

Internet Electronic Journal*

Nanociencia et Moletrónica

Diciembre 2006, Vol. 4, N°3, pp. 827-844

Instrumentación realizada para el Detector de rayos cosmicos acorde instalada en el CERN (Suiza)

S. Vergara¹, M. A. Vargas¹, G. Paic², A. Fernandez³, G. Tejeda³

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Grupo de Robótica,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

²Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México.

³Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

recibido: 08 de Septiembre 2006

revisado: 21 de Septiembre 2006

publicado: 15 de Noviembre 2006

Citation of the article:

S. Vergara, M. A. Vargas, G. Paic, A. Fernandez, G. Tejeda, Instrumentación realizada para el detector de rayos cosmicos acorde instalada en el Cern (Suiza), Internet Electrón. J. Nanocs. Moletrón. 2006, Vol. 4, N° 3, pp 827-844

copyright © BUAP 2006

<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

Instrumentación realizada para el detector de rayos cosmicos acorde instalada en el CERN (Suiza)

S. Vergara¹, M. A. Vargas¹, G. Paic², A. Fernandez³, G. Tejada³

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Grupo de Robótica,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

²Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México.

³Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

recibido: 08 de Septiembre 2006

revisado: 21 de Septiembre 2006

publicado: 15 de Noviembre 2006

Internet Electron. J. Nanoc. Moetrón. 2006, Vol. 4, No.3, pags. 827-844

RESUMEN

En el presente artículo se muestran los resultados obtenidos en la elaboración de la electrónica realizada para el detector de rayos cósmicos, parte del experimento ALICE que se esta llevando a cabo en el laboratorio de investigaciones nucleares europeo CERN en Suiza. Se realizaron dos versiones, una para ayudar a calibrar la cámara de proyección de tiempos (TPC), el principal detector de ALICE y otra para realizar todas las funciones del detector de rayos cósmicos (ACORDE). Así mismo se da una explicación de un sistema de caracterización automática que se realizo para ayudar a la construcción de dicho detector.

Palabras clave: Detector, electrónica, ACORDE, ALICE.

1 INTRODUCCION

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) es el gran experimento colisionador de iones parte del programa del LHC (Large Hadron Collider) del CERN en Suiza. En la actualidad el espectrómetro de ALICE se esta instalando en el Punto 2 que se encuentra en el lado Francés del CERN [1], ver Fig. 1.

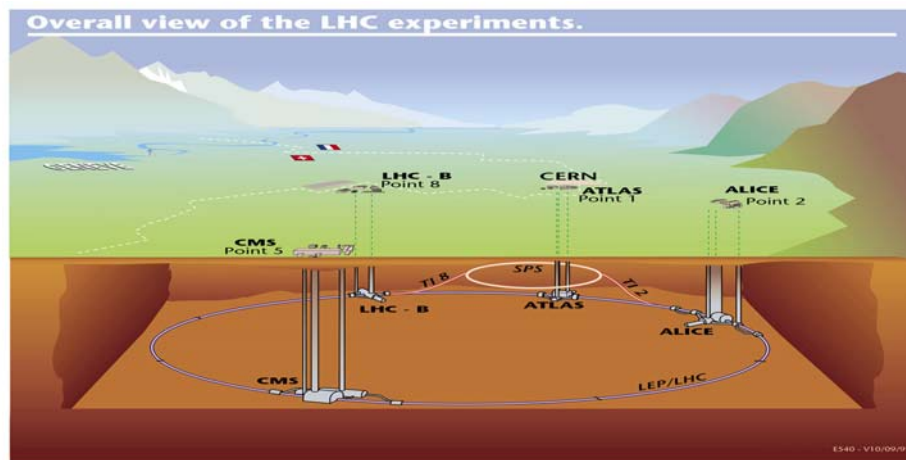


Figura 1: Programa del LHC del CERN

El espectrómetro de ALICE consiste en 16 detectores, uno de ellos es el detector de rayos cósmicos llamado ACORDE, este detector es responsabilidad de la colaboración Mexicana de ALICE, ver Fig. 2 [2].

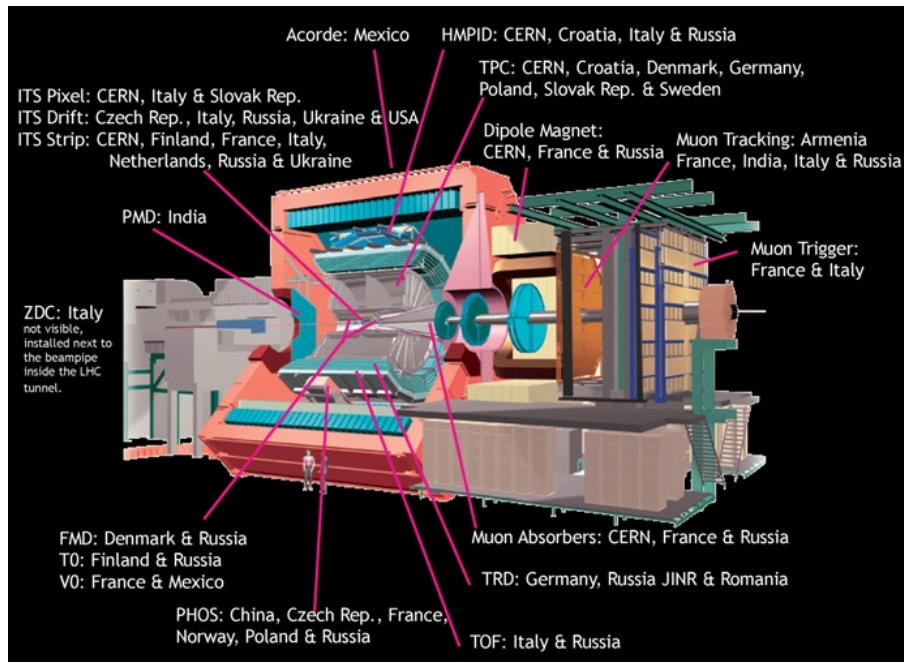


Figura 2: Espectrómetro de ALICE.

ACORDE consiste en 60 módulos, cada uno de ellos contiene dos plásticos centelladores de 1.90m de largo por 20 cm de ancho, serán colocados en la parte superior del magneto de ALICE, ver Fig. 3 [3].

