

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas
Posgrado en Física Aplicada

**Optimización del sistema de disparo del
experimento ALICE-LHC del CERN.**

Protocolo Tesis de Doctorado

Nombre del alumno:

Luis Alberto Pérez Moreno.

Asesores de tesis:

Dr. Arturo Fernández Téllez.

Dr. Guillermo Tejeda Muñoz.

1. Introducción (Experimento ALICE-CERN)

El propósito general del experimento ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) es estudiar las colisiones de iones pesados que ocurren dentro del acelerador LHC (*Large Hadron Collider*), enfocándose principalmente en fenómenos de QCD en un medio de materia de deconfinada. Se diseñó principalmente para analizar las interacciones fuertes de la materia y el plasma de quark y gluones a valores extremos de densidad de energía y temperatura en colisiones tipo núcleo-núcleo. Al mismo tiempo, este experimento permitirá estudiar a profundidad el proceso de hadronización de diversas especies de mesones y bariones así como los efectos de su propagación en medios de alta densidad.

El experimento ALICE (figura 1.) ha sido diseñado y construido por una colaboración aproximada de 1300 personas provenientes de 120 institutos de 35 países de 4 continentes. La parte central consta de detectores cilíndricos concéntricos en su mayoría; tales como el sistema interno de trazas (ITS), la cámara de proyección en tiempo (TPC), el sistema que mide el tiempo de vuelo de las partículas cargadas (TOF), detectores tipo Cherenkov (HMPID), detectores de radiación (TRD) y calorímetros electromagnéticos (PHOS y EMCAL).

Por otra parte, ALICE posee un arreglo complejo de absorbentes: un gran dipolo magnético, catorce cámaras planas de disparo para muones. Existen también varios detectores de tamaño menor a los antes mencionados: calorímetro a cero grados respecto al haz del LHC (ZDC), un detector para medir la multiplicidad de fotones (PMD), uno para medir la multiplicidad de partículas en la región delantera (FMD), detector del nivel tiempo cero (T0), detector de vértices (V0); estos detectores son usados como sistemas de disparo para diferentes tipos de configuración y estudios (ayudan a caracterizar los eventos de colisión globales). Existe también un arreglo de centelladores ubicados en la

parte superior del magneto de ALICE (ACORDE), los cuales son usados para generar una señal de disparo al paso de muones atmosféricos. Estos eventos son utilizados para la alineación y calibración de los detectores centrales de ALICE. Tambien son usados para estudios de física de rayos cósmicos para detectores bajo tierra.

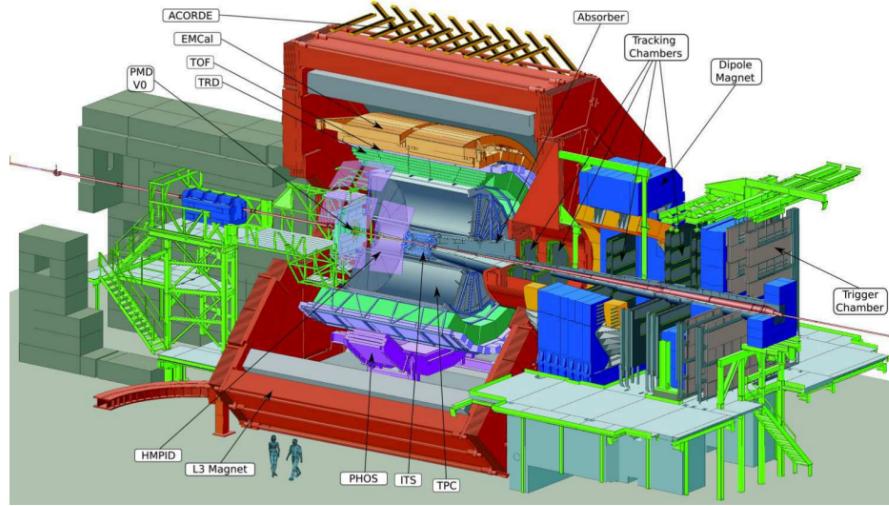


Figura 1: **Esquema general de ALICE**

Como anteriormente se menciono el principal objetivo de ALICE es caracterizar de manera precisa el Plasma de Quark-Gluon (QGP), el estado de la materia de deconfinado producido en en colisiones de iones pesados a altas energías. El QGP es, en el modelo del Big Bang, el estado de la materia que existió en el universo temprano de unos pico segundos a alrededor de $10 \mu s$ despues del Big Bang. Una determinación precisa de sus propiedades sería un gran logro.

