

# Espectro de partículas cargadas en diferentes estados finales de colisiones protón-protón a $\sqrt{s} = 13$ TeV en el experimento CMS del LHC.

Laila Vleeschower Calas<sup>1,2</sup>

Supervisores: Juan M. Grados Luyando<sup>2</sup>, Hannes Jung<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

<sup>2</sup>Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY)

3 de noviembre de 2016

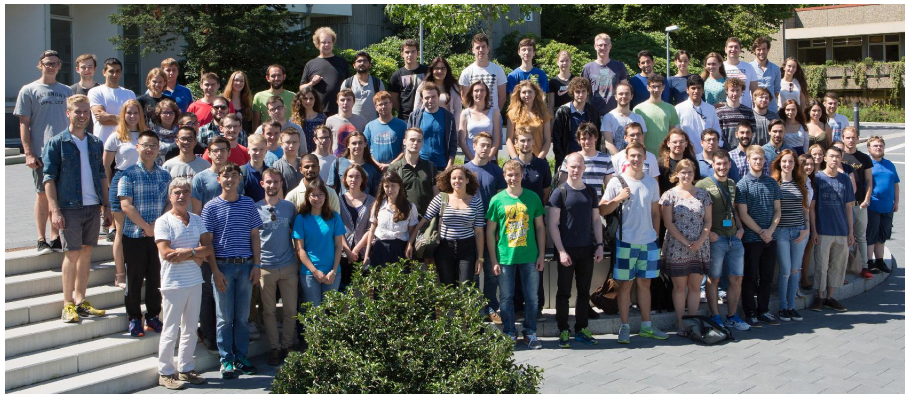


# SUMMER STUDENTS.

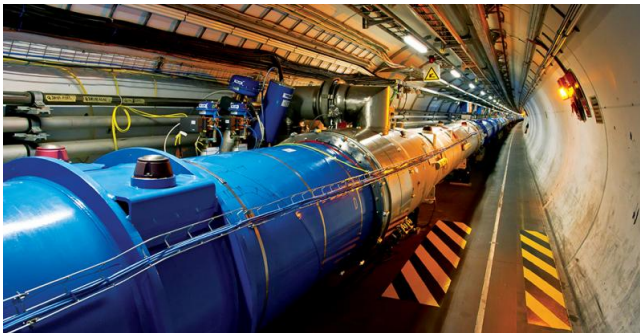
DESY International Summer Student Program 2016  
19 July to 8 September



