



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE FÍSICA**

**ANEXO A: PLAN DEL PROYECTO**

<b>PROPUESTO POR:</b> Tirso Alejandro Gómez Espinosa	<b>ÁREA DEL TEMA:</b> Física de Altas Energías
<b>AUSPICIADO POR:</b> Dr. Edgar Carrera Jarrín	<b>FECHA:</b> 17 de Octubre 2011

**1 Tema o Título del Proyecto**

BÚSQUEDA DE BOSONES ESCALARES PESADOS QUE DECAEN EN CUATRO QUARKS CIMA EN EL GRAN COLISIONADOR DE HADRONES.

**2 Planteamiento del Problema**

El Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del Centro Europeo de Reacciones Nucleares (CERN), ubicado en la frontera franco-suiza, está explorando nuevas fronteras de energía en el orden de los teraelectronvoltios (TeV), razón por la cual muchas extensiones del Modelo Estándar (SM) de la Física de Partículas están siendo analizados. Entre los primeros descubrimientos que el LHC podría hallar, se encuentran modelos efectivos que incluyen nuevas partículas en solitario [1], como por ejemplo nuevo bosones pesados también llamados colorones.

Varias teorías más allá del SM, como Technicolor, modelos de Higgs compuesto o modelos con dimensiones extra predicen bosones escalares pesados que surgen a partir de la ruptura espontánea del grupo extendido de gauge  $SU(3)_1 \times SU(3)_2$  en su subgrupo diagonal  $SU(3)_c$  identificado con la simetría de gauge de la Cromodinámica Cuántica (QCD) [1]. Estos bosones pueden decaer predominantemente en pares de quarks cima-anticima dependiendo de su cinemática. Dobrescu, et al., (2008) sugieren que en el LHC a una energía del centro de masas de 14 TeV con  $1 \text{ fb}^{-1}$  de datos, las masas de estos bosones podrían ser de 1 TeV (actualmente el LHC corre con energías de centro de masas de 7 TeV pero ha acumulado mayor número de datos).

En este estudio se utilizarán datos tomados por el detector Solenoide Compacto de Muones (CMS) del LHC para buscar a dicha partículas cuando decaen en cuatro quarks cima. De acuerdo al SM, este tipo de decaimiento no es muy probable; de hecho, su sección eficaz se encuentra por debajo del  $1 \text{ fb}$  a una energía del centro de masas de 7 TeV [2], por lo que su detección significaría una prueba de la existencia de nueva física más allá del SM. Además, los quarks cima juegan un papel preponderante en muchas teorías naturales de rompimiento espontáneo de simetría electrodébil, uno de los principales objetivos del LHC [3].



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FÍSICA

### 3 Formulación y Sistematización del Problema

#### 1.1 Formulación

La producción de bosones pesados constituye uno de los posibles escenarios que expliquen el rompimiento de simetría electrodébil, interrogante que el SM no ha podido resolver y una de las metas principales del LHC. Entre los bosones pesados que han sido propuestos por los físicos teóricos se encuentran los colorones, bosones escalares que por ser muy masivos comparados con las partículas conocidas pueden decaer en cuatro quarks cima [5]. Debido a su masa, posiblemente del orden de los TeV, los experimentos del acelerador de partículas Tevatron del Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi (Fermilab) no han sido capaces de encontrar señales determinantes que puedan comprobar la existencia de estas partículas [11]. Ahora, con el LHC, la búsqueda de colorones es viable debido a la alta energía con la que este acelerador puede colisionar partículas y a los diferentes experimentos, como CMS, capaces de detectar estos eventos.

Este trabajo se enfocará en buscar la posibilidad de detectar dichos colorones con la cantidad de datos tomados por el experimento CMS y a la energía con la que trabaja actualmente el LHC. El descubrimiento de estas partículas, caracterizadas por el la detección de cuatro quarks cima en un evento, constituiría, sin lugar a dudas, una clara señal de física más allá del SM y una nueva pista para el entendimiento del comportamiento del Universo.

#### 1.2 Sistematización

Los colorones suponen un escenario rico en quarks cima en los estados finales, por su gran masa, que a su vez resultan en eventos con muchos jets y al menos un lepton [3]. Este escenario, que requiere de al menos ocho jets, reduce de manera significativa cualquier proceso de fondo del SM. Incluyendo las contribuciones de la cinemática, como la del decaimiento del bosón W, estos procesos de fondo se reducen aproximadamente al orden de  $10^{-6}$  [3].