La colaboración ALICE planea realizar una importante actualización del detector durante el segundo periodo donde se apaga el acelerador LHC (LS2¹), el cual se tiene contemplado que inicie en el mes de Julio de 2018. ALICE actualmente puede colectar $1 nb^{-1}$ de colisiones Pb-Pb, con una luminosidad máxima de $L = 10^{27} cm^{-2}s^{-1}$, teniendo como resultado un rate de colision de $8 KHz$. Sistemas de disparo basados en multiplicidad de eventos, medición de energía y reconstrucción de trazas permiten la selección de eventos y un muestreo total de la luminosidad. Actualmente la máxima tasa de lectura de ALICE esta limitada a $500 Hz$. en eventos Pb-Pb.

La estrategia de actualización esta basada, en que después del LS2 se tendrá una tasa de lectura de aproximadamente $50 kHz$, y una luminosidad de $L = 6 \times 10^{27} cm^{-2}s^{-1}$ lo que implica un amuento considerable en la tasa de interacción. Lo que implica modificar detectores, sistema de selección de eventos y el sistema de adquisición de datos para que sean capaz de operar con el aumento en la tasa de interacción.

¹Por sus siglas en ingles *Long Shutdown 2*

2. Objetivos

Objetivo General

- Optimización del sistema central de disparo del experimento ALICE-LHC del CERN.

Objetivo Particulares

- Estudiar el funcionamiento actual del sistema central de disparo (CTP) del experimento ALICE-LHC del CERN.
- Estudiar las especificaciones que debe de cumplir el CTP-ALICE para el periodo de toma de datos denominado LHC-Run3.
- Definir la especificaciones de diseño del nuevo CTP-ALICE.
- Diseño del nuevo CTP-ALICE.
- Construcción del nuevo CTP-ALICE.
- Instalación y pruebas de funcionamiento del CTP-ALICE.

3. Justificación

El diseño original del experimento ALICE esta basado en una tasa de interacción relativamente baja y una baja velocidad de respuesta de algunos detectores (tales como la TPC). La actualización de ALICE que se planea es un cambio radical en comparación con el diseño actual. La actualización se basa en la sustitución del detector ITS y una notable actualización de los otros detectores, con el fin de hacer frente a una alta tasa de interacción. Estas modificaciones se traducirá en una evolución del sistema central de disparo (CTP) y en la estrategia de selección de eventos del experimento ALICE.

El escenario que se prevé después del LS2 es un incremento en la tasa de interacción que se ve reflejado en la tasa de lectura de eventos de aproximadamente 50 kHz para colisiones Pb-Pb y 2 MHz para colisiones p-p. La estrategia de actualización persigue el objetivo de colectar la mayor cantidad de información generada de todas las posibles interacciones, que permita tener una mayor precisión en la caracterización del QGP.

La estrategia para la selección de eventos posteriormente al LS2 será diferente a la empleada durante corridas anteriores. Anteriormente, a pesar del hecho que los eventos producidos en ALICE son muy complejos, la estrategia de selección fue combinar un disparo en "*minimum bias*" y un disparo seleccionado de acuerdo a valores de discriminación en energía E_t (Disparo por Calorimetros), alto p_t , o alta multiplicidad.