# Introducción



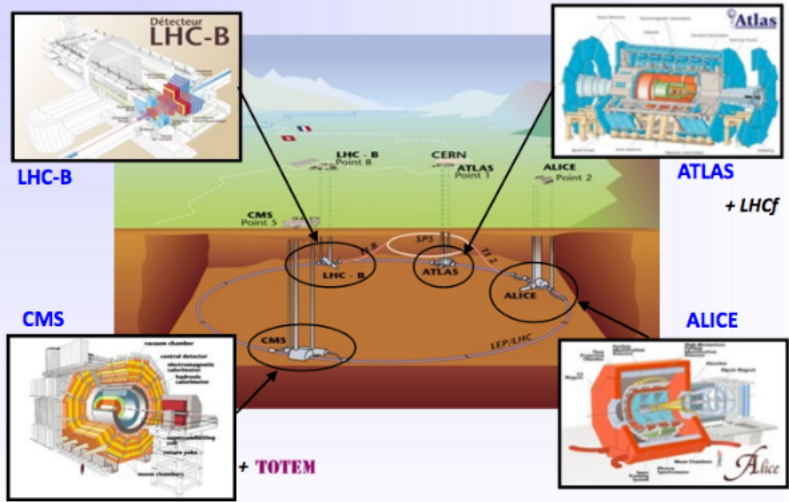
# DESY y el LHC



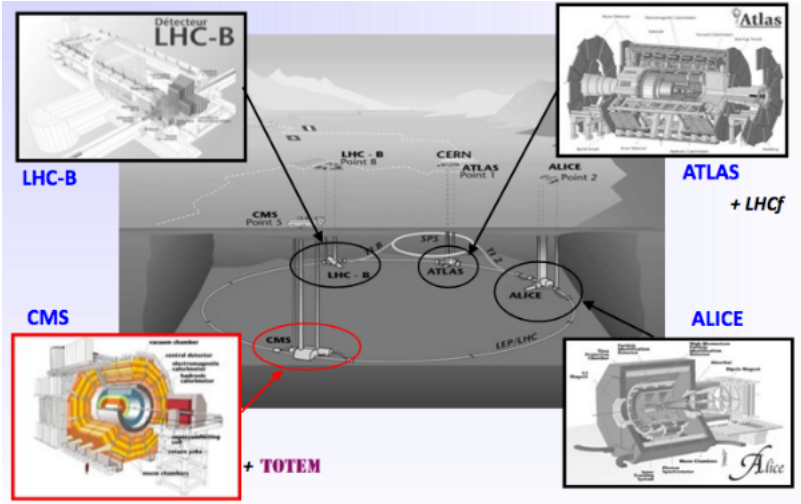
El Gran Colisionador de Hadrones es el acelerador de partículas más grande y poderoso del mundo (Imagen: CERN).

DESY cuenta con más de 100 investigadores trabajando en el LHC.

# DESY y el LHC



# DESY y el LHC

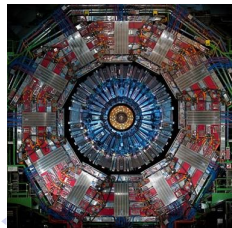


# Experimento CMS

El **Solenoid Compacto de Muones** (en inglés Compact Muon Solenoid, CMS), es un detector capaz de estudiar múltiples aspectos de las colisiones de protones a 14 TeV. Puede medir: energía y cantidad de movimiento de fotones, electrones, muones y otras partículas producto de las colisiones.

Características:

- Tamaño relativamente compacto.
- Optimizado para detectar muones.
- Cuenta con un potente imán solenoidal.

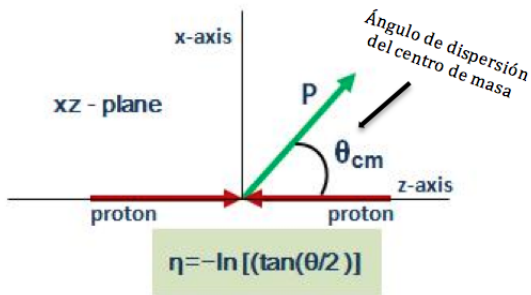


# Observables

Las observables medidas en este trabajo fueron:

- Pseudorapidez ( $\eta$ ):

Coordenada espacial que describe el ángulo de una partícula en relación con el eje del haz.



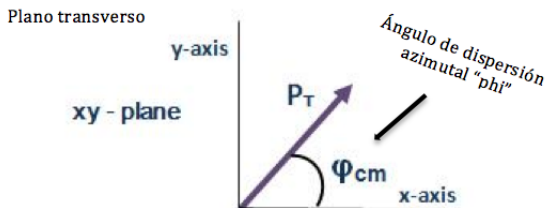


# Observables

Las observables medidas en este trabajo fueron:

- Momento transverso ( $p_T$ ):

Escogiendo la dirección del haz en el eje z, el momento transverso está dado por:



$$P_T = P \cdot \sin \psi_{cm}$$

# Observables

Las observables medidas en este trabajo fueron:

- Sección eficaz ( $\sigma$ ):

- Es la probabilidad de que dos partículas que colisionan exhiban una reacción específica.

- Está expresado en términos de área.

# Introducción

Procesos de dispersión en los colisionadores de hadrones a altas energías pueden ser:

## Fuertes:

- Gran transferencia de momento transversal (alto  $p_T$  o gran masa en el estado final).
- Escalas de energías altas  $\rightarrow$  quarks y gluones pueden ser considerados como partículas libres dentro del protón.
- Pueden ser predichos con alguna precisión usando Cromo Dinámica Cuántica perturbativa (pQCD).

# Introducción

Procesos de dispersión en los colisionadores de hadrones a altas energías son clasificados:

## Suaves:

- Dominan las secciones eficaces de las dispersiones hadrónicas
- Escala de energía de ( $1 \text{ fm} \approx 200 \text{ MeV}$ ) y bajo momento transversal
- Efectos no perturbativos!!

# Colisiones protón-protón ( $pp$ )

En las colisiones protón-protón, las interacciones pueden ser clasificadas por las características de sus estados finales:

- **Elásticas:** No se producen otras partículas.
- **Inelásticas:** El estado inicial y final de las partículas no es el mismo. Pueden ser difractivas o no difractivas.

Una **difracción** ocurre cuando uno o dos Pomerones ("partícula" sin carga de color) son intercambiados.

