

Filial de Altas Energías

Presentación del Proyecto de Pasantía

Determinación de los errores sistemáticos asociados al alineamiento global del ATLAS Forward detector (AFP)

Oscar Altuve (USB)

Asesor: Gabriela Navarro (UAN)

6 de diciembre de 2022



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics
LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

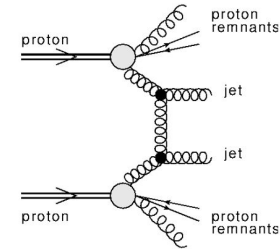
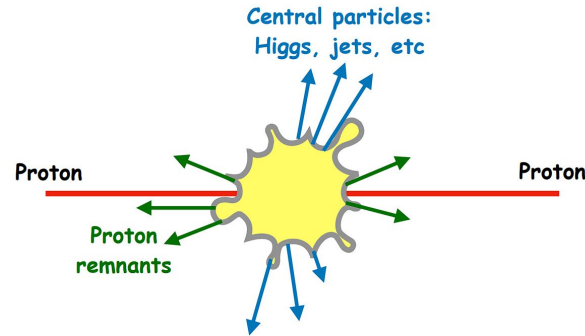
UAN
UNIVERSIDAD
ANTONIO NARIÑO





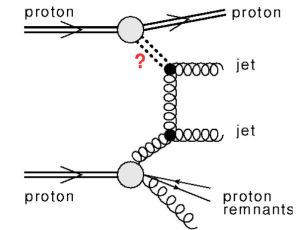
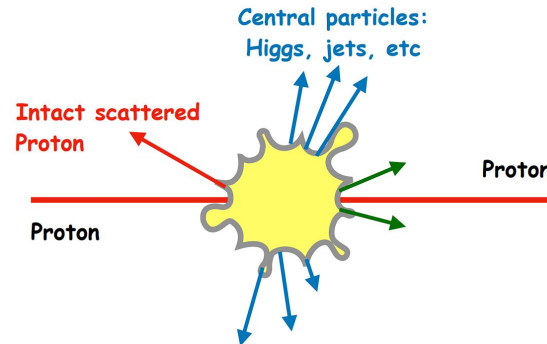
Caso físico de interés

Situación de interacción más común en el LHC,



Los protones pueden permanecer intactos si los objetos intercambiados no cambian de números cuánticos de protones:

- Fuerza electromagnética: fotón.
- Fuera fuerte: Pomerón.

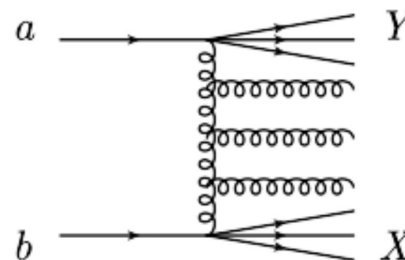




- La mayoría de los estudios en colisiones de altas energías entre hadrones, involucran una escala hard.
 - Jets de alto p_T o bosones electrodébiles en el evento (bien entendido debido al teorema de factorización QCD).
- Los procesos soft, son poco conocidos debido a su naturaleza no perturbativa.
 - También son importantes para los estudios de procesos de alto p_T :
 - Evento subyacente
 - Pile-up
- Dos mecanismos generales responsables de las interacciones soft protón - protón (pp):

Procesos difractivos y no difractivos

No difractivo: intercambio de objetos de color.
- Ruptura de ambos protones y producción de partículas en la región central y de rapidez media.

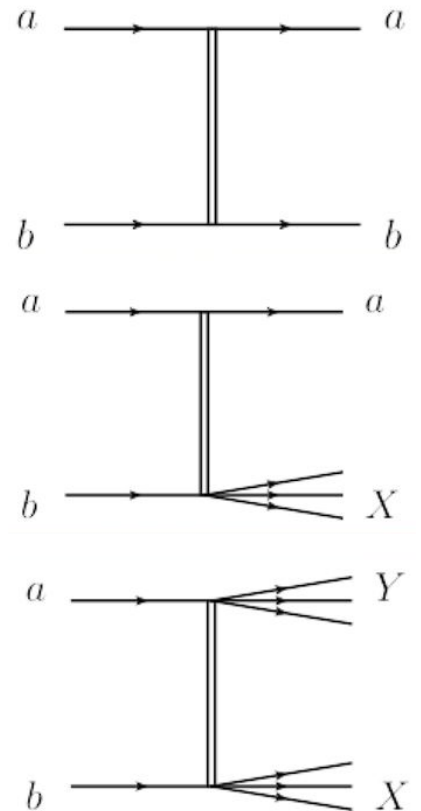




Difractivos: intercambio de objetos sin color que interactúan fuertemente \rightarrow Pomeron (singlete de color) \rightarrow el protón que interactúa permanece intacto.

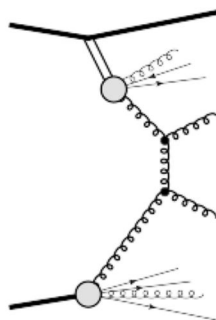
Señal:

- Dispersión elástica: ambos protones intactos y sin partículas adicionales.
- Difracción simple: un protón puede no permanecer intacto pero se disocia en un estado de múltiples partículas de mayor masa.
- Doble difracción: es posible que ambos protones no permanezcan intactos, sino que se disocien en un estado de múltiples partículas de mayor masa.

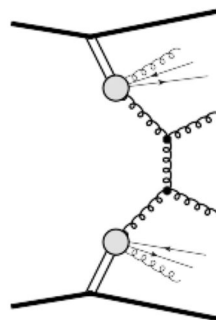




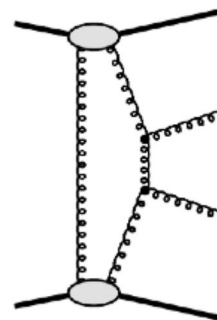
- La señal difractiva también se puede encontrar en eventos que contienen escala hard.
 - El proceso de HD ocurre a través del intercambio de Pomeron. El Pomeron tiene estructura partónica (funciones de estructura difractiva y pdfs difractivas).



