Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Tesis para obtener el grado de Maestría en Física Aplicada

Posgrado en Física Aplicada

Facultad de ciencias Físico Matemáticas

"Estimación de la sección transversal para procesos difractivos a 13 TeV con ALICE"

Presenta

Jesús Marcel Alfaro Santos

jmarcelalfarosantos@gmail.com

Asesor

Dr. Mario Rodríguez Cahuantzi

Cuerpo Académico de Partículas Elementales

mario.rodriguez@correo.buap.mx

Junio 2024

Resúmen

En este estudio se estima la sección transversal de procesos difractivos en colisiones protón-protón a 13 TeV (Run 2) utilizando datos del experimento ALICE en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC). Los eventos difractivos se caracterizan cuando al menos uno de los dos protones entrantes que emergen de la interacción queda intacto o excitado a un estado de baja masa, con solo una pequeña pérdida de energía. Estos procesos pueden explicarse por el intercambio de un objeto virtual, llamado Pomerón, con los números cuánticos del vacío[1]; por lo tanto, no se producen hadrones en una amplia brecha de rapidez (LRG). Estos procesos contribuyen de manera significativa a la sección transversal inelástica total. El conocimiento preciso de estas secciones transversales es esencial para comprender la dinámica de las interacciones protón-protón y para mejorar los modelos teóricos de interacciones hadrónicas a las energías del LHC.

Para identificar eventos difractivos, se utilizó una combinación de los detectores SPD, V0 y AD. Se desarrolló un método de identificación de eventos basado en la presencia de brechas de pseudorapidez. Se utilizaron simulaciones de Monte Carlo (PYTHIA6) para corregir los datos experimentales y tener en cuenta las eficiencias del detector.

Los resultados obtenidos muestran las secciones transversales medidas para diferentes procesos difractivos, incluyendo la difracción simple (SD) $\sigma_{SD} = 15.12$ mb $\pm$ .003 mb y la difracción doble (DD) $\sigma_{DD} = 14.03$ mb $\pm$ 0.004 mb, y se comparan con los resultados anteriores a diferentes energías. Estas mediciones proporcionan información valiosa sobre la dinámica de los procesos difractivos y contribuyen a nuestra comprensión de las interacciones fuertes en el régimen de alta energía.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Mario Rodríguez Cahuantzi, por su invaluable guía, paciencia y apoyo a lo largo de todo este proyecto. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para el desarrollo de este estudio. Agradezco también su constante disposición para discutir ideas y su habilidad para motivar a superar los desafíos que surgieron en el camino. Mostrándome el verdadero espíritu de la mentoría.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su apoyo proporcionado para la realización de esta tesis. Al igual que a todos mis compañeros que me apoyaron en el transcurso de este trabajo.

A mis padres y Evelin, por ser mi luz.

Índice

1 Introducción a Procesos Difractivos 1
- 1.1 Rapidez y Pseudorapidez 1
- 1.2 Procesos Difractivos 1
- 1.3 Sección transversal 2

2 El experimento ALICE 4
- 2.1 El experimento ALICE 4
  - 2.1.1 Time Projection Chamber (TPC) 4
  - 2.1.2 The inner tracking system (ITS) 4
  - 2.1.3 The Forward detectors 5
  - 2.1.4 The Forward Multiplicity Detector (FMD) 6
  - 2.1.5 The Time 0 detector (T0) 6
  - 2.1.6 VZERO detector (V0) 6
  - 2.1.7 PHOTON Multiplicity Detector (PMD) 7
  - 2.1.8 Zero Degree Calorimeter (ZDC) 7
  - 2.1.9 Alice Difractive Detetector (AD) 7

3 Identificación de Eventos difractivos 9
- 3.1 Selección de datos 9
  - 3.1.1 The ALICE Electronic Logbook 9
  - 3.1.2 Filtros utilizados 10
  - 3.1.3 Características de las corridas. 10
  - 3.1.4 Cobertura de Pseudorapidez Run2 vs Run1. 11
- 3.2 Identificador de Evento. 11
  - 3.2.1 Tipo de evento asociado al identificador ID 12
  - 3.2.2 Actividad de detectores AD y V0 14
  - 3.2.3 Uso del detector SPD 15
  - 3.2.4 Total combinaciones ID 15
- 3.3 Eventos Minimun Bias. 15
- 3.4 Generación de tabla identificadora 17

4 Corrección de Monte Carlo 19
- 4.1 Pythia 6 19
  - 4.1.1 Producciones de Monte Carlo utilizadas. 19
- 4.2 Información de detectores AD, V0 y SPD en las producciones de Monte Carlo. 19
  - 4.2.1 Actividad de detectores AD Y V0 en las producciones de Monte Carlo. 20
  - 4.2.2 Extracción de actividad del detector SPD de la producción generada de Monte Carlo 20
  - 4.2.3 Identificador de evento 20
- 4.3 Comparación de identificador ID con Bandera MC. 20
  - 4.3.1 Bandera de generación Monte Carlo. 21
  - 4.3.2 Tabla comparación ID y Bandera MC 21

4.3.3 Tablas de conteo entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC por ID generado. 22
4.3.4 Tablas de proporción de calibración para cada producción de Monte Carlo. 30
4.3.5 Calibración de datos utilizando las tablas de proporción 35
4.3.6 Conteo de eventos difractivos 43
4.4 Eficiencia del identificador ID. 44

5 Estimación de la sección transversal para eventos difráctivos 45
5.1 Obtención de Luminosidad Integrada 45
5.2 Estimación sección transversal 46
5.2.1 Calibración de cocientes de proporción Monte Carlo. 46
5.3 Secciones transversales finales 48
5.3.1 Error estándar 50
5.3.2 Error estándar por corrida 50

6 Discusión y resultados 52
6.1 Conclusiones 56

Índice de cuadros

1 Rangos de Pseudorapidez y aceptancia angular para V0A y V0C [2] 7
2 Filtros Aplicados 10
3 Corridas seleccionadas 10
4 Carácteristicas de corridas utilizadas en el estudio. 10
5 Tipo de eventos asociados al identificador (ID) construido con la información recolectada de la actividad de los detectores ADC,V0C,SPD,V0A Y ADA. 14
6 Valores de decisión de AliAD:Desicion y AliVZERO: 15
7 Eventos totales y eventos Global MBor por corrida 16
8 Conteo por ID para los datos obtenidos de las corridas, separadas por periodos LHC15f y LHC17j 17
9 Número de eventos a candidatos difráctivos por corrida, el contenido de la columna *Proceso* es el descrito en la sección 3.2. 18
10 Corridas de PYTHIA6 ancladas a datos de LHC 19
11 Número de eventos generados para cada producción de Monte Carlo. . . . 19
12 Banderas MC y sus tipos de eventos asociados. (Donde ¬ indica negación o No). 21
13 Fracción de tabla comparativa por número de eventos entre el evento asociado a Bandera MC y el evento asociado a ID por número de evento (Producción Monte Carlo LHC15f4 226062). 21
14 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 226062. 23
15 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 225106. 24
16 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 225709. 25
17 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 225035. 26
18 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274653. 27
19 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274596. 28
20 Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274593. 29
21 Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC15f4 226062 por ID. 31
22 Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC15f4 225106 por ID. 31

23 Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274596 por ID. 32
24 Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo Lhc17h7a2 225709 por ID 33
25 Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC15f4 225035 por ID DATA 33
26 Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274593 por ID 34
27 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC15f 226062; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 36
28 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC15f 225035 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 37
29 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 274593; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 38
30 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC15f 225106; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 39
31 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 274653 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 40
32 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 274596 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 41
33 Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 225709 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado. 42
34 Total de eventos difractivos por tipo de proceso para cada corrida utilizada en el análisis. 43
35 Total de eventos generados para las diferentes producciones de Monte Carlo separada por tipo de proceso. 44
36 Eficiencias del identificador ID para las diferentes producciones de Monte Carlo. 44
37 Luminosidad Integrada por Corrida 46
38 Primera estimación de secciones transversales difractivas para cada tipo de proceso ,expresada en mb(milibarns). 47
39 tabla con las proporciones α_1 y α_2 para cada tipo de proceso difractivos para cada corrida del análisis. 47
40 Secciones eficaces finales corregidas a partir de la ecuación 6, para diferentes procesos difractivos para todas las corridas, expresada en milibarns (mb). 50
41 Promedio , desviación estándar y error estándar, de las secciones transversales finales para los resultados obtenidos de la tabla 40,obteniendo errores estándar del orden de cerca el 50 % respecto del promedio, lo que indica una poca uniformidad de los resultados. 51

42 Error estadístico por tipo de proceso para cada corrida utilizada en el análisis. 51
43 Valores de las secciones transversales σ_{DD} y cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ para valores de centro de masa $\sqrt{s}$ 0.9, 2.76, 7 y 13 TeV (Reportando el valor obtenido de la golden run LHC15f 226062 para la energía de centro de masa de 13 TeV).Resultados de las secciones transversales para la Run 1 obtenidos de [3] 53

Índice de figuras

1.1 (Arriba) Esquema de rapidez (y) de partículas producidas en procesos difractivos , singulares(SD) , dobles(DD) y centrales(CD). (Abajo) Diagrama de Feynman para procesos de intercambio de orden bajo de Pomerón donde $\mathbb{P}$ representa un pomerón , p un proton , y X (X_1, X_2) sistemas difractivos [3] 2
2.1 Diagrama del Experimento ALICE RUN 2 [4] 4
2.2 Diagrama del Inner Tracking Detector [5] 5
2.3 Segmentación detectores V0 [2] 6
2.4 Condición de alineación temporal en V0A y V0C [2]. 7
2.5 Paneles detector AD [6] 8
2.6 Esquemático de ALICE en la Run 2. Posicionamiento de AD. 8
3.1 Arquitectura del logbook de ALICE [2]. 9
3.2 Interfaz portal de ALICE electronic Logbook. 11
3.3 Cobertura η Run 1 [3]. 11
3.4 Cobertura η Run 2[7]. 12
3.5 Detectores forward utilizados en este estudio [7]. 12
3.6 Identificadores de posibles candidatos a eventos difractivos (Naranja). . . . 13
3.7 Brecha de Pseudorapidez para eventos difractivos simples [3]. 13
3.8 Brecha de Pseudorapidez para eventos difractivos dobles[3]. 13
3.9 Total de eventos crudos por corrida. 16
3.10 Total de eventos por corrida Global MB_{OR}. 16
4.1 Catálago MonALISA para Monte Carlos arraigados al periodo LHC15f. . . 19
4.2 Histograma del total de eventos para cada producción de Monte Carlo utilizada. 20
5.1 Carpeta para la corrida LHC15f consultada en el repositorio de ALICE, se muestran distintos macros utilizados para calcular la luminosidad asociada a la corrida y su archivo de resultados llamado “trending.root”. [8]. 45
5.2 Visualización en ROOT de Luminosidad para LHC15f 226062. 46
5.3 α_1 y α_2 para proceso SDL para cada corrida utilizada en el análisis. Las columnas azules represtan a α_2 mientras las de color rojo a α_1. Las corridas que tenga una α_1 mayor a α_2 aumentarán su valor de sección transversal mientras que las corridas α_2 que sean mayor a α_1 disminuiran. Dictado por la ecuación 6 48
5.4 α_1 y α_2 para proceso DD para cada corrida utilizada en el análisis. Las columnas azules represtan a α_2 mientras las de color rojo a α_1. 49
5.5 α_1 y α_2 para proceso SDR para cada corrida utilizada en el análisis. Las columnas azules represtan a α_2 mientras las de color rojo a α_1. 49

6.1 Valores de sección transversal para SD Y DD expresada en milibarns (mb) ,para las 7 corridas empleadas en el estudio.Se puede observar la nula uniformidad en las diferentes corridas analizadas. Solo teniendo valores adecuados para la "Golden Run"LHC15f226062 y la corrida LHC225709. Los resultados númericos se muestran en la tabla 40. 52
6.2 Valores de σ_{DD} y σ_{SD} a diferentes niveles de energía de centro de masa: 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3]. Tomando los valores de la golden run LHC15f para el nivel de energía de 13 TeV. 54
6.3 Cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ a diferentes niveles de energía de centro de masa. 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3].Tomando los valores de la golden run LHC15f para el nivel de energía de 13 TeV. . . 54
6.4 Valores de σ_{DD} y σ_{SD} a diferentes niveles de energía de centro de masa: 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3]. Tomando los valores promedio de las secciones transversale para el nivel de energía de 13 TeV. 55
6.5 Cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ a diferentes niveles de energía de centro de masa. 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3].Tomando los valores promedio de las secciones transversales para el nivel de energía de 13 TeV. 55
6.6 Secciones eficaces inelásticas como función de la energía en el centro de masa, en colisiones protón-protón o protón-antiprotón, comparadas con las predicciones [9] (línea azul corta y guionada), [10] (línea verde punteada), [11] (línea negra sólida), [12] (línea rosa larga y guionada), y [13] (línea roja punteada). Los datos del LHC provienen de ALICE [3], ATLAS [14], CMS [15] y TOTEM [16]. Los puntos de datos de ATLAS, CMS y TOTEM fueron ligeramente desplazados horizontalmente para mejorar la visibilidad. Los datos de otros experimentos se obtuvieron de [17]. (Información extraída de [3]) 57
6.7 Sección transversal para DD en función de la energía de centro de masa [3]. El origen de cada modelo es explicado en la figura 6.6 58
6.8 Sección transversal para SD en función de la energía de centro de masa [3] 58

1. Introducción a Procesos Difractivos

1.1. Rapidez y Pseudorapidez

Los procesos difractivos se caracterizan por la presencia de brechas de rapidez, que son regiones en el espacio fase desprovistas de provenientes de interacciones entre partones. Esta ausencia de partículas es indicativa de la naturaleza difractiva de la interacción[1]. Por lo que es necesario describir estas variables para este estudio.

La rapidez (y) es una variable especialmente útil porque la diferencia de rapidez entre cualquier par de partículas permanece inalterada bajo transformaciones de Lorentz a lo largo del eje del haz [18]. Esto la convierte en una herramienta valiosa para analizar colisiones de partículas.

Para describir la dependencia angular de las partículas respecto al eje del haz, se usa comúnmente la pseudorapidez (η), que se define de la siguiente forma:

$$\eta = -\ln\left(\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$$

donde θ es el ángulo entre el momento de la partícula $\mathbf{p}$ y la dirección positiva del eje del haz.

Esto puede reescribirse en términos de los componentes del momento como:

$$\eta = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{|\mathbf{p}| + p_L}{|\mathbf{p}| - p_L}\right)$$

donde p_L (o p_z) es el componente del momento a lo largo del eje del haz. Para partículas altamente relativistas (donde la masa m es mucho menor que el momento $|\mathbf{p}|$ y la energía $E \approx |\mathbf{p}|$), la pseudo-rapidez (η) se aproxima a la rapidez (y), que se define como [18]:

$$y = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{E + p_L}{E - p_L}\right)$$

1.2. Procesos Difractivos

En la teoría de Regge a altas energías, la difracción sucede a través del intercambio de pomerónes [1]. El pomerón es un objeto sin color con los números cuánticos del vacio que domina la amplitud de dispersión elástica a altas energías [19]. Los diagramas de Feynman correspondientes al intercambio de un pomerón en procesos: elásticos, simples, dobles y centrales difractivos se muestran en la Figura 1.1.

- **Dispersión elástica:** La partícula incidente y producida son la misma después de la colisión.

$$P_1 + P_2 \to P_1' + P_2'$$

- **Difracción Simple (SD):** En el estado final de la colisión una de las partículas incidentes queda intacta , mientras que la otra se disocia produciendo una nueva, conservando los mismos números cuánticos.

$$P_1 + P_2 \to P_1' + X$$

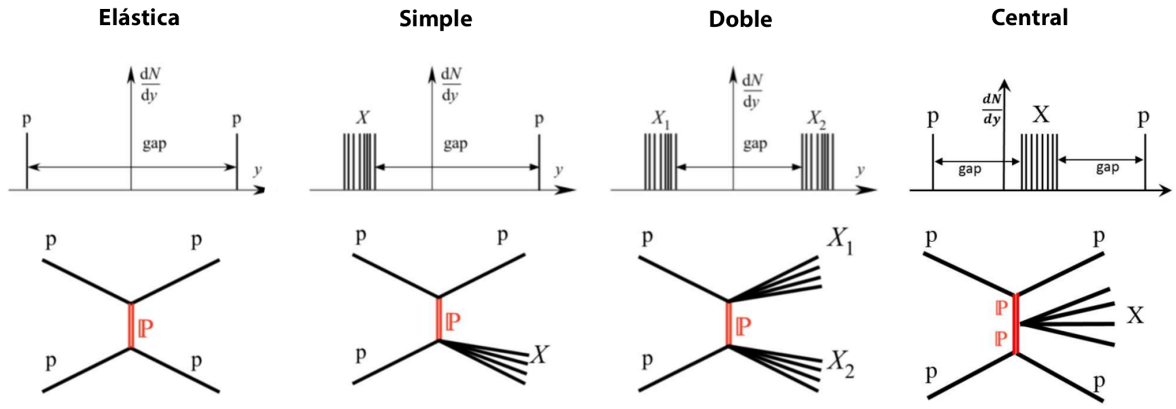

Figura 1.1: (Arriba) Esquema de rapidez (y) de partículas producidas en procesos difractivos , singulares(SD) , dobles(DD) y centrales(CD). (Abajo) Diagrama de Feynman para procesos de intercambio de orden bajo de Pomerón donde $\mathbb{P}$ representa un pomerón , p un proton , y X (X_1, X_2) sistemas difractivos [3]

- **Difracción Doble (DD):** En el estado final de la colisión, las partículas incidentes se disocian generando dos nuevas partículas que conservan los mismos números cuánticos que las incidentes.

$$P_1 + P_2 \rightarrow X_1 + X_2$$

- **Difracción Central(CD):** En el estado final de la colisión corresponde a las partículas incidentes pero hay una producción de una nueva partícula dado por el intercambio del pomerón doble.

$$P_1 + P_2 \rightarrow P_1' + X + P_2$$

  Experimentalmente, no hay posibilidad de distinguir brechas de rapidez causadas por un intercambio de pomerón o por aquellos causados por intercambios color-neutral.[3].

1.3. Sección transversal

La sección transversal (σ) es medida en unidades de area llamada barns ($10^{-24} m^2$). [20]. La estimación de la sección transversal total inelástica proton-proton(p-p) es una observable importante para caracterizar globalmente a las colisiones p-p. La sección transversal total inelástica tiene una contribución difractiva entre 26 % y 29 % [21].
El número de eventos por segundo para un proceso específico esta dado por:

$$N_{events/sec} = (Luminosidad)(\sigma) \ \ [20]$$

Cuanto mayor sea el valor de la Luminosidad, mayor será el número de colisiones. Para calcular el número de eventos por segundo para un proceso específico de colisiones también hay que tener en cuenta la sección transversal.[20]

La sección transversal total se puede expresar como la suma de la elástica y la inelástica, es decir.

$$\sigma_{total} = \sigma_{elastica} + \sigma_{inelastica}$$

A su vez

$$\sigma_{inelastica} = \sigma_{difractiva} + \sigma_{nodifractiva}$$

Y esto a su vez es la suma de cada tipo de proceso difractivo mostrado en la sección 1.2:

$$\sigma_{difractiva\,simple} = \sigma_{sd}$$

$$\sigma_{difractiva\,doble} = \sigma_{dd}$$

$$\sigma_{difractiva\,central} = \sigma_{cd}$$

De manera que para la cross section difractiva obtendremos:

$$\sigma_{difractiva} = \sigma_{sd} + \sigma_{dd} + \sigma_{cd} \tag{1}$$

2. El experimento ALICE

2.1. El experimento ALICE

A Large Ion Collider Experiment (ALICE) es uno de los cuatro grandes experimentos del LHC. ALICE fue diseñado para operar en un ambiente de alta multiplicidad, la cual está presente las colisiones Pb-Pb del LHC. El principal propósito del experimento es de estudiar las propiedades del plasma de quarks y gluones.
El proyecto de ALICE involucra más de 1500 físicos e ingenieros en 150 diferentes institutos, alrededor de 37 países. Está colocado 50 metros bajo tierra, y sus dimensiones son de $16 \times 16 \times 26\ m^3$ con un peso aproximado de 10,000 toneladas.