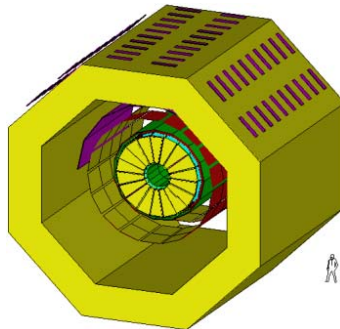


Figura 3: Arreglo de los 60 módulos de ACORDE

2 SISTEMA AUTOMATICO

Una de las responsabilidades de la colaboración mexicana dentro de ALICE fue diseñar, construir y caracterizar los módulos de ACORDE, para después ser enviados al CERN (Suiza). Como parte de este proyecto se desarrollo un sistema de caracterización automático, con este sistema se obtuvo un tiempo de caracterización de 15 minutos por cada 2 módulos, logrando hacer la caracterización de todos los módulos en un unos cuantos días, lo cual ayudo a ubicar y corregir fallas en algunos de ellos, esto dio como resultado el mejoramiento del rendimiento de los detectores para lograr alcanzar un 95% de eficiencia, con lo que se cumplió con las normas requeridas por la colaboración ALICE y permitiendo enviar todos los detectores en tiempo al CERN. Es importante mencionar que con instrumentos comerciales la caracterización de un solo

detector se hacia en aproximadamente 1 semana, con lo cual no era posible terminar a tiempo la caracterización de los 60 módulos.

El sistema de caracterización automático mencionado fue basado en una tarjeta de adquisición de datos PCI desarrollada especialmente para este propósito, una fuente de alto voltaje CAEN SY2527 controlada por computadora a través de la red de área local, el software de control y la interfaz de usuario fueron realizados en Labview. En la Fig. 4 presentamos una foto del sistema con su diagrama a bloques, en la Fig. 5 mostramos una foto de la tarjeta de adquisición PCI y su configuración interna, en la Fig 6. mostramos la interfaz de usuario en Labview.

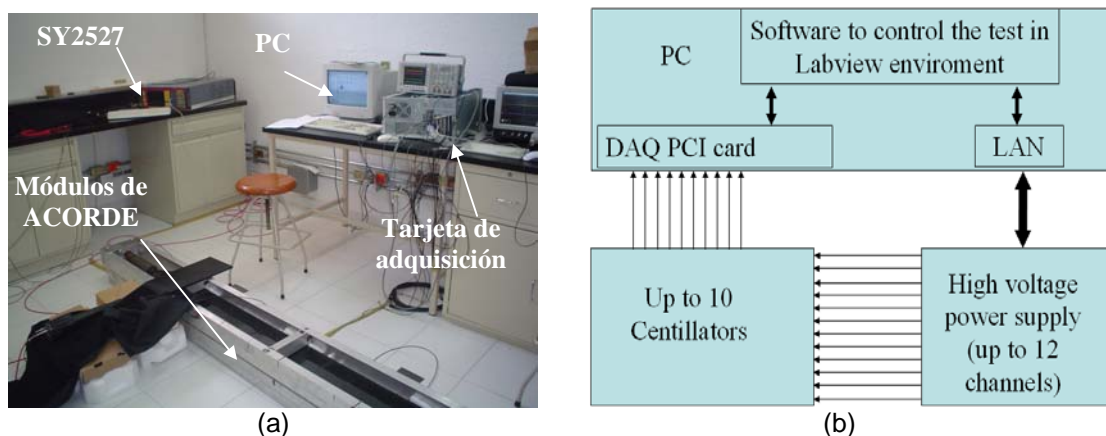


Figura 4: Sistema de automático para caracterizar los módulos de ACORDE. (a) Foto del sistema automático y b) diagrama a bloques del sistema

Para validar el buen funcionamiento del sistema se compararon con éxito los resultados de la caracterización de 2 módulos con los obtenidos con instrumentos comerciales corroborando el buen funcionamiento del sistema desarrollado. El sistema de caracterización se uso en el departamento de Física del CINVESTAV para evaluar los módulos antes de ser enviados al CERN y en la actualidad se encuentra en el CERN donde se esta usando para evaluar los módulos después de su transportación.