SD



CD, intercambio de
doble pomeron



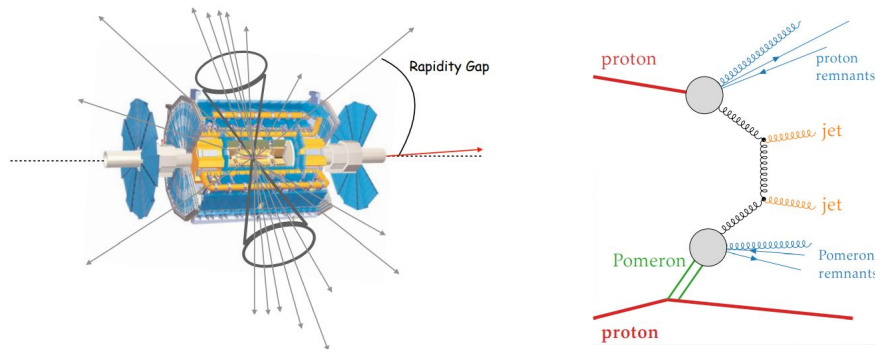
Producción
exclusiva central

Sistemas hard considerados para AFP: jets, jets de fotones, fotones y bosones electrodébiles.

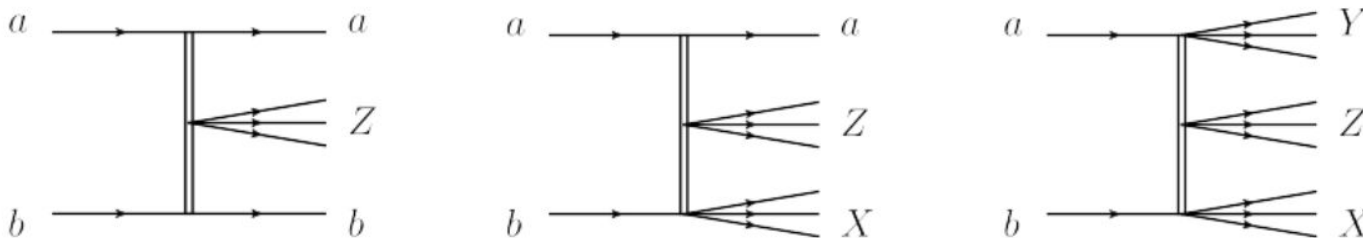


Programa de Forward Physics

- En estos procesos \rightarrow los estados finales de las partículas se producen en la dirección del haz \rightarrow dejando grandes regiones desprovistas de partículas (brechas de rapidez).



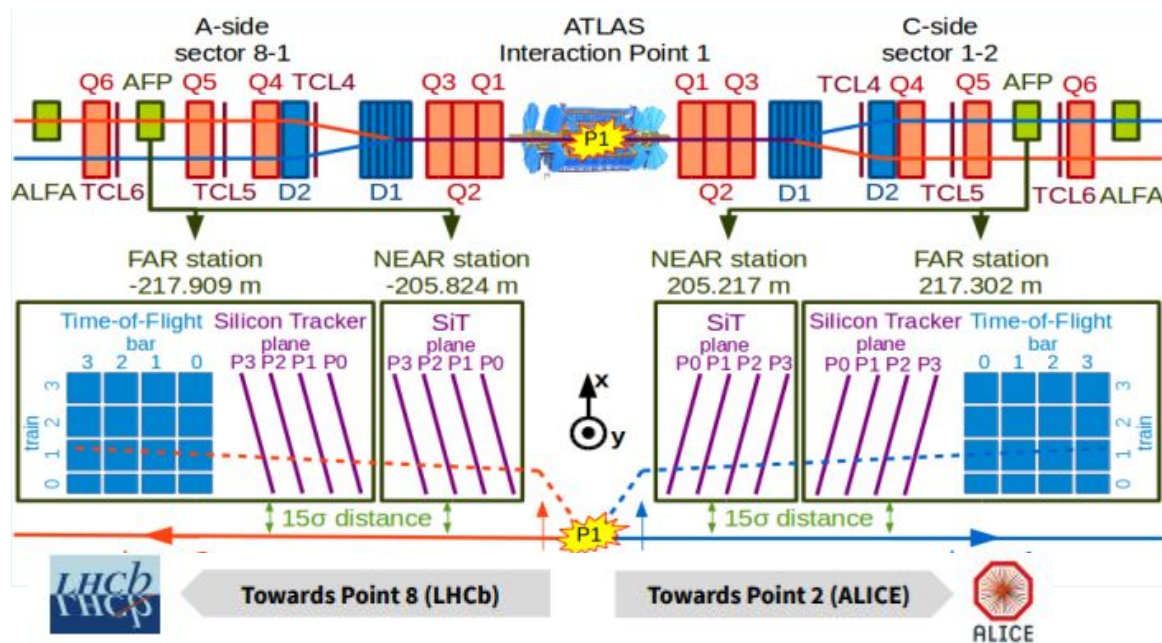
- También es posible: interacciones difractivas con producción central de partículas: Difracción central.