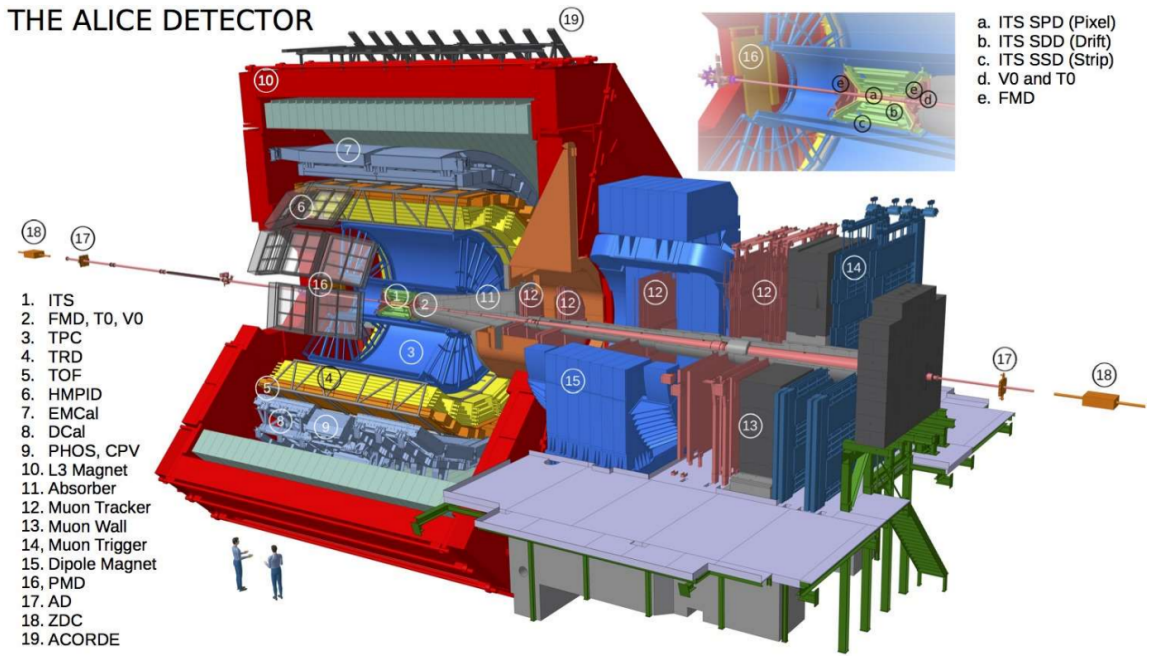

Figura 2.1: Diagrama del Experimento ALICE RUN 2 [4]

2.1.1. Time Projection Chamber (TPC)

La Cámara de Proyección Temporal es el detector principal de ALICE, utilizado para la reconstrucción dee trayectorias de partículas cargadas. Es un detector de gas compuesto por una mezcla de Ne-CO2-N2, la identificación de las partículas cargadas se realiza a partir de su deposición de energía que se parametriza mediante la ecuación de Bethe-Bloch [22].

2.1.2. The inner tracking system (ITS)

El detector más cercano al punto de interacción. El propósito del ITS es la determinación y reconstrucción del vértice primario y secundario, así como el rastreo de partículas de bajo momento. El ITS se compone de tres subsistemas: el SPD, el SDD y el SSD, que tienen detectores concéntricos de silicio [7].

- **SDD** (Silicon Drift Detector) consiste en las dos capas intermedias del ITS, está formado por sensores bidimensionales que proporcionan coordenadas de alta resolución.
- **SSD** (Silicon Pixel Detector) ocupa las dos capas más externas del ITS, su papel principal es el emparejamiento de las pistas entre la TPC y el ITS.
- **SPD** (Silicon Pixel Detector) constituye las dos primeras capas del ITS, este detector reconstruye los vértices secundarios.

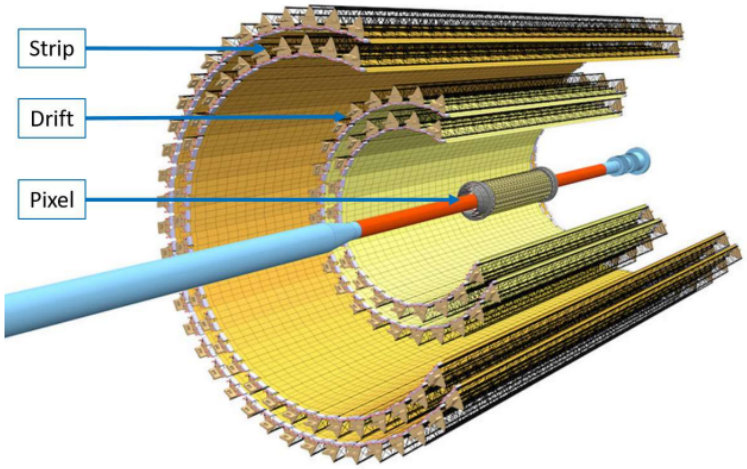

Figura 2.2: Diagrama del Inner Tracking Detector [5]

El SPD es crucial para reconstruir el vértice de interacciónes primarias. Para este propósito, las dos capas de detectores de píxeles se colocaron lo más cerca posible del tubo de haz, a un radio de 3.9 y 7.6 cm del punto de interacción, respectivamente. Su rango de pseudorapidez es $|\eta| < 2\, y |\eta| > 1{,}4$ [23].

2.1.3. The Forward detectors

ALICE cuenta con varios detectores que cubren las regiones de aceptación hacia delante y hacia atrás[22].

- The Forward Multiplicity Detector (FMD)
- The "Time 0"detector (T0)
- The "VZERO"detector (V0)
- The Photon Multiplicity Detector (PMD)
- The ALICE Diffractive Detector (AD)
- The Zero Degree Calorimeter (ZDC)

2.1.4. The Forward Multiplicity Detector (FMD)

El Forward Multiplicity Detector (FMD) se basa en la tecnología de bandas de silicio. El objetivo de este subdetector es estudiar la multiplicidad de partículas cargadas[24].

2.1.5. The Time 0 detector (T0)

El detector T0 consiste en dos conjuntos de PMTs acoplados a cristales de cuarzo. La tarea principal del T0 es generar señales rápidas de disparo. Proporciona una señal de activación para el TRD y actúa como referencia del tiempo de colisión para el detector de tiempo de vuelo[24].

2.1.6. VZERO detector (V0)

El detector V0 consiste en dos conjuntos de centelleadores de plástico instalados a ambos lados del punto de interacción. El V0 está limitado por los volúmenes ocupados por los sistemas de detectores centrales (TPC, ITS) y la parte superior del espectrómetro de dimuones (absorbedor frontal).

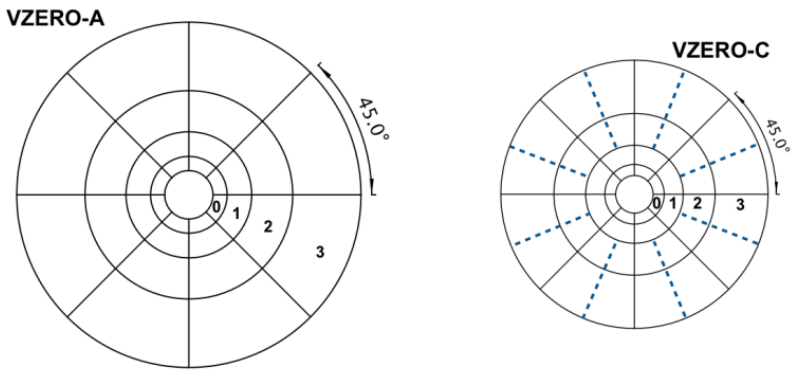

Figura 2.3: Segmentación detectores V0 [2]

El detector V0A está instalado en la dirección z positiva a una distancia de aproximadamente 340 cm del punto de interacción . El detector está alojado en una caja hecha de dos mitades idénticas montadas alrededor del tubo de haz. La caja ocupa un volumen de 100 cm de diámetro y 60 mm de grosor con un agujero central de 80 mm de diámetro. Un soporte cilíndrico, compartido con el contador FMD1 del FMD, lo mantiene en posición vertical.)

Este dispositivo está fijado al absorbedor a 90 cm del punto de interacción. Al igual que el V0A, está montado dentro de dos medias cajas rígidas. Es un disco de 47 mm de grosor, 76 cm de diámetro con un agujero central de 84 mm de diámetro.

El papel asignado a este dispositivo en ALICE ha llevado a un sistema de dos arreglos lo más grandes posible para una buena cobertura de pseudo-rapidez. La segmentación se muestra en la figura 2.3. Cada arreglo consta de 32 contadores distribuidos en 4 anillos. Cada uno de estos anillos cubre 0.5 - 0.6 unidades de pseudo-rapidez (tabla 1) y está dividido en 8 sectores. Para el arreglo V0C, los elementos de los anillos 3 y 4 están

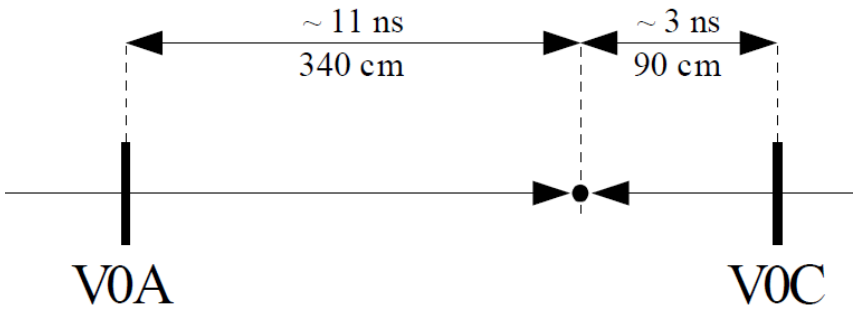

Figura 2.4: Condición de alineación temporal en V0A y V0C [2].

Cuadro 1: Rangos de Pseudorapidez y aceptancia angular para V0A y V0C [2]

Ring	**V0A**		**V0C**	
	η_{max}/η_{min}	$\theta_{min}/\theta_{max}$	η_{min}/η_{max}	$\theta_{max}/\theta_{min}$
1	5.1 / 4.5	0.7 / 1.3	-3.7 / -3.2	177.0 / 175.3
2	4.5 / 3.9	1.3 / 2.3	-3.2 / -2.7	175.3 / 172.4
3	3.9 / 3.4	2.3 / 3.8	-2.7 / -2.2	172.4 / 167.5
4	3.4 / 2.8	3.8 / 6.9	-2.2 / -1.7	167.5 / 159.8

divididos en dos detectores idénticos para una uniformidad de señal optimizada y una menor fluctuación de tiempo. [24].

2.1.7. PHOTON Multiplicity Detector (PMD)

Consta de dos planos detectores idénticos que utilizan gas como medio sensible. Es capaz de estudiar las formas de los eventos y las fluctuaciones en la región delantera, donde las grandes densidades de partículas imponen restricciones muy severas al diseño del detector[22].

2.1.8. Zero Degree Calorimeter (ZDC)

Está compuesto por dos calorímetros de neutrones y dos de protones. Se utiliza para la medición de los nucleones espectadores y sirve principalmente para el disparo[22].

2.1.9. Alice Difractive Detetector (AD)

El detector AD consta de dos estaciones (ADA y ADC), instaladas a cada lado de las regiones de interacción a $Z_{ADA} = +16{,}96\,m$ y a $Z_{ADC} = -19{,}54\,m$. Cada estación está compuesta por dos capas de centelleadores plásticos BC404 [6], y cada capa consiste en 4 celdas (8 celdas en total por detector.) (Figura 2.5). Las dos estaciones están instaladas alrededor del tubo de haz, ADA se encuentra después del imán compensador en el lado A de ALICE (Figura 2.6), y ADC se encuentra dentro del túnel del LHC (lado C de ALICE)[6].

Cada celda AD está acoplada a un fotomultiplicador (PMT) de 1.5 pulgadas a través de un conjunto de aproximadamente 200 fibras ópticas claras y dos barras cambiadoras

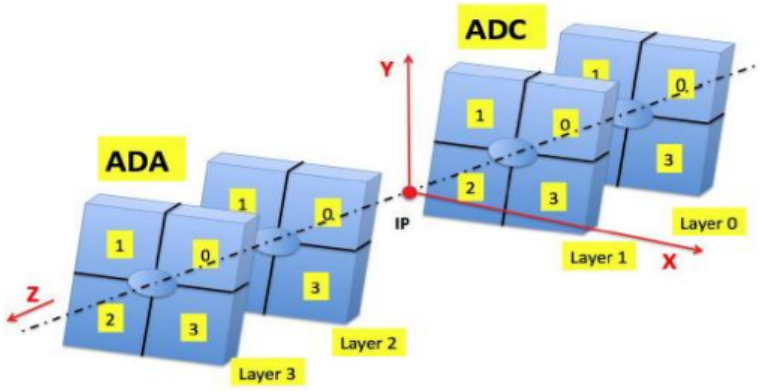

Figura 2.5: Paneles detector AD [6]

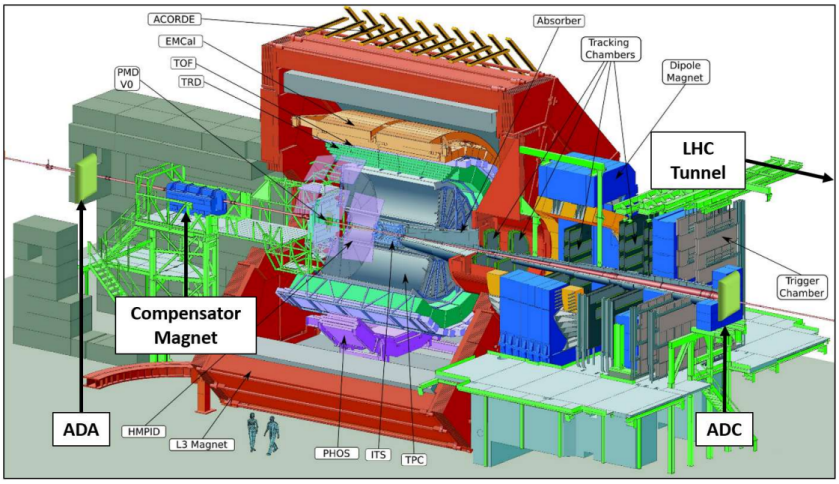

Figura 2.6: Esquemático de ALICE en la Run 2. Posicionamiento de AD.

de longitud de onda, una a cada lado de cada almohadilla. Cubriendo los rangos en pseudorapidez de $4{,}8 < \eta < 6{,}3$ (ADA) y $-7{,}0 < \eta < -4{,}9$ (ADC)[7].

3. Identificación de Eventos difractivos

3.1. Selección de datos

En orden de comenzar la búsqueda de los eventos deseados debemos seleccionar una muestra de datos experimentales de buena calidad. Una enmienda complicada de no existir la bitácora electrónica de ALICE, que es utilizada por más de 600 personas en 30 países diferentes, jugando así un papel importante en las actividades diarias de colaboración de ALICE [2].

3.1.1. The ALICE Electronic Logbook

Todos los experimentos importantes necesitan herramientas que proporcionen una forma de registrar la toma de datos, tanto durante la puesta en marcha y las operaciones del detector. Para el caso de nuestro experimento, esta tarea es realizada por el Cuaderno Electrónico de ALICE (ALICE Electronic Logbook), una aplicación hecha a medida desarrollada y mantenida por el grupo de Adquisición de Datos. Iniciado como un repositorio de estadísticas, el Logbook ha evolucionado para convertirse no solo en un cuaderno electrónico completamente funcional, sino también en un masivo repositorio de información utilizado para almacenar las condiciones y estadísticas de los varios sistemas en línea [2].

La arquitectura del eLogbook está basada en la pila de software LAMP (Linux, Apache, MySQL y PHP), con la base de datos relacional (DB) sirviendo como repositorio de datos y la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) basada en web proporcionando acceso interactivo a los miembros de la colaboración ALICE. Un conjunto de Interfaces de Programación de Aplicaciones (API) en C y una Interfaz de Línea de Comandos (CLI) otorgan a los diferentes actores automáticos acceso de lectura/escritura a la base de datos. [2]

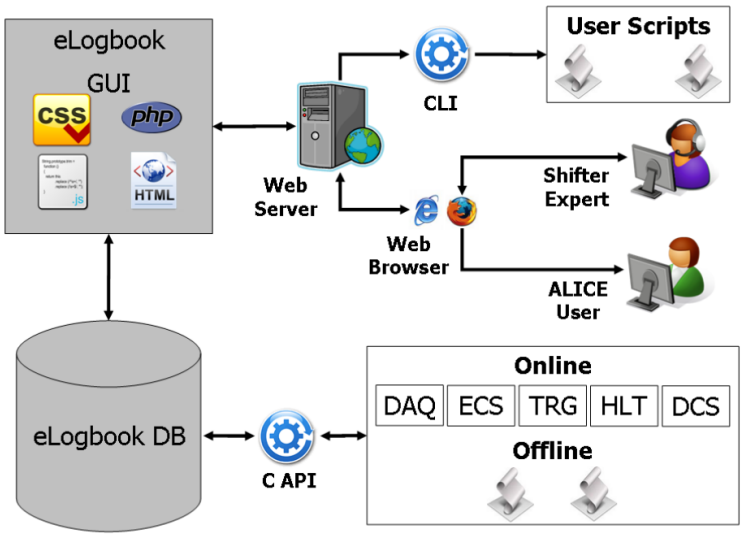

Figura 3.1: Arquitectura del logbook de ALICE [2].

3.1.2. Filtros utilizados

Una vez ingresado en el portal del Logbook es posible filtrar la muestra experimental, para asegurar la calidad de la información de los detectores utilizados en nuestro estudio (AD,V0 y SPD). Se aplicaron los siguientes filtros.

Cuadro 2: Filtros Aplicados

Filtros Aplicados	
Beam Mode	Stables beams
Duration	15 minutes or more
# of Detectors	10 or more
Detectors as Trigger	At least AD, V0, and SPD
Detectors as Readout	At least AD, V0, and SPD
Data Taking Quality Flag	Good Run
AD Quality Flag	Good Run
V0 Quality Flag	Good Run
SPD Quality Flag	Good Run
T0 Quality Flag	Good Run
ZDC Quality Flag	Good Run

Seleccionando las siguientes corridas de los para los periodos LHC15f y LHC17j.

Cuadro 3: Corridas seleccionadas

Periodo	**Run Numbers**
LHC15f	225035, 225106, 226062, 225709.
LHC17j	274593, 274596, 274653.

3.1.3. Características de las corridas.

Se utilizan las corridas mencionadas en la tabla anterior, destacando como "golden run" la corrida 226062 LHC15f ."golden run"se refiere a un período y corrida durante la cual la adquisición de datos presenta todas las condiciones experimentales óptimas y estables, permitiendo la recolección de datos de alta calidad, se describen las carácteristicas de cada corrida en la tabla 4.

Características	**Run 224593**	**Run 226062**	**Run 274596**	**Run 274653**	**Run 225709**	**Run 225106**	**Run 225035**
Run Number	224593	226062	274596	274653	225709	225106	225035
Periodo	LHC17j	LHC15f	LHC17j	LHC17j	LHC15f	LHC15f	LHC15f
Tasa de Eventos (Hz)	290.1	542.97	1054.53	48.17	2331.21	1997.1	387.68
Datos Totales (MB)	297744	2156034	2442730	291	1230125	8917454	74281
Tasa de Datos (MB/s)	139.52	357.49	575.84	24.27	1005.0	885.37	250.1
Eventos de Física Totales	587024	3191343	4409868	566	2839488	19984352	111545
Datos Totales de Física (MB)	297229	2154873	2441468	290	1229723	8914430	74243

Cuadro 4: Carácteristicas de corridas utilizadas en el estudio.

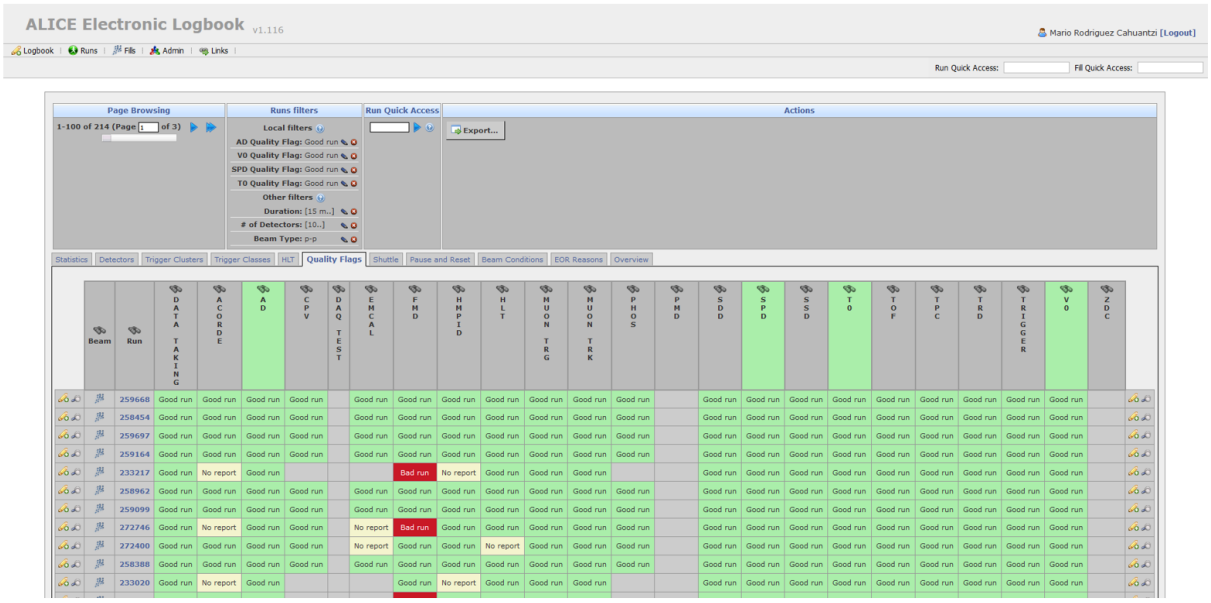

Figura 3.2: Interfaz portal de ALICE electronic Logbook.

