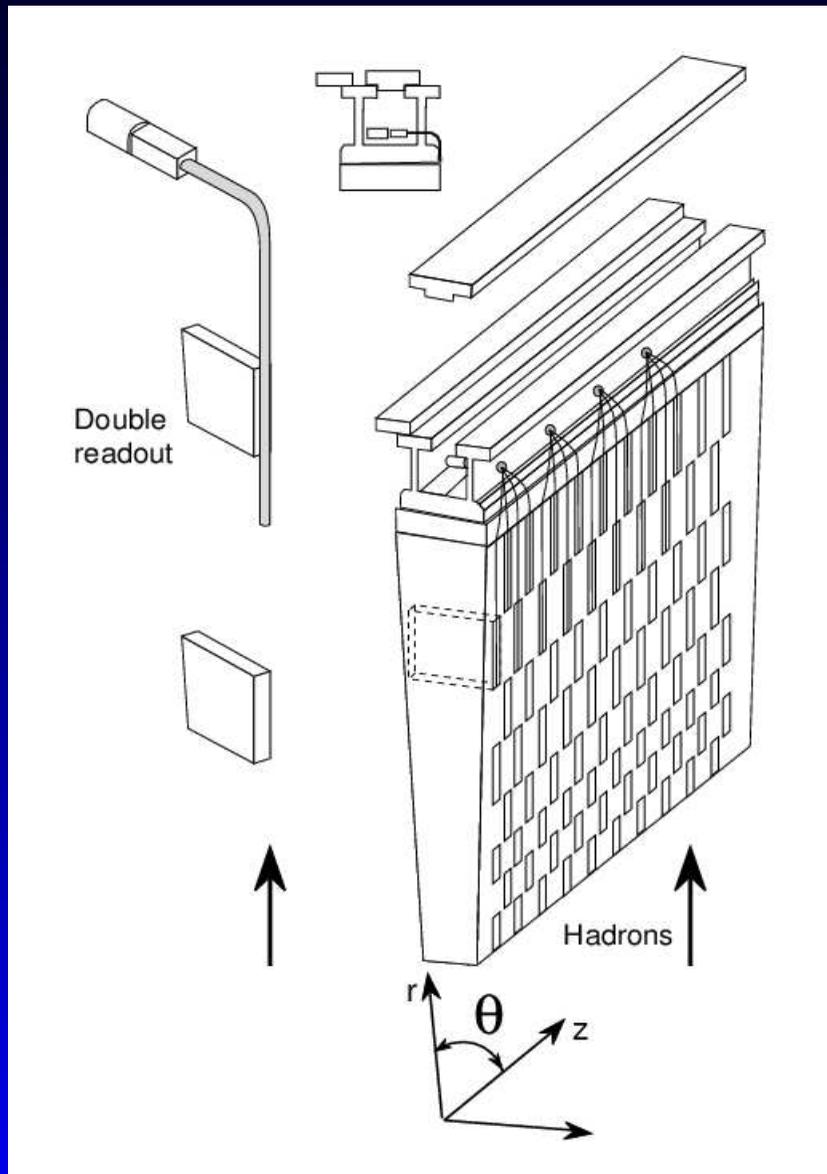
El detector ATLAS



El calorímetro TileCal

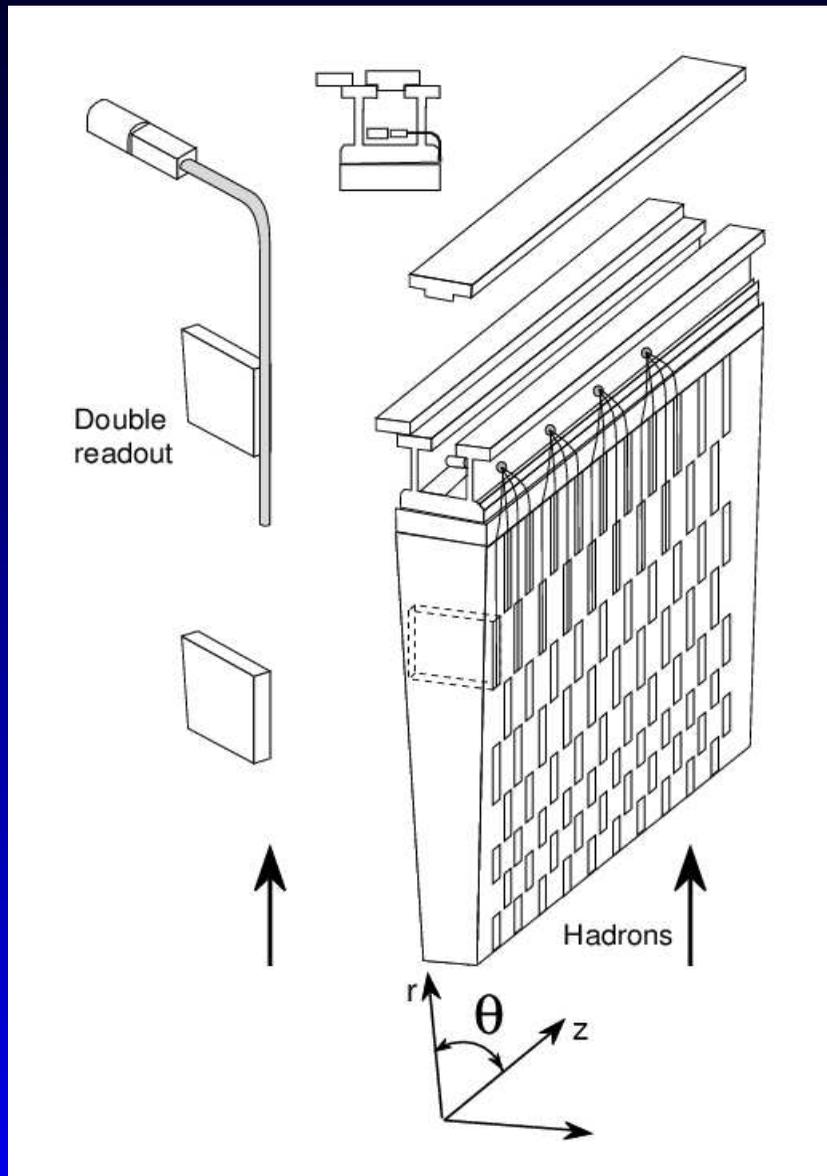


El calorímetro TileCal



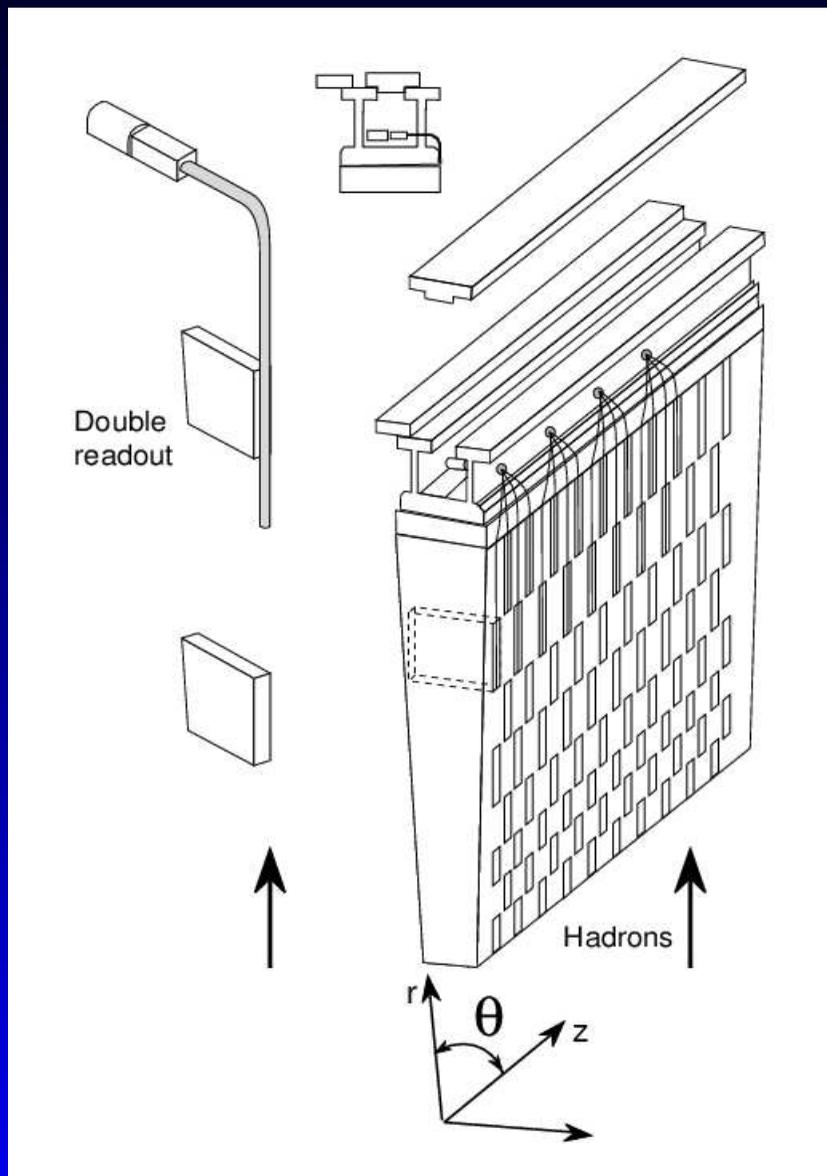
- Calorímetro Hadrónico

El calorímetro TileCal



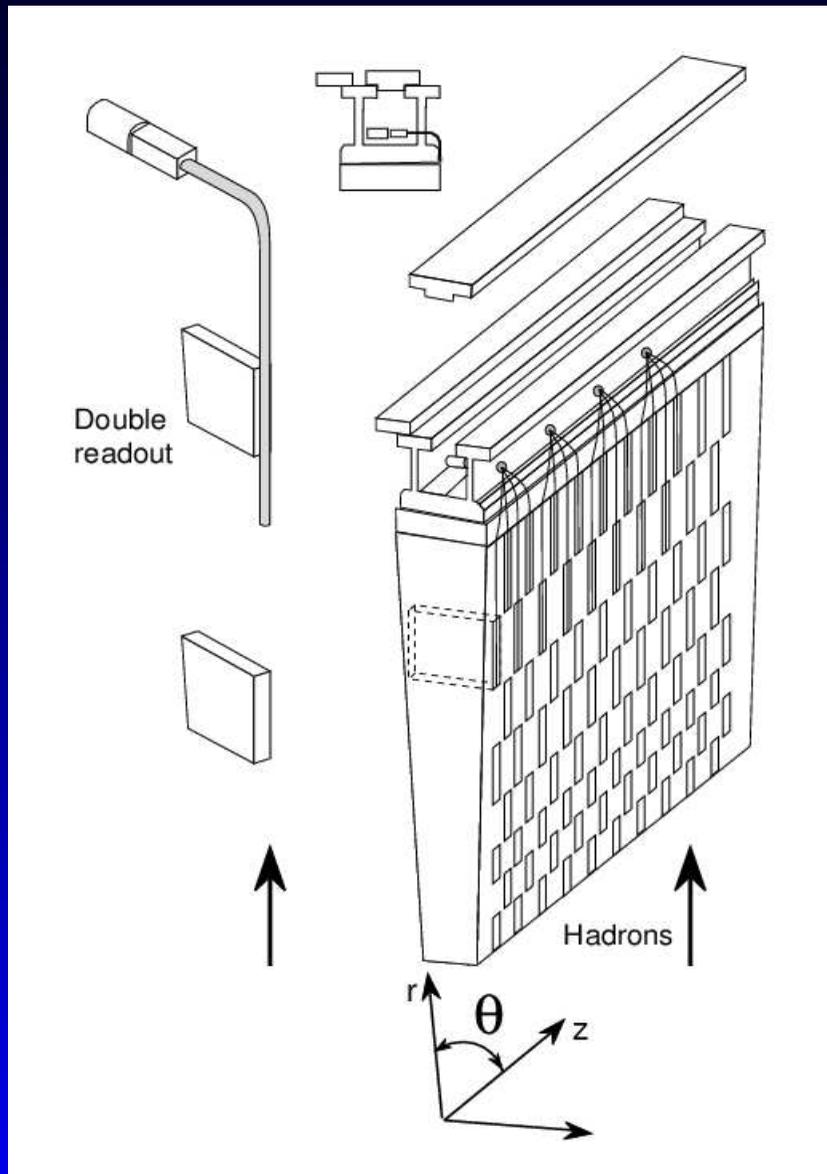
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro

El calorímetro TileCal