Detector ATLAS Forward Proton (AFP)

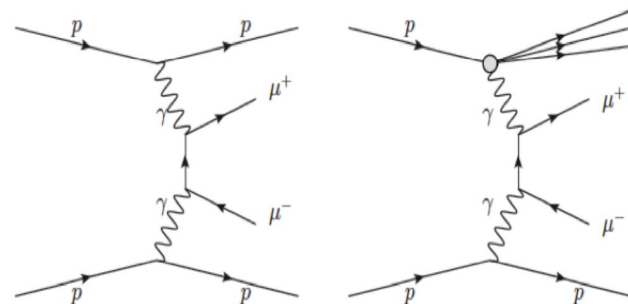
El **ATLAS Forward Proton (AFP)**, es un sistema para la medición de protones dispersados en pequeños ángulos respecto a la dirección del haz.



$$pp \rightarrow p + (\gamma\gamma \rightarrow ee/\mu\mu) + p$$

Se puede identificar sin AFP.

Observación directa de protones intactos con el AFP.





Objetivo general

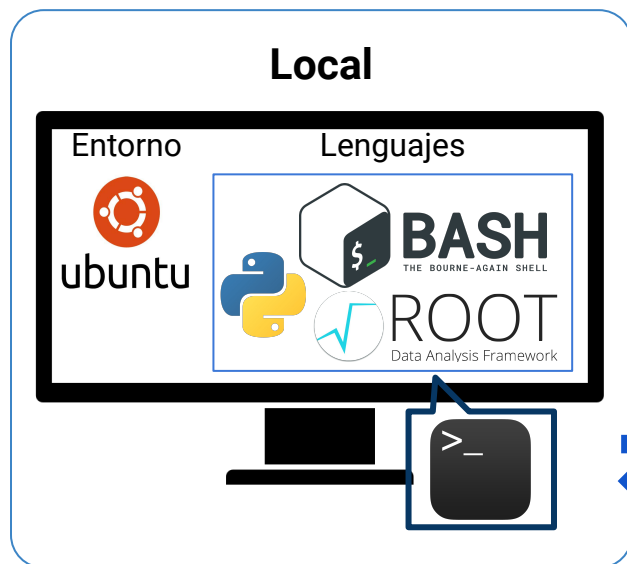
Determinar los errores sistemáticos asociados al alineamiento del ATLAS Forward Detector (AFP).

Objetivos específicos

Emplear herramientas utilizadas en el manejo de datos recolectados por el detector ATLAS.

Estudiar y mejorar el método de alineamiento global del AFP.

Estimar los errores sistemáticos de las diferentes estaciones, asociados al método del alineamiento global del AFP.



Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)

“Pseudolocal” | LxPLUS
Librerías de software de ATLAS
Análisis xAOD en los Frameworks EventLoop

Monitoreo de metadatos

Gestión de datos



Servicios: Almacenamiento, Jupyter
Notebooks y sistema de control de versiones





64 datasets recolectados durante la Run 2 del LHC en el año 2017 a $\sqrt{s}=13$ TeV.

| LOGICALDATASETNAME | PRODSYSSTATUS | DATATYPE | VERSION | NFILES | TOTALEVENTS | RUNNUMBER | PERIOD |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|-------------------------------------------|--------------|-------------|-----------|--------|
| data17_13TeV.00331479.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 27 Files | 174495 | 331479 | D4 |
| data17_13TeV.00333519.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 40 Files | 423083 | 333519 | E4 |
| data17_13TeV.00329780.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 93 Files | 1830059 | 329780 | C4 |
| data17_13TeV.00330074.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 33 Files | 473762 | 330074 | C5 |
| data17_13TeV.00330294.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 125 Files | 2657274 | 330294 | C6 |
| data17_13TeV.00332404.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 64 Files | 1287984 | 332304 | D6 |
| data17_13TeV.00333853.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 27 Files | 356258 | 333853 | E5 |
| data17_13TeV.00330328.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 49 Files | 822456 | 330328 | C7 |
| data17_13TeV.00331905.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 22 Files | 268836 | 331905 | D5 |
| data17_13TeV.00332953.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 54 Files | 710998 | 332953 | E2 |

| LOGICALDATASETNAME | PRODSYSSTATUS | DATATYPE | VERSION | NFILES | TOTALEVENTS | RUNNUMBER | PERIOD |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|-------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|----------------------------|
| data17_13TeV.00329780.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399... #hashtags -Rucio -Provenance -Series | ALL EVENTS AVAILABLE | DAOD_STDM7 | r10203_p3399_p4397 Datasets - AMI-Tags | 93 Files | 1830059 | 329780 | C4 |
| ECMENERGY | | | | | | | 13.0 TeV |
| PROJECTNAME | | | | | | | data17_13TeV |
| STREAMNAME | | | | | | | physics_Main |
| PHYSICSTRESPONSIBLE | | | | | | | atlas-dpd-production |
| RELATIONALLOADED | | | | | | | 0 |
| PRINCIPALPHYSICSGROUP | | | | | | | gen-user |
| PRODSTEP | | | | | | | deriv |
| INCONTAINER | | | | | | | 1 |
| GEOMETRYVERSION | | | | | | | ATLAS-R2-2016-01-00-01 |
| CONDITIONSTAG | | | | | | | CONDBR2-BLKP-A-2017-15 |
| BEAMTYPE | | | | | | | collisions |
| AMISTATUS | | | | | | | VALID |
| CREATED | | | | | | | 2021-02-08 19:55:57.029817 |
| LASTMODIFIED | | | | | | | 2021-03-05 03:55:58.488585 |
| COMPLETION | | | | | | | 100.00 |
| ATLASRELEASE | | | | | | | AthDerivation_21.2.116.0 |
| PRODUCTIONSTEP | | | | | | | deriv |
| GID | | | | | | | 332483670 |
| STATSALGORITHM | | | | | | | exclude_outliers |

```

"d1" : "data17_13TeV.00329716.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d2" : "data17_13TeV.00329780.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d3" : "data17_13TeV.00329835.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d4" : "data17_13TeV.00329964.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d5" : "data17_13TeV.00330025.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d6" : "data17_13TeV.00330074.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d7" : "data17_13TeV.00330079.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d8" : "data17_13TeV.00330160.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d9" : "data17_13TeV.00334264.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d10" : "data17_13TeV.00334317.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d11" : "data17_13TeV.00334350.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10203.p3399_p4397",
"d12" : "data17_13TeV.00334890.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d13" : "data17_13TeV.00334907.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d14" : "data17_13TeV.00334960.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d15" : "data17_13TeV.00334993.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10259.p3399_p4397",
"d16" : "data17_13TeV.00335016.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d17" : "data17_13TeV.00335022.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d18" : "data17_13TeV.00335056.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d19" : "data17_13TeV.00335082.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d20" : "data17_13TeV.00335083.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d21" : "data17_13TeV.00335131.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d22" : "data17_13TeV.00335170.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d23" : "data17_13TeV.00335177.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d24" : "data17_13TeV.00335222.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d25" : "data17_13TeV.00335282.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d26" : "data17_13TeV.00335290.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d27" : "data17_13TeV.00336506.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d28" : "data17_13TeV.00336548.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10259.p3399_p4397",
"d29" : "data17_13TeV.00336567.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d30" : "data17_13TeV.00336630.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10259.p3399_p4397",
"d31" : "data17_13TeV.00336678.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d32" : "data17_13TeV.00336719.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d33" : "data17_13TeV.00336782.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d34" : "data17_13TeV.00336832.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10259.p3399_p4397",
"d35" : "data17_13TeV.00336852.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d36" : "data17_13TeV.00336915.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d37" : "data17_13TeV.00336927.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d38" : "data17_13TeV.00336944.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d39" : "data17_13TeV.00336998.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d40" : "data17_13TeV.00337005.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d41" : "data17_13TeV.00337052.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d42" : "data17_13TeV.00337107.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",
"d43" : "data17_13TeV.00337176.physics_Main.deriv.DAOD_STDM7.r10258.p3399_p4397",