3.1.4. Cobertura de Pseudorapidez Run2 vs Run1.

Con la inclusión del detector AD se aumenta la cobertura de ALICE en unidades de pseudorapidez. Dando una mayor cobertura a la detección de las brechas de pseudorapidez, como es posible observar en las figuras 3.3 y 3.4.

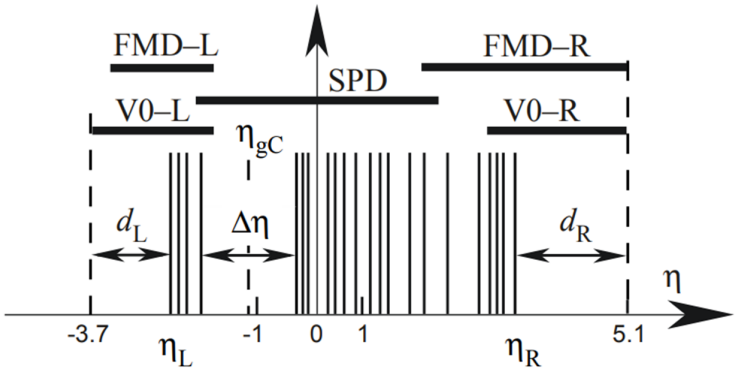

Figura 3.3: Cobertura η Run 1 [3].

3.2. Identificador de Evento.

Se estudió al sistema de disparo de cada uno de los detectores frontales involucrados en nuestro análisis. Ver figura 3.5.

Teniendo a los detectores del lado C del lado izquierdo y los del lado A del lado derecho podemos asociar un identificador binario a cada uno de ellos. Donde 1 indica una actividad registrada en el detector y 0 lo contrario o veto. Por ejemplo, el identificador

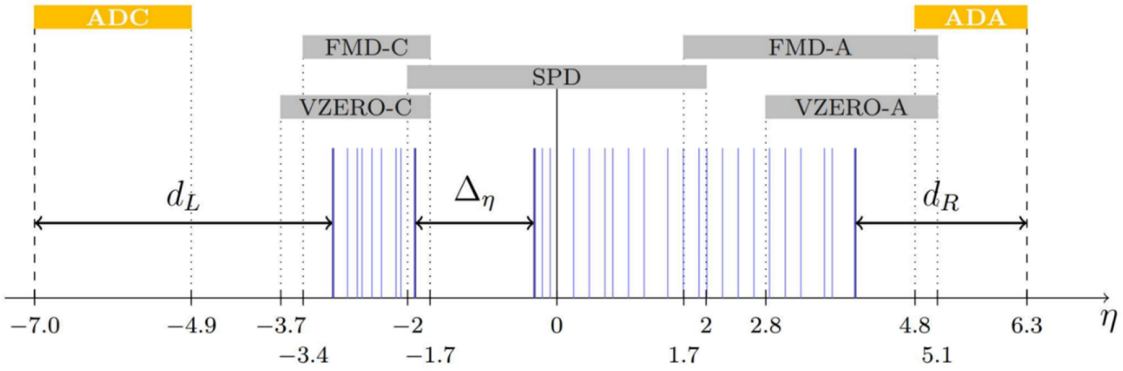

Figura 3.4: Cobertura η Run 2[7].

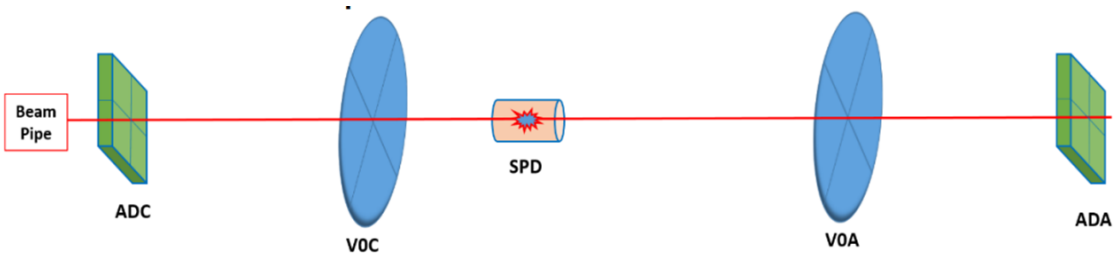

Figura 3.5: Detectores forward utilizados en este estudio [7].

(ID) 10001 muestra la actividad de los detectores ADA y ADC, y nula actividad o vetos en los detectores V0A, SPD Y V0C. De este modo podemos asociar a cada proceso difractivo un identificador (ID) como se describe a continuación.

3.2.1. Tipo de evento asociado al identificador ID

Difracción Simple: En el estado final de la colisión una de las partículas incidentes queda intacta , mientras que la otra se disocia produciendo una nueva. (Figura 3.7).

$$P_1 + P_2 \rightarrow P_1' + X$$

Asociando los siguientes identificadores a este proceso.

- **ID SDL (Simple Diffractive Left)** : 10000
- **ID SDR (Simple Diffractive Right)** : 00001

Difracción Doble: En el estado final de la colisión, las partículas incidentes se disocian generando dos nuevas partículas que conservan los mismos números cuánticos que las incidentes.(Figura 3.8).

$$P_1 + P_2 \rightarrow X_1 + X_2$$

Asociando los siguientes identificadores a este proceso.

- **ID DD (Double Diffractive)** : 10001 ,10100,00101,10101

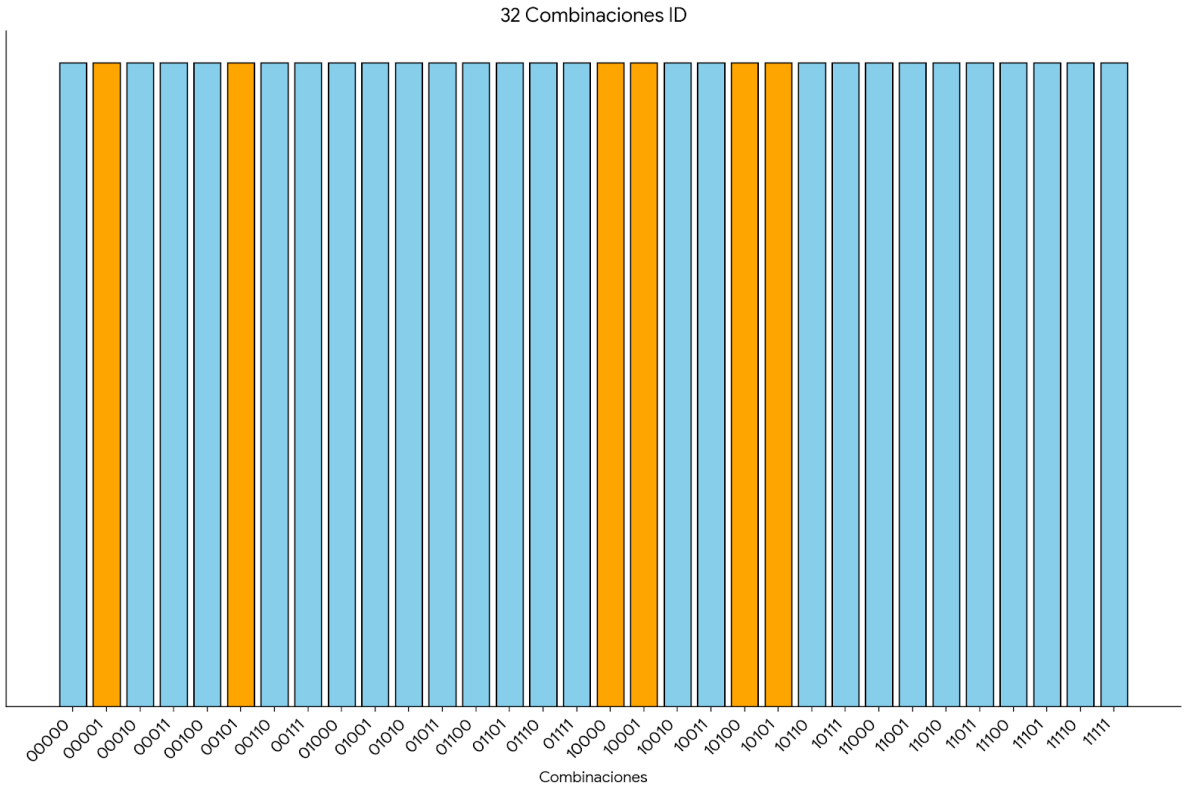

Figura 3.6: Identificadores de posibles candidatos a eventos difractivos (Naranja).

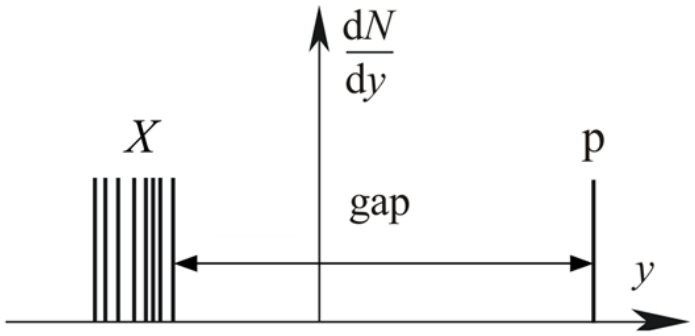

Figura 3.7: Brecha de Pseudorapidez para eventos difractivos simples [3].

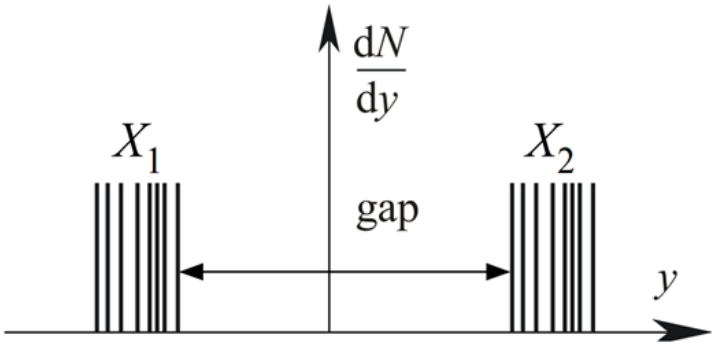

Figura 3.8: Brecha de Pseudorapidez para eventos difractivos dobles[3].

Cuadro 5: Tipo de eventos asociados al identificador (ID) construido con la información recolectada de la actividad de los detectores ADC,V0C,SPD,V0A Y ADA.

ID	Tipo de evento asociado a ID
00000	??
00001	SDR
00010	??
00011	??
00100	??
00101	DD
00110	??
00111	??
01000	??
01001	??
01010	??
01011	??
01100	??
01101	??
01110	??
01111	??
10000	SDL
10001	DD
10010	??
10011	??
10100	DD
10101	DD
10110	??
10111	??
11000	??
11001	??
11010	??
11011	??
11100	??
11101	??
11110	??
11111	??

Eventos no difractivos: Todo ID diferente de los mostrados anteriormente se asociara a un evento tipo **??** ver tabla 5.

Este estudio se basa en la asignación de un ID a cada proceso difractivo para estimar la sección transversal de cada uno de ellos con los datos de la Run 2 y entender así la tendencia de la sección transversal respecto a la energía en el centro de masa de la colisión.

3.2.2. Actividad de detectores AD y V0

Utilizando Aliroot [25] se ha incorporado en el análisis las clases AliESDAD::GetADDecision [26] y AliVZERO::GetVZERODesicion[27]. Es posible utilizar la información de los detec-

tores AD y V0 para identificar aquellos eventos que registran actividad en estos detectores: eventos de colisión (BB), eventos vacíos (empty), eventos falsos (fake), eventos inválidos (invalid) como se muestra en la tabla

Cuadro 6: Valores de decisión de AliAD:Desicion y AliVZERO:

AlivAD::GetADDesicion		**AliVZERO::GetVZERODesicion**	
KADInvalid	-1	kV0Invalid	-1
KADEmpty	0	kV0Empty	0
KADBB	1	kV0BB	1
KADBG	2	kV0BG	2
KADfake	3	kV0fake	3

3.2.3. Uso del detector SPD

Para el caso de SPD se construyó una rutina que accede a la información de los chips externos e internos que registraron actividad. Siendo los primeros 400 para el barril interno y 800 para el externo. La condición necesaria para que la activación SPD tome el valor de 1 será cuando exista una activación de un chip tanto en el barril externo como en el interno; de lo contrario, este tomará el valor 0.

3.2.4. Total combinaciones ID

Con la combinación de los posibles valores entre 0 y 1 de ADC, V0C, SPD, V0A y ADC es posible construir un total de 32 combinaciones, donde solo 6 de ellas son posibles candidatos a eventos difractivos (figura 3.6).

3.3. Eventos Minimun Bias.

En la Run 1 de ALICE existían dos definiciones de trigger Minimun Bias(MB) . MB_{or} and MB_{and}[7].

- MB_{OR} : V0C || SPD || V0A
- MB_{AND}. : V0C && SPD && V0A

Con la incorpóración del detector AD en la Run 2 surgen dos nuevos.

- $GlobalMB_{or}$: ADC||V0C || SPD || V0A||ADA
- $GlobalMB_{and}$. :ADC&&V0A && SPD && V0C&&ADA

Donde || indica la función lógica OR y && la función lógica AND. De este modo se obtienen la tabla 7 y sus respecticas gráficas en las figuras 3.9 y 3.10 .

Corrida	Número de eventos totales	Número de eventos Global MBor
lhc17j 274593	472092	428493
lhc17j 274596	4234465	4100419
lhc17j 274653	15691816	15190360
lhc15f 226062	2975896	1956220
lhc15f 225106	19001474	17252170
lhc15f 225035	99290	84883
lhc15f 225709	2579848	2452916

Cuadro 7: Eventos totales y eventos Global MBor por corrida

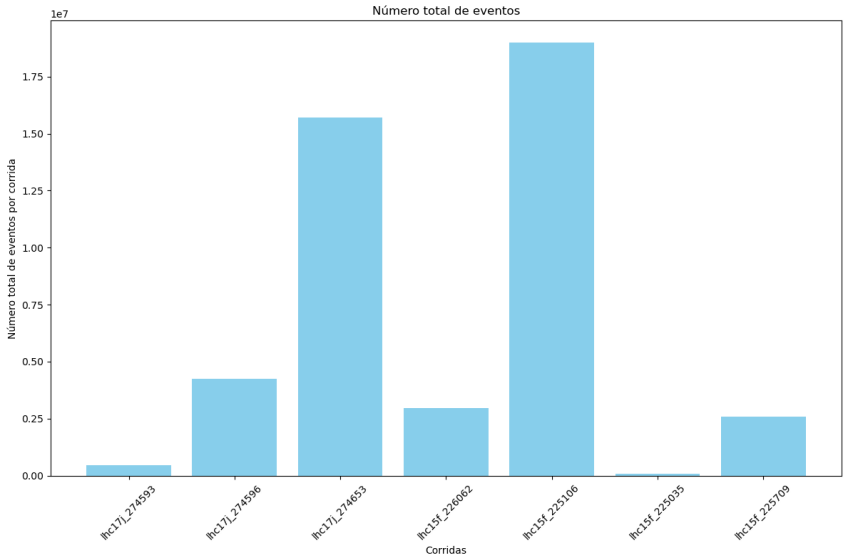

Figura 3.9: Total de eventos crudos por corrida.

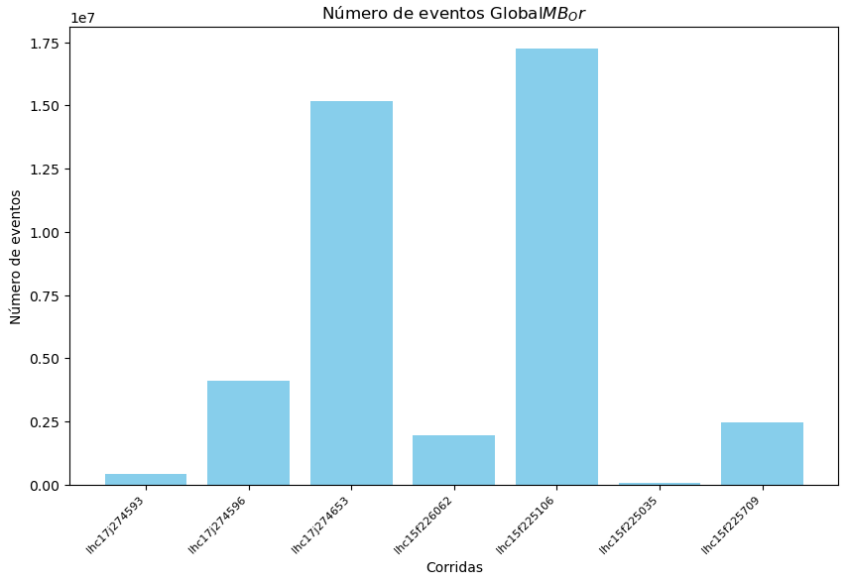

Figura 3.10: Total de eventos por corrida Global MB_{OR}.

3.4. Generación de tabla identificadora

Utilizando el GlobalMB_{OR} podemos construir tablas con la recolección de la actividad registrada en los detectores descrita en la sección 3.2 ,donde se presentan las 32 combinaciones posibles para el identificador de cada evento. Se muestran sus resultados en la tabla. (8)

En la tabla 9 se muestra la cantidad de eventos identificados como candidatos a ser difractivos. Sin embargo, estos identificadores no son suficientes para conocer si las brechas de pseudorapidez son correctamente asignadas a procesos difractivos. Por esta razón es necesario calibrar el método de asignación de identificador con una muestra de referencia de Monte Carlo.

ID	**LHC15f**				**LHC17j**		
	Run 225709	**Run 225106**	**Run 226062**	**Run 225035**	**Run 274593**	**Run 274596**	**Run 274653**
00000	0	0	0	0	0	0	0
00001	37402	281943	37068	1368	12154	54985	216944
00010	32011	233818	17543	1359	17720	44608	181244
00011	46519	424599	43375	2084	7710	58375	230141
00100	3554	1014	41936	4	2179	8483	28903
00101	521	304	515	3	178	1097	3942
00110	8444	6517	4307	28	2302	14428	57611
00111	17612	16913	16210	87	3341	28805	115775
01000	13031	95336	9303	615	5799	19242	74216
01001	1282	17275	1178	83	378	1744	7021
01010	9158	153875	4269	1178	5944	6166	27253
01011	7821	413128	7162	2065	1421	7644	29844
01100	4547	3043	3341	18	1284	8842	35313
01101	1212	1065	1055	5	213	2355	9380
01110	29090	36399	13896	295	10181	49909	196307
01111	73257	134647	64965	708	13070	136934	533311
10000	88266	632801	68929	3091	21718	114312	450699
10001	9850	75158	9084	353	2079	12198	48290
10010	8989	99905	4644	512	3718	11092	42804
10011	18680	238974	17004	1132	3083	20742	81131
10100	1330	672	1032	0	620	2464	9832
10101	398	292	403	1	137	730	2880
10110	5951	6273	3031	30	1396	10160	40337
10111	16346	19742	14721	108	3189	24474	97337
11000	47915	512704	37076	2475	7545	55741	220187
11001	8501	129654	7846	644	1247	9094	36155
11010	24231	1535942	12942	7590	4962	21634	84455
11011	53573	7043262	47604	35020	5642	42254	162835
11100	29868	26714	23007	148	5733	49667	192912
11101	10306	12276	9609	63	2028	16197	63063
11110	290644	605713	135023	2971	35599	540767	1983072
11111	1552607	4492212	1298142	20845	245923	2725276	9927166

Cuadro 8: Conteo por ID para los datos obtenidos de las corridas, separadas por periodos LHC15f y LHC17j

ID	Proceso	Run 225709	Run 225106	Run 226062	Run 225035	Run 274593	Run 274596	Run 274653
00001	SDR	37402	281943	37068	1368	12154	54985	216944
10000	SDL	88266	632801	68929	3091	21718	114312	450699
10001	DD	9850	75158	9084	353	2079	12198	48290
10101	DD	398	292	403	1	137	730	2880
00101	DD	521	304	515	3	178	1097	3942
10100	DD	1330	672	1032	0	620	2464	9832

Cuadro 9: Número de eventos a candidatos difráctivos por corrida, el contenido de la columna *Proceso* es el descrito en la sección 3.2.