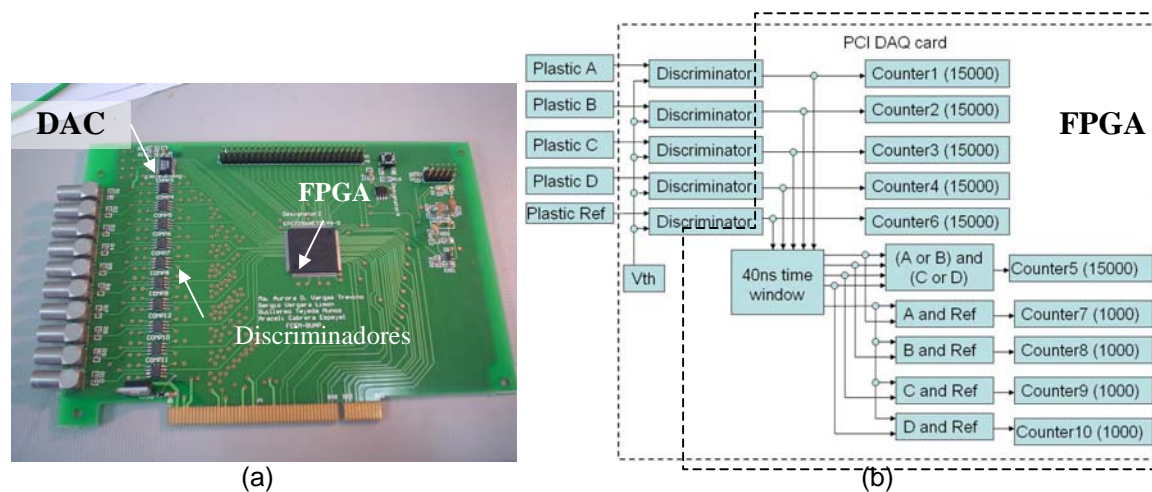


Figura 5: Tarjeta de adquisición PCI. (a) Foto y (b) Configuración interna

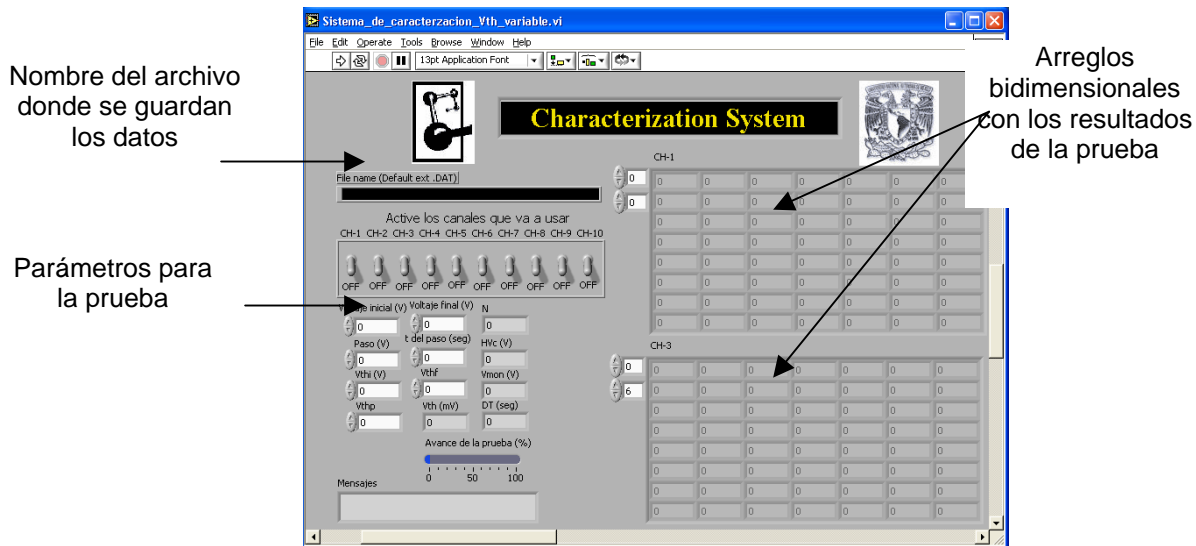


Figura 6: Interfaz de usuario en Labview.

En la Fig. 7 se muestran los resultados obtenidos con el sistema automático para la prueba de voltaje óptimo de operación realizada a un módulo de ACORDE. La grafica muestra como la curva del plateau tiene un corrimiento hacia la derecha al aumentar el voltaje de umbral, lo cual esta de acuerdo a lo esperado.

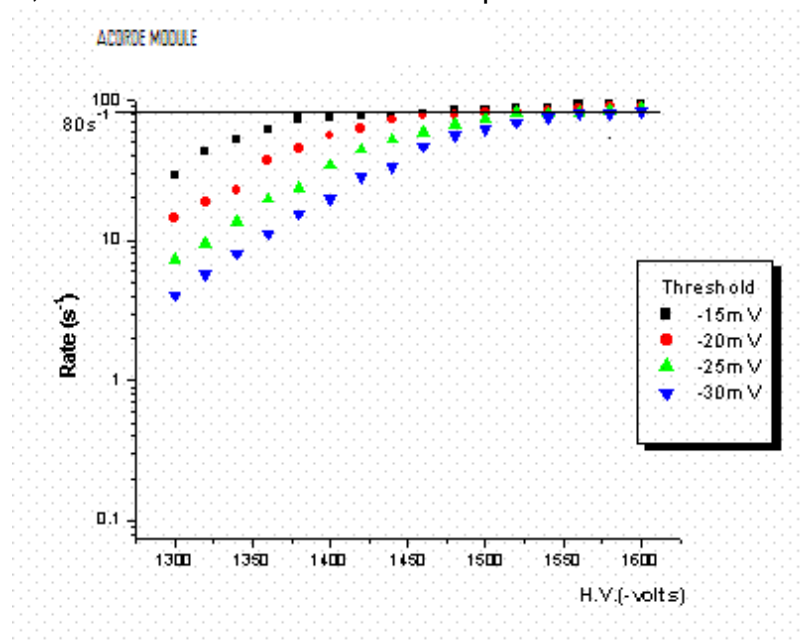


Figura 7: Curvas de plateau para diferentes valores de voltaje de umbral

En la Fig. 8 se muestran los resultados de la prueba de voltaje optimo obtenidos para 5 módulos de ACORDE a un voltaje de umbral fijo de -15mV.

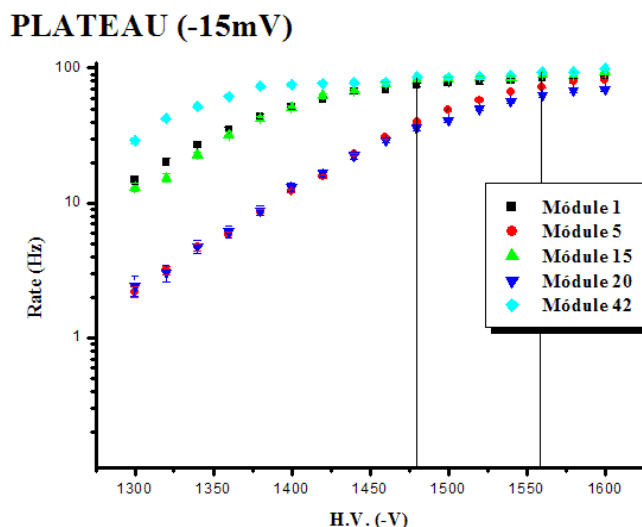


Figura 8: Curvas del plateau obtenidas para cinco módulos de ACORDE con un voltaje de umbral fijo de -15mV .

Como se puede apreciar de la figura, algunos módulos alcanzan el plateau a -1550V (módulos 5, 20) mientras que otros presentan un voltaje optimo a un voltajes más bajo (1450V , para módulos 1, 15,42).

3 ELECTRONICA REALIZADA PARA ALICE

Se realizó el diseño y la construcción de la electrónica de adquisición y disparo de ACORDE, debido a los requerimientos de la colaboración se han desarrollado dos versiones de la electrónica del detector. Lo anterior se debe a que ACORDE será usado en dos configuraciones, en la primera sólo usará 20 de sus 60 módulos y servirá para realizar las pruebas de calibración de la cámara de proyección de tiempo (TPC). En la segunda ACORDE usará sus 60 módulos y se integrará como uno de los detectores de ALICE.

3.1 PRIMERA VERSION

En la primera versión, se ubicarán 10 módulos distribuidos en la parte superior de la TPC y los otros 10 módulos estarán distribuidos en la parte inferior. De tal forma que se pueda obtener la dirección de los muones que crucen la TPC en función de la señal de disparo de rayos cósmicos, ver Fig. 9. Para esta configuración de ACORDE el sistema debe proveer una señal de disparo nivel cero, es decir se producirá un pulso de 25ns de duración cada vez que uno o más muones crucen los módulos superiores e inferiores bajo las siguientes especificaciones: Por medio de un programa en Labview, el usuario podrá activar uno o más módulos superiores para que entre estos módulos se realice una función OR, y de la misma manera para los módulos inferiores. Finalmente entre la OR resultante de los módulos superiores e inferiores activados debe realizarse una

función AND. Los 25ns de la señal de disparo producto de la AND (coincidencia de los módulos superiores e inferiores activados) es para emular su sincronización a un oscilador de 40MHz igual al que será usado en el gran colisionador de hadrones (LHC) del CERN, ver Fig. 10.