El Detector de Colisiones del Fermilab (CDF) ha realizado la búsqueda de estos bosones pesados, centrándose en la resonancia de dos jets provenientes de quarks fondo. Sus resultados preliminares han sugerido una masa de mayor a 140 GeV para estos tipos de bosones con energía de centro de masas de 1.96 TeV, energía con la que finalizó su trabajo el Tevatron [12]. Sin embargo este estudio se encuentra limitado por las capacidades de este acelerador y principalmente por asumir que la fracción de decaimiento sea la misma para todos los quarks [5]. Dobrescu, et al., (2008) sugieren que para obtener una significancia estadística de cinco sigma en el Tevatron, la masa de estos colorones debería ser mayor a 320 GeV en un estado final con dos jets y dos quarks fondo a una luminosidad integrada de  $4 \text{ fb}^{-1}$ .

En el caso del LHC, al ser un colisionador de mayor energía donde predominan gluones en el estado inicial, esta suposición puede ser eliminada y el análisis de cuatro quarks cima o multijets en el estado final es posible. Aquí, con una energía de centro de masas de 14 TeV y una luminosidad de  $10 \text{ fb}^{-1}$ , se estima que se puede alcanzar una significancia de cinco sigma para este



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FISICA

tipo de señales para masas cercanas o superiores a 0.92 TeV [5].

En este trabajo, los bosones escalares pesados provenientes de colisiones de protones decaerán en pares cima-anticima y éstos a su vez decaerán preferiblemente en un par de partículas conformadas por el bosón W y un quark fondo. Debido al confinamiento de color, el quark fondo se hadronizará provocando un chorro de partículas que se mostrarán en el detector. Además, el bosón W decaerá en cualquiera de sus variantes hadrónicas o leptónicas muy conocidas en el SM; si éste decae hadrónicamente como el SM, producirá otros jets que se podrán observar en el detector. De acuerdo a la literatura señalada, éstos bosones, si existen, se generarán en pares por lo que el proceso antes mencionado se duplica. La detección de estos escalares será un proceso donde el detector registre señales multijets, cuya sensibilidad de acuerdo a Gregoire, et al., (2011) estará en el rango de 1-10 pb.

## 2 Objetivos de la Investigación

### 2.1 Objetivo General

Buscar Bosones Escalares Pesados exóticos (más allá del modelo estándar de la física de partículas), también llamados colorones, que decaen en cuatro quarks cima mediante el análisis de los datos tomados por el detector CMS del LHC del laboratorio CERN.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Analizar los datos correspondientes a más de  $5 \text{ fb}^{-1}$  de luminosidad integrada recolectados por el experimento CMS.
- Implementar la simulación de la señal de colorones que decaen en cuatro quarks cima bajo la plataforma de análisis del experimento CMS.
- Modelar y estimar los procesos de fondo para este análisis.
- Diseñar y optimizar los cortes de selección para el análisis.
- Confirmar o descartar la presencia de los colorones usando técnicas estadísticas utilizadas en física de altas energías.
- Presentar los resultados parciales y finales a una colaboración multinacional como la del CMS de forma continua mediante videoconferencias.
- Redactar una nota de análisis interno del CMS y un artículo científico para una revista indexada con revisión de pares.



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FÍSICA

### 3 Justificación del Proyecto

#### 3.1 Justificación Teórica

El Gran Colisionador de Hadrones está explorando nuevas fronteras de energía más allá de lo que nuestra teoría actual, el Modelo Estándar de la Física de Partículas, ha establecido. Actualmente varias nuevas teorías se están poniendo a prueba dentro de varios de los experimentos que conforman el LHC y los bosones escalares pesados son una posibilidad más que no ha sido tan intensamente investigada [4].

Existe una variedad de modelos que requieren de la existencia de este tipo de partículas identificadas con la ruptura de simetría de gauge asociada a la QCD, como en modelos de color de Higgs compuesto o en teorías technicolor, donde se cree que éstas pueden ser partículas compuestas [4]. Las partículas colorones también están motivadas por modelos con dimensiones extra, donde su existencia constituiría una prueba de dimensiones enrolladas a baja escala; también han sido propuestas como una prueba de la naturaleza del rompimiento electrodébil de simetría en los colisionadores hadrónicos [2].

Para el caso de bosones escalares pesados, el experimento CDF del Fermilab ha estado involucrado en su búsqueda pero enfocándose en tres jets en el estado final acotando la masa de una de éstas partículas en el rango de 140-150 GeV [12]. El otro gran experimento con el que contaba el Tevatron, D0, no podía hallar una señal de este tipo debido a su topología [12].