4. Corrección de Monte Carlo

Para calibrar nuestros datos, es necesario tener una referencia que nos permita conocer el comportamiento de la identificación de los eventos. Es aquí donde recurrimos a la simulación de Monte Carlo.[28].

4.1. Pythia 6

El programa Pythia [28] puede utilizarse para simular colisiones protón+protón a las energías del LHC. El objetivo es entender la eficiencia de nuestro método con una referencia de Monte Carlo para lograr entender la actividad de lo detectores utilizados en este análisis en procesos difractivos.

4.1.1. Producciones de Monte Carlo utilizadas.

En este estudio se usaron producciones de Monte Carlo existentes, consultados en la página de Monitoreo MonALISA (Figura 4.1). Estas simulaciones se anclaron a los datos considerados en este análisis con Pythia 6. Los periodos y corridas anclados fueron los siguientes(Tabla 10).

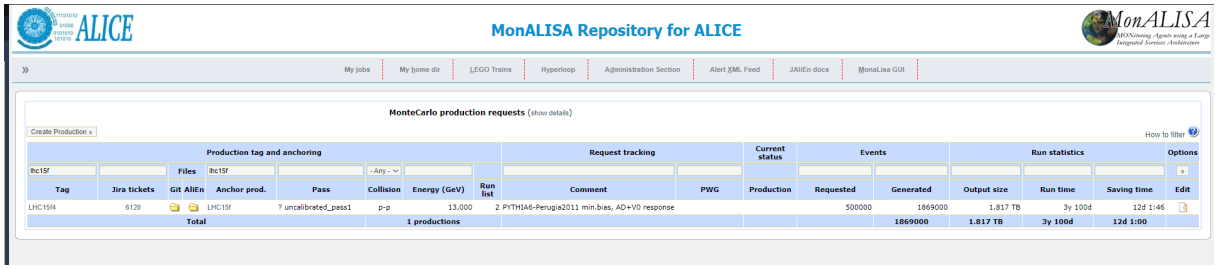

Figura 4.1: Catálago MonALISA para Monte Carlos arraigados al periodo LHC15f.

Cuadro 10: Corridas de PYTHIA6 ancladas a datos de LHC

Periodo Monte Carlo	Modelo	Periodo anclado	Corridas
LHC17h7a2	PYTHIA6	LHC17j	274593, 274596, 274653
LHC15f4	PYTHIA6	LHC15f	225035, 225106, 225709, 226062

	LHC15f4				**LHC17h7a2**		
	Run 225709	**Run 225106**	**Run 226062**	**Run 225035**	**Run 274593**	**Run 274596**	**Run 274653**
Número de eventos	887334	939478	254685	66108	408547	1721298	3834882

Cuadro 11: Número de eventos generados para cada producción de Monte Carlo.

4.2. Información de detectores AD, V0 y SPD en las producciones de Monte Carlo.

Al igual que cuando se trabajó con los datos, para trabajar con las simulaciones de Monte Carlo es necesario aplicar la misma estrategia señalada en la sección 3.2 para asignar un identificador a cada proceso usando la información simulada de los detectores.

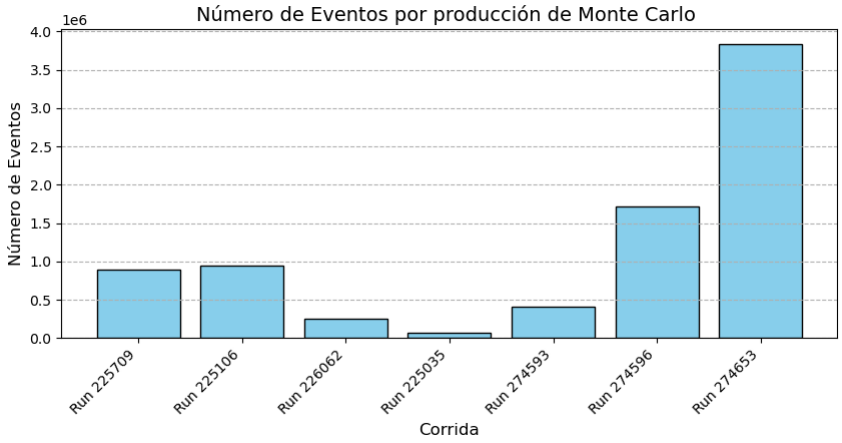

Figura 4.2: Histograma del total de eventos para cada producción de Monte Carlo utilizada.

4.2.1. Actividad de detectores AD Y V0 en las producciones de Monte Carlo.

Análogamente a con los datos en la sección 3.2.2, se ha incorporado en el análisis las clases AliESDAD::GetADDecision [26] y AliVZERO::GetVZERODesicion[27], para obtener la información recolectada de los detectores AD y V0 como se muestra en la tabla 6,descartando los eventos clasificados como "fake"(3). Asociando un identificador binario a cada uno de ellos. Donde 1 indica una actividad registrada en el detector y 0 lo contrario.

4.2.2. Extracción de actividad del detector SPD de la producción generada de Monte Carlo

Se utiliza el mismo criterio de la sección 3.2.3 donde la condición necesaria para que la activación SPD tome el valor de 1 será cuando exista una activación de un chip tanto en el barril externo como en el interno. De caso contrario este tomará el valor 0.

4.2.3. Identificador de evento

Con esta información recolectada de los detectores AD, V0 y SPD, es posible generar un identificador binario para cada evento de la simulación, teniendo en consideración que los detectores del lado C se encuentran del lado izquierdo y los del lado A del lado derecho como se hizo en la sección3.2.

4.3. Comparación de identificador ID con Bandera MC.

Como se menciona al inicio de este capítulo para calibrar nuestros datos, es necesario tener una referencia que nos permita conocer el comportamiento de la identificación de los eventos y conocer la efectividad del identificador construido a partir de la actividad recolectada en los detectores AD, V0 y SPD respecto al tipo de evento generado por la simulación.

4.3.1. Bandera de generación Monte Carlo.

La bandera de generación de Monte Carlo (Bandera MC) es un identificador asignado durante la simulación para cada evento generado. Este identificador clasifica de antemano al tipo de proceso generado. Para el caso de procesos difractivos se ilustra en la tabla (12). Cualquier otro identificador asignado por el Monte Carlo lo señalaremos como un evento tipo : "??". Haciendo alusión a que no es difractivo.

4.3.2. Tabla comparación ID y Bandera MC

Para cada producción de Monte carlo (Ver tabla 10) se genera una tabla con la bandera MC con el tipo de evento asociado a esta (revisar tabla 12), comparandolo con el identificador construido a partir de la información obtenida de los detectores (ID) y su tipo de evento asociado a este (descrito en sección 3.2.1) para cada evento. Se muestra como ejemplo una fracción de los eventos generados para la producción LHC15f4 226062 en la tabla 13. No es posible mostrar la tabla completa para cada producción debido al número de eventos (Ver figura 4.2 y tabla 11) de cada una de ellas.

Cuadro 12: Banderas MC y sus tipos de eventos asociados. (Donde ¬ indica negación o No).

Bandera MC	Tipo de evento asociado a BanderaMC
92	SDR
93	SDL
94	DD
¬92 OR ¬93 OR ¬94	??

Cuadro 13: Fracción de tabla comparativa por número de eventos entre el evento asociado a Bandera MC y el evento asociado a ID por número de evento (Producción Monte Carlo LHC15f4 226062).

Número de Evento	**Bandera MC**	Tipo de evento asociado a Bandera MC	**ID**	**Tipo de evento asociado a ID**
1	93	SDL	10000	SDL
2	68	??	11111	??
3	68	??	11110	??
4	92	SDR	00001	SDR
...	...	...	...	...
27	94	DD	10001	DD
...	...	...	...	...
469897	68	??	11111	??
469898	92	SDR	01011	??

La intención de la tabla 13 es mostrar cuando nuestro evento asociado a la construcción del identificador de la actividad de los detectores (ID) coincide con el tipo de eventos generado con el Monte Carlo. Esto nos permite cuantificar la efectividad que tiene el identificador ID. Por ejemplo; en la tabla 13 observamos que en el evento número 1, el proceso asociado a la Bandera MC es SDL y el proceso asociado al identificador ID es igualmente SDL, lo que indica una correcta identificación del tipo de proceso generado por la simulación. Sin embargo, también observamos que en el evento número 469898 el tipo de evento asociado a la Bandera MC generada por la producción de Monte Carlo es SDR, mientras que el tipo de evento asociado a nuestro ID 01011 es ??, lo que señala

una incorrecta clasificación del proceso asociado a la simulación. ¿Cuántas veces el tipo de evento asociado al ID y el tipo de evento asociado a la Bandera de MC coinciden? ¿Cuántas veces no lo hacen?. Podemos responder estas preguntas contando evento por evento cuando existe una coincidencia entre ambos tipos de eventos asociados y cuantas veces no, y con que ID sucede en cada caso. Esto se muestra en las tablas generadas en la siguiente sección 4.3.3.

4.3.3. Tablas de conteo entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC por ID generado.

En las tablas 14, 15,16, 17 ,18,19,20. Se muestra para cada producción de Monte Carlo utilizada, el conteo de veces para los diferentes ID generados el tipo de evento asociado al identificador y el tipo de eventos asociado a la Bandera MC. Estas tablas permiten observar el comportamiento del identificador ID respecto a la Bandera MC. Proporcionando un entendimiento del número de eventos donde el ID identifica correctamente a la bandera MC y el número de eventos en los que no.

Como ejemplo, si analizamos la tabla 14 asociada a la producción lhc15f4 226062 y observamos solamente el comportamiento del identificador ID 00001: El ID SDR es asociado:

- 5014 veces a la Bandera MC ??
- 8395 veces a la Bandera MC DD
- 356 veces a la Bandera MC SDL
- 17665 veces a la Bandera MC SDR

Siendo un total de 31430 eventos para este identificador. Con estos números es posible estimar el porcentaje de eventos que fueron identificados correctamente respecto a los generados con el Monte Carlo.

- 15,95 % de los eventos totales para el ID 00001 son asociados a la Bandera MC ??.
- 26,71 % de los eventos totales para el ID 00001 son asociados a la Bandera MC DD.
- 1,13 % de los eventos totales para el ID 00001 son asociados a la Bandera MC SDL.
- 56,20 % de los eventos totales para el ID 00001 son asociados a la Bandera MC SDR.

Estos porcentajes nos indican la eficiencia del identificador ID asociado al tipo de proceso generado con el Monte Carlo. Siendo una herramienta directa de calibración para nuestros datos. Por ejemplo, observando la tabla 8 el número de eventos con el identificador ID 00001 para la corrida lhc15f 226062 es 37068. Si tomamos en cuenta los porcentajes que fueron asociados en su producción anclada de Monte Carlo, se puede estimar que de los 37068 eventos:

- 5913 eventos son ?? (15.95 %).
- 9901 eventos son DD (26.71 %).

- 420 eventos son SDL (1.1 %).
- 20834 eventos son SDR (56.2 %).

Los porcentajes previos obtenidos a partir de la tabla 14 pueden realizarse para cada identificador de cada producción de Monte Carlo utilizada 10, a partir de sus tablas correspondientes 14, 15,16, 17, 18,19,20. El conjunto de estas proporciones por Identificador ID dan como resultado nuestras tablas de proporciones de calibración en la sección 4.3.4.

Producción Monte Carlo LHC15f4 226062			
ID	**Tipo de evento asociado a ID**	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Número total de eventos que sucede**
00000	??	??	319
00000	??	SDL	3097
00000	??	??	6040
00000	??	SDR	6678
00001	SDR	??	5014
00001	SDR	DD	8395
00001	SDR	SDL	356
00001	SDR	SDR	17665
00010	??	??	4
00010	??	DD	7
00010	??	SDL	2
00010	??	SDR	11
00011	??	??	86
00011	??	DD	54
00011	??	SDL	4
00011	??	SDR	90
01000	??	SDL	4
01000	??	SDR	1
01001	??	??	32
01001	??	DD	11
01001	??	SDL	1
01001	??	SDR	23
01011	??	??	2
01011	??	SDR	1
10000	SDL	??	6929
10000	SDL	DD	9257
10000	SDL	SDL	18266
10000	SDL	SDR	549
10001	DD	??	139541
10001	DD	DD	18743
10001	DD	SDL	3848
10001	DD	SDR	4516
10010	??	??	86
10010	??	DD	26
10010	??	SDL	24
10010	??	SDR	2
10011	??	??	2961
10011	??	DD	86
10011	??	SDL	25
10011	??	SDR	31
11000	??	??	61
11000	??	DD	25
11000	??	SDL	51
11000	??	SDR	4
11001	??	??	1672
11001	??	??	61
11001	??	SDL	19
11011	??	??	4
11011	??	DD	1

Cuadro 14: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 226062.

Producción Monte Carlo LHC15f4 225106			
ID	**Tipo de evento asociado a ID**	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Número total de eventos que sucede.**
00000	??	??	550
00000	??	??	3672
00000	??	SDL	5741
00000	??	SDR	8033
00001	SDR	??	4605
00001	SDR	DD	7035
00001	SDR	SDL	230
00001	SDR	SDR	14292
00010	??	??	10
00010	??	DD	8
00010	??	SDL	2
00010	??	SDR	25
00011	??	??	73
00011	??	DD	46
00011	??	SDL	3
00011	??	SDR	96
01000	??	??	8
01000	??	DD	5
01000	??	SDL	6
01000	??	SDR	4
01001	??	??	54
01001	??	DD	12
01001	??	??	1
01001	??	SDR	33
01011	??	??	2
10000	SDL	??	11514
10000	SDL	DD	10292
10000	SDL	SDL	17426
10000	SDL	SDR	891
10001	DD	??	125646
10001	DD	??	13530
10001	DD	SDL	2469
10001	DD	SDR	3431
10010	??	??	158
10010	??	DD	39
10010	??	SDL	43
10010	??	SDR	3
10011	??	??	2309
10011	??	DD	76
10011	??	SDL	21
10011	??	SDR	32
11000	??	??	162
11000	??	DD	62
11000	??	SDL	70
11000	??	SDR	1
11001	??	??	2039
11001	??	DD	52
11001	??	SDL	16
11001	??	SDR	30
11011	??	??	25
11011	??	??	1

Cuadro 15: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 225106.

Producción Monte Carlo LHC15f4 225709			
ID	**Tipo de evento asociado a ID**	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Número total de eventos que sucede**
00000	??	??	536
00000	??	??	3588
00000	??	SDL	5601
00000	??	SDR	7457
00001	SDR	??	4419
00001	SDR	DD	6600
00001	SDR	SDL	218
00001	SDR	SDR	13818
00010	??	??	4
00010	??	DD	6
00010	??	SDL	1
00010	??	SDR	18
00011	??	??	75
00011	??	DD	34
00011	??	SDR	93
01000	??	??	6
01000	??	DD	8
01000	??	SDL	10
01000	??	SDR	6
01001	??	??	40
01001	??	DD	19
01001	??	SDL	2
01001	??	SDR	13
01011	??	??	1
10000	SDL	??	10892
10000	SDL	DD	10097
10000	SDL	SDL	16427
10000	SDL	SDR	849
10001	DD	??	116870
10001	DD	DD	13299
10001	DD	SDL	2426
10001	DD	SDR	3359
10010	??	??	135
10010	??	DD	26
10010	??	SDL	37
10010	??	SDR	6
10011	??	??	2571
10011	??	DD	76
10011	??	SDL	22
10011	??	SDR	24
11000	??	??	131
11000	??	DD	43
11000	??	SDL	78
11000	??	SDR	4
11001	??	??	1850
11001	??	DD	45
11001	??	SDL	14
11001	??	SDR	27
11010	??	??	1
11011	??	??	14

Cuadro 16: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 225709.

Producción Monte Carlo LHC15f4 225035			
ID	**Tipo de evento asociado a ID**	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Número total de eventos que sucede**
00000	??	??	182
00000	??	??	1022
00000	??	SDL	1616
00000	??	SDR	2320
00001	SDR	??	1333
00001	SDR	DD	1925
00001	SDR	SDL	62
00001	SDR	SDR	4127
00010	??	DD	3
00010	??	SDL	1
00010	??	SDR	8
00011	??	??	22
00011	??	DD	12
00011	??	SDR	17
01000	??	DD	1
01000	??	SDL	1
01000	??	SDR	2
01001	??	??	10
01001	??	DD	3
01001	??	SDL	1
01001	??	SDR	7
10000	SDL	??	3168
10000	SDL	DD	2948
10000	SDL	SDL	4974
10000	SDL	SDR	229
10001	DD	??	35383
10001	DD	DD	3861
10001	DD	SDL	691
10001	DD	SDR	981
10010	??	??	50
10010	??	DD	8
10010	??	SDL	10
10010	??	SDR	1
10011	??	??	651
10011	??	DD	20
10011	??	SDL	4
10011	??	SDR	8

Cuadro 17: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC15f4 225035.

Producción Monte Carlo LHC17h7a2 274653			
ID	**Tipo de evento asociado a ID**	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Número total de eventos que sucede**
00000	??	??	238
00000	??	??	1406
00000	??	SDL	2244
00000	??	SDR	3137
00001	SDR	??	1815
00001	SDR	DD	2736
00001	SDR	SDL	87
00001	SDR	SDR	5964
00010	??	??	6
00010	??	DD	5
00010	??	SDL	1
00010	??	SDR	17
00011	??	??	33
00011	??	DD	18
00011	??	SDL	1
00011	??	SDR	28
01000	??	??	4
01000	??	DD	2
01000	??	SDL	2
01001	??	??	14
01001	??	DD	5
01001	??	SDR	5
10000	SDL	??	4566
10000	SDL	DD	4218
10000	SDL	SDL	6985
10000	SDL	SDR	347
10001	DD	??	50409
10001	DD	DD	5320
10001	DD	SDL	923
10001	DD	SDR	1234
10010	??	??	69
10010	??	DD	10
10010	??	SDL	14
10010	??	SDR	2
10011	??	??	968
10011	??	DD	29
10011	??	SDL	8
10011	??	SDR	13
11000	??	??	40
11000	SDL	DD	16
11000	??	??	28
11000	??	SDR	2
11001	??	??	582
11001	??	DD	18
11001	??	SDL	3
11001	??	SDR	4
11011	??	??	6
00000	SDL	??	129
00000	SDL	??	988
00000	SDL	SDL	1496
00000	SDL	SDR	246
00001	DD	??	38776
00001	DD	DD	4129
00001	DD	SDL	825
00001	DD	SDR	1037
00010	??	??	70
00010	??	DD	10
00010	??	SDL	19
00010	??	SDR	1
00011	??	??	966
00011	??	DD	33
00011	??	SDL	8
00011	??	SDR	6
01000	??	??	38
01000	??	DD	16
01000	??	??	28
01000	??	SDR	1
01001	??	??	535
01001	??	DD	14
01001	??	SDL	5

Cuadro 18: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274653.

Producción Monte Carlo LHC17h7a2 274596			
ID	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Tipo de evento asociado a ID**	**Número total de eventos que sucede**
00000	??	??	234
00000	??	??	1429
00000	SDL	??	2220
00000	SDR	??	3137
00001	??	SDR	1821
00001	DD	SDR	2732
00001	SDL	SDR	90
00001	SDR	SDR	5930
00010	??	??	5
00010	DD	??	4
00010	SDL	??	1
00010	SDR	??	14
00011	??	??	33
00011	DD	??	16
00011	SDL	??	1
00011	SDR	??	24
01000	??	??	4
01000	DD	??	1
01000	SDL	??	1
01000	SDR	??	1
01001	??	??	17
01001	DD	??	7
01001	SDR	??	6
10000	??	SDL	4581
10000	DD	SDL	4198
10000	SDL	SDL	7009
10000	SDR	SDL	343
10001	??	DD	50627
10001	DD	DD	5334
10001	SDL	DD	878
10001	SDR	DD	1257
10010	??	??	69
10010	DD	??	12
10010	SDL	??	13
10010	SDR	??	2
10011	??	??	950
10011	DD	??	26
10011	SDL	??	6
11000	??	??	37
11000	DD	SDL	13
11000	??	??	28
11000	SDR	??	2
11001	??	??	570
11001	DD	??	15
11001	SDL	??	3
11001	SDR	??	4
11011	??	??	6
00000	??	SDL	141
00000	??	SDL	978
00000	SDL	SDL	1536
00000	SDR	SDL	2091
00001	??	SDR	1420
00001	DD	SDR	2179
00001	SDL	SDR	61
00001	SDR	SDR	4964
00010	??	??	1
00010	DD	??	3
00010	SDR	??	8
00011	??	??	28
00011	DD	??	12
00011	SDR	??	20
01000	??	??	1
01000	SDR	??	1
01001	??	??	10
01001	DD	??	3
01001	SDL	??	1
01001	SDR	??	7
00000	??	SDL	3023
00000	DD	SDL	3087
00000	SDL	SDL	4971
00000	SDR	SDL	246
00001	??	DD	38829
00001	DD	DD	4171
00001	SDL	DD	829
00001	SDR	DD	1027
00010	??	??	70
00010	DD	??	10
00010	SDL	??	17
00010	SDR	??	1
00011	??	??	980
00011	DD	??	33
00011	SDL	??	6
00011	SDR	??	9
01000	??	??	34
01000	DD	SDL	18
01000	??	??	28
01000	SDR	??	2
01001	??	??	533
01001	DD	??	17
01001	SDL	??	3
01001	SDR	??	3

Cuadro 19: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274596.