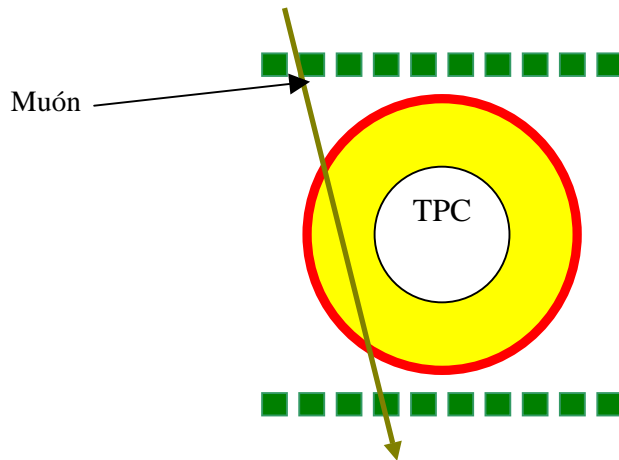


Figura 9: Colocación de los 20 módulos de ACORDE colocados arriba y debajo de la TPC

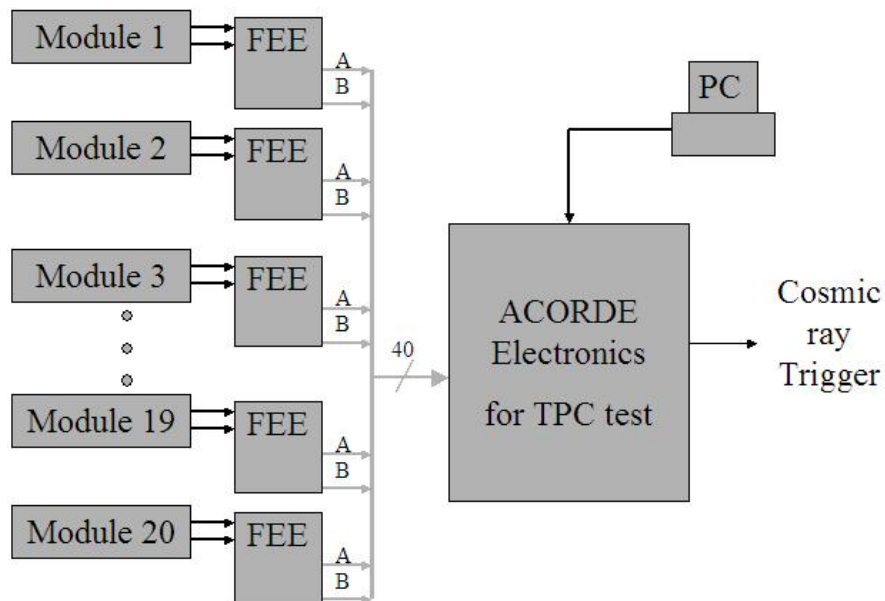


Figura 10: Diagrama a bloques de la electrónica de disparo usada en la calibración de la TPC en la superficie del punto 2

Cada uno de los 20 módulos tiene una tarjeta frontal (FEE card), esta tarjeta tiene la función de recibir las señales de los PMs para ser digitalizadas a partir de un discriminador MAXIM MAX9203, el cual presenta un flanco de ascenso y descenso de 2ns y un voltaje de umbral ajustable manualmente por medio de potenciómetro. La duración de la señal digital es aumentada de 20ns a 100ns a través de un circuito monoestable con la finalidad de que las señales de coincidencia no se vean afectadas debido a los 1.9m de longitud de los plásticos centelladores, después esta

señal es convertida de un nivel CMOS a LVDs con el fin de eliminar el ruido durante la transmisión. Esto es muy importante ya que la electrónica será instalada junto a la TPC que contine miles de canales electrónicos que representan posibles fuentes de ruido. Esta tarjeta también contiene una compuerta AND para producir una señal de coincidencia entre los dos contadores del módulo, esta señal también es convertida a niveles LVDs. Por lo tanto esta tarjeta entrega tres señales, la señal de coincidencia y las señales generadas por cada PM, en esta versión solo utilizamos las señales generadas por los PMs, ver Fig. 11.

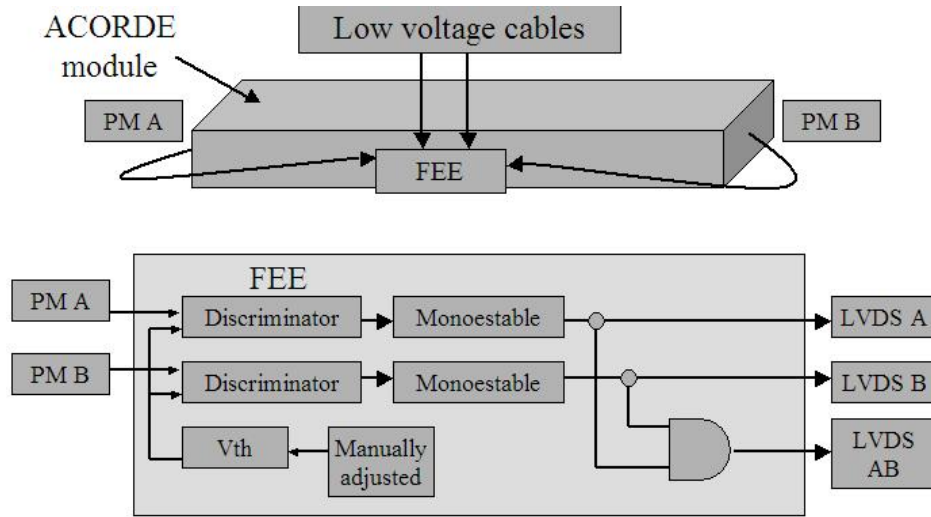
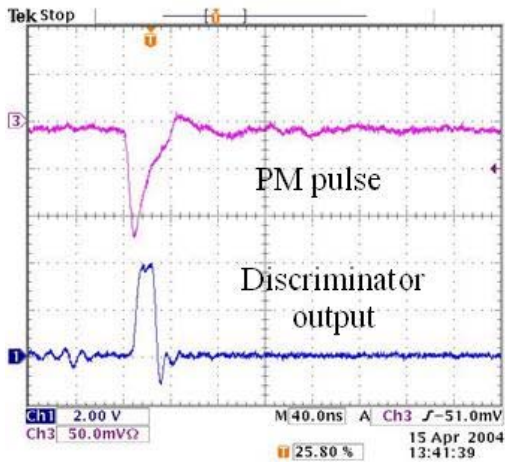
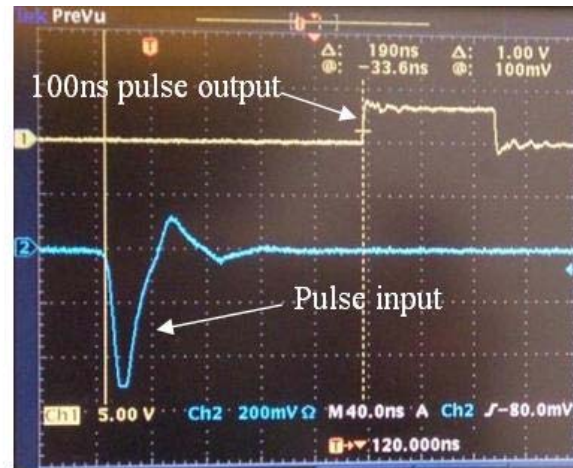