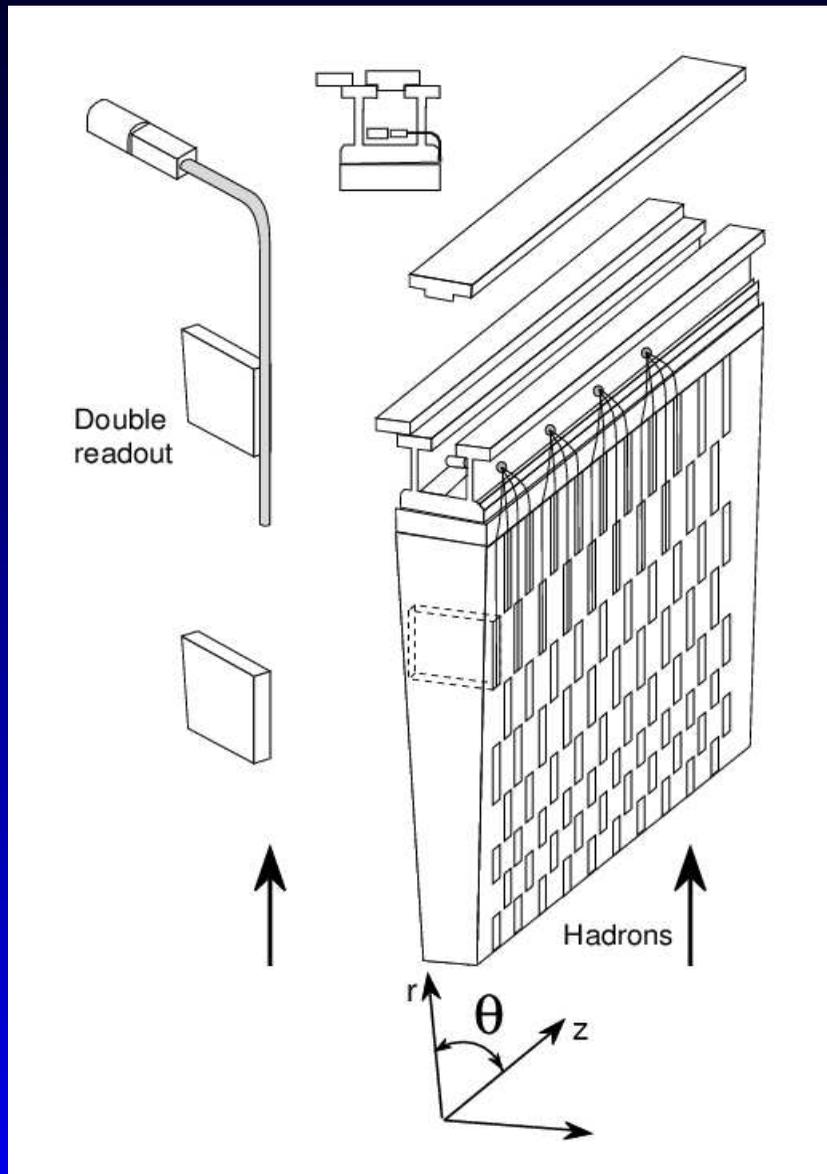
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador

El calorímetro TileCal



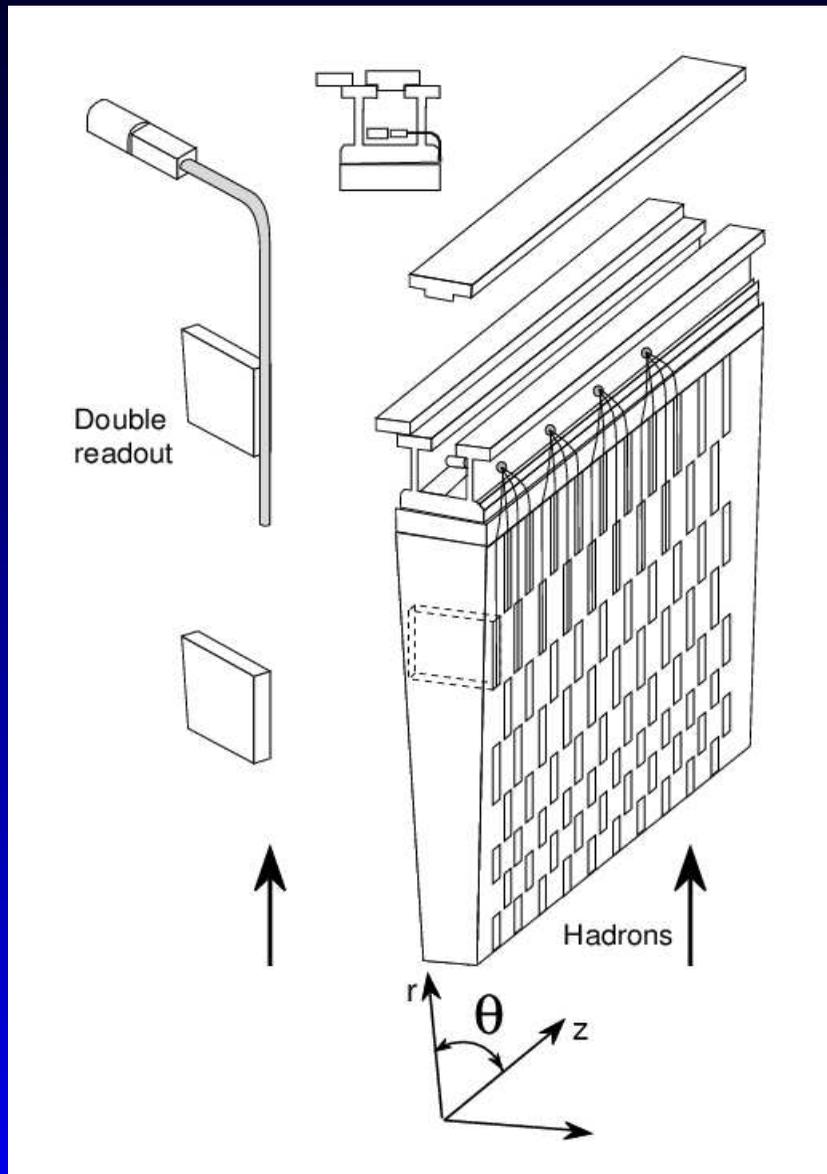
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores

El calorímetro TileCal



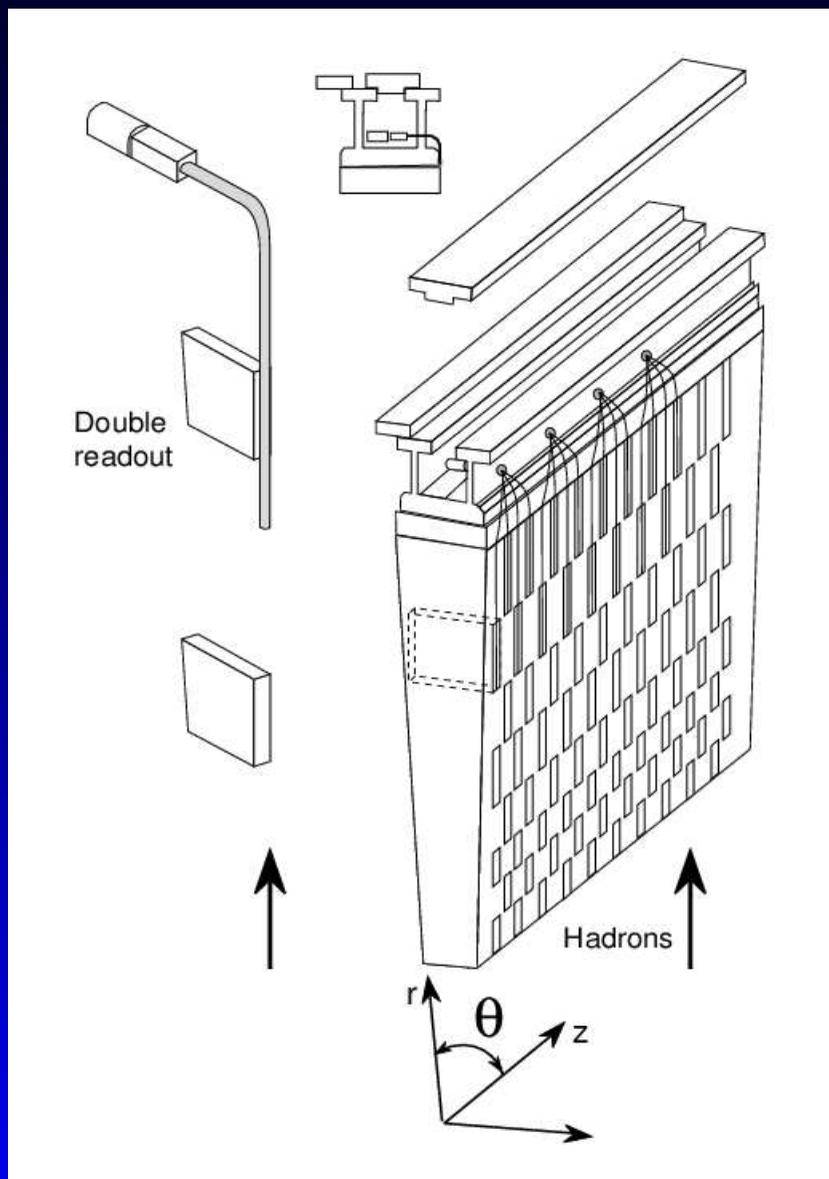
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores
- $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$