```

Orientado a estudios dentro del modelo estándar.



Procedimiento de alineamiento global

Objetivo: proporcionar la distancia entre el centro del haz y la parte inferior de cada Roman Pot.

- Selección de candidatos exclusivos $\mu\mu$.
- Cálculo de ξ del sistema $\mu\mu$:

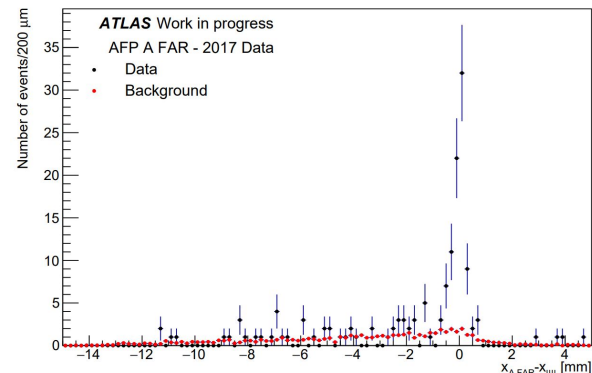
$$\xi_{\mu\mu} = \frac{m_{\mu\mu}}{\sqrt{s}} e^{\pm\eta}$$

- Correspondencia de $\xi_{\mu\mu}$ a una coordenada x prevista, $x_{\mu\mu}$, en la que se debe encontrar un segmento de pista de protones en cada estación AFP.
- Comparación de la pista con posición $x_{\mu\mu}$ y la medida en el AFP, x_{AFP} :

$$\Delta = x_{AFP} - x_{\mu\mu}$$

- Estimación del fondo combinatorio mediante eventos "shifted". Método de Bootstrap.
- Sustracción del background a la señal.
- Ajuste gaussiano sobre distintas variaciones sistemáticas.

Distribución de señal y fondo:



Sustracción de bckg. Ajuste gaussiano:

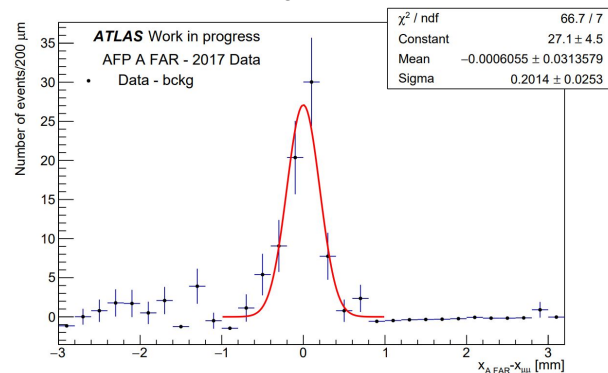


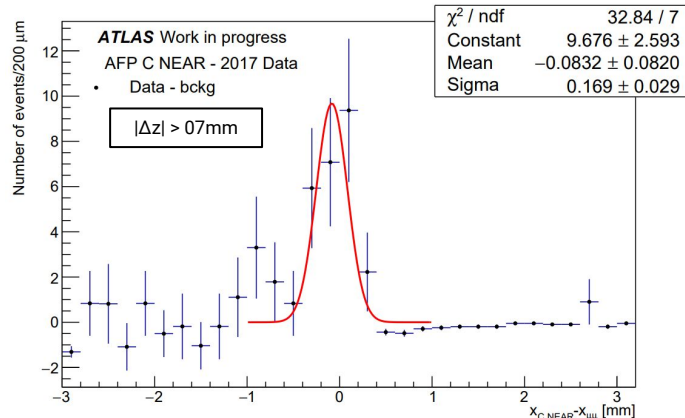
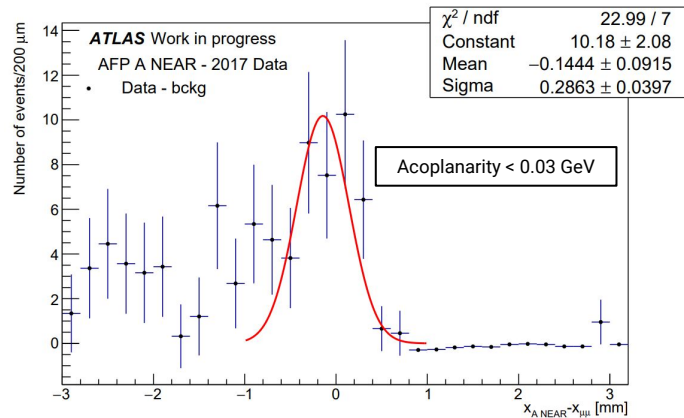
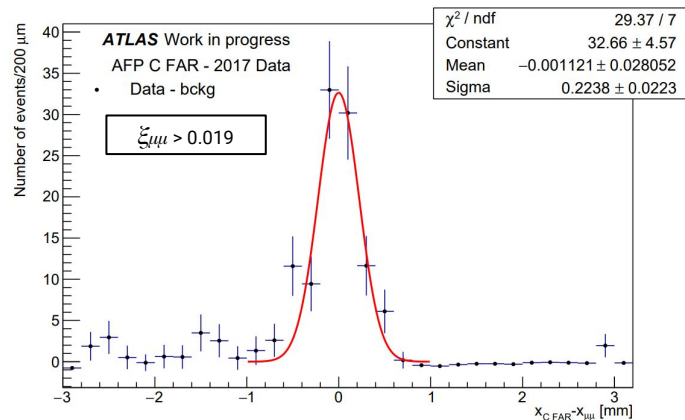
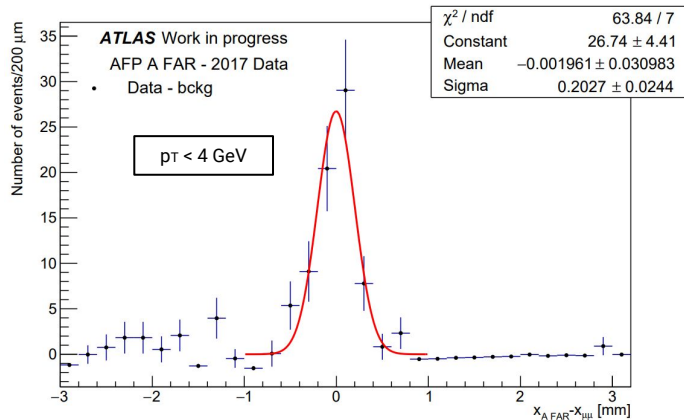


Tabla 1: Criterios de selección de eventos dirigida a la producción exclusiva de fusión de fotones a dos muones.

| Observable | Preselección |
|------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Número de muones | Exactamente dos muones |
| Sabor/carga | $\mu^+ \mu^-$ |
| $p_T(\mu)$ | >15 GeV |
| $m_{\mu\mu}$ | >20 GeV |
| Selección de eventos exclusivos en el detector central | |
| $p_T(\mu\mu)$ | <1.5 GeV |
| Acoplanaridad $1 - \Delta\phi_{\mu\mu} /\pi$ | <0.01 |
| $N_{tracks}^{p_T > 0,5 GeV} [z_0(track, \mu\mu) < 1 \text{ mm}]$ | Exactamente 0 |
| Coincidencia entre el detector central y el AFP | |
| $(\xi_{AFP} - \xi_{\mu\mu})/\xi_{\mu\mu}$ | $<10\%$ |