Figura 11: Diagrama a bloques de la tarjeta de electrónica frontal

Se realizaron pruebas sobre estas tarjetas y mostraron muy buen desempeño. En la Fig. 12a se muestra la respuesta del discriminador y en la 12b se muestra su correspondiente señal después de su incremento en duración.



a)



b)

Figure 12: Tarjeta de electrónica frontal. a) Respuesta del discriminador y b) Señal producida después del incremento en la duración

Esta versión del sistema de disparo de ACORDE se encuentra actualmente instalada en el CERN y esta funcionando adecuadamente. El sistema consiste de 5 tarjetas, las cuales tienen como soporte mecánico una estructura de aluminio. Para activar los módulos deseados se cuenta con una interfaz de usuario en Labview. Una foto del sistema instalado en el CERN se muestra en las Figs. 13 y 14, la interfaz de usuario en Labview se presenta en la Fig. 15.

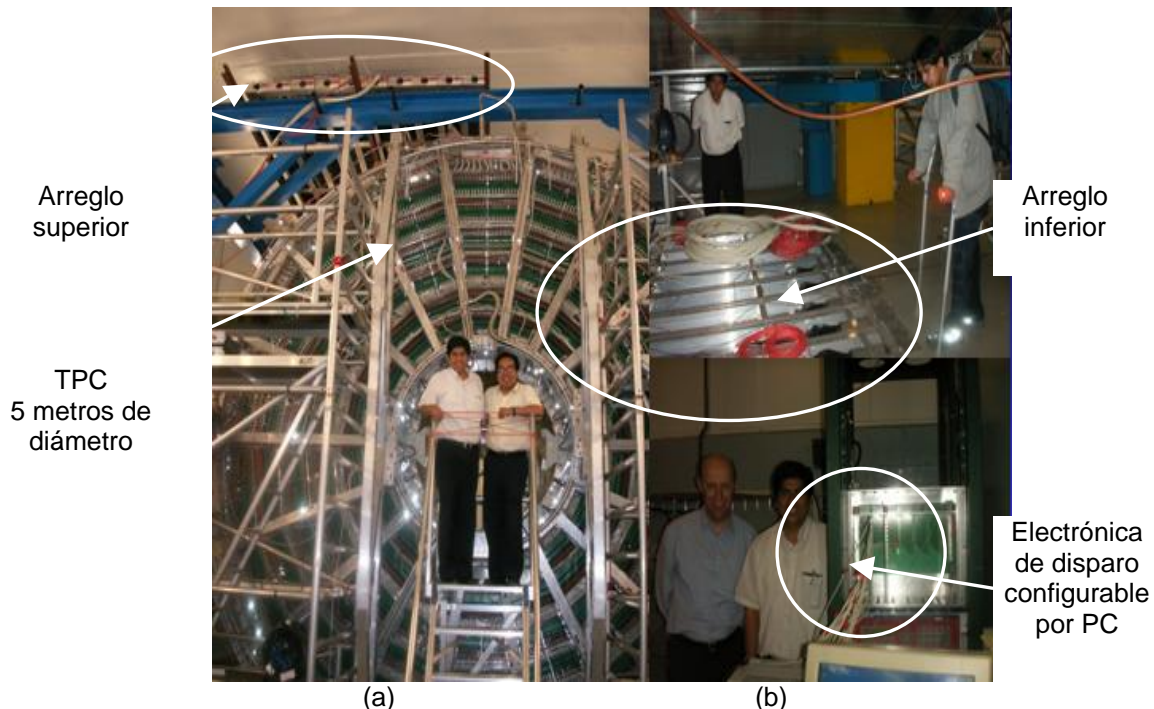


Figura 13: ACORDE para las pruebas de la TPC. a) Foto del arreglo superior de detectores instalados sobre la TPC de ALICE y b) Foto del arreglo instalado debajo de la TPC y de la electrónica de disparo de ACORDE usada durante la calibración de la TPC

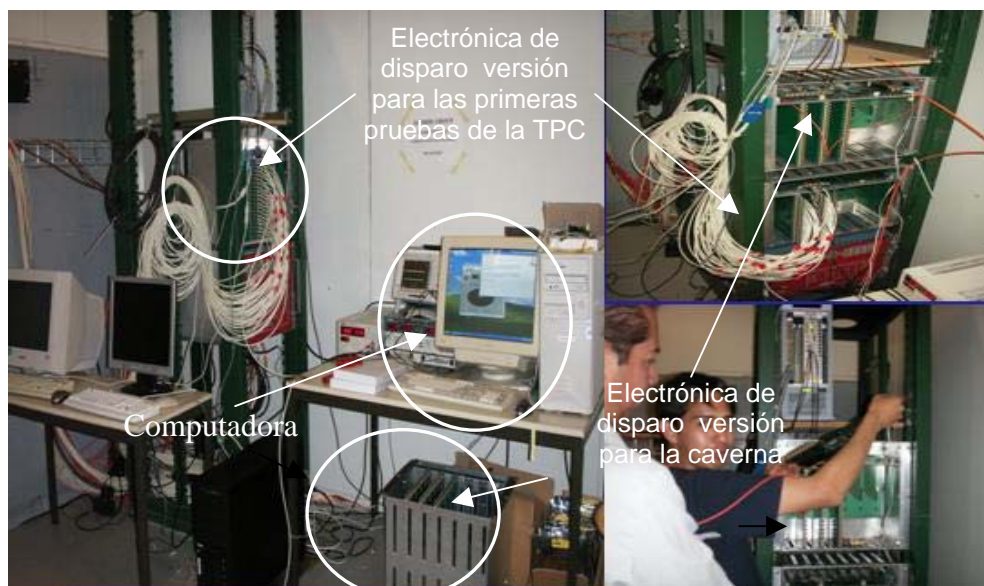


Figura 14: Fotos de la electrónica de disparo de ACORDE usada en la calibración de la TPC en el CERN