El calorímetro TileCal



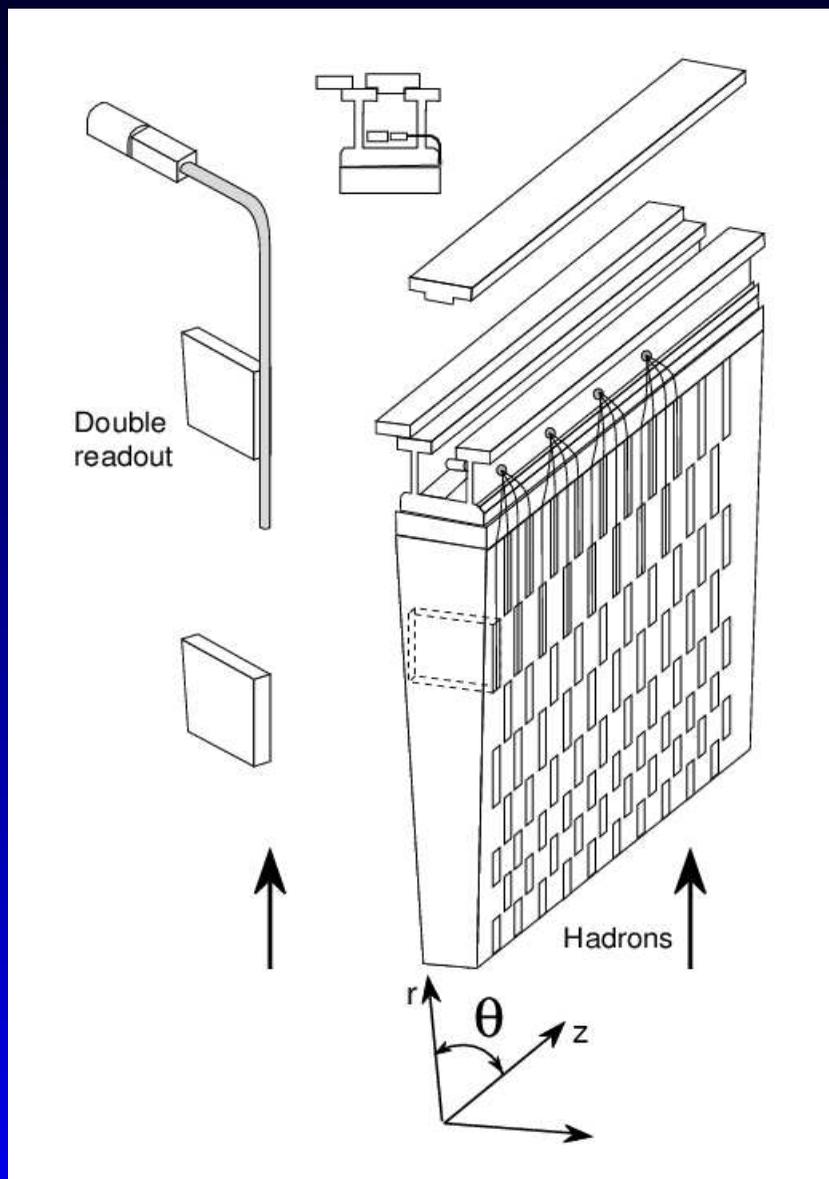
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores
- $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Tejas \perp a la dirección del haz

El calorímetro TileCal



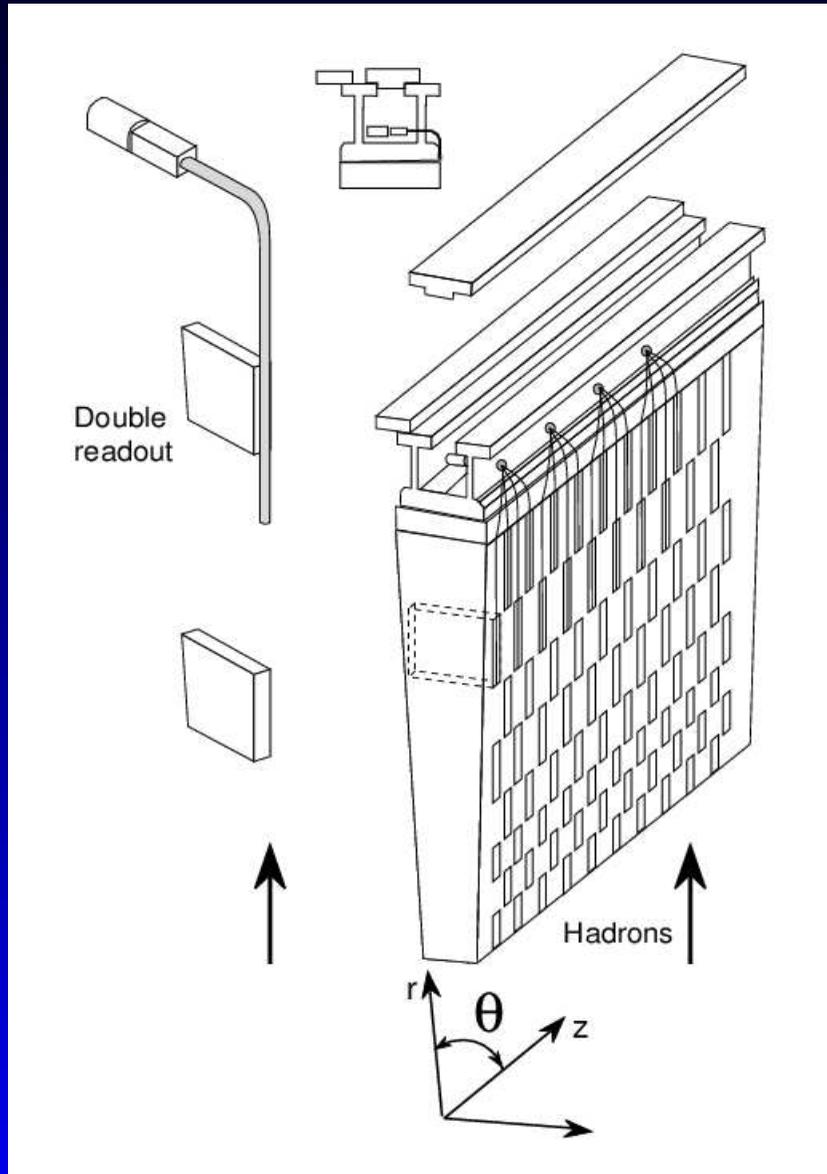
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores
- $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Tejas \perp a la dirección del haz
- 3 Barriles, 1 central (BC) y 2 extendidos (BE)

El calorímetro TileCal



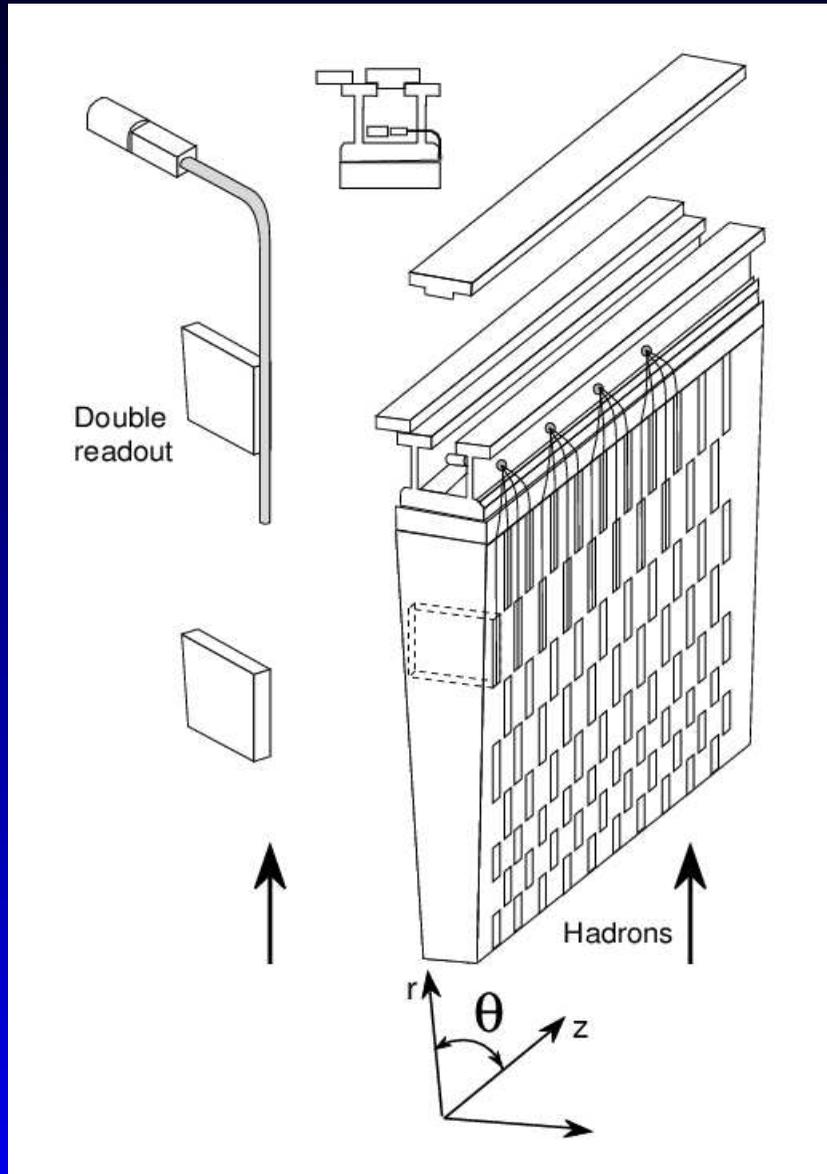
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores
- $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Tejas \perp a la dirección del haz
- 3 Barriles, 1 central (BC) y 2 extendidos (BE)
- Cada barril segmentado en 64 módulos