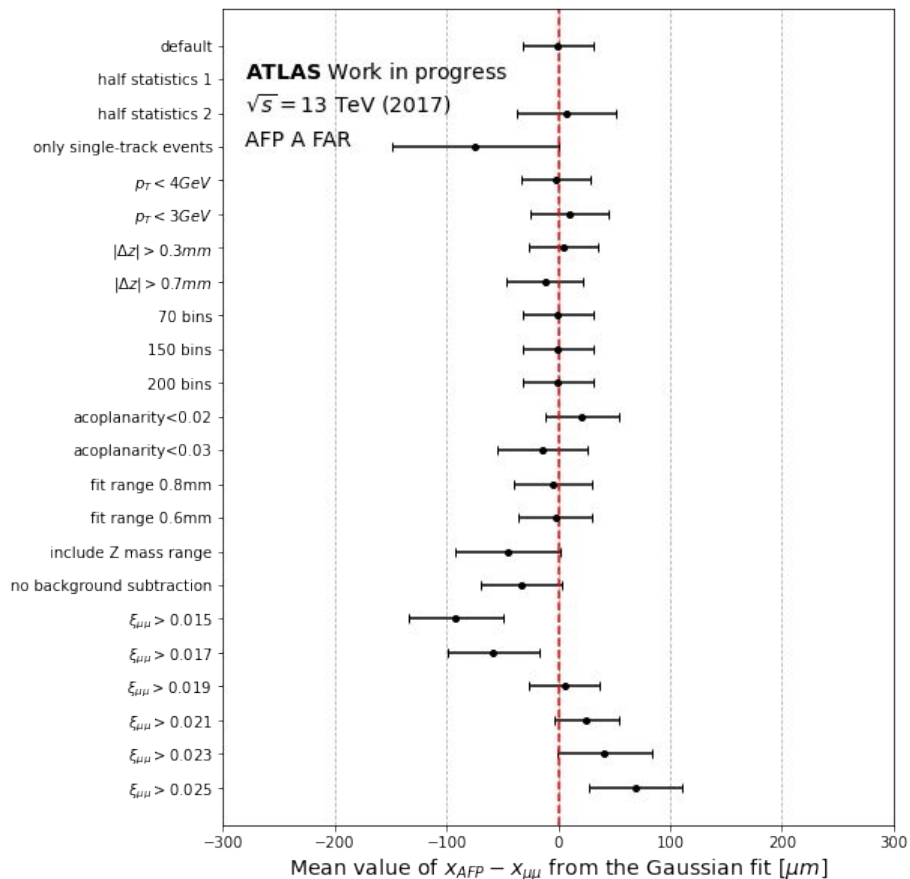


Resultados: Algunos ajustes gaussianos





Incertidumbres sistemáticas sobre la alineación global



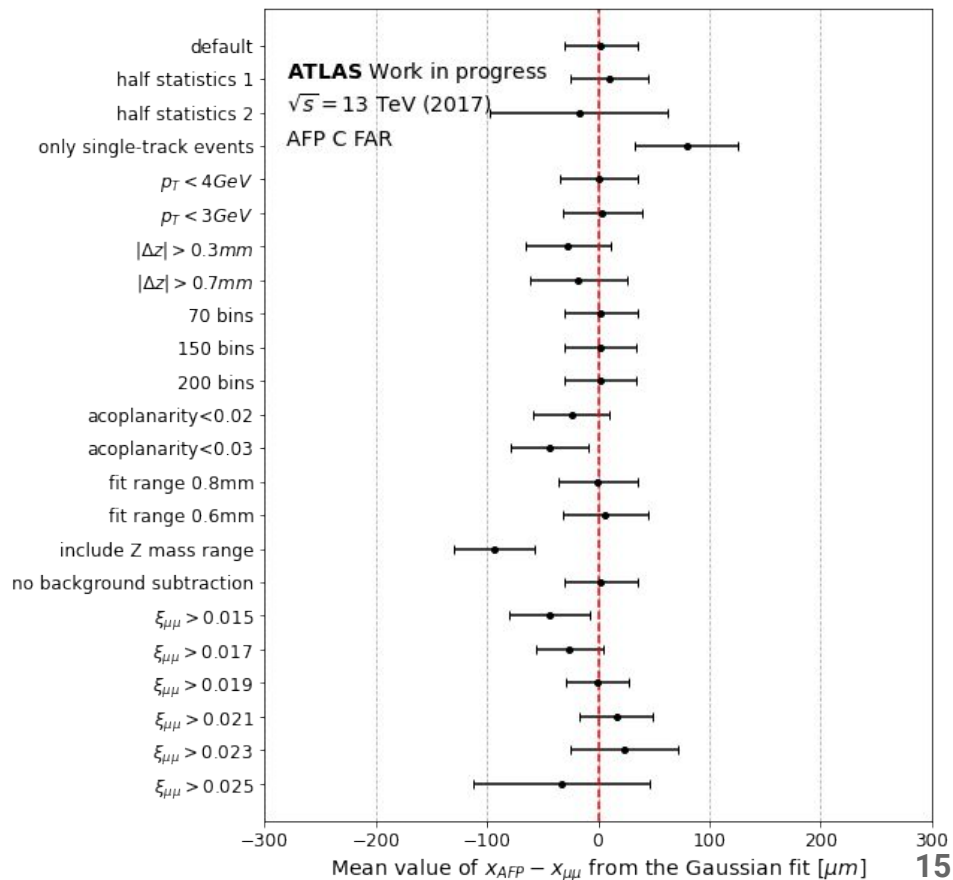
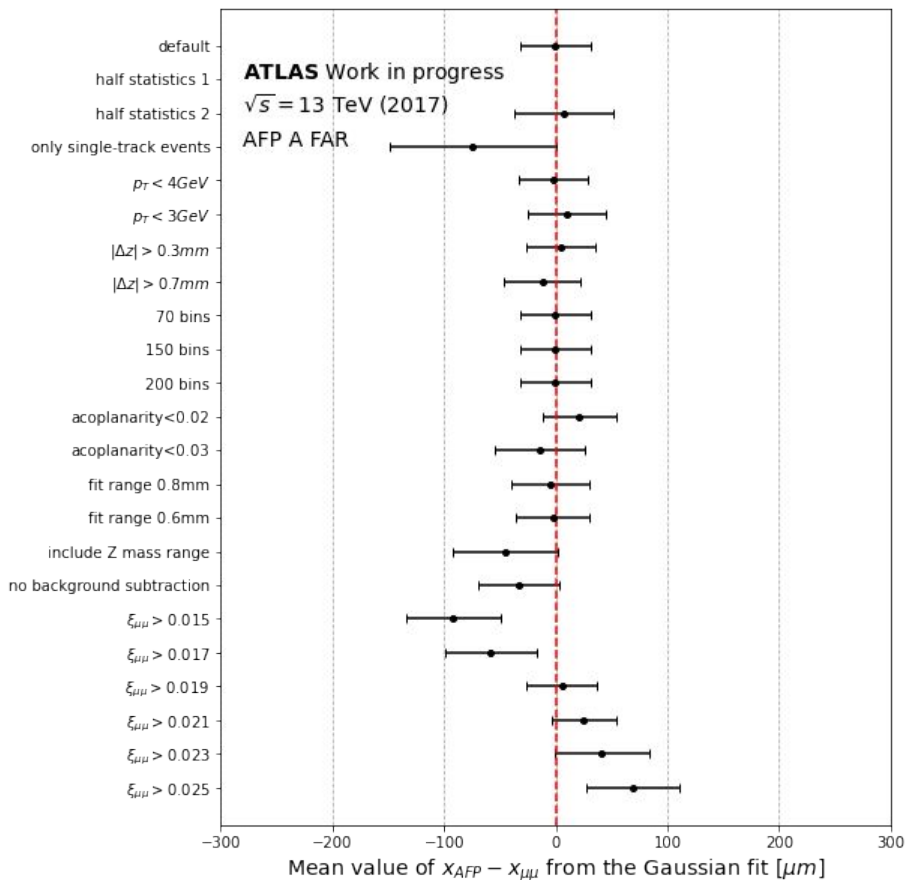
Default corresponde a:

- $\xi_{\mu\mu} > 0.02$.
- 100 bins.
- $p_{T,\mu\mu} < 5$ GeV.
- Acoplanaridad < 0.01.
- Sólo se permiten eventos con tracks adicionales más alejadas que $|\Delta z| > 0.5$ mm del vértice del dimuón.
- Ajuste gaussiano realizado entre $[-1,1]$ mm alrededor de cero.