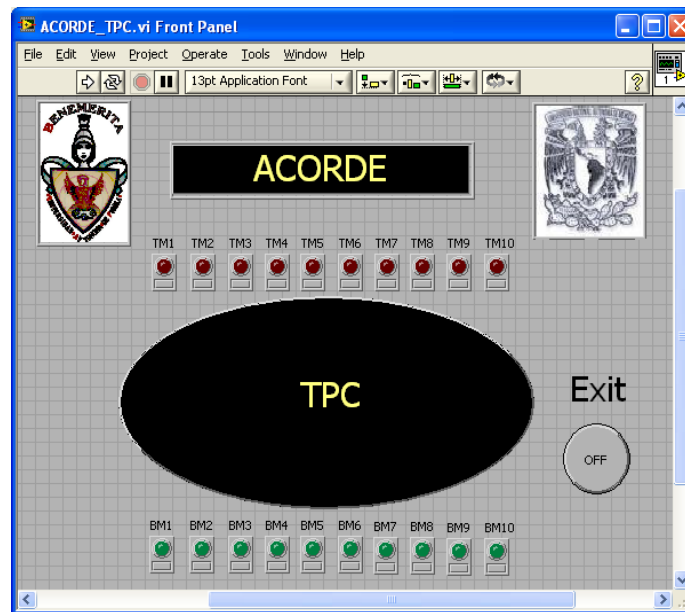


Figura 15: Interfaz de usuario en Labview

3 SEGUNDA VERSION

La segunda versión de la electrónica fue diseñada y construida para que ACORDE se integre como un detector del experimento ALICE. Con este sistema y con la información obtenida por otros detectores se podrán hacer estudios de rayos cósmicos ya que se espera que la razón de incidencia de multi-muones en la caverna de ALICE sea menor de 0.04Hz/m^2 , es una razón baja pero suficiente para hacer estudios de este tipo de eventos. La baja tasa de incidencia permitirá tomar datos en paralelo a la toma normal de datos de ALICE. Este sistema electrónico de ACORDE tiene la capacidad de registrar eventos de rayos cósmicos y guardarlos hasta que el sistema de disparo requiera la lectura de estos eventos, esta lectura se hace a través del enlace óptico de 2Gbps del sistema de adquisición de datos (DAQ). Como este enlace óptico es bidireccional también lo usamos para configurar los parámetros del sistema electrónico de ACORDE por medio del DAQ de ALICE. Las especificaciones requeridas por la colaboración son las siguientes:

- Generar la señal de disparo de muón único. Señal que será usada para calibrar en la caverna la TPC y otros detectores.
- Generar la señal de multi-coincidencia (nivel 0). Será usada para realizar estudios de Física de rayos cósmicos de energías mayores a 10^{15} eV.
- Debido al tiempo de operación ACORDE deberá correr una prueba periódica para autoevaluarse.

- Proveer la señal de encendido al Detector de Transición de Radiación (TRD).

Para generar la señal de disparo de muon único el sistema electrónico supervisa las señales producidas por 60 módulos de ACORDE, en cada módulo se produce una señal de coincidencia entre los dos centelladores para garantizar el paso de muones. El tiempo que toma la electrónica para generar esta señal de disparo es de 20ns. El sistema también debe proveer la información de la localización espacial del módulo impactado por lo que se cuenta una memoria para guardar esta información. Debido a esto, el sistema recupera el reloj del LHC y decodifica los mensajes de disparo provenientes del Procesador Central de disparo que llegan a través de la partición de Disparo Tiempo y Control (TTC partition). A partir de los mensajes de disparo se genera un encabezado que contiene la información necesaria para reconstruir un evento entre uno o varios detectores, este encabezado se envía junto con los datos de los eventos de rayos cósmicos al sistema de adquisición de datos. El sistema cuenta con una interfaz a una tarjeta que contiene un enlace óptico bidireccional de 2Gbps que lo comunica al DAQ.

Para generar la señal de multicoincidencia el sistema usa los mismos recursos que se describieron en la generación de la señal de disparo de muon único además de incluir un circuito digital para realizar la cuantificación de los módulos impactados y comparar éste con el número de multicoincidencia programado. El tiempo que lleva hacer esta cuantificación y comparación es de 75ns. El número de multicoincidencia es ajustado remotamente a través del enlace óptico que comunica con el DAQ. Para proveer los datos de los módulos impactados se usa una memoria de registros, esta información es enviada cuando se recibe el mensaje de nivel 2 de disparo a través del enlace óptico de 40Mbps que conecta al sistema con la partición TTC.

Para garantizar el buen funcionamiento de ACORDE se ha instrumentado en el sistema un circuito supervisor que realiza conteos periódicos de rayos cósmicos en cada módulo, la tasa de incidencia determinará si un módulo está o no funcionando correctamente. Esta prueba se inicia al recibir una señal a través del DAQ.

Para proveer la señal de activación del TRD se produce una señal de coincidencia entre los centelladores contenidos en un módulo, estas señales de coincidencia son aplicadas a una compuerta OR, la salida de esta compuerta será la señal de activación, debido a que el tiempo de producción y transmisión de esta señal debe ser menor a 250ns se decidió desarrollar una caja independiente llamada ACORDE box que será colocada en la cara superior del magneto.

Para llevar a cabo todas las tareas indicadas anteriormente se ha desarrollado lo siguiente:

- 1 Caja con la electrónica para producir la señal de activación para el TRD. Esta caja será instalada en la cara superior del magneto.

- ❑ 60 tarjetas de electrónica frontal, una por módulo, su función es digitalizar las señales entregadas por los fotomultiplicadores y enviarlas en forma diferencial a la electrónica de ACORDE.
- ❑ 1 Tarjeta madre que contiene 2 FPGAs de 100,000 compuertas con los que se realiza la comunicación vía fibra óptica con los sistemas de disparo y de adquisición de datos de ALICE. Además de producir las señales de disparo del muon único y de multicoincidencia.
- ❑ 6 Tarjetas para convertir las señales diferenciales provenientes de las 60 tarjetas de electrónica frontal a señales CMOS, con el fin de que en la tarjeta madre se produzcan las señales de disparo y la adquisición de los datos de cada evento.
- ❑ 1 Tarjeta conteniendo el bus para interconectar las tarjetas que convierten las señales diferenciales con la tarjeta madre.
- ❑ 1 Estructura de aluminio que sirve de soporte mecánico para la electrónica de ACORDE.

En la Fig. 16 se muestra un diagrama a bloques del sistema de adquisición de datos y disparo de ACORDE de la versión completa que será instalada en la caverna.