El calorímetro TileCal



- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores
- $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Tejas \perp a la dirección del haz
- 3 Barriles, 1 central (BC) y 2 extendidos (BE)
- Cada barril segmentado en 64 módulos
- Cada módulo segmentado en 45 (BC) o 32 (BE) celdas

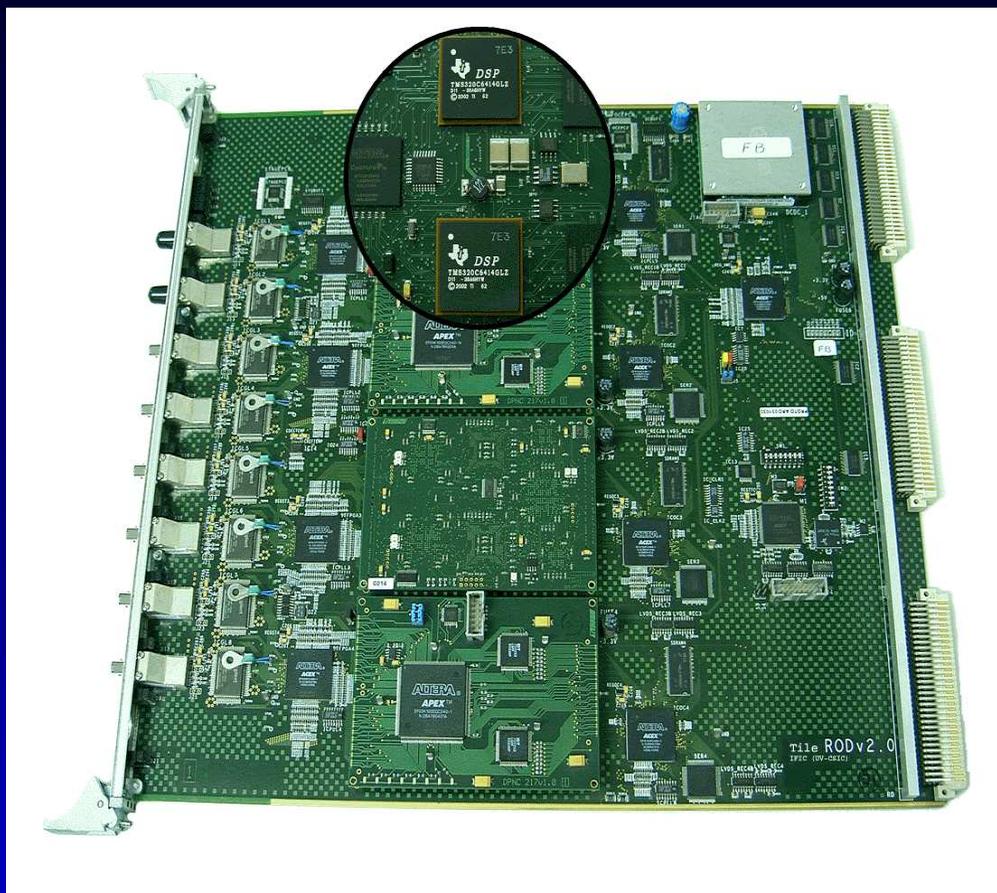
El calorímetro TileCal



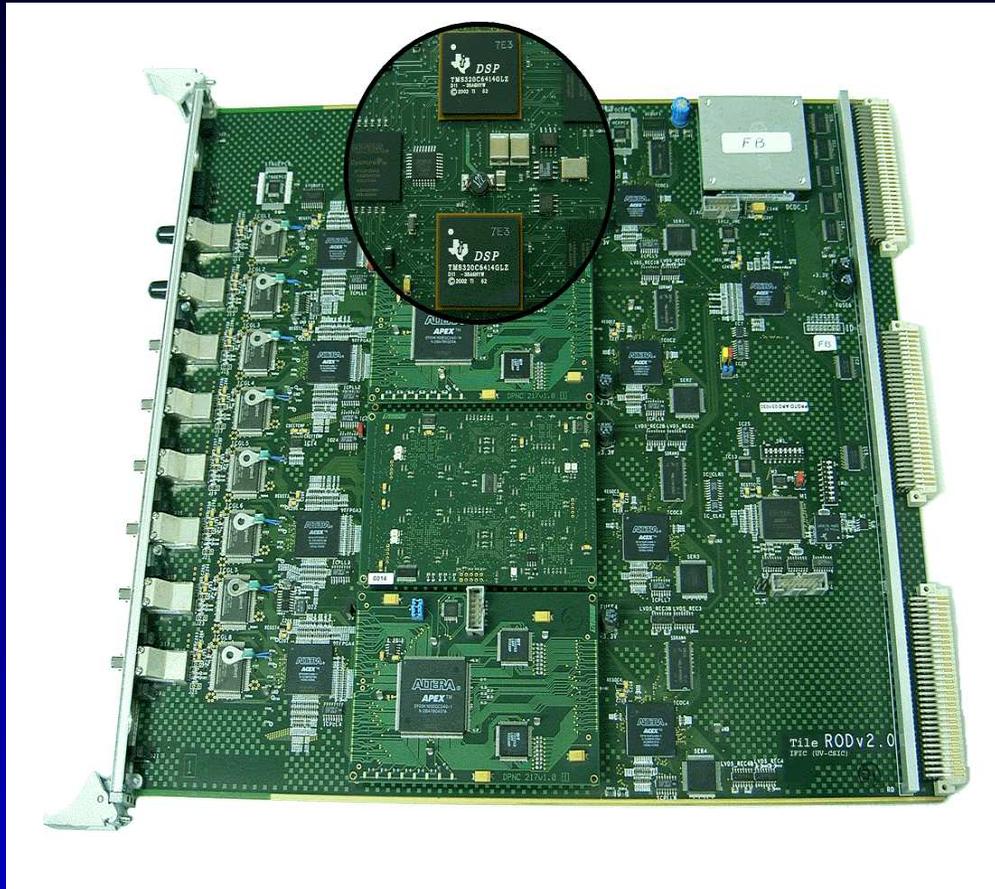
- Calorímetro Hadrónico
- Material Pasivo: Hierro
- Material Activo: Centelleador
- $\sim 10\,000$ fotomultiplicadores
- $\frac{\sigma}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} + 3\%$
- Tejas \perp a la dirección del haz
- 3 Barriles, 1 central (BC) y 2 extendidos (BE)
- Cada barril segmentado en 64 módulos
- Cada módulo segmentado en 45 (BC) o 32 (BE) celdas
- Cada celda es leída por 2 fotomultiplicadores