Las variaciones sistemáticas implican cambiar los parámetros anteriores.

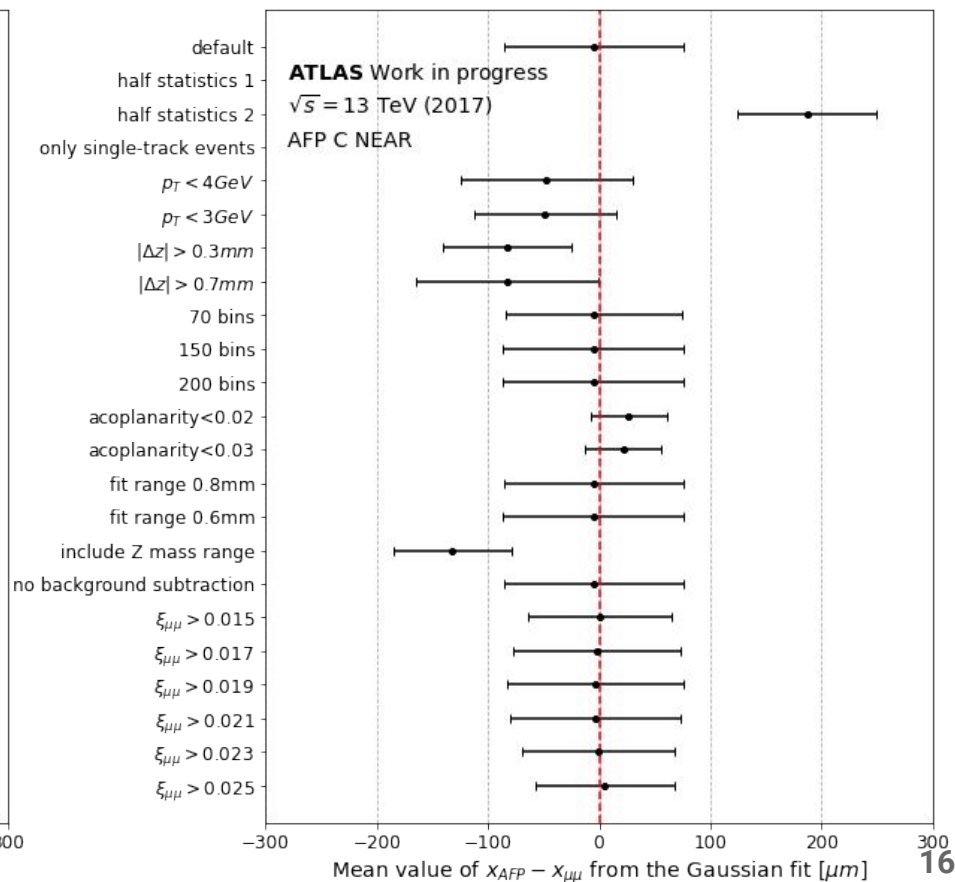
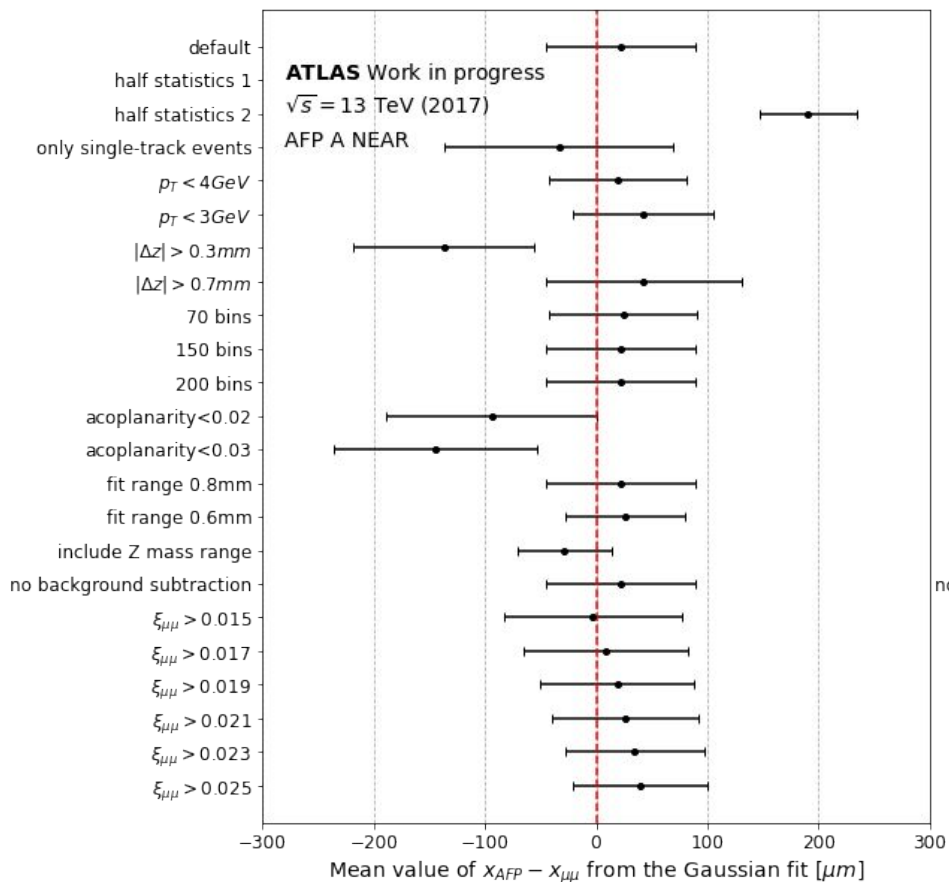


Incertidumbres sistemáticas sobre la alineación global





Incertidumbres sistemáticas sobre la alineación global





Incertidumbre total

Incertidumbre total de cada estación de acuerdo a las variaciones consideradas:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 \dots \sigma_n^2}$$

σ_i , diferencia entre la media de la variación por default y la media de cada una de las variaciones sistemáticas.