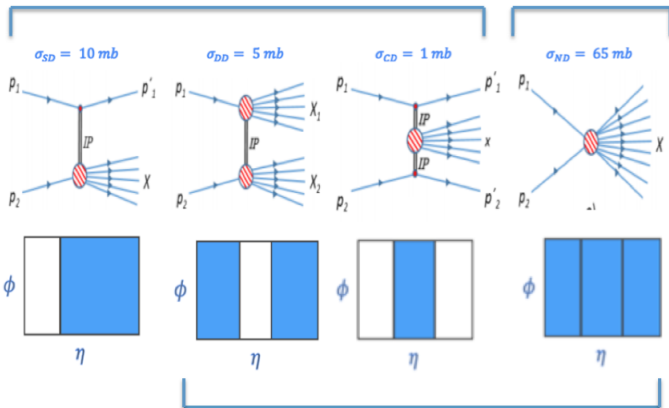
La sección eficaz total ( $\sigma_{tot}$ ) es calculada como:

$$\sigma_{tot} = \sigma_{el} + \sigma_{inel} = \sigma_{el} + \sigma_{SD} + \sigma_{DD} + \sigma_{CD} + \sigma_{ND} \quad (1)$$

# Colisiones Inelásticas

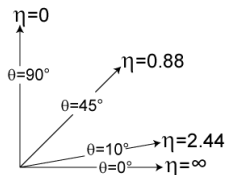
Difractivo

No Difractivo



No solo una difracción (NSD)

# Pseudorapidity

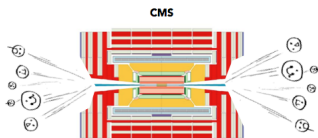


Conforme el ángulo polar se aproxima a cero, la pseudorapidez tiende a infinito. (Imagen: Wikipedia).

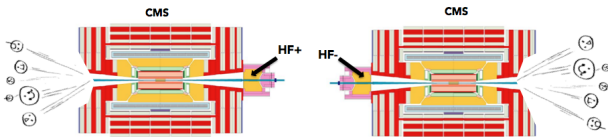
# Selección de eventos

- Al menos una partícula cargada en  $|\eta| < 2.4$  (Tracker acceptance) → **Inclusive.**
- Eventos con al menos una partícula con  $E_{part} > 5\text{GeV}$  en las regiones delanteras del detector:  $3 < |\eta| < 5$  (HF acceptance).

**NSD enhanced:** Al menos una partícula con  $E_{part} > 5\text{GeV}$  en ambas regiones delanteras.



**SD enhanced:** Al menos una partícula con  $E_{part} > 5\text{GeV}$  en solo una región delantera.





# Motivación

- Estudiar la región de transición perturbativa  $\rightarrow$  no perturbativa.
- Estudiar los efectos de Múltiples Interacciones de Partones (MPI).

Midiendo el espectro de partículas cargadas para diferentes estados finales.

Para partículas cargadas con  $p_T > 0.5$  GeV en  $|\eta| < 2.4$ .

Para ésto, el paquete RIVET\* fue usado con predicciones de PYTHIA 8 generador de Monte Carlo (MC), usando el tune CUETP8s1.

\*Robust Independent Validation of Experiment and Theory.

# Herramientas

## PYTHIA 8, generador de eventos Monte Carlo

- Programa de simulaciones computacionales para colisiones de partículas a muy altas energías.
- Buena herramienta para generar interacciones multi partónicas.

## RIVET

- Sistema para validación de generadores de eventos Monte Carlo, proporcionando un gran conjunto de análisis experimentales.
- Proporciona un marco para implementar análisis propios.

## CUETP8s1

- Tune usado para hacer las predicciones.
- Tiene diferentes modos y parámetros.

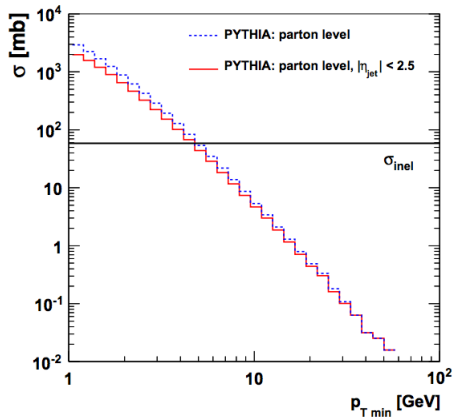
La mayoría de los estados finales de hadrones producidos en colisiones  $pp$  surgen de la hadronización de quarks y gluones dispersados a través de interacciones suaves o fuertes.