El sistema ROD

El sistema ROD

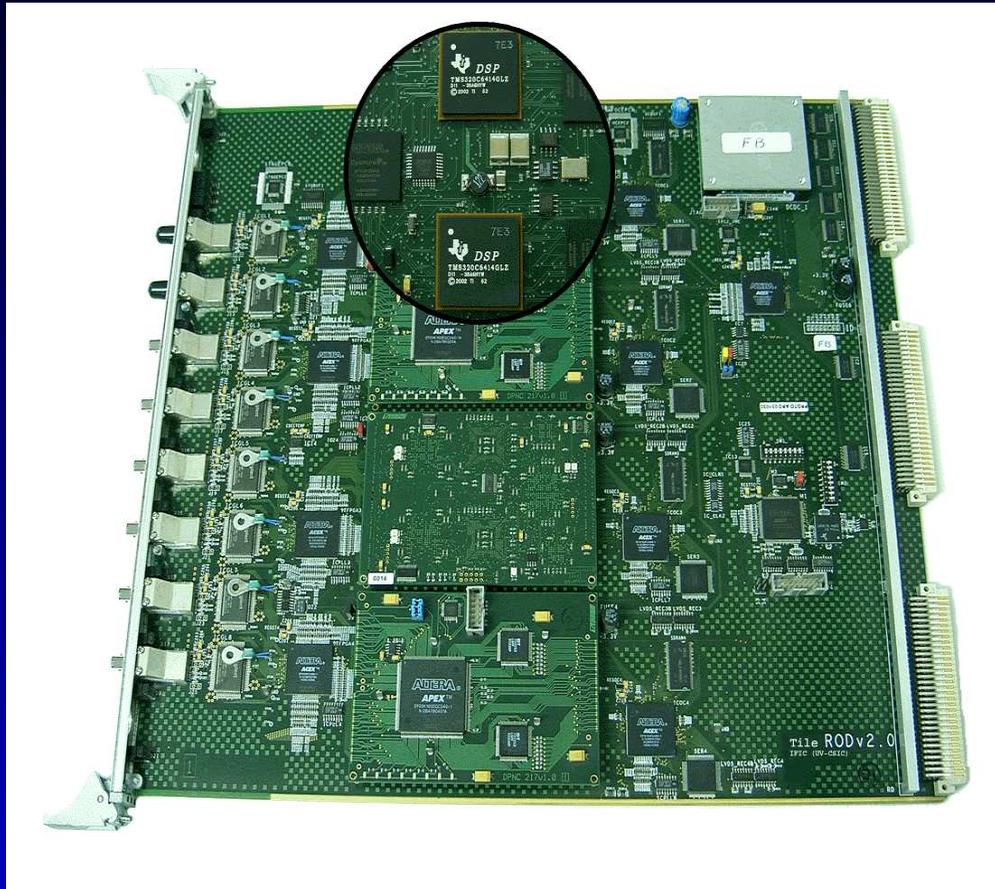


El sistema ROD



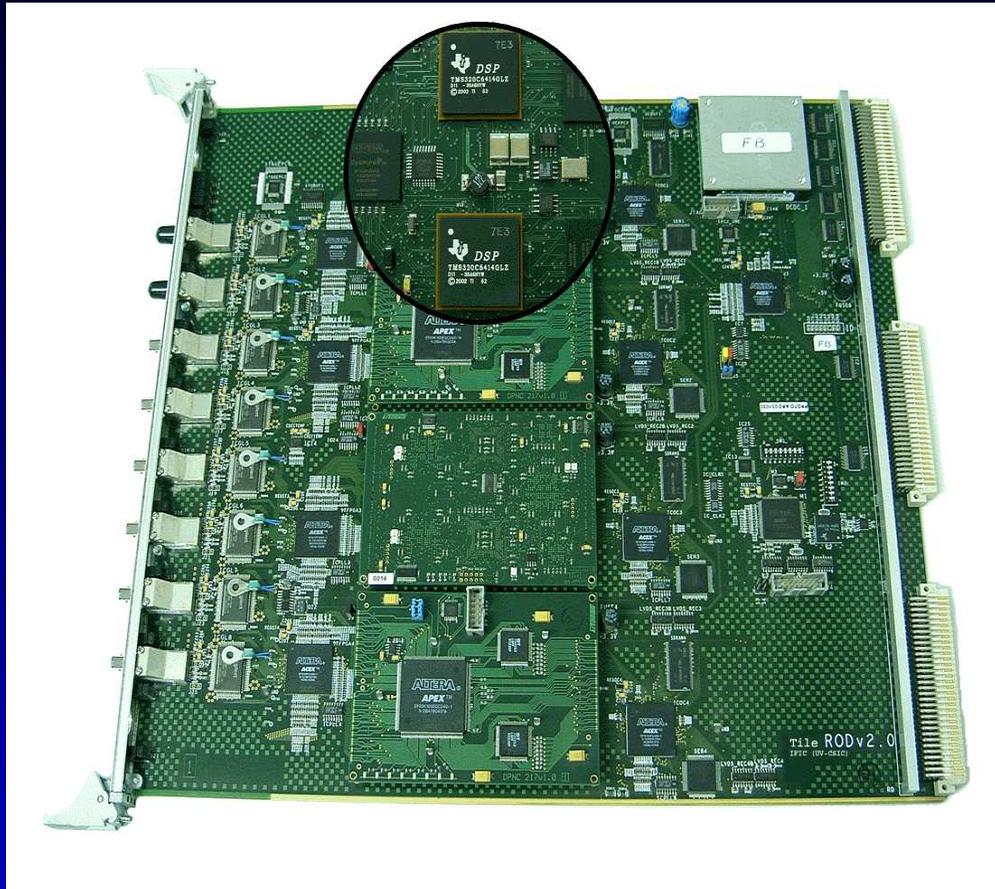
- 32 tarjetas ROD VME 9U

El sistema ROD



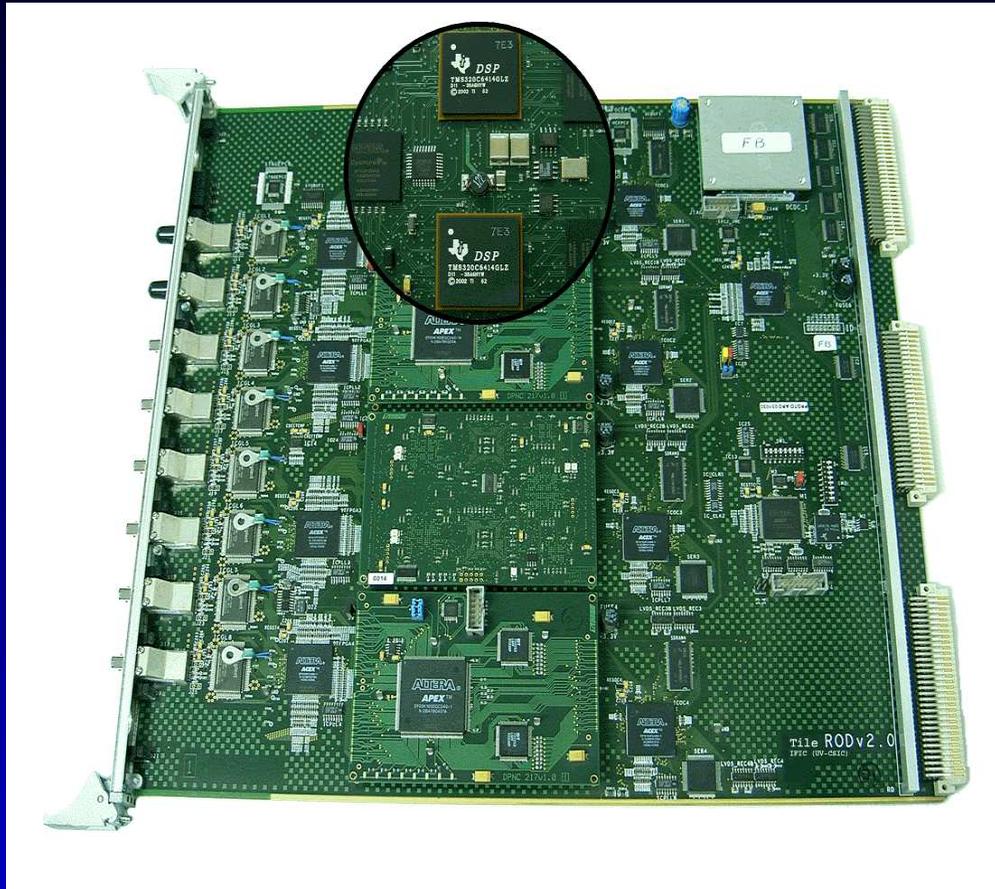
- 32 tarjetas ROD VME 9U
- 2 PUs / ROD

El sistema ROD



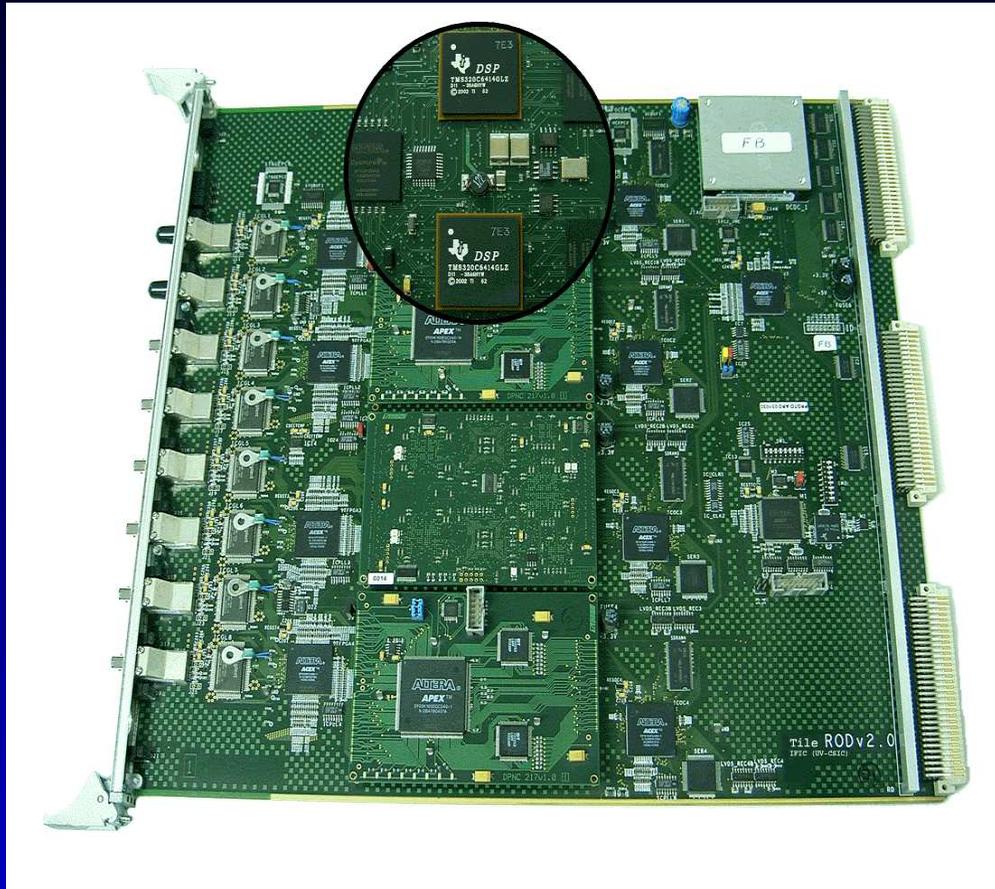
- 32 tarjetas ROD VME 9U
- 2 PUs / ROD
- 2 DSPs / PU

El sistema ROD



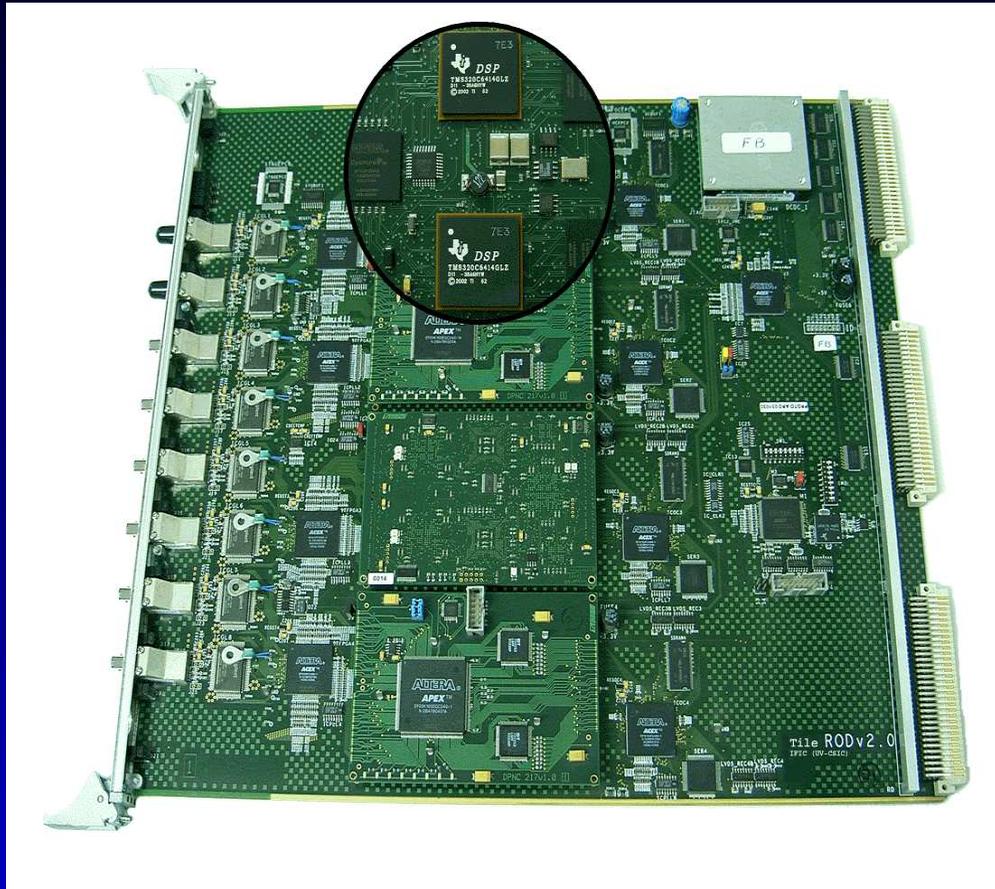
- 32 tarjetas ROD VME 9U
- 2 PUs / ROD
- 2 DSPs / PU
- Reconstruir 10 000 señales