Durante el proceso de actualización el actual CTP es reemplazado por un Sistema Rápido de Disparo (FTP), el cual ofrece un disparo nivel 0 (L0) lo más cerca posible al disparo "*minimum bias*" con una latencia máxima de $1,2\mu\text{s}$ y un disparo nivel 1 (L1) en menos de $10\mu\text{s}$. La tasa de disparo L1 no debe de exceder de 20 kHz para diversos detectores. Todas la decisiones posteriores se basan en algoritmos de software ejecutados por diversos procesadores. Los principales parámetros del nuevo sistema central de disparo

se muestra en la tabla 1. Los dos niveles de disparo (decisión por hardware) entregados por el nuevo sistema FTP son complementados por dos niveles mas de decisión (L2 y L3) realizado por software.

| | | Disparo en interacciones p-p | | Disparo en interacciones Pb-Pb | |
|------------------|--|------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Nivel de Disparo | Detectores | Frecuencia (kHz) | Latencia (μs) | Frecuencia (kHz) | Latencia (μs) |
| L0 | ITS,TPC,TRD EMC and PHOS TOF en Pb-Pb y otros detectores de disparo | 200 | 1.2 | 50 | 1.2 |
| L1 | TOF en p-p, Muon y otros detectores de disparo | 20 | 10 | 20 | 10 |

Cuadro 1: Parámetros de disparo de acuerdo al tipo de interacción p-p y Pb-Pb. Latencias en relación con el tiempo de interacción

4. Metodología

La arquitectura general del sistema de selección de eventos de ALICE se muestra en la figura 2. Los disparos de entrada son colectados para satisfacer las tres diferentes latencias, establecidas por los tres niveles de decisión (LM,L0 y L1). Los tiempos, son calculados en relación al tiempo de interacción. (Vea Tabla 2).

| Nivel | Entrada de disparo al CTP [ns] | Respuesta de disparo del CTP [ns] | Decisión de dsiparo en el detector [ns] | Detectores |
|-------|--------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------|
| LM | 425 | 525 | 775 | FIT |
| L0 | 1200 | 1300 | 1500 | ACO,EMC,PHO,TOF,ZDC |
| L1 | #6100 | #6200 | #6400 | EMC, ZDC |

Cuadro 2: Latencia de cada detector a los diferentes niveles de decisión

El tiempo de procesamiento del CTP es de 100 ns , y la propagación de la señal de disparo del CTP al detector, sin incluir la distribución de dicha señal en el detector es de aproximadamente 200 ns .

En la tabla 3 se muestra la tasa de lectura que podrá manejar cada detector y la forma de conexión con el sistema central de disparo.

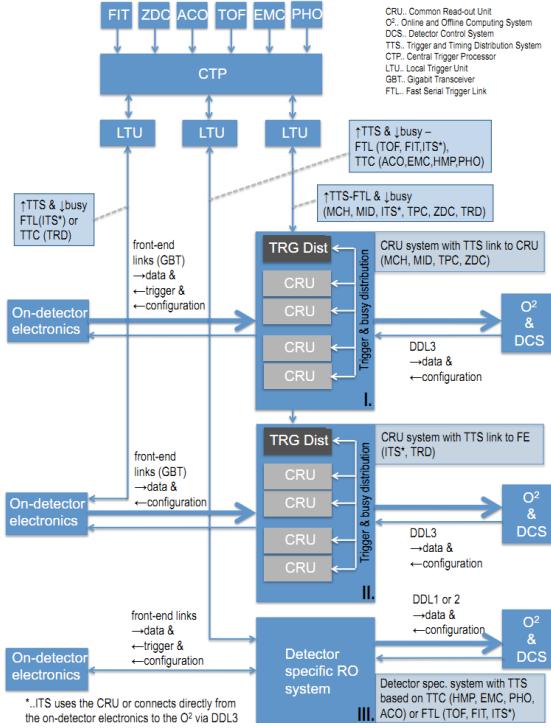


Figura 2: Estructura del sistema de selección y adquisición de datos de ALICE

La latencia por el nivel decisión LM esta diseñada para generar una señal que active la electrónica asociada al detector TRD. Esta señal podrá ser entregada por el nuevo detector FIT (Fast Interaction Trigger). Sin embargo, se contempla que no será posible generar una señal de disparo desde el calorímetro electromagnético (EMC) lo suficientemente rápida para incluirla dentro de este nivel de decisión (LM), por esta razón, se mantiene el nivel de decisión L0. La señal entregada por el detector ZDC está disponible de manera opcional para limpiar la señal de "minimum bias" entregada por FIT. Por otra parte el detector FIT es incapaz de entregar una señal de disparo de rayos cósmicos, en este caso se podrán usar los detectores ACORDE y TOF