Producción Monte Carlo LHC17h7a2 274593			
ID	**Tipo de evento asociado a Bandera MC**	**Tipo de evento asociado a ID**	**Número total de eventos que sucede**
00000	??	??	230
00000	??	??	1424
00000	SDL	??	2220
00000	SDR	??	3137
00001	??	SDR	1761
00001	DD	SDR	2677
00001	SDL	SDR	89
00001	SDR	SDR	5823
00010	??	??	5
00010	DD	??	7
00010	SDL	??	1
00010	SDR	??	18
00011	??	??	33
00011	DD	??	16
00011	SDL	??	1
00011	SDR	??	24
01000	??	??	3
01000	DD	??	1
01000	SDL	??	1
01001	??	??	12
01001	DD	??	7
01001	SDR	??	8
10000	??	SDL	4573
10000	DD	SDL	4240
10000	SDL	SDL	6988
10000	SDR	SDL	347
10001	??	DD	50262
10001	DD	DD	5326
10001	SDL	DD	891
10001	SDR	DD	1252
10010	??	??	67
10010	DD	??	10
10010	SDL	??	12
10010	SDR	??	1
10011	??	??	979
10011	DD	??	28
10011	SDL	??	6
11000	??	??	39
11000	DD	SDL	16
11000	??	??	26
11000	SDR	??	2
11001	??	??	570
11001	DD	??	17
11001	SDL	??	3
11001	SDR	??	3
11011	??	??	4
00000	??	SDL	139
00000	??	SDL	956
00000	SDL	SDL	1478
00000	SDR	SDL	2099
00001	??	SDR	1367
00001	DD	SDR	2186
00001	SDL	SDR	58
00001	SDR	SDR	4930
00010	??	??	2
00010	DD	??	4
00010	SDR	??	9
00011	??	??	28
00011	DD	??	11
00011	SDR	??	18
01000	??	??	1
01001	??	??	9
01001	DD	??	3
01001	SDL	??	1
01001	SDR	??	6
00000	??	SDL	3025
00000	DD	SDL	3077
00000	SDL	SDL	5009
00000	SDR	SDL	246
00001	??	DD	38866
00001	DD	DD	4135
00001	SDL	DD	835
00001	SDR	DD	1030
00010	??	??	71
00010	DD	??	9
00010	SDL	??	19
00010	SDR	??	1
00011	??	??	988
00011	DD	??	30
00011	SDL	??	6
00011	SDR	??	10
01000	??	??	38
01000	DD	SDL	16
01000	??	??	29
01000	SDR	??	2
01001	??	??	533
01001	DD	??	17
01001	SDL	??	5
01001	SDR	??	2

Cuadro 20: Conteo de eventos entre tipo de proceso asociado a ID y tipo de proceso asociado a Bandera MC para cada combinación ID generada en la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274593.

4.3.4. Tablas de proporción de calibración para cada producción de Monte Carlo.

Los porcentajes discutidos en la sección anterior son presentados para cada producción de Monte Carlos en las tablas 21, 22 ,23,24,25,26. En ellas se presenta las proporciones de calibración para cada tipo de evento por ID. Por ejemplo analizando la tabla 21 , para el identificador 00001 las columnas ??,DD,SDL Y SDR indican la proporción del total de eventos del identificador ID para cada tipo de evento, como se discutió en la sección 4.3.3. En este caso se tiene que 16 % del total de eventos asociado al ID 00001 es ?? , un 26.7 % a DD, un 0.11 % a SDL, y un 0.562 % a SDR. De la misma forma es posible conocer la proporción de cada tipo de evento para cada ID generado en la simulación.

Cada tabla de propoción debe ser aplicada a su corrida anclada correspondiente. De modo que la tabla de proporción de la producción Monte Carlo LHC15f4 226062 será solo aplicable a la corrida lhc15f 226062 , la tabla de proporción para la producción LHC15f4 225106 será solo aplicable a la corrida lhc15f 225106 y correspondientemente con el resto de tablas, como se muestra en la tabla 10.

Proporciónes de calibración LHC15f4 226062				
ID	??	DD	SDL	SDR
00000	0.020	0.192	0.374	0.414
00001	0.160	0.267	0.011	0.562
00010	0.167	0.292	0.083	0.458
00011	0.368	0.231	0.017	0.385
01000	0.000	0.000	0.800	0.200
01001	0.478	0.164	0.015	0.343
01011	0.667	0.000	0.000	0.333
10000	0.198	0.264	0.522	0.016
10001	0.837	0.112	0.023	0.027
10010	0.623	0.188	0.174	0.014
10011	0.954	0.028	0.008	0.010
11000	0.433	0.177	0.362	0.028
11001	0.954	0.035	0.011	0.000
11011	0.800	0.200	0.000	0.000

Cuadro 21: Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC15f4 226062 por ID.

Proporciones de calibración LHC15f4 225106				
ID	??	DD	SDL	SDR
00000	0.030562	0.204045	0.319015	0.446377
00001	0.176019	0.268901	0.008791	0.546289
00010	0.222222	0.177778	0.044444	0.555556
00011	0.334862	0.211009	0.013761	0.440367
01000	0.347826	0.217391	0.26087	0.173913
01001	0.54	0.12	0.01	0.33
01011	1	0	0	0
10000	0.286968	0.256511	0.434314	0.022207
10001	0.86607	0.093261	0.017019	0.02365
10010	0.650206	0.160494	0.176955	0.012346
10011	0.947088	0.031173	0.008614	0.013126
11000	0.549153	0.210169	0.237288	0.00339
11001	0.954141	0.024333	0.007487	0.014038
11011	0.961538	0.038462	0	0

Cuadro 22: Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC15f4 225106 por ID.

Cuadro 23: Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274596 por ID.

Proporciónes de calibración LHC17h7a2 274596				
ID	??	DD	SDL	SDR
00000	0.175384	0.375624	0.448193	0.000799
00001	0.301190	0.001231	0.694707	0.002872
00010	0.303707	0.010219	0.666350	0.019724
00011	0.313565	0.002292	0.641885	0.042258
00100	0.171395	0.379298	0.448323	0.000984
00101	0.278959	0.002412	0.714244	0.004385
00110	0.313152	0.010383	0.653198	0.023267
00111	0.310534	0.002095	0.649889	0.037482
01000	0.342681	0.565663	0.053352	0.038304
01001	0.555276	0.037688	0.309045	0.097990
01010	0.265456	0.125372	0.346846	0.262326
01011	0.200907	0.017799	0.308203	0.473092
01100	0.359014	0.549228	0.059098	0.032659
01101	0.613228	0.025843	0.253614	0.107315
01110	0.272085	0.125096	0.343039	0.259779
01111	0.200554	0.017529	0.309574	0.472343
10000	0.322414	0.670225	0.000736	0.006625
10001	0.937896	0.011407	0.003802	0.046895
10010	0.713095	0.109367	0.029426	0.148112
10011	0.712843	0.019880	0.025245	0.242032
10100	0.328320	0.664259	0.000493	0.006929
10101	0.939868	0.008623	0.006127	0.045382
10110	0.698259	0.119474	0.031062	0.151206
10111	0.704487	0.019511	0.027382	0.248620
11000	0.342118	0.594650	0.004130	0.059101
11001	0.682220	0.030943	0.037328	0.249509
11010	0.131115	0.137221	0.031455	0.700209
11011	0.038129	0.010824	0.015955	0.935093
11100	0.344797	0.592267	0.005213	0.057723
11101	0.690312	0.027942	0.034428	0.247318
11110	0.132285	0.136438	0.030451	0.700826
11111	0.038846	0.010716	0.000000	0.950438

Cuadro 24: Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo Lhc17h7a2 225709 por ID

Proporciónes de calibración LHC17h7a2 225709				
ID	??	DD	SDL	SDR
00000	0.031195	0.208823	0.325981	0.434001
00001	0.176372	0.26342	0.008701	0.551507
00010	0.137931	0.206897	0.034483	0.62069
00011	0.371287	0.168317	0	0.460396
01000	0.2	0.266667	0.333333	0.2
01001	0.540541	0.256757	0.027027	0.175676
01011	1	0	0	0
10000	0.284647	0.26387	0.429296	0.022187
10001	0.859629	0.09782	0.017844	0.024707
10010	0.661765	0.127451	0.181373	0.029412
10011	0.954697	0.028221	0.008169	0.008912
11000	0.511719	0.167969	0.304688	0.015625
11001	0.955579	0.023244	0.007231	0.013946
11010	1	0	0	0
11011	1	0	0	0

Cuadro 25: Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC15f4 225035 por ID DATA

Proporciónes de calibración LHC15f4 225035				
ID	??	DD	SDL	SDR
00000	0.035409	0.198833	0.314397	0.451362
00001	0.178998	0.258493	0.008326	0.554183
00010	0	0.25	0.083333	0.666667
00011	0.431373	0.235294	0	0.333333
01000	0	0.25	0.25	0.5
01001	0.47619	0.142857	0.047619	0.333333
10000	0.279883	0.260447	0.439438	0.020231
10001	0.864772	0.094364	0.016888	0.023976
10010	0.724638	0.115942	0.144928	0.014493
10011	0.953148	0.029283	0.005857	0.011713
11000	0.444444	0.222222	0.314815	0.018519
11001	0.957895	0.034211	0.005263	0.002632
11011	1	0	0	0

Cuadro 26: Proporciones de corrección para la producción de Monte Carlo LHC17h7a2 274593 por ID

Proporciónes de calibración LHC17h7a2 274593				
ID	??	DD	SDL	SDR
00000	0.001531	0.139357	0.37315	0.485962
00001	0.004071	0.274084	0.006593	0.721845
00010	0.01978	0.287912	0	0.685714
00011	0.030523	0.2597	0.001035	0.708743
00100	0.000459	0.141414	0.373554	0.484573
00101	0.003083	0.24241	0.002135	0.752372
00110	0.01726	0.259978	0.006832	0.71593
00111	0.0318	0.259549	0.001066	0.707586
01000	0.045113	0.300752	0.556391	0.097744
01001	0.067568	0.513514	0.040541	0.378378
01010	0.160813	0.279113	0.118299	0.441774
01011	0.329365	0.201499	0.014991	0.454145
01100	0.040788	0.293952	0.572433	0.092827
01101	0.1	0.511628	0.013953	0.374419
01110	0.151325	0.272664	0.127266	0.448745
01111	0.325768	0.214069	0.012515	0.447649
10000	0.004193	0.286513	0.708595	0.000699
10001	0.026936	0.952862	0.003367	0.016835
10010	0.11041	0.694006	0.160883	0.0347
10011	0.233696	0.716486	0.018116	0.031703
10100	0.006109	0.283934	0.709713	0.000244
10101	0.041205	0.942804	0.00738	0.00861
10110	0.114003	0.679854	0.169183	0.03696
10111	0.217043	0.72931	0.023553	0.030095
11000	0.043177	0.31446	0.639104	0.003259
11001	0.207989	0.69697	0.045455	0.049587
11010	0.541172	0.186497	0.237788	0.034543
11011	0.914497	0.04904	0.015853	0.020611
11100	0.048605	0.310827	0.636785	0.003783
11101	0.216936	0.724072	0.027117	0.031874
11110	0.542178	0.185138	0.237219	0.035465
11111	0.934289	0.049514	0.016197	0

4.3.5. Calibración de datos utilizando las tablas de proporción

Una vez obtenidas las tablas de proporción. Se calibra la tabla 8. Debido a que en las producciones de Monte Carlo utilizadas no necesariamente se generan los 32 distintos ID como se puede observar en las tablas 21, 22, 23,24,25,26. El proceso para calibrar los datos es el siguiente.

1. Se liga la tabla de proporción de la producción de Monte Carlo anclada a la corrida correspondiente.

2. Se multiplica el número de eventos asociados al identificador ID de la tabla 8 por cada una de las proporciones asociadas al ID de su tabla de proporción correspondiente. Obteniendo así el número de eventos clasificados por tipo de proceso. Si la tabla de proporción correspondiente carece un ID especifíco de los 32 ID totales de la tabla 8. Estos son ignorados y no se calibran.

3. Se genera una tabla con el número de eventos por tipo, calibrados a partir del paso 2 para cada corrida. Donde si un ID tiene la sigla NC indica "No Calibrado".

El número de procesos por combinacion ID calibrados con las tablas de proporción puede verse en las siguientes tablas 27 ,28, 29,30,31,32,33.

ID	??	DD	SDL	SDR
00000	NC	NC	NC	NC
00001	5913	9900	419	20833
00010	2923	5116	1461	8040
00011	15941	10009	741	16682
00100	NC	NC	NC	NC
00101	NC	NC	NC	NC
00110	NC	NC	NC	NC
00111	NC	NC	NC	NC
01000	NC	NC	7442	1860
01001	562	193	17	404
01010	NC	NC	NC	NC
01011	4774	NC	NC	2387
01100	NC	NC	NC	NC
01101	NC	NC	NC	NC
01110	NC	NC	NC	NC
01111	NC	NC	NC	NC
10000	13645	1823	35972	1081
10001	7606	1021	209	246
10010	2894	874	807	67
10011	16225	471	136	169
10100	NC	NC	NC	NC
10101	NC	NC	NC	NC
10110	NC	NC	NC	NC
10111	NC	NC	NC	NC
11000	16039	6573	1341	1051
11001	7487	273	85	NC
11010	NC	NC	NC	NC
11011	38083	9520	NC	NC
11100	NC	NC	NC	NC
11101	NC	NC	NC	NC
11110	NC	NC	NC	NC
11111	NC	NC	NC	NC

Cuadro 27: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC15f 226062; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

Cuadro 28: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC15f 225035 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

ID	**??**	**DD**	**SDL**	**SDR**
00000	NC	NC	NC	NC
00001	244	353	11	758
00010	0	339	113	906
00011	898	490	0	694
00100	NC	NC	NC	NC
00101	NC	NC	NC	NC
00110	NC	NC	NC	NC
00111	NC	NC	NC	NC
01000	0	153	153	307
01001	39	11	3	27
01010	NC	NC	NC	NC
01011	NC	NC	NC	NC
01100	NC	NC	NC	NC
01101	NC	NC	NC	NC
01110	NC	NC	NC	NC
01111	NC	NC	NC	NC
10000	865	805	1358	62
10001	305	33	5	8
10010	371	59	74	7
10011	1078	33	6	13
10100	NC	NC	NC	NC
10101	NC	NC	NC	NC
10110	NC	NC	NC	NC
10111	NC	NC	NC	NC
11000	1100	550	779	45
11001	616	22	3	1
11010	NC	NC	NC	NC
11011	35020	0	0	0
11100	NC	NC	NC	NC
11101	NC	NC	NC	NC
11110	NC	NC	NC	NC
11111	NC	NC	NC	NC

ID	??	DD	SDL	SDR
00000	NC	NC	NC	NC
00001	49	3331	0	8773
00010	350	5101	116	12150
00011	235	2002	7	5464
00100	1	308	813	1055
00101	0	43	0	133
00110	39	598	15	1648
00111	106	867	3	2364
01000	261	1744	3226	566
01001	25	194	15	143
01010	955	1659	703	2625
01011	468	286	21	645
01100	52	377	735	119
01101	21	108	2	79
01110	1540	2775	1295	4568
01111	4257	2797	163	5850
10000	91	6222	15389	15
10001	56	1981	7	35
10010	410	2580	598	129
10011	720	2208	55	97
10100	3	176	440	0
10101	5	129	1	1
10110	159	949	236	51
10111	692	2325	75	95
11000	325	2372	4822	24
11001	259	869	56	61
11010	2685	925	1179	171
11011	5159	276	89	116
11100	278	1781	3650	21
11101	439	1468	54	64
11110	19301	6590	8444	1262
11111	229763	12176	3983	0

Cuadro 29: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 274593; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

ID	??	DD	SDL	SDR
00000	NC	NC	NC	NC
00001	49627	75814	2478	154022
00010	51959	41567	10391	129898
00011	142182	89594	5843	186979
00100	NC	NC	NC	NC
00101	NC	NC	NC	NC
00110	NC	NC	NC	NC
00111	NC	NC	NC	NC
01000	33160	20725	24870	16580
01001	9328	2073	172	5700
01010	NC	NC	NC	NC
01011	413128	NC	NC	NC
01100	NC	NC	NC	NC
01101	NC	NC	NC	NC
01110	NC	NC	NC	NC
01111	NC	NC	NC	NC
10000	181593	162320	274834	14052
10001	65092	7009	1279	1777
10010	64958	16034	17678	1233
10011	226329	7449	2058	3136
10100	NC	NC	NC	NC
10101	NC	NC	NC	NC
10110	NC	NC	NC	NC
10111	NC	NC	NC	NC
11000	281552	107754	121658	1737
11001	123708	3154	970	1820
11010	NC	NC	NC	NC
11011	6772367	270894	NC	NC
11100	NC	NC	NC	NC
11101	NC	NC	NC	NC
11110	NC	NC	NC	NC
11111	NC	NC	NC	NC

Cuadro 30: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC15f 225106; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

ID	??	DD	SDL	SDR
00000	NC	NC	NC	NC
00001	1135	62661	324	152822
00010	4931	55645	1849	118818
00011	9161	69862	389	150727
00100	27	4977	10941	12956
00101	15	1112	5	2808
00110	1366	18055	646	37542
00111	4485	35347	210	75731
01000	2315	26956	40311	4631
01001	757	4165	167	1930
01010	7154	7405	3324	9368
01011	14159	5977	500	9205
01100	1274	12219	19840	1978
01101	1032	5512	242	2592
01110	50007	53600	24337	68361
01111	252372	106027	9027	165883
10000	3411	146166	300676	444
10001	2058	45397	556	278
10010	5832	30770	5066	1134
10011	20683	56613	1578	2255
10100	65	3209	6547	9
10101	145	2689	27	17
10110	5936	28567	4532	1299
10111	24445	68447	1786	2657
11000	13216	75644	130119	1205
11001	8489	25684	921	1059
11010	59282	11105	11574	2492
11011	152390	6191	1749	2502
11100	11267	66656	114035	952
11101	15426	44075	1627	1932
11110	1392500	261123	269715	59732
11111	9430852	388474	107838	NC

Cuadro 31: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 274653 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

Cuadro 32: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 274596 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

ID	**??**	**DD**	**SDL**	**SDR**
00000	0	0	0	0
00001	157	16560	67	38198
00010	879	13547	455	29724
00011	2466	18304	133	37470
00100	8	1453	3217	3803
00101	4	306	2	783
00110	335	4518	149	9424
00111	1079	8944	60	18720
01000	737	6593	10884	1026
01001	170	968	65	538
01010	1617	1636	773	2138
01011	3616	1535	136	2355
01100	288	3174	4856	522
01101	252	1444	60	597
01110	12965	13579	6243	17120
01111	64679	27462	2400	42391
10000	757	36855	76614	84
10001	572	11440	139	46
10010	1642	7909	1213	326
10011	5020	14785	412	523
10100	17	808	1636	1
10101	33	686	6	4
10110	1536	7094	1213	315
10111	6084	17241	477	670
11000	3294	19070	33146	230
11001	2269	6204	281	339
11010	15148	2836	2968	680
11011	39511	1611	457	674
11100	2866	17125	29416	258
11101	4005	11180	452	557
11110	378983	71535	73781	16466
11111	2590206	105865	29203	0

Cuadro 33: Tabla de eventos calibrados por Identificador ID para LHC17j 225709 ; cada columna indica el número de eventos por tipo de proceso DD,SDL,SDR o ??. NC indica que ese identificador no esta calibrado.