El sistema ROD



- 32 tarjetas ROD VME 9U
- 2 PUs / ROD
- 2 DSPs / PU
- Reconstruir 10 000 señales
- Tiempo total: 10 μ s

El sistema ROD



- 32 tarjetas ROD VME 9U
- 2 PUs / ROD
- 2 DSPs / PU
- Reconstruir 10 000 señales
- Tiempo total: $10 \mu\text{s}$
- Procesa: 70 Gb/s

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Estudiaremos 4 algoritmos para reconstruir la energía del calorímetro a partir de las muestras digitales de las señales de los fotomultiplicadores:

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Estudiaremos 4 algoritmos para reconstruir la energía del calorímetro a partir de las muestras digitales de las señales de los fotomultiplicadores:

- Filtro plano (FF)

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Estudiaremos 4 algoritmos para reconstruir la energía del calorímetro a partir de las muestras digitales de las señales de los fotomultiplicadores:

- Filtro plano (FF)
 - Consiste en una suma sencilla de los samples: $E = \sum_{i=1}^n S_i$.
 - El pedestal debe ser substraído primero de los samples: $S_i = S'_i - p$.
 - Para ellos el pedestal se define como el primer sample: $p = S'_1$.

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Estudiaremos 4 algoritmos para reconstruir la energía del calorímetro a partir de las muestras digitales de las señales de los fotomultiplicadores:

- Filtro plano (FF)
 - Consiste en una suma sencilla de los samples: $E = \sum_{i=1}^n S_i$.
 - El pedestal debe ser substraído primero de los samples: $S_i = S'_i - p$.
 - Para ellos el pedestal se define como el primer sample: $p = S'_1$.
- Ajuste (FIT)

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Estudiaremos 4 algoritmos para reconstruir la energía del calorímetro a partir de las muestras digitales de las señales de los fotomultiplicadores:

- Filtro plano (FF)
 - Consiste en una suma sencilla de los samples: $E = \sum_{i=1}^n S_i$.
 - El pedestal debe ser substraído primero de los samples: $S_i = S'_i - p$.
 - Para ellos el pedestal se define como el primer sample: $p = S'_1$.
- Ajuste (FIT)
 - Se basa en la minimización del χ^2 .
 - Las muestras digitales se ajustan a una función linealmente parametrizada.
 - La función representa la señal del fotomultiplicador a la entrada del digitalizador.
 - La amplitud, el tiempo y el pedestal son parámetros del ajuste.
 - Difícil de implementar en un DSP.

Algoritmos de reconstrucción de energía en el ROD

Estudiaremos 4 algoritmos para reconstruir la energía del calorímetro a partir de las muestras digitales de las señales de los fotomultiplicadores:

- Filtro plano (FF)
 - Consiste en una suma sencilla de los samples: $E = \sum_{i=1}^n S_i$.
 - El pedestal debe ser substraído primero de los samples: $S_i = S'_i - p$.
 - Para ellos el pedestal se define como el primer sample: $p = S'_1$.
- Ajuste (FIT)
 - Se basa en la minimización del χ^2 .
 - Las muestras digitales se ajustan a una función linealmente parametrizada.
 - La función representa la señal del fotomultiplicador a la entrada del digitalizador.
 - La amplitud, el tiempo y el pedestal son parámetros del ajuste.
 - Difícil de implementar en un DSP.
- Filtrado óptimo 1
- Filtrado óptimo 2

Algoritmo de Filtrado Óptimo (OF)

El algoritmo de filtrado óptimo (OF) reconstruye la amplitud de la señal del fotomultiplicador a partir de una suma ponderada de las muestras digitales:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

Algoritmo de Filtrado Óptimo (OF)

El algoritmo de filtrado óptimo (OF) reconstruye la amplitud de la señal del fotomultiplicador a partir de una suma ponderada de las muestras digitales:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

OF reconstruye otros parámetros de la señal como el pedestal y el tiempo (τ). Al mismo tiempo el algoritmo chequea la calidad de la reconstrucción (χ):

$$A\tau = \sum_{i=1}^n b_i S_i \quad p = \sum_{i=1}^n c_i S_i \quad A\chi = \sum_{i=1}^n \text{ABS}(S_i - Ag_i)$$

Algoritmo de Filtrado Óptimo (OF)

El algoritmo de filtrado óptimo (OF) reconstruye la amplitud de la señal del fotomultiplicador a partir de una suma ponderada de las muestras digitales:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

OF reconstruye otros parámetros de la señal como el pedestal y el tiempo (τ). Al mismo tiempo el algoritmo chequea la calidad de la reconstrucción (χ):

$$A\tau = \sum_{i=1}^n b_i S_i \quad p = \sum_{i=1}^n c_i S_i \quad A\chi = \sum_{i=1}^n \text{ABS}(S_i - Ag_i)$$

- El algoritmo está basado en sumas y multiplicaciones, operaciones básicas que consumen pocos ciclos de reloj en un DSP.

Algoritmo de Filtrado Óptimo (OF)

El algoritmo de filtrado óptimo (OF) reconstruye la amplitud de la señal del fotomultiplicador a partir de una suma ponderada de las muestras digitales:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

OF reconstruye otros parámetros de la señal como el pedestal y el tiempo (τ). Al mismo tiempo el algoritmo chequea la calidad de la reconstrucción (χ):

$$A\tau = \sum_{i=1}^n b_i S_i \quad p = \sum_{i=1}^n c_i S_i \quad A\chi = \sum_{i=1}^n \text{ABS}(S_i - Ag_i)$$

- El algoritmo está basado en sumas y multiplicaciones, operaciones básicas que consumen pocos ciclos de reloj en un DSP.
- El tiempo de computo es el principal requisito del algoritmo de reconstrucción de energía en el ROD.

Algoritmo de Filtrado Óptimo (OF)

El algoritmo de filtrado óptimo (OF) reconstruye la amplitud de la señal del fotomultiplicador a partir de una suma ponderada de las muestras digitales:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

OF reconstruye otros parámetros de la señal como el pedestal y el tiempo (τ). Al mismo tiempo el algoritmo chequea la calidad de la reconstrucción (χ):

$$A\tau = \sum_{i=1}^n b_i S_i \quad p = \sum_{i=1}^n c_i S_i \quad A\chi = \sum_{i=1}^n \text{ABS}(S_i - Ag_i)$$

- El algoritmo está basado en sumas y multiplicaciones, operaciones básicas que consumen pocos ciclos de reloj en un DSP.
- El tiempo de computo es el principal requisito del algoritmo de reconstrucción de energía en el ROD.
- La simplicidad de las operaciones de OF hacen que sea un algoritmo adecuado para ser implementado en el ROD.

Calculo de pesos

Los pesos de OF deben ser calculados offline usando datos de calibración.

Calculo de pesos

Los pesos de OF deben ser calculados offline usando datos de calibración.

Para calcular los pesos necesitamos:

Calculo de pesos

Los pesos de OF deben ser calculados offline usando datos de calibración.

Para calcular los pesos necesitamos:

- Matriz de autocorrelación: En el presente análisis hemos definido esta matriz como la matriz unidad.

Calculo de pesos

Los pesos de OF deben ser calculados offline usando datos de calibración.

Para calcular los pesos necesitamos:

- Matriz de autocorrelación: En el presente análisis hemos definido esta matriz como la matriz unidad.
- Caracterización de la forma de onda (libre de ruido) a la entrada del digitalizador. Esto se lleva a cabo ajustando los datos de la reconstrucción de la forma de onda a la función:

$$SF(t) = p + A \left(\frac{t - \lambda}{\tau} \right)^\mu \exp \left(-\mu \frac{t - \lambda}{\tau} \right)$$

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal.

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal.

Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal.

Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

- OF1: El pedestal se define como el primer sample, el pedestal se resta de los samples restantes.

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal. Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

- OF1: El pedestal se define como el primer sample, el pedestal se resta de los samples restantes.
 - Ventajas: El algoritmo solo tiene dos parámetros de salida lo que ayuda a la minimización del ruido.

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal. Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

- OF1: El pedestal se define como el primer sample, el pedestal se resta de los samples restantes.
 - Ventajas: El algoritmo solo tiene dos parámetros de salida lo que ayuda a la minimización del ruido.
 - Inconvenientes: Es posible que el primer sample no contenga solo pedestal sino parte de señal.

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal. Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

- OF1: El pedestal se define como el primer sample, el pedestal se resta de los samples restantes.
 - Ventajas: El algoritmo solo tiene dos parámetros de salida lo que ayuda a la minimización del ruido.
 - Inconvenientes: Es posible que el primer sample no contenga solo pedestal sino parte de señal.
- OF2: El pedestal es un parámetro más de salida del algoritmo.

OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal.

Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

- OF1: El pedestal se define como el primer sample, el pedestal se resta de los samples restantes.
 - Ventajas: El algoritmo solo tiene dos parámetros de salida lo que ayuda a la minimización del ruido.
 - Inconvenientes: Es posible que el primer sample no contenga solo pedestal sino parte de señal.
- OF2: El pedestal es un parámetro más de salida del algoritmo.
 - Ventajas: Es más rapido y la determinación del pedestal es más preciso.