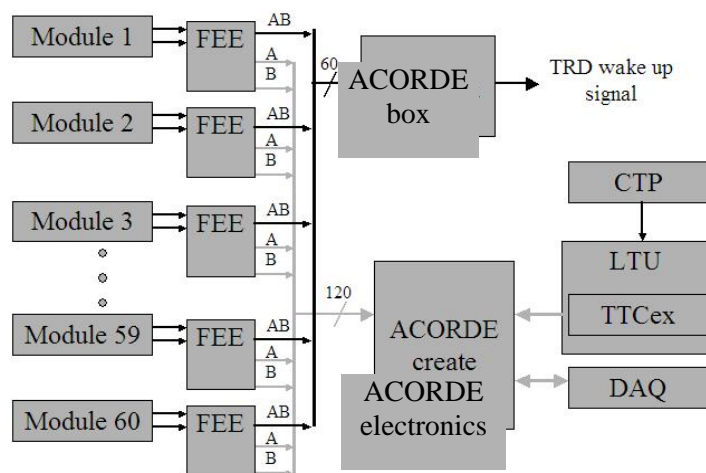


Figura 16: Diagrama a bloques de la electrónica de ACORDE

Cada uno de los 60 módulos tiene una tarjeta frontal (FEE card), esta es la misma tarjeta descrita en la primera versión de la electrónica, recordemos que tiene la función de recibir las señales de los PMs para ser digitalizadas a partir de un discriminador MAXIM MAX9203, el cual presenta un flanco de ascenso y descenso de 2ns y un voltaje de umbral ajustable manualmente por medio de un potenciómetro. La duración de la señal digital es aumentada de 20ns a 100ns a través de un circuito monoestable con la finalidad de que las señales de coincidencia no se vean afectadas debido a los 1.9m de longitud de los plásticos centelladores, después esta señal es convertida de un nivel CMOS a LVDs con el fin de eliminar el ruido durante la transmisión. Esto es muy importante ya que la electrónica será instalada en la caverna donde se encontraran miles de canales electrónicos que representan posibles fuentes de ruido. Esta tarjeta también contiene una compuerta AND para producir una señal de coincidencia entre los dos contadores del módulo, esta señal también es convertida a niveles LVDs. Por lo

tanto esta tarjeta entrega tres señales, la señal de coincidencia y las señales generadas por cada PM, ver Fig. 11.

La caja de ACORDE que provee la señal de activación del TRD recibe las 60 señales de coincidencia producidas por las tarjetas frontales. Estas señales son convertidas a niveles CMOS para ser aplicadas a un FPGA que sirve para realizar la función OR, la señal generada es enviada al TRD. En esta caja se incluye un cristal de 40MHz para emular el reloj del LHC ya que debido a su ubicación no se tiene acceso al sistema de disparo del experimento y por lo tanto no se cuenta con el reloj del LHC. La caja será instalada en la cara superior del magneto de ALICE, ver Fig. 17.

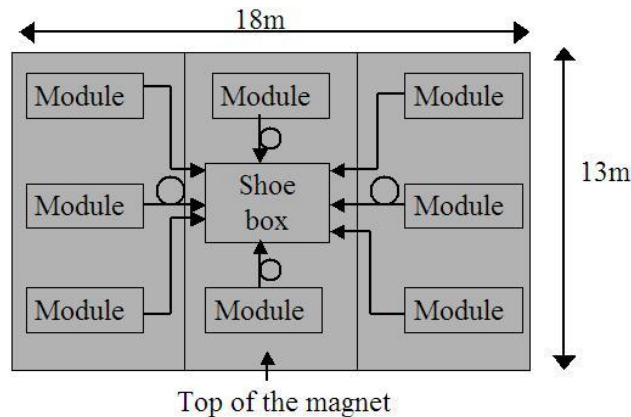


Figure 17: Localización de la caja de ACORDE

Lo que hemos llamado electrónica de ACORDE (ACORDE electronics) recibe las 120 señales diferenciales provenientes de cada PM en los 60 módulos, estas señales son convertidas por medio de seis tarjetas a niveles CMOS (3.3V), después son enviadas a un FPGA de 100 mil compuertas contenido en la tarjeta del sistema. En este FPGA se realiza la coincidencia entre los dos PMs de cada modulo. Lo que genera 60 señales, las cuales son usadas para producir la señal de disparo de multicoincidencia y muon único. El disparo de muon único se realiza por medio de una función OR entre las 60 señales de coincidencia, cuando el resultado de esta función es uno se activa un circuito digital que genera un pulso de 40ns en sincronía con el reloj del LHC. Este pulso es convertido a niveles LVDS para ser enviado al Procesador Central de disparo de ALICE. En el caso de la señal de disparo de multicoincidencia se tiene un circuito digital que cuantifica cuantas señales de coincidencia presentan impacto, el resultado es comprado con él numero programado desde el DAQ. Si el resultado es mayor o igual a este numero entonces se genera un pulso de 40ns que a su vez es convertido de niveles CMOS a LVDS para ser enviado al Procesador Central de Disparo. Ya sea que se produzca una señal de disparo de muon único o de multicoincidencia la información de todas señales de coincidencia es guardada en una memoria, produciendo una palabra de 60bits por evento. Todo lo anterior se lleva a cabo por el FPGA1 que se encarga de producir las señales de disparo.

En la tarjeta madre se tiene un segundo FPGA de 100 mil compuertas que se usa para comunicar la electrónica con los sistemas de disparo y de adquisición de datos. La comunicación con el sistema de disparo se realiza por medio de la tarjeta TTCrq que contiene un enlace óptico 40Mbps con el que se enlaza a la Partición de Tiempo Disparo y Control. Esta partición esta conectada a su vez al Procesador Central de Disparo en donde son producidos y enviados los mensajes de disparo usados para sincronizar la captura de eventos de los diferentes detectores de ALICE. Por lo cual este FPGA se usa para decodificar estos mensajes de disparo y por medio del reloj del LHC recuperado por la TTCrq sincronizar la electrónica con el experimento. A partir de los mensajes de disparo obtenidos se produce un encabezado de 8 palabras de 32 bits con la información necesaria para poder reconstruir un evento usando los datos de varios detectores. Este encabezado es enviado antes que los datos al recibir un mensaje nivel dos de disparo. Con el mismo FPGA se realiza la comunicación o interfaz con la Unidad Fuente de Interfaz desarrollada por el grupo del DAQ. Esta unidad contiene un enlace bidireccional de 2Gbps que comunica la electrónica de los detectores con el sistema de adquisición de datos. En el caso de ACORDE este enlace es usado para hacer la lectura de datos y configurar algunos parámetros de la electrónica desde el cuarto de conteo. Los parámetros de configuración son el numero de multicoincidencia expresado en 8 bits, cambio de estado de ACORDE, y el inicio de la evaluación de los módulos. Los contadores usados para esta prueba están contenidos en el FPGA1.