En interacciones de procesos fuertes, a valores de bajo  $p_T$ , la sección eficaz integrada:

$$\sigma(p_T^{min}) = \int_{p_T^{min}} (d\sigma/dp_T^2) dp_T^2$$

es divergente y eventualmente excede la sección eficaz  $pp$  total inelástica,  $\sigma_{inel}$ .

# Motivación



DOI: 10.1103/PhysRevD.86.117501

$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ . La sección eficaz partónica es más grande que  $\sigma_{\text{inel}}$ .

# Motivación

La divergencia es regularizada con la introducción de un parámetro llamado  $p_{T,0}$ .

$$\frac{d\sigma_{2\rightarrow 2}}{dp_T^2} \propto \frac{\alpha_s^2(p_T^2)}{p_T^4} \rightarrow \frac{\alpha_s^2(p_T^2 + p_{T,0}^2)}{(p_T^2 + p_{T,0}^2)^2}$$

Después de arreglar el comportamiento divergente, la sección eficaz partónica continua siendo más grande que la  $\sigma_{inel}$ .

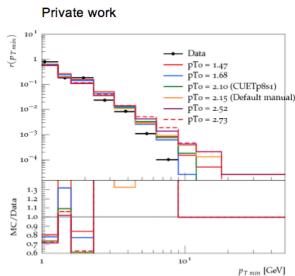
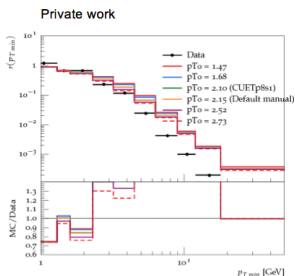
Este exceso es interpretado como la presencia de MPI de forma tal que  $\sigma_{2\rightarrow 2}$  no exceda  $\sigma_{inel}$ .

# Efectos $p_{T,0}$ en distribuciones integradas $p_{T,leading}$

$$\sigma(p_T^{min}) = \frac{1}{N_{evt}} \int_{p_T^{min}} (dN/dp_T^{lead}) dp_T^{lead}$$

NSD enhanced:  $E_{part} > 5$  GeV in  
 $-5 < \eta < -3$  and in  $3 < \eta < 5$ .

SD+ enhanced:  $E_{part} > 5$  GeV in  
 $3 < \eta < 5$  and NOT in  $-5 < \eta < -3$ .



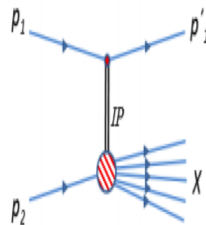
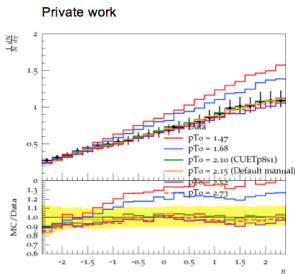
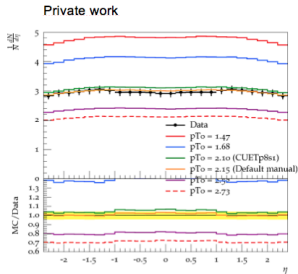
(Izquierda): “patrón” para valores  $p_{T,0}$ : para  $\nearrow$  alcanzamos la saturación antes que para  $\searrow$ .  
 (Derecha): SD sin patrón  $\Rightarrow$  está debajo de la escala de  $p_{T,0}$ :  $\rightarrow$  SD insensitivo a  $p_{T,0}$

# Efectos $p_{T,0}$ en distribuciones $\eta$

Selección: inclusive  $pp$

SD+ enhanced:  $E_{part} > 5$  GeV en  
 $-5 < \eta < -3$  & NO en  $3 < \eta < 5$ .

Disociación SD



(Izquierda): La forma de la distribución de  $\eta$  no cambia bajo variaciones de  $p_{T,0}$

Para bajo  $p_{T,0} \Rightarrow$  mayor cantidad de partículas, y viceversa.

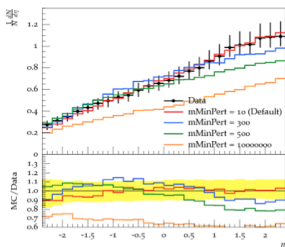
(Derecha): En el lado opuesto del sistema disociado, no hay mucha diferencia ante variaciones de  $p_{T,0}$ .