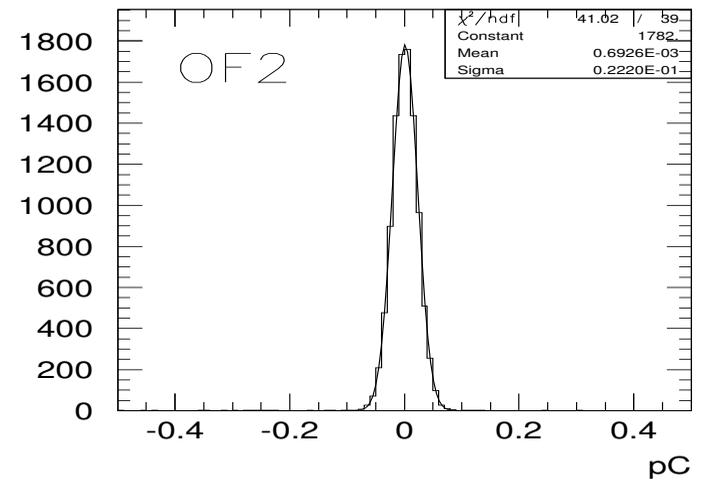
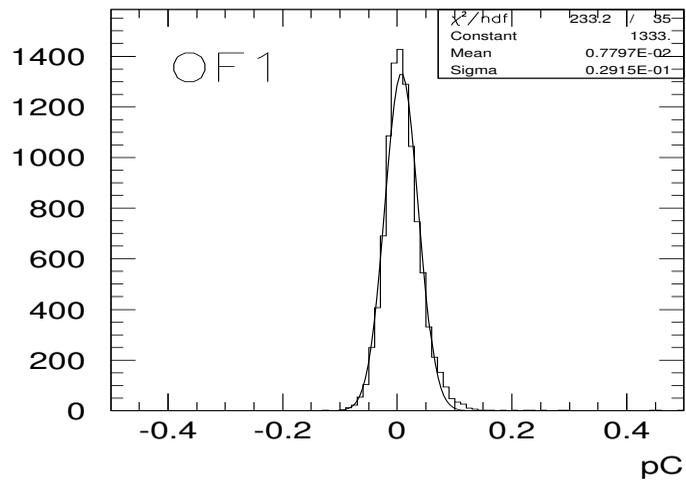
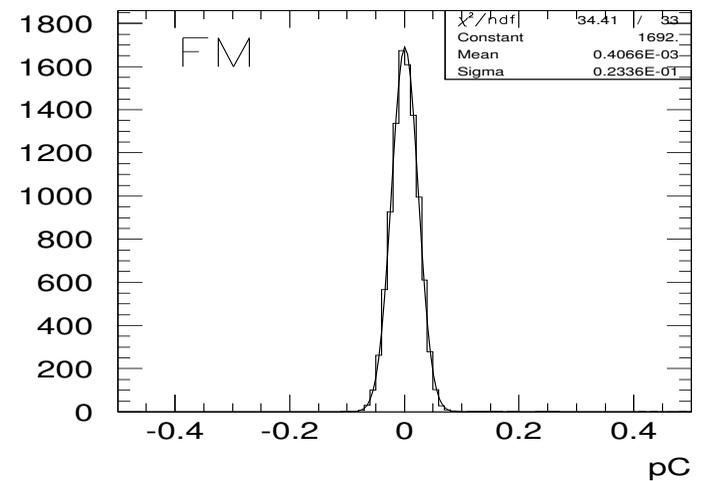
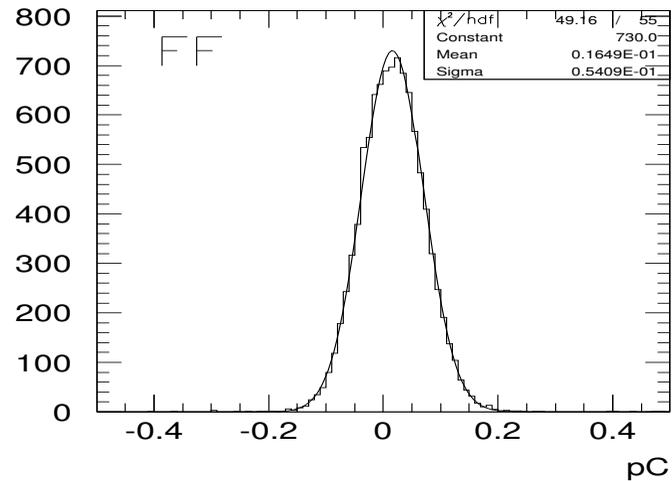
OF1 vs. OF2

En el detector TileCal la señal se desarrolla por encima de un pedestal constante. Para una correcta reconstrucción de la amplitud de la señal el algoritmo debe tener en cuenta un correcto tratamiento del pedestal. Acorde con este tratamiento diferenciamos OF1 y OF2:

- OF1: El pedestal se define como el primer sample, el pedestal se resta de los samples restantes.
 - Ventajas: El algoritmo solo tiene dos parámetros de salida lo que ayuda a la minimización del ruido.
 - Inconvenientes: Es posible que el primer sample no contenga solo pedestal sino parte de señal.
- OF2: El pedestal es un parámetro más de salida del algoritmo.
 - Ventajas: Es más rapido y la determinación del pedestal es más preciso.
 - Inconvenientes: El algoritmo tiene tres parámetros de salida lo que reduce la minimización del ruido.

Reconstrucción del pedestal

Pedestal



Reconstrucción del pedestal en una celda vacía

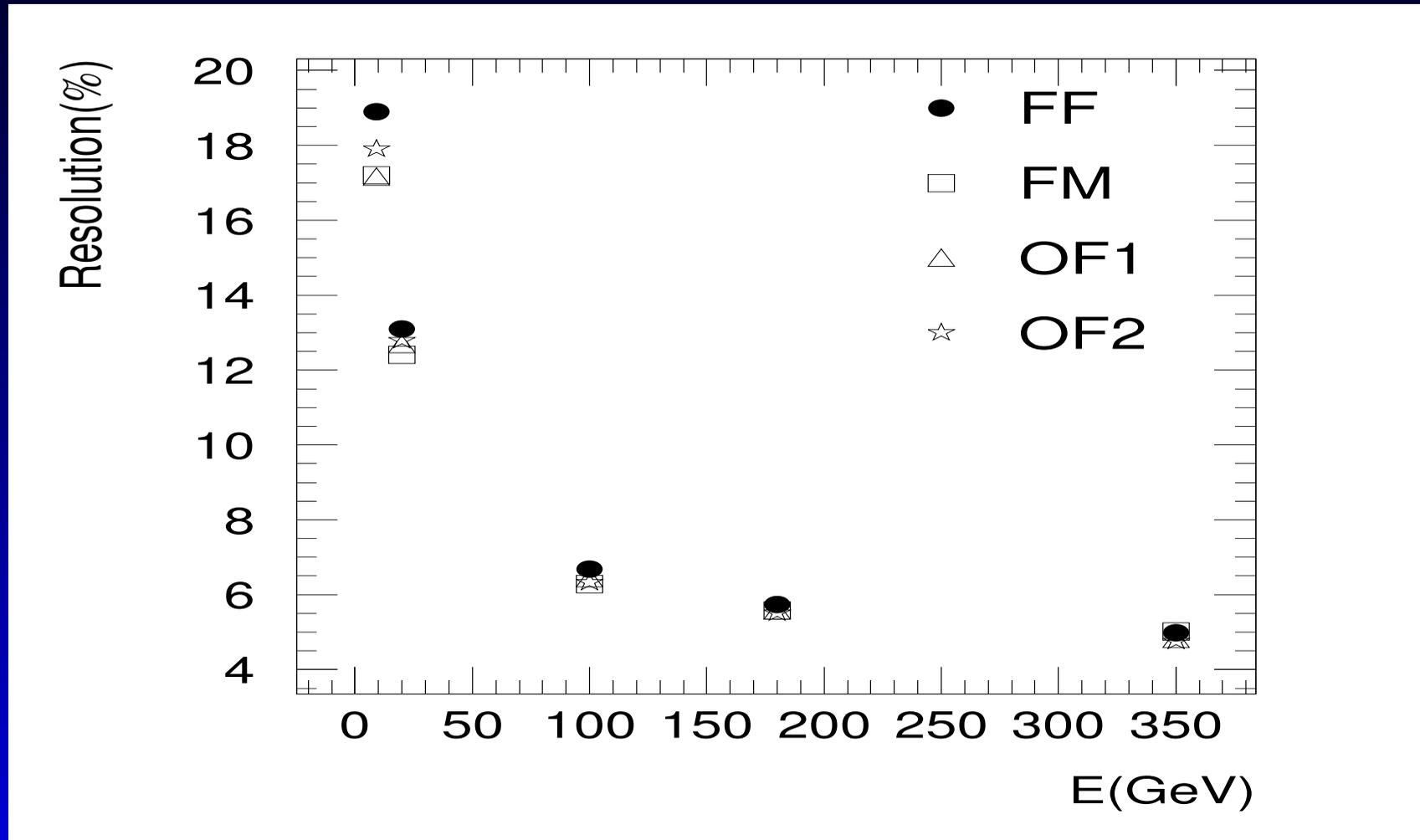
Resultados bajo piones

Resultados bajo piones

Resolución de la energía con piones para un ángulo de incidencia de $\eta = 0.35$.

E(GeV)	FF	FM	OF1	OF2
350	$(4.99 \pm 0.04)\%$	$(5.01 \pm 0.04)\%$	$(4.83 \pm 0.03)\%$	$(4.76 \pm 0.03)\%$
180	$(5.73 \pm 0.04)\%$	$(5.57 \pm 0.04)\%$	$(5.58 \pm 0.04)\%$	$(5.51 \pm 0.04)\%$
100	$(6.68 \pm 0.11)\%$	$(6.29 \pm 0.10)\%$	$(6.44 \pm 0.10)\%$	$(6.33 \pm 0.10)\%$
20	$(13.1 \pm 0.2)\%$	$(12.4 \pm 0.2)\%$	$(12.7 \pm 0.2)\%$	$(12.8 \pm 0.2)\%$
9	$(18.9 \pm 0.2)\%$	$(17.2 \pm 0.2)\%$	$(17.17 \pm 0.19)\%$	$(17.9 \pm 0.2)\%$

Resultados bajo piones



Resolución de energía (in %) vs. energía del haz (GeV) para piones golpeando un módulo en $\eta = 0.35$.