Al igual que en el sistema actual, las decisiones de activación se transmiten desde el CTP hacia los diferentes detectores utilizando una unidad de disparo local mejorada (LTU). Debido a la reducción del número de entradas de activación con respecto a la Run-1 y a la Run-2, para la actualización será posible implementar una lógica de búsqueda y selección de entradas de disparo, lo que permite una total flexibilidad en las diferentes condiciones de disparo. La selección de los detectores de lectura será diferente de ejecuciones anteriores. Anteriormente, era una señal de selección basado en las diferentes clases de disparo previamente establecidas. Cada clase de disparo esta basado en definición de los detectores de lectura más las condiciones de disparo. Para la actualización, si una condición de disparo se satisface, la información generada es colectada por detectores que operaran de forma de adquisición continua, más todos los detectores participantes. En esta estrategia cada detector es tratado de forma individual. Al mismo tiempo, los requerimientos de ocupado de cada detector deben de ser tratados de forma independiente. Esta estrategia podrá dar como resultado un número insuficientes de eventos útiles para los diferentes tipos de análisis que se realizan en ALICE. Para estar preparado ante

| Detectores | Disparado por | Tasa de lectura interacción Pb-Pb [kHz] | TTS FTL/TTC |
|------------|---------------|---|-------------|
| TPC | L0 o L1 | 50 | FTL |
| MCH | L0 o L1 | 100 | FTL |
| ITS | L0 | 100 | FTL |
| MID | L0 or L1 | >100 | FTL |
| ZDC | L0 | >100 | FTL |
| TOF | L0 or L1 | >100 | FTL |
| FIT | L0 or L1 | 100 | FTL |
| ACO | L0 or L1 | 100 | TTC |
| TRD | LM&(L0 o L1) | 39 | FTL&TTC |
| EMC | L0 & L1 | 42 | TTC |
| PHO | L0 & L1 | 42 | TTC |
| HMP | L0 & L1 | 2.5 | TTC |

Cuadro 3: Tasa de lectura de cada detector en interaccion Pb-Pb (después del LS2)

este posible escenario, el sistema central de disparo tendrá la posibilidad de operar de la forma actual, y así tener un equilibrio entre una selección de eventos libre de todos los detectores disponibles y una elección restringida que requiera una combinación de detectores determinada.

Las funciones discutidas previamente deben ser implementada en el nuevo CTP, combinando ciertas funciones del actual CTP. Es obvio la necesidad de eliminar el tiempo muerto en la transferencia de datos del CTP. La aplicación dispositivos electrónicos de punta, tales como FPGA de la empresa Xillinx de la serie 7 de la familia KINTEX, proveen las características ideales para cumplir con todos los requerimientos. En particular particular el CTP contendrá con 1 GB de memoria DDR3 y nuevos enlaces ópticos basados en un nuevo protocolo de comunicación (GBT Giga Byte Transceiver), por lo cual el procesamiento en la toma de decisión y la comunicación entre detectores y demás sistemas (HLT, DAQ) se ejecutara de manera más rápida. La serie XILINX-7 ofrece también características especiales respecto a la tolerancia a la radiación por lo cual el uso de estos dispositivos electrónicos son la opción ideal para el nuevo CTP.

Debido a la magnitud del proyecto de actualización del sistema central de disparo del experimento ALICE, el trabajo realizado durante el desarrollo del tema de tesis formará parte importante en el esquema general de trabajo del grupo CTP, coordinado por el Dr. Marian Krivda (Universidad de Birmingham).