ID	**??**	**DD**	**SDL**	**SDR**
00000	NC	NC	NC	NC
00001	6596	9852	325	20627
00010	4415	6622	1103	19868
00011	17271	7829	0	21417
00100	NC	NC	NC	NC
00101	NC	NC	NC	NC
00110	NC	NC	NC	NC
00111	NC	NC	NC	NC
01000	2606	3474	4343	2606
01001	692	329	34	225
01010	NC	NC	NC	NC
01011	7821	NC	NC	NC
01100	NC	NC	NC	NC
01101	NC	NC	NC	NC
01110	NC	NC	NC	NC
01111	NC	NC	NC	NC
10000	25124	23290	37892	1958
10001	8467	963	175	243
10010	5948	1145	1630	264
10011	17833	527	152	166
10100	NC	NC	NC	NC
10101	NC	NC	NC	NC
10110	NC	NC	NC	NC
11000	24519	8048	14599	748
11001	8123	197	61	118
11010	24231	NC	NC	NC
11011	53573	NC	NC	NC
11100	NC	NC	NC	NC
11101	NC	NC	NC	NC
11110	NC	NC	NC	NC
11111	NC	NC	NC	NC

4.3.6. Conteo de eventos difractivos

Una vez obtenidas las tablas calibración de la sección 4.3.5 el proceso para contar el total de eventos difractivos es el siguiente para cada corrrida: (Este método de conteo asegura que aún no exisitiendo algún ID en alguna de las tablas de eventos calibrados pueda estimarse un número de eventos difráctivos).

1. **Contar eventos SDL (Single Diffractive Left).**

   a) Identificar el total de eventos con el ID 10000 de la tabla 8 de la corrida especifíca.

   b) Sumar la columna SDL de la tabla de eventos calibrados de la sección 4.3.5 de la corrida específica.

   c) Restar el total de eventos de la fila con ID 10000 de la tabla de eventos calibrados de la sección 4.3.5

1. **Contar eventos SDR (Single Diffractive Right).**

   a) Identificar el total de eventos con el ID 00001 de la tabla 8 de la corrida especifíca.

   b) Sumar la columna SDR de la tabla de eventos calibrados de la sección 4.3.5 de la corrida específica.

   c) Restar el total de eventos de la fila con ID 00001 de la tabla de eventos calibrados de la sección 4.3.5

1. **Contar eventos DD (Doble Diffractive).**

   a) Identificar el total de eventos con el ID 10001,10100,00101 y 10101 de la tabla 8 de la corrida especifíca.

   b) Sumar la columna DD de la tabla de eventos calibrados de la sección 4.3.5 de la corrida específica.

   c) Restar el total de eventos de las filas con ID: 10001,10100,00101 y 10101 de la tabla de eventos calibrados de la sección 4.3.5

El total de eventos difractivos para cada corrida se reporta en la siguiente tabla: 34

Número total de eventos difráctivos por corrida				
Corridas	**DD**	**SD**	**SDR**	**SDL**
lhc15f 226062	64132	113523	52823	60700
lhc15f 225709	64527	128558	68242	60316
lhc15f 225106	805656	979169	516936	462233
lhc15f 225035	2854	5336	2830	2506
lhc17j 274593	65221	94518	48325	46193
lhc17j 274596	452273	506901	225985	280916
lhc17j 274653	1730337	1963911	893321	1070460

Cuadro 34: Total de eventos difractivos por tipo de proceso para cada corrida utilizada en el análisis.

4.4. Eficiencia del identificador ID.

Podemos conocer la eficiencia de nuestro trigger ID respecto a la Bandera MC asociada a cada evento de la producción de Monte Carlo. Contando cuando nuestro ID identifica correctamente el tipo de proceso simulado. El cual puede consultarse en las tablas de la sección. 4.3.3. El número de eventos coincidentes es el número de eventos donde nuestro proceso asociado a ID coincide con el proceso asociado a la Bandera MC. Es decir cuando somos 100 % eficientes. Calculandola con la ecuación 2.

$$eff = \frac{\text{Número de eventos coincidentes del proceso}}{\text{Número de eventos generados por proceso (MC)}} \tag{2}$$

El número de eventos generados para cada Monte Carlo puede ser obtenido revisando evento por evento por Bandera MC se generó en las tablas del tipo 13. obteniendo la siguiente tabla 35

Total de eventos generados en las producciones de Monte Carlo					
Producciones de Monte Carlo	**DD**	**SDR**	**SDL**	**Otros**	**Total**
LHC15f4 225035	9828	7702	7379	41199	66108
LHC15f4 225106	34830	26871	26028	147155	234884
LHC15f4 226062	39763	29571	28640	156711	254685
LHC15f4 225709	33841	25674	24836	137545	221896
LHC17h7a2 274593	52437	32881	37212	286017	408547
LHC17h7a2 274596	224018	143712	156624	1196944	1721298
LHC17h7a2 274653	500440	320654	350302	2663486	3834882

Cuadro 35: Total de eventos generados para las diferentes producciones de Monte Carlo separada por tipo de proceso.

Por ejemplo, en la tabla 14 obeservamos que el número de eventos coincidentes (Evento asociado a Bandera MC y eventos asociado a ID son iguales), para El ID 00001 es de 17665.

Consultando el total de eventos generados SDR en la tabla 35, es posible calcular la eficiencia:

$$eff_{lhc15f4\ 226062_{SDR}} = \frac{17665}{29571} = 0{,}5974 = 59{,}74\,\%$$

Realizando esto para cada proceso de las producciones de Monte Carlo, se genera la tabla 36

Eficiencias de ID por tipo de proceso asociado			
Conjunto de Datos	**DD**	**SDR**	**SDL**
LHC15f4 225035	0.3929	0.5358	0.6741
LHC15f4 225106	0.3885	0.5319	0.6695
LHC15f4 226062	0.4714	0.5974	0.6378
LHC15f4 225709	0.3930	0.5382	0.6614
LHC17h7a2 274593	0.0984	0.0162	0.0272
LHC17h7a2 274596	0.0835	0.0118	0.0233
LHC17h7a2 274653	0.0837	0.0118	0.0231

Cuadro 36: Eficiencias del identificador ID para las diferentes producciones de Monte Carlo.

5. Estimación de la sección transversal para eventos difráctivos

Es importante recalcar que se pretende dar una estimación de la sección transversal difractiva y no un cálculo preciso con errores sistemáticos. Para nuestra estimación utilizaremos la siguiente ecuación.

$$\sigma_{proceso} = \frac{\text{Número de Eventos difractivos del proceso}}{\text{Eficiencia del ID asociado al tipo de proceso } \times \mathcal{L}} \tag{3}$$

Donde :

$\mathcal{L}$ = Luminosidad integrada.
$\sigma_{proceso}$ = Sección Transveral de proceso

5.1. Obtención de Luminosidad Integrada

La luminosidad integrada es obtenida a través de un repositorio oficial de ALICE, extrída de un archivo root.

Index of /aliqaevs/data/2015/LHC15f/pass_itsrecpoints/000226062

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
runLevel.log	2017-09-02 00:21	566	
runLevelEventStatQA.C	2017-09-02 00:21	71K	
runLevelQA.log	2017-09-02 00:21	0	
trending.root	2017-09-02 00:21	28K	
triggerInfo.C	2017-09-02 00:21	3.8K	

Figura 5.1: Carpeta para la corrida LHC15f consultada en el repositorio de ALICE, se muestran distintos macros utilizados para calcular la luminosidad asociada a la corrida y su archivo de resultados llamado “trending.root”. [8].

El macro que contiene entre muchas hojas la luminosidad es el archivo trending.root (Ver figura 5.1), una vez obteniendo el archivo trending.root es posible analizarlo con AliRoot obteniendo histograma con una sola entrada de la luminosidad ver Figura 5.2, expresada en unidades inversas de Sección Transversal $(\mu b)^{-1}$ (unidades consultadas en el archivo “runLevelEventStatQA.C”ver figura 5.1). De esta forma es posible obtener la luminosidad para cada corrida del análisis, se muestra la lista de valores de la luminosidad integrada para cada corrida en la tabla 37.

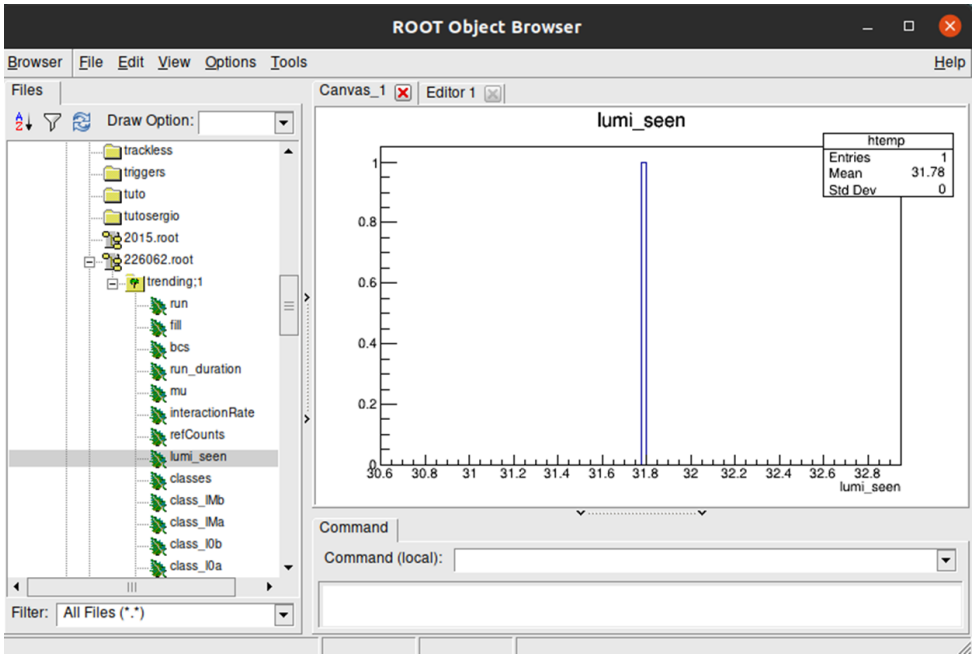

Figura 5.2: Visualización en ROOT de Luminosidad para LHC15f 226062.

Corrida	Luminosidad Integrada $(\mu b)^{-1}$
lhc17j 274593	8.476
lhc17j 274596	746.6
lhc17j 274653	1872
lhc15f 226062	31.78
lhc15f 225106	202.92
lhc15f 225035	1.06
lhc15f 225709	27.55

Cuadro 37: Luminosidad Integrada por Corrida

5.2. Estimación sección transversal

A partir de la tabla 34 podemos obtener el número de procesos difractivos por corrida, de la tabla 37 podemos obtener la luminosidad integrada y de la tabla 36 la eficiencia para el proceso asociado al ID. Utilizando la ecuación 3 se genera la tabla 38 como una primera estimación de las secciones transversales por tipo de proceso.

5.2.1. Calibración de cocientes de proporción Monte Carlo.

En las producciones de Monte Carlo existe una proporción entre el número de eventos generados para cada proceso difractivo (ver tabla 35) y el número total de eventos generados en la producción de Monte Carlo (columna "Total"de la tabla 35).

definimos como α_1 la razón de la ecuación 4

$$\alpha_{1\,procesodifractivo} = \frac{\#\text{Eventos de proceso difractivo generados(MC)}}{\#\text{Total de eventos generados (MC)}} \tag{4}$$

Existiendo tres cocientes α_1 en nuestro análisis.

Secciones transversal por Corrida (mb)				
Corrida	σ_{DD}	σ_{SDr}	σ_{SDL}	σ_{SD}
LHC15f 226062	3.65	5.76	2.83	2.93
LHC15f 225106	1.99	2.99	1.35	1.64
LHC15f 225035	1.16	2.71	1.23	1.48
LHC15f 225709	3.19	7.68	3.50	4.17
LHC17j 274593	0.50	0.11	0.037	0.072
LHC17j 274653	0.112	0.0164	0.0052	0.011
LHC17j 274596	0.079	0.012	0.003	0.007

Cuadro 38: Primera estimación de secciones transversales difractivas para cada tipo de proceso ,expresada en mb(milibarns).

1. $\alpha_{1\,SDR}$: Para procesos SDR.
2. $\alpha_{1\,SDL}$: Para procesos SDL.
3. $\alpha_{1\,DD}$: Para procesos DD.

α_1 representa la proporción en la producción de Monte Carlo, entre el número de un proceso difractivo específico y el número total de eventos generados por la simulación.

El análogo de α_1 para los datos se ha nombrado como α_2. Siendo la proporción que existe entre el número de eventos identificados correctamente (discutido en la seccion 4.4) de algún proceso específico y el número de eventos MB usados en el análisis.

$$\alpha_{2\,procesodifractivo} = \frac{\#\text{Eventos identificados coincidentes (Datos)}}{\#\text{Eventos MB (Datos)}} \tag{5}$$

Al igual que con α_1 existe un α_2 para cada proceso.

1. $\alpha_{2\,SDR}$: Para procesos donde la Bandera MC e ID coinciden en SDR.
2. $\alpha_{2\,SDL}$: Para procesos donde la Bandera MC e ID coinciden en SDL.
3. $\alpha_{2\,DD}$: Para procesos donde la Bandera MC e ID coinciden en DD.

Siguiendo la ecuación 5 y 4 se calcula α_1 y α_2 para cada corrida, ver tabla 39

α_1 **y** α_1 **para los diferentes procesos de cada corrida.**						
Corrida	**SDL**		**SDR**		**DD**	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
lhc15f 226062	0.1125	0.0468	0.1161	0.0407	0.1561	0.0407
lhc15f 225106	0.1108	0.1029	0.1144	0.1151	0.1483	0.1151
lhc15f 225035	0.1116	0.1202	0.1165	0.1358	0.1487	0.1358
lhc15f 225709	0.1119	0.0388	0.1157	0.0440	0.1525	0.0440
lhc17j 274653	0.0913	0.1078	0.0836	0.0900	0.1305	0.0900
lhc17j 274596	0.0910	0.1031	0.0835	0.0829	0.1301	0.0829
lhc17j 274593	0.0911	0.1878	0.0805	0.1965	0.1283	0.1965

Cuadro 39: tabla con las proporciones α_1 y α_2 para cada tipo de proceso difractivos para cada corrida del análisis.

Se muestran histogramas de barras de la tabla 39 , para ilustrar la diferencia entre estas dos proporciones para los procesos SDL, DD Y SDR .(ver figuras 5.3, 5.4,5.5 respectivamente.)

Nuestras secciones transversales mostradas en 38 son proporcionales a la razón α_2. Podemos conseguir una sección transversal con mayor estimación si encontramos la sección transversal proporcional a α_1 (Proporcional a la razón de los eventos de la producción de Monte Carlo.) estimando una $\sigma_{corregida}$ como se muestra en la ecuación 6. Donde $\sigma_{estimada}$, se refiere a las secciones transversales mostradas en 38.

$$\sigma_{corregida} = \frac{\sigma_{estimada} \times \alpha_1}{\alpha_2} \tag{6}$$

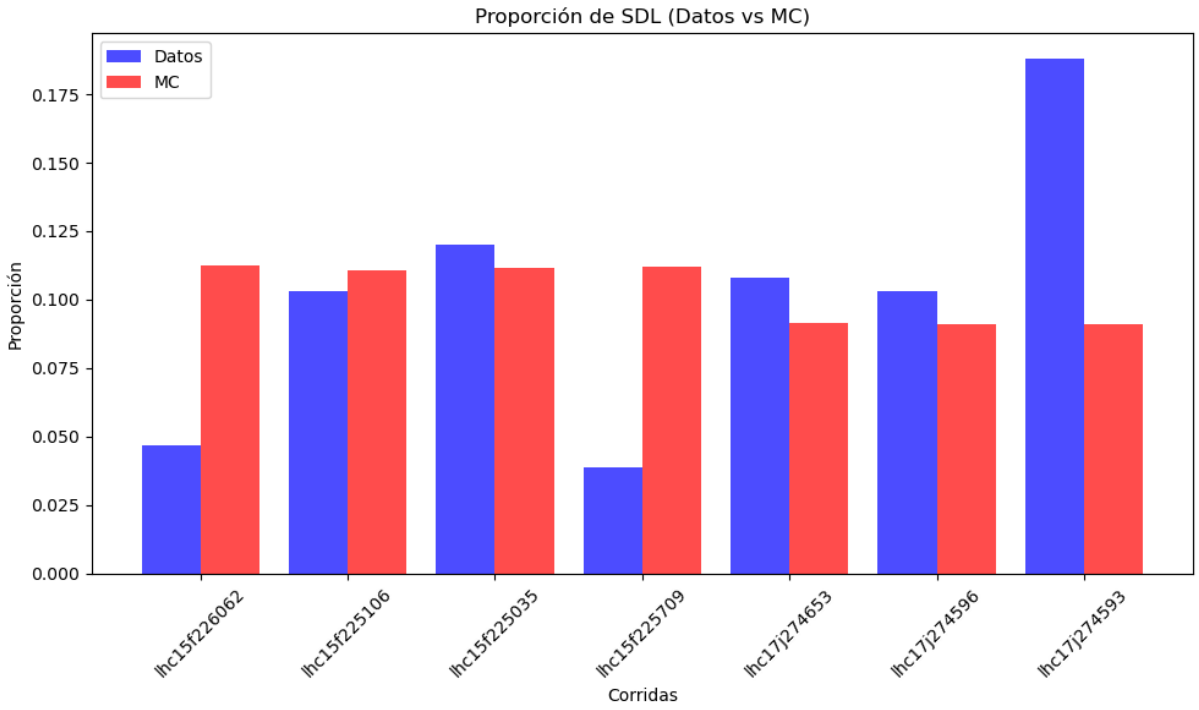

Figura 5.3: α_1 y α_2 para proceso SDL para cada corrida utilizada en el análisis. Las columnas azules represtan a α_2 mientras las de color rojo a α_1. Las corridas que tenga una α_1 mayor a α_2 aumentarán su valor de sección transversal mientras que las corridas α_2 que sean mayor a α_1 disminuiran. Dictado por la ecuación 6

5.3. Secciones transversales finales

Se estimaron secciones transversales preliminarares en la tabla 38, con estas secciones transversales preliminares y con la información de las proporciones alphas de la tabla 39. Calculamos la ecuación 6 para cada proceso de cada corrida del análisis.Obteniendo como resultado la tabla 40.

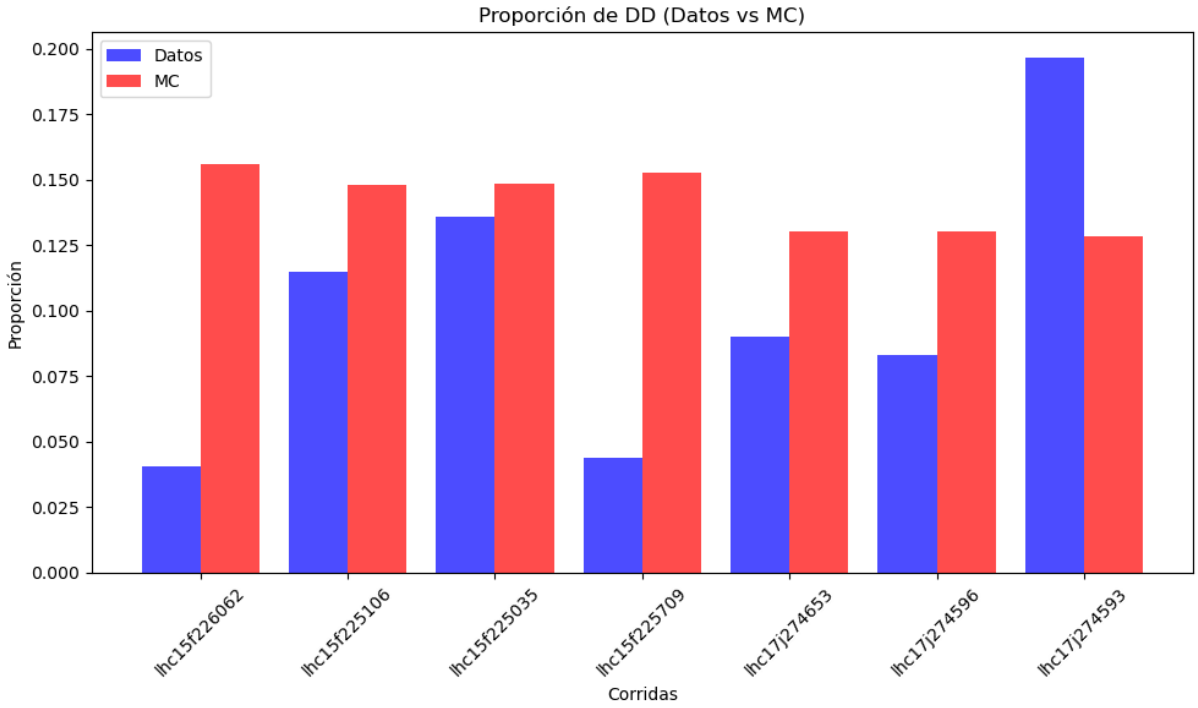

Figura 5.4: α_1 y α_2 para proceso DD para cada corrida utilizada en el análisis. Las columnas azules represtan a α_2 mientras las de color rojo a α_1.