Una foto de la electrónica completa es mostrada en la Fig. 18 y las fotos de las tarjetas que componen la electrónica son mostradas en la Fig. 19.

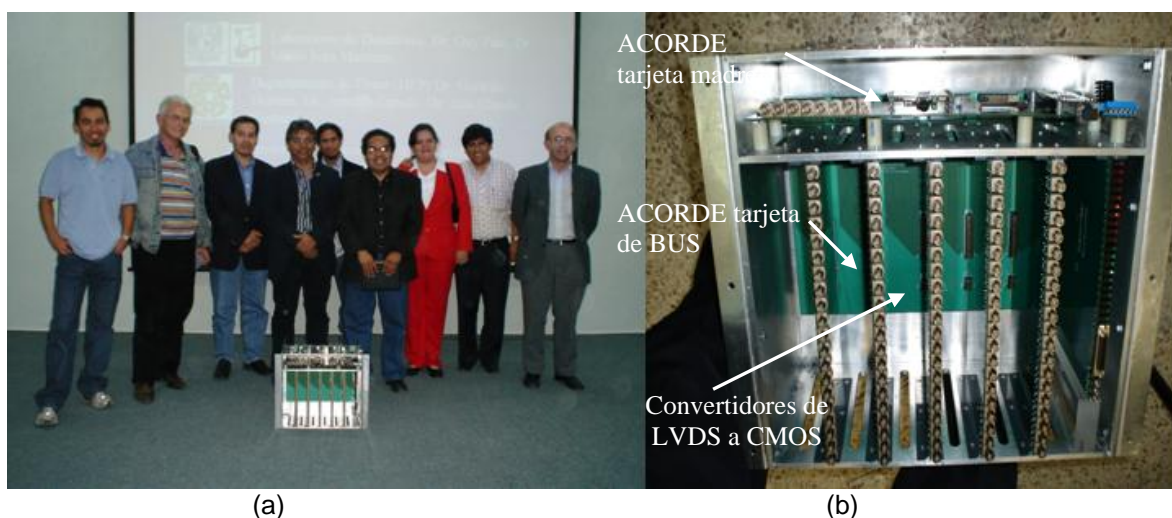


Figura 18: Electrónica final para ACORDE. (a) Algunos colaboradores de ACORDE, (b) Foto de la electrónica final

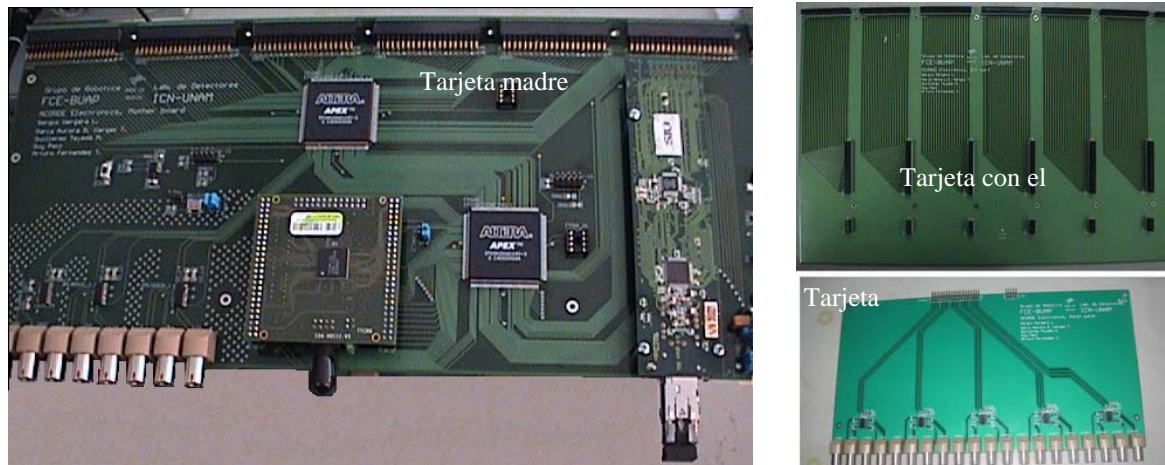


Figura 19: Fotos de las tarjetas usadas en la Electrónica de ACORDE

4 CONCLUSIONES

El haber desarrollado toda esta instrumentación, y al generar un bus propio ayudo a la producción de nuevas aplicaciones. Por ejemplo, durante la interacción con nuestros colaboradores en la realización de este y otros trabajos observamos que mucha de esta tecnología puede ser aplicada a experimentos de frontera en las áreas de Automatización, Control, Física de altas energías y óptica. Uno de los problemas que ellos nos comentaron son las dificultades que tienen en adaptar algunos instrumentos comerciales a sus experimentos, además no cuentan con ayuda especializada para realizar esta tarea, ya que como la mayoría del equipo es importado y muchas veces estos instrumentos resultan ser insuficientes para realizar algunos experimentos, ya sea porque no cuentan con un control por computadora o porque les falta alguna característica muy especial necesaria para el experimento. Por esta razón nació la idea de que en base a la experiencia adquirida se comience el desarrollo de una línea de instrumentos científicos de alta tecnología que abriría la oportunidad de llevar a cabo diversos experimentos de frontera en diferentes áreas, por ejemplo una aplicación inmediata sería el hacer investigación de frontera de fotones anidados y óptica cuántica. Otra aplicación es la de controlar robots en tiempo real.

Debido a la versatilidad de los sistemas desarrollados varios investigadores de la UNAM, UAS y BUAP han manifestado su interés en obtener sistemas con características similares a los sistemas desarrollados. Lo cual esta fomentando el desarrollo e innovación tecnológica en nuestro país.

Los tres sistemas desarrollados en este proyecto actualmente están siendo utilizados en el CERN y se planea que al menos dos de ellos continúen en uso por los próximos 10 años que es el tiempo de vida de ALICE.

Es realmente motivo de orgullo decir que por primera vez en la historia de nuestro país un grupo mexicano esta entregando un detector con la electrónica diseñada y construida por mexicanos a una colaboración internacional como ALICE.

V. REFERENCIAS

- [1] Carminati, F. et. al. (ALICE Collaboration), Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, pp30-1517, 2004
- [2] Adriani, O. et. al. (L3 + C Collaboration), NIMA, 488, (2002) pp. 209-225
- [3] Fernandez, A. et. al., Proceedings de la 29th Conferencia Internacional de Rayos C6smicos, 2005, Pune, India, pp. 1203-1206, Universal Academic Press