5. Cronograma de Actividades

| Actividad | Semestre | | | | | | | |
|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Comprensión del Tema y revisión bibliográfica | X | X | | | | | | |
| Estudio del Sistema Central de Disparo ALICE | X | X | X | X | | | | |
| Estudio de las especificaciones del CTP-ALICE para la LHC-Run3. | | X | X | X | X | | | |
| Definir diseño del nuevo CTP-ALICE | | | X | X | X | | | |
| Diseño de del nuevo CTP-ALICE | | | | X | X | X | | |
| Construcción del nuevo CTP-ALICE | | | | | X | X | | |
| Instalación y Pruebas de funcionamiento | | | | | | X | X | |
| Redacción de Artículo | | | | | | X | X | |
| Escritura de la Tesis | | | | | | | X | X |

6. Comité Tutorial

Propuesta de comité tutorial.

- Humberto Salazar Ibarguen **Presidente**
- Mario Rodriguez Cahuantzi **Secretario**
- Isabel Pedraza Morales **Vocal**
- Mario Iván Martínez Hernández **Vocal**

7. Línea de generación de conocimiento

- Astropartículas y física experimental de altas energías.

Referencias

- [1] A.Fernández Tellez, M. Rodriguez Cahuantzi, et al, , Analysis id High Muon Multiplicity Cosmic Events with the ALICE Experiment, to be published in Brazilian journal of Physics. (Proceeding os the Astroparticle Physics Conference 2013, 2-9 July, Rio de Janeiro, Brazil).
- [2] B. Abelev, A. Fernández Téllez, M. Rodriguez Cahuantzi, Guillermo Tejeda Muñoz, M. Martínez Hernández, ALICE Collaboration , Centrality dependence of Pion, Kaon, and Proton Production in Pb-Pb Collisions at $s_{nn} = 2.76$ TeV, Phys. Rev. C 88, 044910 (2014).
- [3] B. Abelev, A. Fernández Téllez, M. Rodriguez Cahuantzi, Guillermo Tejeda Muñoz, M. Martínez Hernández, ALICE Collaboration , Multiplicity dependence of two-particle azimuthal correlations in pp collisions at the LHC, JHEP09(2015)049.
- [4] A. Fernández Téllez, M. Martínez Hernández, M. Rodriguez Cahuantzi, The ALICE Collaboration, Technical Design Report on Forward Detectors: FMD, T0 and V0. CERN*-LHCC-2004-025

- [5] A. Fernández Téllez, M. Rodriguez Cahuantzi, The ALICE Collaboration, Technical Design Report of the Trigger, Data Acquisition, High Level Trigger and Control System, CERN*-LHCC-2003-062, ALICE TDR 01 (2004).
- [6] J. Christiansen, HPTDC High Performance Time to Digital Converter, CERN*-EP – MIC, 2004.
- [7] CERN-LHC: Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Trigger System, 2013
- [8] CERN-LHC: Preparing the ALICE DAQ upgrade, 2012.
- [9] CERN-LHC: Upgrade of the ALICE Experiment. ALICE-DOC, 2012.
- [10] ALICE DAQ project: ALICE DAQ and ECS Manual. ALICE Internal Note/DAQ, 2010.
- [11] ALICE-CERN: ALICE Common Data Header specifications. ALICE Internal Note/DAQ, 2013.
- [12] M.Krivda, A. Jusko, O.Villalobos Baillie: The ALICE trigger electronics. 2010.
- [13] W.Carena, F.Costa, F.Carena: The ALICE experiment control system. 10th ICALEPCS, 2011.
- [14] Quartus II Simulation with VHDL Design, Altera Corporation©, 2005.

Atentamente

Dr. Arturo Fernández Téllez
ASESOR (FCFM-BUAP)



Luis Alberto Pérez Moreno
TESISTA

Dr. Guillermo Tejeda Muñoz
ASESOR (FCFM-BUAP)

Responsable de cuerpo académico
Partículas campos y relatividad general