# Contribuciones soft and hard para proc. difract.

mMinPert = Masa mínima del sistema difractivo producido perturbativamente.

SD+ enhanced:  $E_{part} > 5\text{GeV}$  in  
 $3 < \eta < 5$  and NOT in  $-5 < \eta < -3$

Private work



Para  $mMinPert >$  energía del centro de masa (CME) no hay descripción perturbativa.

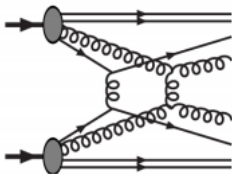
Menos partículas son producidas cuando tenemos sólo procesos soft.

Una pequeña cantidad de partículas del sistema difractivo puede alcanzar el lado del tracker de los protones dispersados, estas parecen no ser afectadas por descripciones soft or hard.



# Múltiples Interacciones de Partones

Los protones están compuestos de tres quarks de valencia y muchos gluones que unen a los quarks, cuando los protones interactúan, pueden ocurrir múltiples interacciones parton-parton.

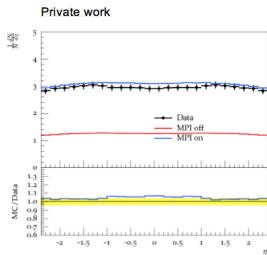


Sketch de Múltiples Interacciones de Partones.

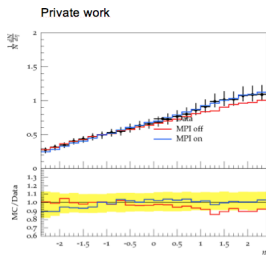
En PYTHIA 8, es posible agregar o quitar las contribuciones de MPI.

# Efectos MPI en distribuciones $\eta$

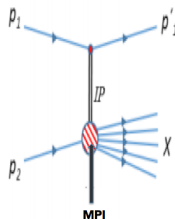
Selection: inclusive  $pp$



SD+ enhanced:  $E_{part} > 5$  GeV in  
 $-5 < \eta < -3$  & NOT in  
 $3 < \eta < 5$ .



Disociación SD



(Izquierda): MPI off da  $\sim 3$  veces menos partículas por bin.

MPI es importante para tener una buena descripción de los datos.

(Derecha): En el lado opuesto del sistema disociado, MPI no tiene una contribución fuerte.

# Resumen

Estudiamos:

Los efectos del parámetro regulizador  $p_{T,0}$

Las contribuciones de dispersiones soft and hard

La importancia de las múltiples interacciones de partones.

# Conclusiones

- Variaciones de  $p_{T,0}$ , para el caso Inclusive, tienen un gran efecto en las distribuciones del  $p_{T,leading}$  integrado y no tenemos efectos notables en el caso de SD enhanced.
- El balance entre las descripciones soft and hard es importante para producir la cantidad correcta de partículas.
- MPI es esencial para describir las distribuciones de pseudorapidez.
- PYTHIA 8 incluye MPI para SD solamente en el sistema Pomeron-protón.
- Los eventos difractivos abren una nueva ventana para entender la interacción de la física perturbativa y la no perturbativa.



¡Gracias!

# Agradecimientos






Gracias a todas las personas que hicieron este verano posible, a DESY y al grupo CMS por darme la oportunidad de ser parte del equipo como una summer student. En especial a mis supervisores Juan Grados y Hannes Jung.

Gracias a la Sociedad Mexicana de Física (SMF).

Gracias a mis profesores, en especial al Dr. Lizardo Valencia Palomo.

Gracias a Dios y a mi familia.

# Referencias

-  V. Barone & E. Predazzi, *High-Energy Particle Diffraction*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. **47** (2002) p 1-6.
-  V.N. Gribov, JETP Lett, **41** (1961) 667.
-  P. D. Collins, *An Introduction to Regge Theory and High-Energy Physics*, CUP (1977)
-  M. Deile *et al.* [TOTEM Collaboration], *Diffraction and Total Cross-Section at the Tevatron and the LHC*. (9 Feb 2006).
-  T. Sjöstrand, *et al.*, *An Introduction to PYTHIA 8.2*, Comput.Phys.Commun. **191** (2015) 159-177.

# Fotos





# Fotos



# Fotos



# Fotos



# Fotos



# Fotos



# ¡Gracias!