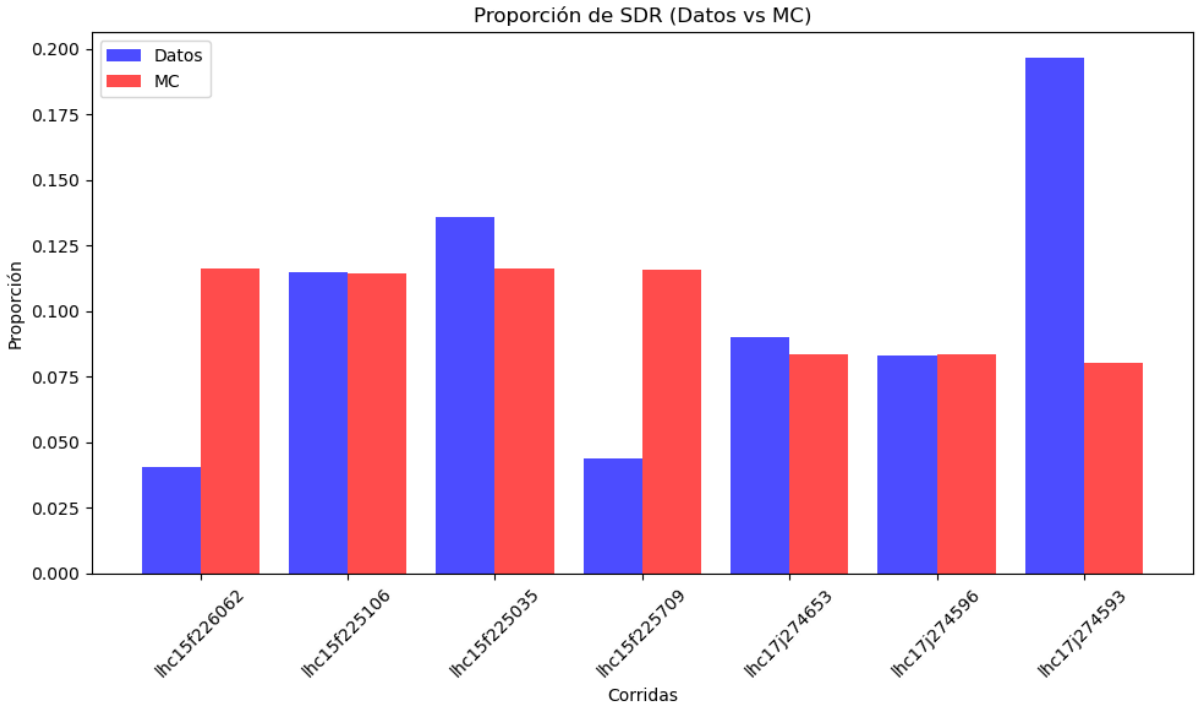

Figura 5.5: α_1 y α_2 para proceso SDR para cada corrida utilizada en el análisis. Las columnas azules represtan a α_2 mientras las de color rojo a α_1.

Secciones transversales finales				
Corrida	σ_{DD} **(mb)**	σ_{SDR} **(mb)**	σ_{SDL} **(mb)**	σ_{SD} **(mb)**
lhc15f225035	1.2679	1.0532	1.3733	2.4265
lhc15f225106	2.5610	1.3392	1.7688	3.1079
lhc15f225709	11.0814	9.2381	12.0199	21.2580
lhc15f226062	14.0033	8.0843	7.0455	15.1298
lhc17j274593	0.3232	0.0155	0.0349	0.0504
lhc17j274596	0.1245	0.0036	0.0068	0.0104
lhc17j274653	0.1626	0.0048	0.0095	0.0143

Cuadro 40: Secciones eficaces finales corregidas a partir de la ecuación 6, para diferentes procesos difractivos para todas las corridas, expresada en milibarns (mb).

5.3.1. Error estándar

Hemos calculado 7 secciones transversales para cada proceso. Con las cuales es posible calcular un error estadístico utilizando la desviación estandár de la media. La cual es definida como:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{7}$$

Donde:
$s_{\bar{x}}$ = Error estándar.
s = Desviación estándar.
$n =$ Número de elementos de la muestra.
s se define como :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{8}$$

Donde:
x_i = elemento i de la muestra.
$\bar{x}$ = valor promedio de la muestra.
s = desviación estándar .
$n =$ numero de elementos de la muestra.

Utilizando la tabla 40 podemos extraer la información de las secciones transversales para calcular el promedio, por proceso. Para posteriormente obtener la desviación estándar S de la ecuación 8, y finalmente el error estándar de 7 los resultados obtenidos se muestran en la tabla.41.

5.3.2. Error estándar por corrida

Como una estimación del error estándar para corridas individuales, se estima un error:

$$s_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \tag{9}$$

Donde:
$s_{\bar{x}}$ = Error estándar.
$n =$ Número de elementos de la muestra.

Donde el número de elementos de la muestra (n) es el número de eventos del proceso específico a estimar. El número total de elementos difractivos por tipo y corrida puede ser obtenido de la tabla: 34. Los resultados a los errores estadísticos por corrida dados por la ecuación 9 son presentados en la tabla 42.

Promedio, desviación estándar y error estándar secciones transversales finales (mb)				
Sección Transversal	σ_{DD}	σ_{SDR}	σ_{SDL}	σ_{SD}
Promedio	4.21	2.81	3.18	5.99
Desviación Estándar (s)	5.81	4.04	4.62	8.64
Error estándar ($s_{\bar{x}}$)	2.19	1.53	1.74	3.27

Cuadro 41: Promedio , desviación estándar y error estándar, de las secciones transversales finales para los resultados obtenidos de la tabla 40,obteniendo errores estándar del orden de cerca el 50 % respecto del promedio, lo que indica una poca uniformidad de los resultados.

Error estándar por corrida (mb)				
Corridas	**DD**	**SD**	**SDR**	**SDL**
lhc15f 226062	0.004	0.003	0.004	0.004
lhc15f 225709	0.004	0.003	0.004	0.004
lhc15f 225106	0.001	0.001	0.001	0.001
lhc15f 225035	0.059	0.065	0.059	0.065
lhc17j 274593	0.004	0.004	0.004	0.004
lhc17j 274596	0.002	0.003	0.003	0.003
lhc17j 274653	0.001	0.001	0.001	0.001

Cuadro 42: Error estadístico por tipo de proceso para cada corrida utilizada en el análisis.

6. Discusión y resultados

Se reporta una sección transversal promedio σ_{DD} de 4.21 ±2,29 mb y σ_{SD} de 5.99 ±3,27 mb. Sin embargo, este resultado promedio oculta algunas consideraciones a discutir. Como se puede observar en el histograma de las distintas secciones transversales para cada una de las corridas del analisis Figura 6.1. Las secciones transversales obtenidas en el análisis no son uniformes a lo largo de las diferentes corridas.Esto posiblemente a diferentes factores como :

- **Ineficiencias en el sistema triggers y los detectores AD.**
  Es posible que el detector AD presentará irregularidades durante el periodo de la Run 2, lo que deriva en un comportamiento no uniforme a lo largo de las diferentes corridas.
- **Discrepancia entre la producción de Monte Carlo y con su contraparte de datos anclada.**
  La producción de Monte Carlo asociada no necesariamente representa fielmente una simulación adecuada a la corrida anclada, resultando en una calibración de los datos erronea.

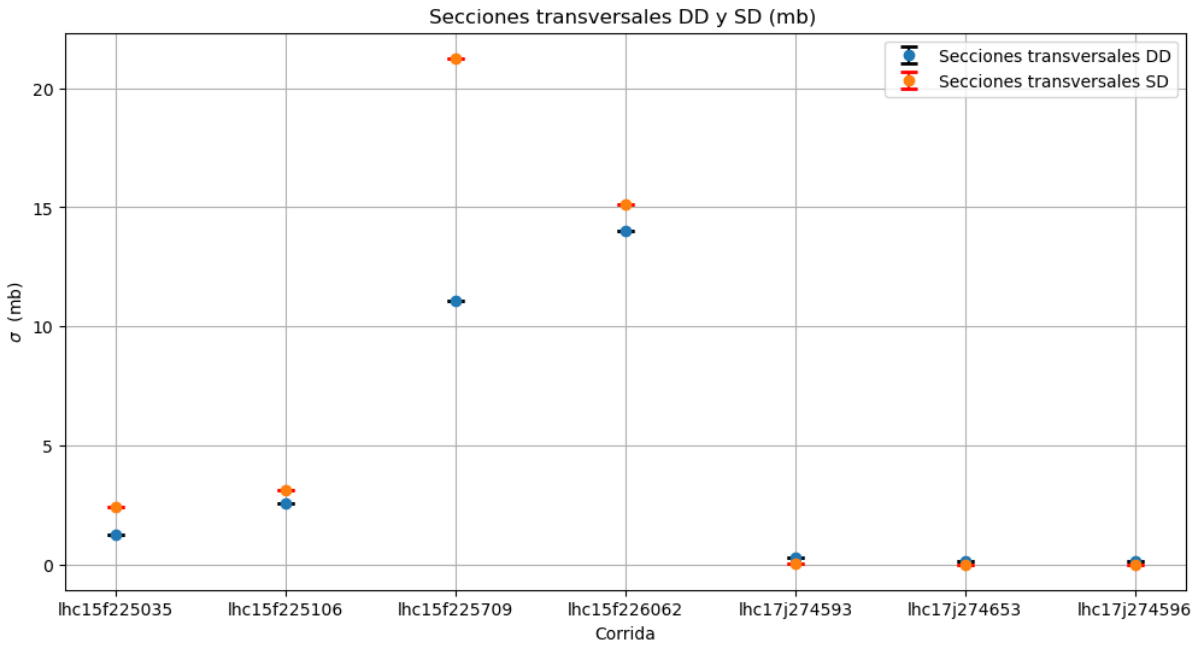

Figura 6.1: Valores de sección transversal para SD Y DD expresada en milibarns (mb) ,para las 7 corridas empleadas en el estudio.Se puede observar la nula uniformidad en las diferentes corridas analizadas. Solo teniendo valores adecuados para la "Golden Run"LHC15f226062 y la corrida LHC225709. Los resultados númericos se muestran en la tabla 40.

Como se describió en la sección 3.1.3, la "golden run"se refiere a un período y corrida durante la cual la adquisición de datos presenta todas las condiciones experimentales óptimas y estables, permitiendo la recolección de datos de alta calidad. Siendo al corrida LHC15f 226062 la que presenta estas características.

Se presenta una comparación con los resultados obtenidos en el estudio del cálculo de la sección transversal para la Run 1, donde el analisis fue realizado para energías de centro de masa $\sqrt{s}$ de 0.9 , 2.76 y 7 TeV[3].

Afin de comparar los resultados con los obtenidos en la Run 1, calculamos los cocientes entre $\sigma_{SD}/\sigma_{Inel}$ y $\sigma_{DD}/\sigma_{Inel}$(estas fracciones buscan calcular la proporción que representa la sección transversal DD respecto a la Inelástica total, al igual que la SD respecto a la Inelástica total). Con una $\sigma_{Inel} = 79{,}5 \pm 1{,}8$ mb. [29] Reportando los resultados que se muestran en la tabla 43.Tomando como valores reportados a 13 TeV los obtenidos para la "Golden Run".

$\sqrt{s}$ (TeV)	σ_{DD} (mb)	σ_{SD} (mb)	σ_{Inel}	$\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$	$\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$
0.9	5.6 ± 2.0	$11.2^{+1,6}_{-2,1}$	$52.5^{+2-0}_{-3,3}$	0.11 ± 0.03	$0.21 \pm 0{,}03$
2.76	7.8 ± 3.2	$12.2^{+3,9}_{-5,3}$	$62.8^{+2,68}_{-4,18}$	0.12 ± 0.05	$0.20^{+0,07}_{-0,08}$
7	9 ± 2.6	$14.9^{+3,4}_{-5,9}$	$73.2\ ^{+3,28}_{-5,28}$	$0.12\ ^{+0,05}_{-0,04}$	$0.2^{+0,04}_{-0,07}$
13	14.03 ± 0.003	15.13 ± 0.004	$79.5\ ^{+1,8}_{-1,8}$	0.19 ± 0.004	0.17 ± 0.004

Cuadro 43: Valores de las secciones transversales σ_{DD} y cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ para valores de centro de masa $\sqrt{s}$ 0.9, 2.76, 7 y 13 TeV (Reportando el valor obtenido de la golden run LHC15f 226062 para la energía de centro de masa de 13 TeV).Resultados de las secciones transversales para la Run 1 obtenidos de [3]

En la tabla 43 se observa un incremento de las secciones transversales a medida que aumenta la energía de centro masa. Incrementando del orden de aproxidamente entre 2 y 5 unidades para la σ_{DD} , entre 3 y 5 unidades aproximadamente para σ_{SD}. Analizando los cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ concluimos que para una energía de centro de masa $\sqrt{s}$ 13 TeV , la sección transversal σ_{DD} representa aproximadamente 19 $\pm 0{,}4\,\%$ respecto a la sección transversal inelástica total σ_{INEL} y la sección transversal σ_{DD} representa aproximadamente 17 $\pm 0{,}4\,\%$ sobre σ_{INEL}.Puede verse gráficamente el comportamiento de las secciones transversales a diferentes niveles de energía, tanto tomando los valores obtenidos de la golden run para el nivel de energía de 13 TeV en la figuras 6.2 y 6.3 o tomando los valores obtenidos del promedio de las secciones transversales 40 con su error estadístico mostrado en la tabla41 se pueden observar en las figuras 6.4 y 6.5.

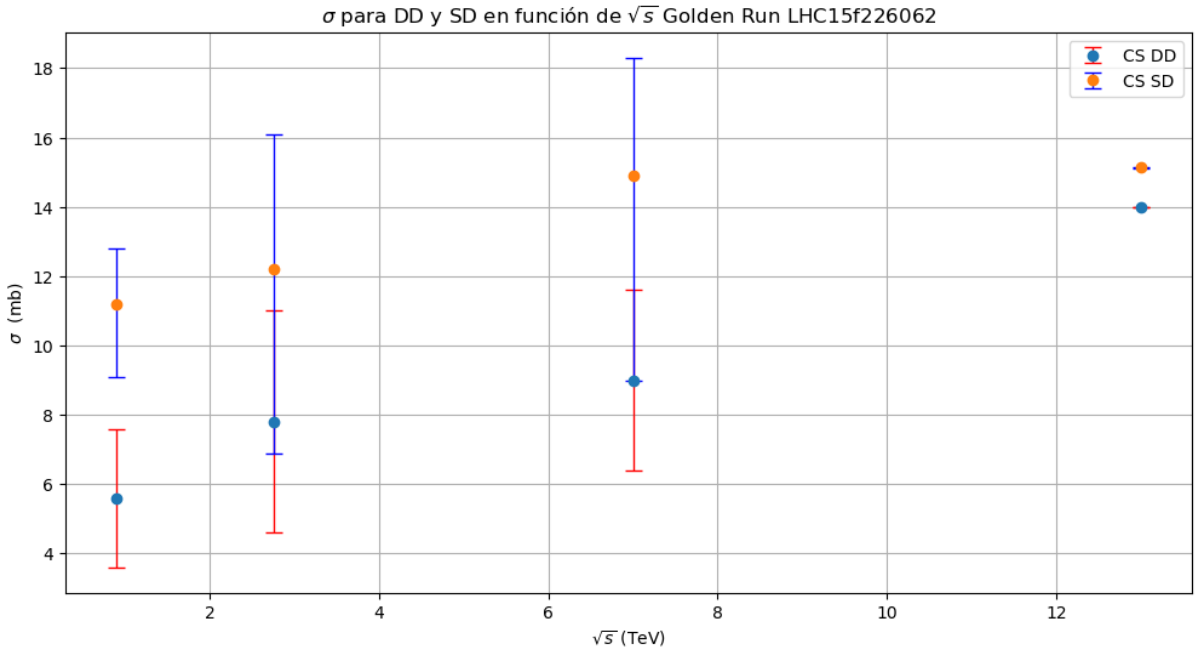

Figura 6.2: Valores de σ_{DD} y σ_{SD} a diferentes niveles de energía de centro de masa: 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3]. Tomando los valores de la golden run LHC15f para el nivel de energía de 13 TeV.

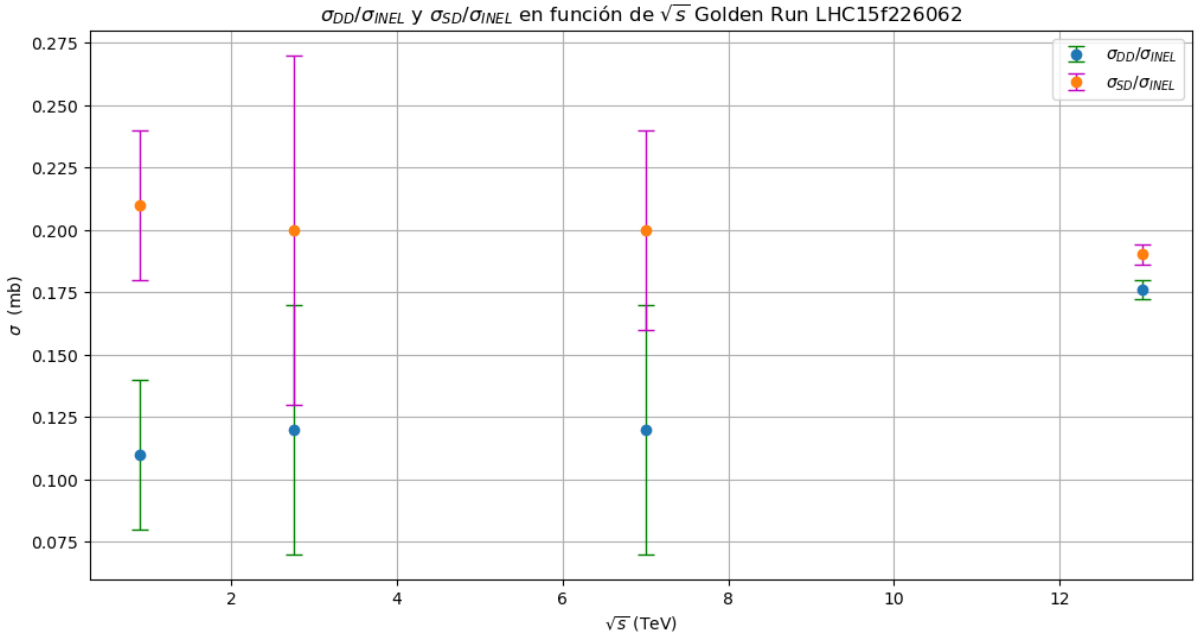

Figura 6.3: Cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ a diferentes niveles de energía de centro de masa. 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3].Tomando los valores de la golden run LHC15f para el nivel de energía de 13 TeV.

.

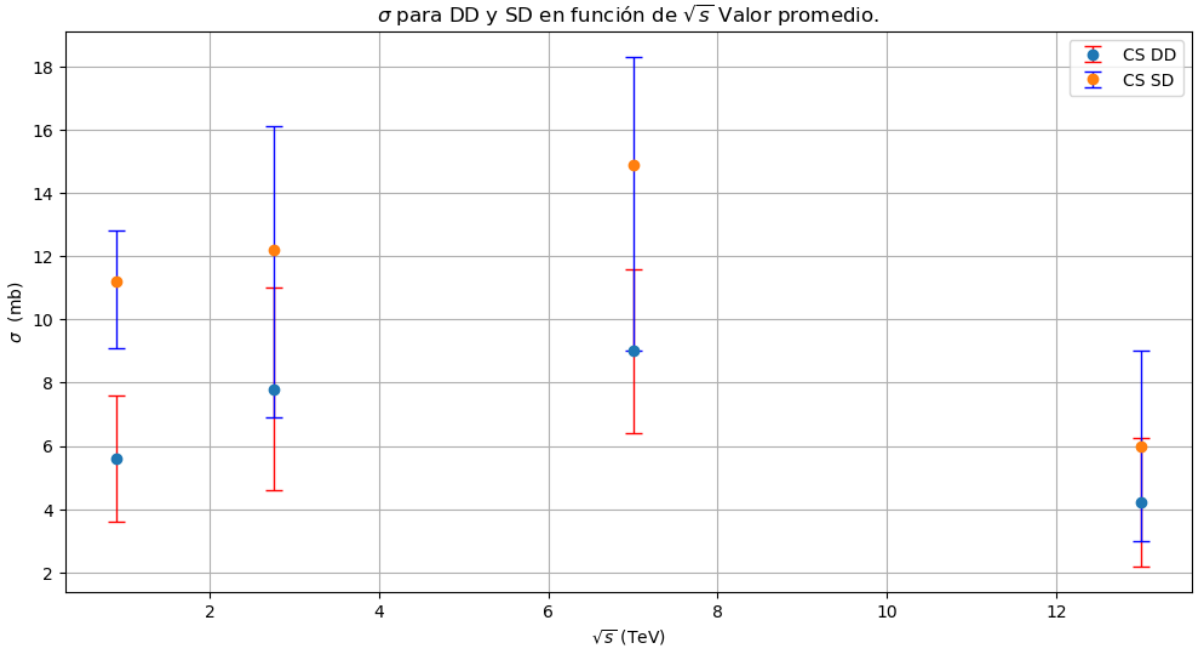

Figura 6.4: Valores de σ_{DD} y σ_{SD} a diferentes niveles de energía de centro de masa: 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3]. Tomando los valores promedio de las secciones transversale para el nivel de energía de 13 TeV.