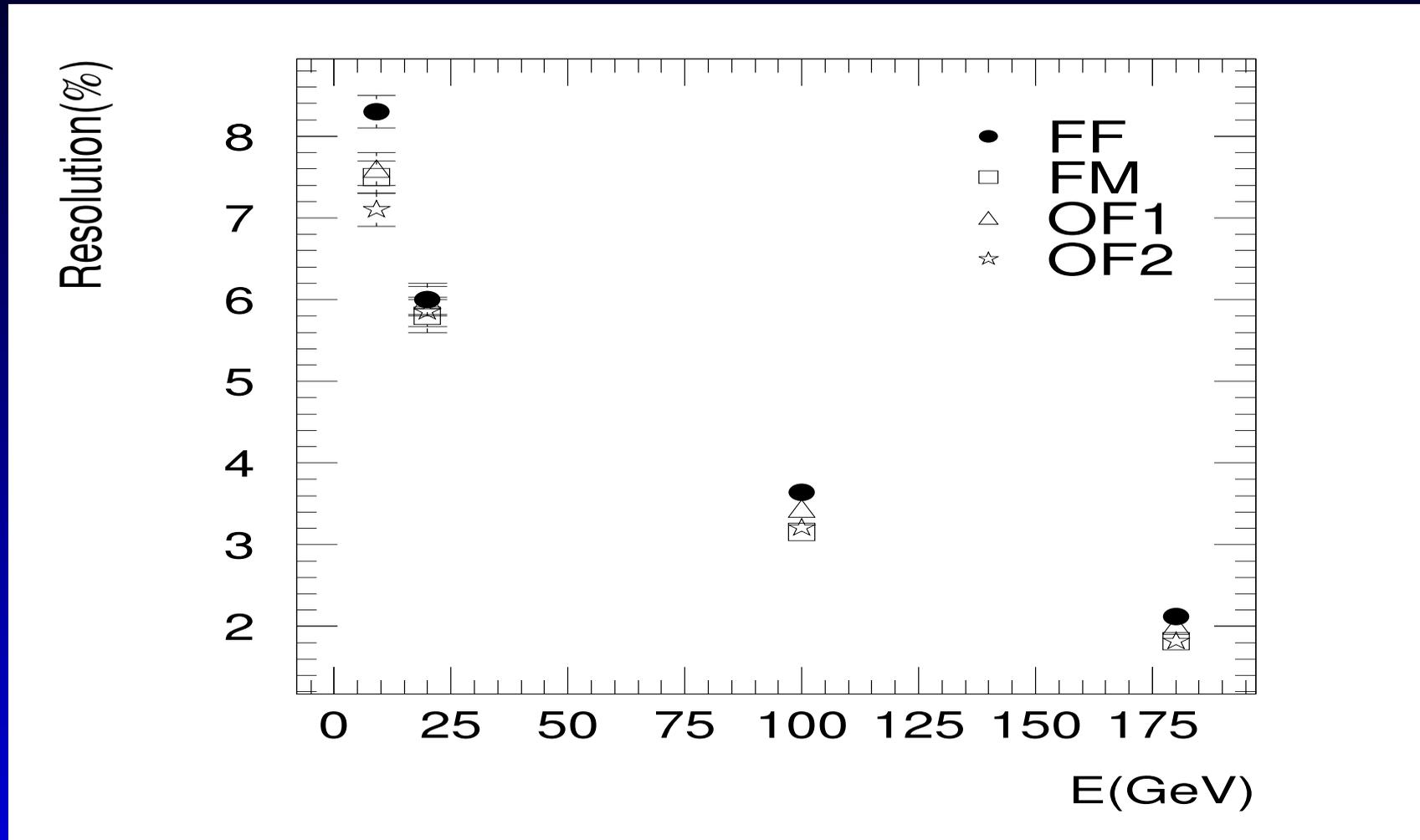
Resultados bajo electrones

Resultados bajo electrones

Resolución de energía bajo electrones para un ángulo de incidencia de 90° .

E(GeV)	FF	FM	OF1	OF2
180	$(2.12 \pm 0.04)\%$	$(1.82 \pm 0.03)\%$	$(2.01 \pm 0.04)\%$	$(1.82 \pm 0.03)\%$
100	$(3.64 \pm 0.06)\%$	$(3.16 \pm 0.06)\%$	$(3.44 \pm 0.06)\%$	$(3.21 \pm 0.06)\%$
20	$(6.0 \pm 0.2)\%$	$(5.8 \pm 0.2)\%$	$(5.99 \pm 0.17)\%$	$(5.85 \pm 0.18)\%$
9	$(8.3 \pm 0.2)\%$	$(7.5 \pm 0.2)\%$	$(7.6 \pm 0.2)\%$	$(7.1 \pm 0.2)\%$

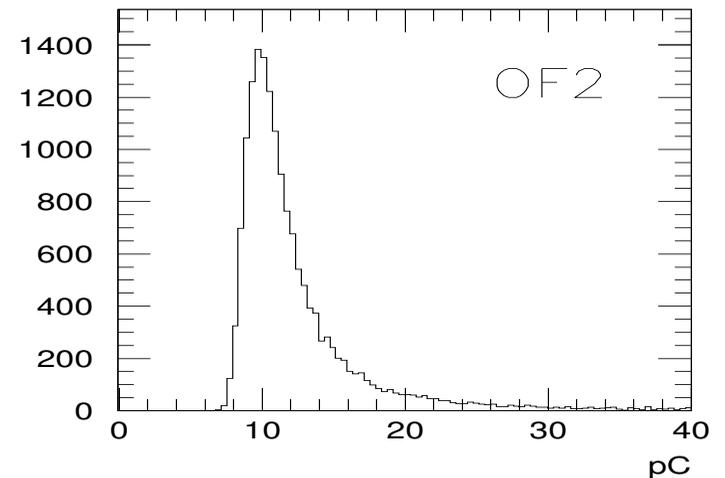
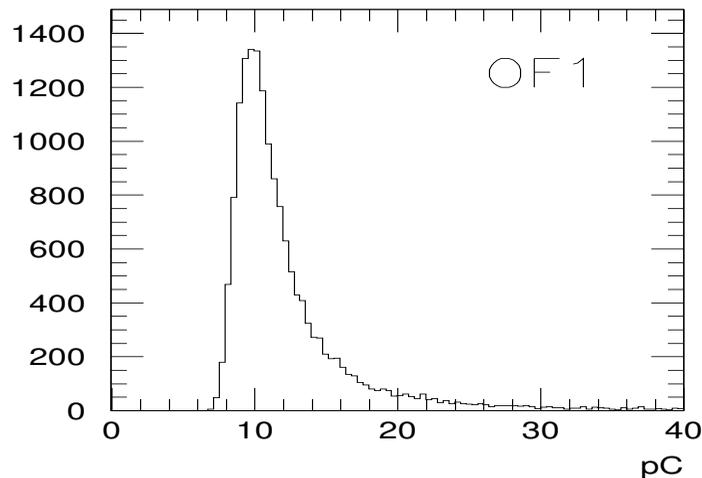
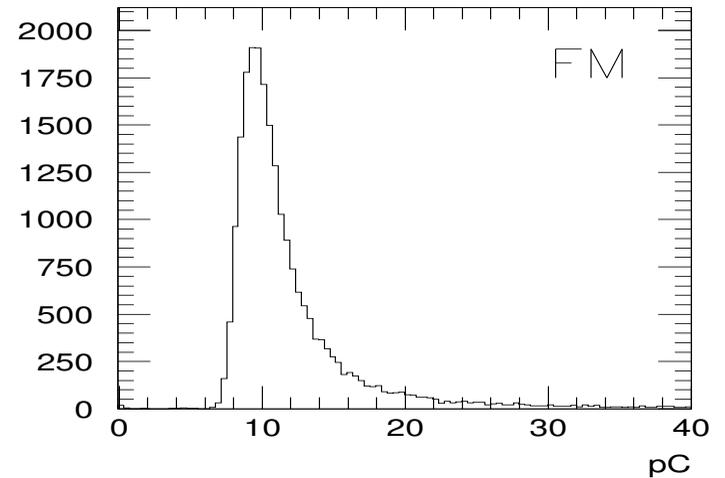
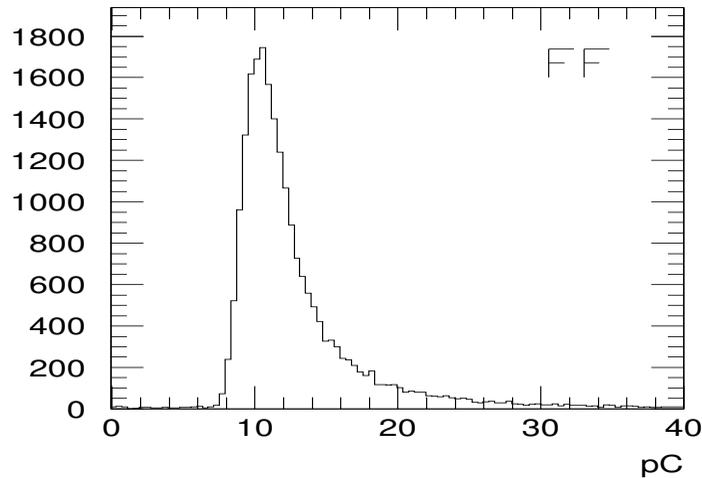
Resultados bajo electrones



Resolución de energía (in %) vs. energía del haz (GeV) para electrones

Resultados bajo muones

Resultados bajo muones



Distribución de energía depositada por muones golpeando un módulo del detector TileCal

Resultados bajo muones

Parámetros del ajuste para muones con un ángulo de incidencia de 90°

	FF	FM	OF1	OF2
pC/bin	0.01	0.04	0.04	0.04
χ^2 / ndf	0.83	0.87	0.85	0.87
<i>npfit</i>	2300	780	707	699
p_1	258 ± 5	1184 ± 19	833 ± 15	820 ± 15
p_2	10.254 ± 0.014	9.417 ± 0.012	9.700 ± 0.015	9.843 ± 0.015
p_3	1.38 ± 0.03	1.25 ± 0.02	1.30 ± 0.02	1.32 ± 0.02
p_4	0.49 ± 0.04	0.46 ± 0.02	0.47 ± 0.03	0.41 ± 0.03
MOP	10.21 ± 0.03	9.38 ± 0.02	9.66 ± 0.03	9.77 ± 0.03
FWHM	3.53 ± 0.03	3.22 ± 0.02	3.33 ± 0.03	3.31 ± 0.03

Conclusiones

Conclusiones

- El algoritmo de OF reconstruye la energía del detector de forma satisfactoria.

Conclusiones

- El algoritmo de OF reconstruye la energía del detector de forma satisfactoria.
- La resolución obtenida con el algoritmo de OF es tan buena como la obtenida con el metodo FIT.

Conclusiones

- El algoritmo de OF reconstruye la energía del detector de forma satisfactoria.
- La resolución obtenida con el algoritmo de OF es tan buena como la obtenida con el metodo FIT.
- La determinación del pedestal como una parámetro de salida más del algoritmo (OF2) mejora la resolución final en todos los casos.

Conclusiones

- El algoritmo de OF reconstruye la energía del detector de forma satisfactoria.
- La resolución obtenida con el algoritmo de OF es tan buena como la obtenida con el metodo FIT.
- La determinación del pedestal como una parámetro de salida más del algoritmo (OF2) mejora la resolución final en todos los casos.