Valor máximo asumido por la Colaboración de AFP:
 $\sigma = 300\mu\text{m}$.

| A FAR | |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Variación de incertidumbre | Mayor desviación (σ_i) [μm] |
| half statistics 2 | 7.68 |
| only single-track events | 73.71 |
| $p_T < 3\text{GeV}$ | 10.12 |
| $ \Delta z > 0,7\text{mm}$ | 11.25 |
| 70 bins | 0.36 |
| acoplanarity < 0.02 | 21.82 |
| fit range 0.8mm | 4.27 |
| include Z mass range | 44.92 |
| no background subtraction | 32.48 |
| $\xi_{\mu\mu} > 0,015$ | 91.00 |
| $\sigma \approx 132,55\mu\text{m}$ | |

| A NEAR | |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Variación de incertidumbre | Mayor desviación (σ_i) [μm] |
| half statistics 2 | 168.18 |
| only single-track events | 55.76 |
| $p_T < 3\text{GeV}$ | 20.12 |
| $ \Delta z > 0,3\text{mm}$ | 159.15 |
| 70 bins | 2.17 |
| acoplanarity < 0.03 | 166.84 |
| fit range 0.6mm | 4.34 |
| include Z mass range | 51.04 |
| no background subtraction | 0 |
| $\xi_{\mu\mu} > 0,015$ | 25.19 |
| $\sigma \approx 297,02\mu\text{m}$ | |

| C NEAR | |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Variación de incertidumbre | Mayor desviación (σ_i) [μm] |
| half statistics 2 | 191.79 |
| $p_T < 3\text{GeV}$ | 43.84 |
| $ \Delta z > 0,7\text{mm}$ | 78.24 |
| 70 bins | 0.41 |
| acoplanarity < 0.02 | 31.17 |
| fit range 0.6mm | 0.23 |
| include Z mass range | 127.43 |
| no background subtraction | 0 |
| $\xi_{\mu\mu} > 0,025$ | 9.69 |
| $\sigma \approx 249,26\mu\text{m}$ | |

| C FAR | |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Variación de incertidumbre | Mayor desviación (σ_i) [μm] |
| half statistics 2 | 19.53 |
| only single-track events | 77.38 |
| $p_T < 4\text{GeV}$ | 1.77 |
| $ \Delta z > 0,3\text{mm}$ | 29.67 |
| 70 bins | 0.10 |
| acoplanarity < 0.03 | 45.48 |
| fit range 0.6mm | 4.04 |
| include Z mass range | 95.19 |
| no background subtraction | 0 |
| $\xi_{\mu\mu} > 0,015$ | 46.17 |
| $\sigma \approx 143,28\mu\text{m}$ | |



1. Posterior a la selección de eventos, se reduce significativamente la estadística.
2. Se evaluaron las incertidumbres sistemáticas para cada una de las cuatro estaciones de AFP.
3. Las incertidumbres estadísticas de las variaciones sistemáticas estudiadas, son mayores en las estaciones NEAR que en las tipo FAR.
4. El método de alineamiento global se basa en estimar la diferencia entre las posiciones de los protones en el plano horizontal reconstruidos desde el detector central ATLAS ($x_{\mu\mu}$) y aquellas medidas en el detector AFP (x_{AFP}); las estaciones FAR tienen una mejor respuesta al método de alineamiento global, respecto a las estaciones NEAR.
5. Los resultados obtenidos están en concordancia con estudios previos realizados en la Colaboración de ATLAS, para el mismo conjunto de datos.
6. Los resultados obtenidos de la incertidumbre total en cada estación, se encuentran por debajo del establecido por la colaboración de AFP.

Backup





- [1] Liu, Jesse, "The Alignment of the ATLAS Forward Proton Detectors," University of Chicago , Jul 2020. [Online]. Available: <https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/3813694/attachments/2082457/3498110/ICHEP-AFP-alignment-30-Jul-2020-JL.pdf>
- [2] ATLAS Collaboration, "Technical Design Report for the ATLAS Forward Proton Detector," Tech. Rep., May 2015. [Online]. Available: <https://cds.cern.ch/record/2017378>
- [3] ATLAS Collaboration, "Observation and Measurement of Forward Proton Scattering in Association with Lepton Pairs Produced via the Photon Fusion Mechanism at ATLAS," Phys. Rev. Lett., vol. 125, p. 261801, Dec 2020. [Online]. Available: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.125.261801>
- [4] M Trzebinski, "Study of QCD and Diffraction with the ATLAS detector at the LHC", 2013. Presented 20 Sep 2013. [Online]. Available: <https://cds.cern.ch/record/1616661>
- [5] G. Aad et al, "Observation and measurement of forward proton scattering in association with lepton pairs produced via the photon fusion mechanism at atlas", Phys. Rev. Lett., 125:261801, Dec 2020. [Online]. Available: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.125.261801>.



<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



Lic. Oscar Altuve Pabón
oaltuvep@cern.ch



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.