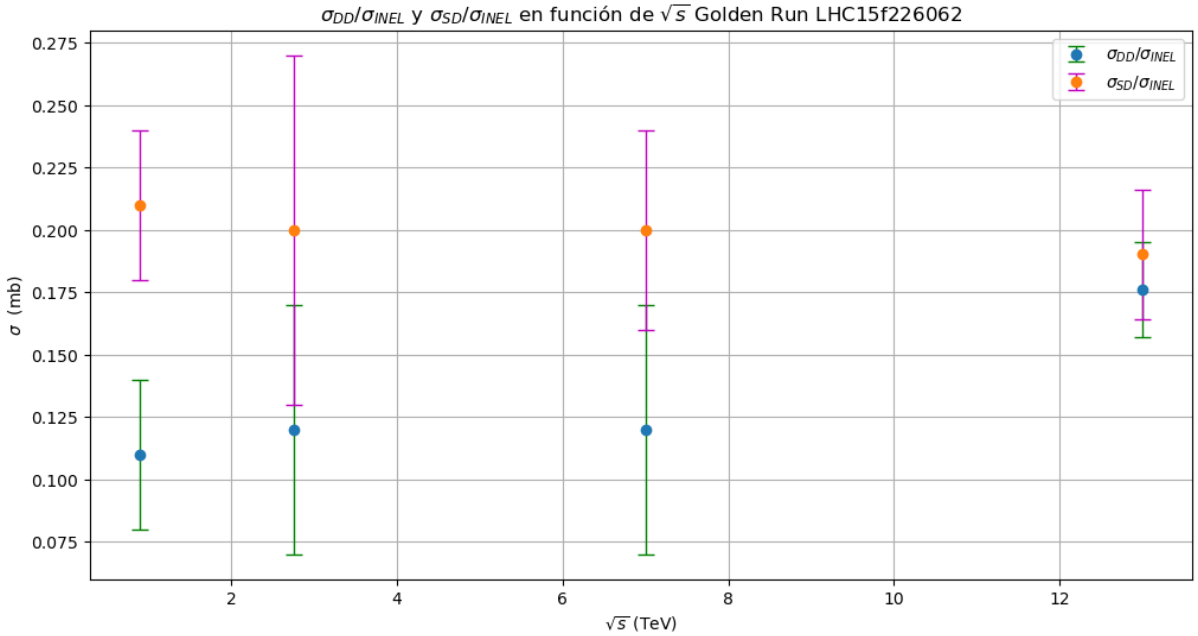

Figura 6.5: Cocientes $\sigma_{DD}/\sigma_{INEL}$ y $\sigma_{SD}/\sigma_{INEL}$ a diferentes niveles de energía de centro de masa. 0.9 , 2.76,7 y 13 (TeV).Resultados de Run 1 obtenidos de [3].Tomando los valores promedio de las secciones transversales para el nivel de energía de 13 TeV.

.

6.1. Conclusiones

Se estimaron las secciones transversales SD y DD utilizando identificadores construidos con la información de los detectores AD, V0 y SPD. El detector AD permitió incrementar el tamaño de la brecha en unidades de pseudorapidez. Los valores obtenidos en cada caso son $\sigma_{SD} = 15.12$ mb $\pm$ 0.003 mb y $\sigma_{DD} = 14.03$ mb $\pm$ 0.004 mb.

Esto representa un 19 % de la σ_{inel} para eventos SD y 17 % para eventos DD. Los resultados sugieren una concordancia con el modelo de Riskin [13] a 13 TeV para colisiones p+p. El cual es un modelo para interacciones "suaves"de protones de alta energía, describe el comportamiento de las secciones transversales total, σ_tot, y elástica, dσel/dt $d\sigma_el/dt$, de protones-protones, junto con las secciones transversales para la disociación de protones de baja y alta masa [13].

Para lograr reportar una medición se requiere, como trabajo a futuro.

- Estudiar el apilamiento entre colisiones consecutivas (pile-up).
- Estimar el número de eventos falsos inducidos por la contaminación del haz
- Estudiar a detalle la eficiencia del detector V0 y AD para eventos de MB
- Cálculo de incertidumbres sistemáticas.

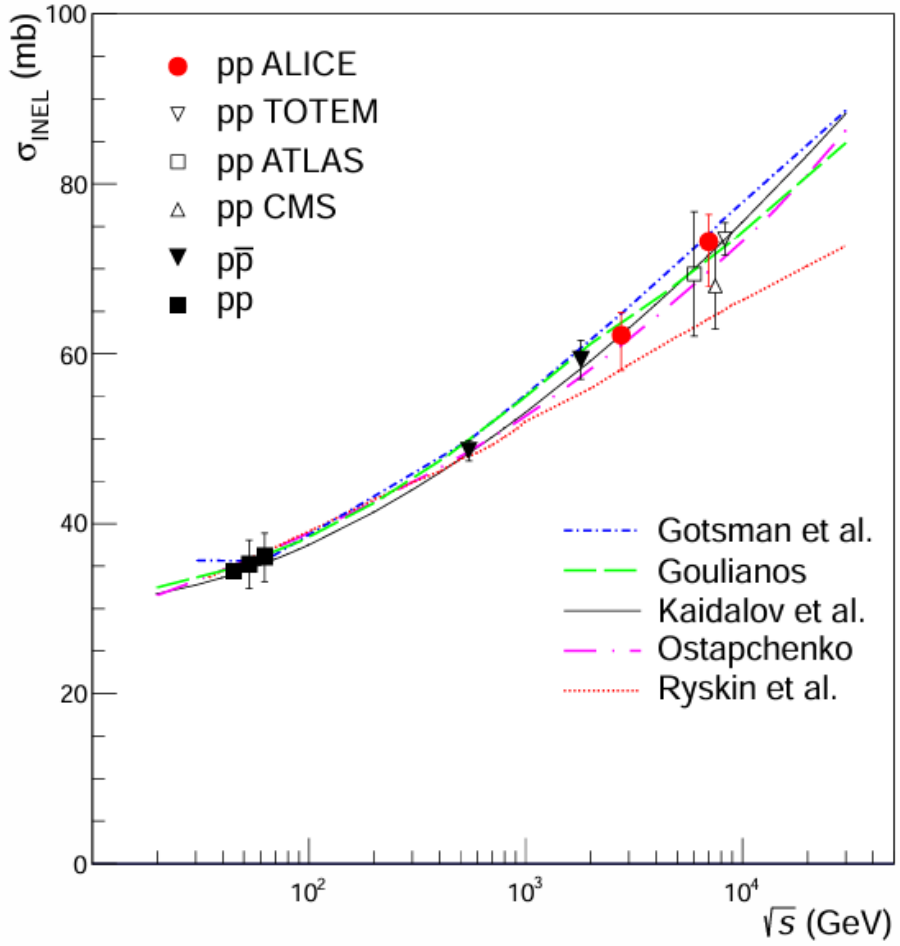

Figura 6.6: Secciones eficaces inelásticas como función de la energía en el centro de masa, en colisiones protón-protón o protón-antiprotón, comparadas con las predicciones [9] (línea azul corta y guionada), [10] (línea verde punteada), [11] (línea negra sólida), [12] (línea rosa larga y guionada), y [13] (línea roja punteada). Los datos del LHC provienen de ALICE [3], ATLAS [14], CMS [15] y TOTEM [16]. Los puntos de datos de ATLAS, CMS y TOTEM fueron ligeramente desplazados horizontalmente para mejorar la visibilidad. Los datos de otros experimentos se obtuvieron de [17]. (Información extraída de [3]) .

.

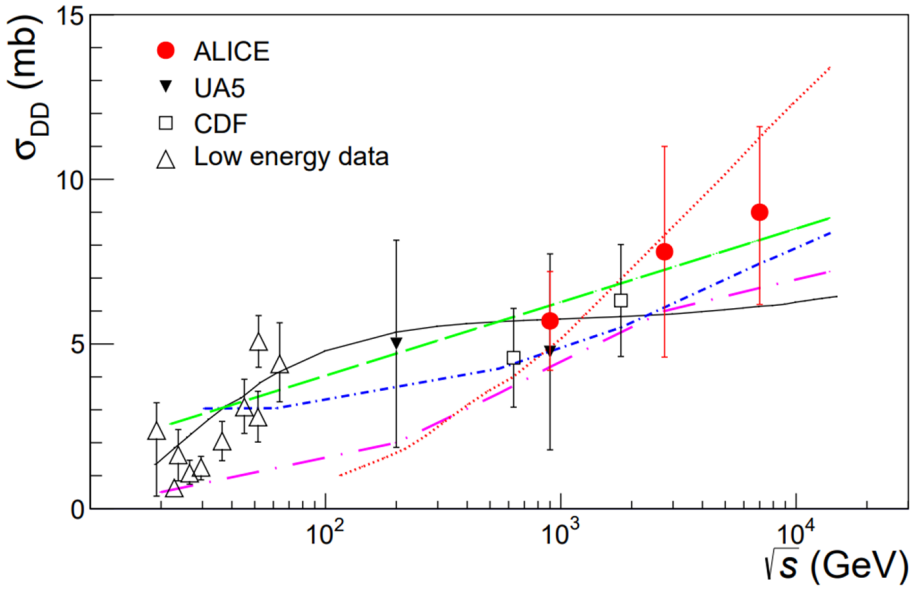

Figura 6.7: Sección transversal para DD en función de la energía de centro de masa [3]. El origen de cada modelo es explicado en la figura 6.6

.

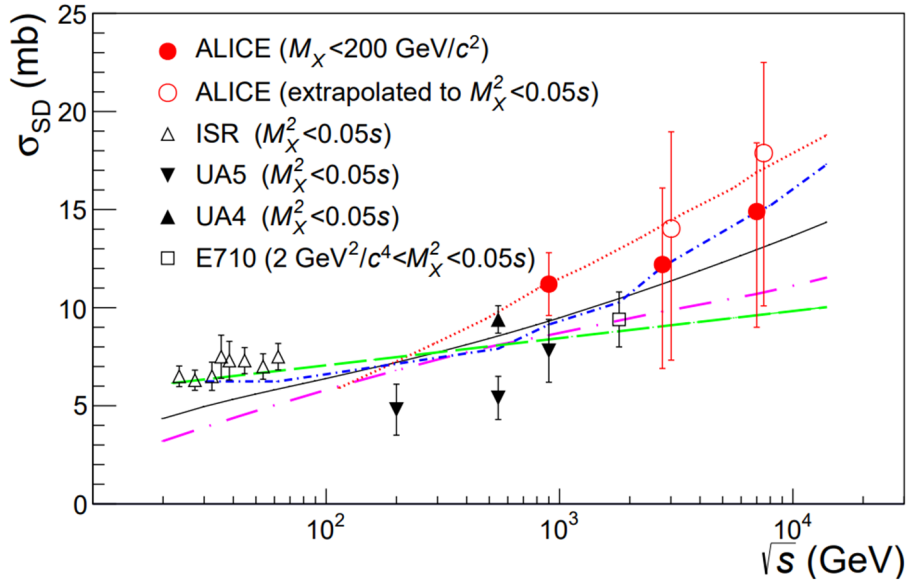

Figura 6.8: Sección transversal para SD en función de la energía de centro de masa [3] .El origen de cada modelo es explicado en la figura 6.6.

Referencias

[1] Collins P.D.B. *An Introduction to Regge Theory and High Energy Physics*. Cambridge Unversity Press, United Kingdom, 2009.

[2] V Altini, F Carena, W Carena, S Chapeland, V Chibante Barroso, F Costa, R Divia, U Fuchs, I Makhlyueva, F Roukoutakis, K Schossmaier, C Soos, P Vande Vyvre, and B Von Haller. The ALICE Electronic Logbook. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 219:022027, 2010.

[3] B. Abelev. Measurement of inelastic, single- and double-diffraction cross sections in proton–proton collisions at the LHC with ALICE. *The European Physical Journal C*, 73(6), jun 2013.

[4] Arturo Tauro. ALICE Schematics. General Photo, 2017.

[5] A. Kluge et al. The ALICE silicon pixel detector. *Nucl. Instrum. Meth. A*, 582:728–732, 2007.

[6] M. Broz, J.C. Cabanillas Noris, E. Calvo Villar, C. Duarte Galvan, E. Endress, L.G. Espinoza Beltrá n, A. Fernández Téllez, D. Finogeev, A.M. Gago, G. Herrera Corral, T. Kim, A. Kurepin, A.B. Kurepin, N. Kurepin, I. León Monzón, M.I. Martínez Hernandez, C. Mayer, M.M. Mieskolainen, R. Orava, L. A. Perez Moreno, J.-P. Revol, M. Rodríguez Cahuantzi, S. Rojas Torres, D. Serebryakov, A. Shabanov, E. Usenko, and A. Villatoro Tello. Performance of ALICE AD modules in the CERN PS test beam. *Journal of Instrumentation*, 16(01):P01017–P01017, jan 2021.

[7] Abraham Villatoro. *Detection and discrimination of diffractive events with ALICE-LHC at CERN*. PhD thesis, Feb 2019.

[8] ALICE Collaboration. Alice quality assurance and event selection data, 2024. Accessed: 2024-07-04.

[9] E. Gotsman, E. Levin, and U. Maor. arxiv:1208.0898 [hep-ph] (to be published in phys. letts. b). *arXiv preprint arXiv:1208.0898*, 2012. to be published in Phys. Lett. B.

[10] K. Goulianos. Multiple publications. *Phys. Rev. D* 80, 111901(R) (2009); in Proceedings of the 13th International Conference on Elastic and Diffractive Scattering ("Blois Workshop"), CERN, 2009, ed. by M. Deile, D. d'Enterria, and A. De Roeck (Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY, 2010), arXiv:1002.3527; in Proceedings of Forward Physics at LHC Workshop, La Biodola, Elba, 2010, arXiv:1012.5169 [hep-ex], p. 17, arXiv:1009.5413 [hep-ph]; in Proceedings of the 46th Rencontres de Moriond, La Thuile, 2011, arXiv:1105.4916 [hep-ph], 2009–2011. Includes various conference proceedings and articles.

[11] A. B. Kaidalov and M. G. Poghosyan. Proceedings of the 13th international conference on elastic and diffractive scattering ("blois workshop"). In M. Deile, D. d'Enterria, and A. De Roeck, editors, *Proceedings of the 13th International Conference on Elastic and Diffractive Scattering ("Blois Workshop"), CERN, 2009*. Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY, 2010. arXiv:0909.5156 [hep-ph].

[12] S. Ostapchenko. Multiple publications in physical review d. *Phys. Rev. D* 77, 034009 (2008); *Phys. Rev. D* 81, 114028 (2010); *Phys. Rev. D* 83, 114018 (2011), 2008–2011. Includes various articles in Physical Review D.

[13] M. G. Ryskin, A. D. Martin, and V. Khoze. Multiple publications in european physical journal c. *Eur. Phys. J. C* 54, 199 (2008); *Eur. Phys. J. C* 60, 249 (2009); *Eur. Phys. J. C* 71, 1617 (2011), 2008–2011. Includes various articles in European Physical Journal C.

[14] G. Aad et al. (ATLAS Collaboration). Observation of a new particle in the search for the standard model higgs boson with the atlas detector at the lhc. *Nature Communications*, 2:463, 2011.

[15] CMS Collaboration. Performance analysis note cms-pas-fwd-11-001. CMS Physics Analysis Summary CMS-PAS-FWD-11-001, CERN, 2011.

[16] G. Antchev et al. (TOTEM Collaboration). First measurement of the total proton-proton cross-section at the lhc energy of $\sqrt{s} = 7$ tev. *Europhysics Letters*, 96:21002, 2011.

[17] L. Baksay, others, N. A. Amos, others, M. Bozzo, others, S. Klimenko, et al. Multiple references. *Nucl. Phys. B* 141, 1 (1978); *Nucl. Phys. B* 262, 689 (1985); *Phys. Lett. B* 147, 392 (1984); Report No. FERMILAB-FN-0741, 2003, 1978–2003.

[18] E. Daw. Lecture 7 - rapidity and pseudorapidity, 2012. Accessed: 2024-07-06.

[19] The ALICE Colaboration and K Aamodt. The alice experiment at the cern lhc. *Journal of Instrumentation*, 3(08):S08002, aug 2008.

[20] Xabier Cid Vidal and Ramon Cid Manzano. Taking a closer look at lhc cross section. `https://www.lhc-closer.es/taking_a_closer_look_at_lhc/0.cross_section`. [Accessed 10-Jun-2023].

[21] Sadhana Dash, Nirbhay Behera, and Basanta Nandi. Separating diffractive and non-diffractive events in high energy collisions at lhc energies, 2022.

[22] The Collaboration, Kjeld Aamodt, Arian Abrahantes, Ricardo Achenbach, S Acounis, Dagmar Adamova, C Adler, M Aggarwal, F Agnese, Gianluca Aglieri Rinella, Zubayer Ahammed, A Ahmad, Nora Ahmad, Shakeel Ahmad, A Akindinov, P Akishin, D Aleksandrov, Borri Alessandro, Romulo Alfaro, and M Zuffa. The alice experiment at the cern lhc. *Journal of Instrumentation*, 3:S08002, 08 2008.

[23] R. Santoro et al. The ALICE Silicon Pixel Detector: Readiness for the first proton beam. *JINST*, 4:P03023, 2009.

[24] P Cortese et al. ALICE technical design report on forward detectors: FMD, T0 and V0. 9 2004.

[25] ALICE Collaboration. Aliroot documentation, 2024. Accessed: 2024-07-02.

[26] ALICE Collaboration. Alivad class reference, 2024. Accessed: 2024-07-02.

[27] ALICE Collaboration. Alivvzero class reference, 2024. Accessed: 2024-07-02.

[28] Torbjörn Sjöstrand, Stephen Mrenna, and Peter Skands. Pythia 6.4 physics and manual. *Journal of High Energy Physics*, 2006(05):026, may 2006.

[29] The TOTEM Collaboration, . Antchev, P. Aspell, I. Atanassov, V. Avati, J. Baechler, C. Baldenegro Barrera, V. Berardi, M. Berretti, E. Bossini, U. Bottigli, M. Bozzo, H. Burkhardt, F. S. Cafagna, M. G. Catanesi, M. Csanád, T. Csörgő, M. Deile, F. De Leonardis, A. D'Orazio, M. Doubek, D. Druzhkin, K. Eggert, V. Eremin, F. Ferro, A. Fiergolski, F. Garcia, V. Georgiev, S. Giani, L. Grzanka, J. Hammerbauer, J. Heino, P. Helander, T. Isidori, V. Ivanchenko, M. Janda, A. Karev, J. Kašpar, J. Kopal, V. Kundrát, S. Lami, G. Latino, R. Lauhakangas, R. Linhart, C. Lindsey, M. V. Lokajíček, L. Losurdo, M. Lo Vetere, F. Lucas Rodríguez, M. Macrí, M. Malawski, N. Minafra, S. Minutoli, T. Naaranoja, F. Nemes, H. Niewiadomski, T. Novák, E. Oliveri, F. Oljemark, M. Oriunno, K. Österberg, P. Palazzi, V. Passaro, Z. Peroutka, J. Procházka, M. Quinto, E. Radermacher, E. Radicioni, F. Ravotti, E. Robutti, C. Royon, G. Ruggiero, H. Saarikko, A. Scribano, J. Siroky, J. Smajek, W. Snoeys, R. Stefanovitch, T. Sodzawiczny, J. Sziklai, C. Taylor, E. Tcherniaev, N. Turini, V. Vacek, J. Welti, J. Williams, P. Wyszkowski, J. Zich, and K. Zielinski. First measurement of elastic, inelastic and total cross-section at $\sqrt{s} = 13$ tev by totem and overview of cross-section data at lhc energies, 2018.