Una ventaja de éstos bosones es que, de existir, serán producidos en abundancia en las colisiones protón-protón del LHC independientemente del modelo en estudio [4]; asumiendo que sus masas se encuentren en el rango de los TeV [1]. Dobrescu, et al., (2008), Gerbush, et al., (2008) y Lillie, et al., (2008) por citar algunos, han predicho que, teóricamente, éstos colorones decaerán preferiblemente en pares de quarks cima-anticima. Un evento de esta naturaleza, con cuatro quarks cima, es sin lugar a dudas un evento fuera del SM [2].

Además, desde el punto de vista experimental, esta búsqueda supone un esfuerzo considerable debido a que implica trabajar con señales multijets y multipartículas. Esto debido a que es ampliamente conocido que los quarks cima decaen preferiblemente en pares constituidos por un bosón W y un quark fondo, con los bosones W decayendo hadrónicamente o leptónicamente [9], por lo que un evento con cuatro quarks cima significaría obtener señales con al menos cuatro jets.

#### 3.2 Justificación Metodológica

El análisis de eventos en detectores como CMS supone un gran reto tanto informático como de ingeniería. Actualmente, CMS trabaja en su entorno informático optimizado para brindar a sus usuarios de herramientas eficaces y rápidas para realizar este tipo de estudios [10], llamado CMSSW. Para la realización de este análisis, dentro de este entorno, se va a desarrollar el algoritmo que permitirá elaborar la búsqueda de estos bosones.

Básicamente, el proceso requiere la generación de eventos para este decaimiento, y sus procesos de fondo, además de su posterior reconstrucción en el simulador dentro de los parámetros del



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FÍSICA

detector CMS. Una vez realizado este proceso, se procederá con la construcción de los algoritmos de análisis dentro de CMSSW para poder contrastar estos resultados con los datos tomados por CMS.

Para esto se requiere una sólida comprensión tanto de las funcionalidades del detector como de las herramientas del entorno CMSSW (escrito en el lenguaje C++ y Python). Esto genera una valiosa construcción de capacidad dentro de las herramientas comúnmente utilizadas en los análisis de la Física de Altas Energías. Finalmente, todas las herramientas utilizadas y desarrolladas en este análisis constituirán una buena base para proyectos futuros similares, contribuyendo en el progreso dentro de la Colaboración CMS como del conocimiento en Física de Partículas.

#### 3.3 Justificación Práctica

Este proyecto, al ser un proyecto de ciencia básica, busca en esencia incrementar el conocimiento humano. La confirmación o no, de la existencia de estos bosones, implica un aporte fundamental al conocimiento de la estructura del universo. Al tratarse de un análisis de vanguardia, se tiene planificado realizarlo en el Centro de Física del LHC (LPC) ubicado en el Fermilab para poder contar con la colaboración de algunos de los más grandes científicos de la actualidad.

A largo plazo, se prevé que al realizar este análisis dentro de la Colaboración CMS, conformada por científicos de todo el planeta y con la colaboración del LPC, se pueden crear oportunidades inigualables de colaboración entre científicos internacionales y nacionales que sin duda serán muy útiles para el futuro desarrollo de este ámbito de la Física en el país. A corto plazo, el aprendizaje del manejo de tecnología de punta que se empleará en el transcurso de este estudio, como el entorno informático CMSSW o el sistema de red de computadoras GRID, supone una transferencia de conocimiento directo para científicos ecuatorianos.

## 4 Marco de Referencia

### 4.1 Marco Teórico

La producción de colorones constituye uno de los posibles escenarios que explicarían si el rompimiento de simetría electrodébil ocurre como una solución natural al problema de jerarquías, interrogante que el SM no ha podido resolver. Debido a su carácter muy masivo, si podemos detectar estos bosones en el LHC, posiblemente los podremos encontrar en eventos con estados finales que contengan una tasa significativa de las partículas más pesadas conocidas, los quarks cima [3].

Estas partículas se encuentran presentes en varias teorías entre las que se puede mencionar los technipiones de la teoría Technicolor o los modos de Kaluza-Klein de gluones polarizados en dimensiones extra del Modelo Estándar de Seis Dimensiones [12]. Además en modelos que incluyen piones meta-estables que interactúan débilmente, en teorías de confinamiento de partículas vectoriales o inclusive como sgluones de modelos Supersimétricos [5].



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FISICA

Tanto el Tevatron como el LHC son colisionadores hadrónicos que permiten una alta producción de nuevas partículas con carga de color, que al hadronizarse producen varios rastros en el detector en forma de jets. A pesar que la separación de estos jets de su señal de fondo es complicada, jets que se originan de quarks fondo reducen substancialmente su señal de fondo. Los bosones escalares pesados son los más simples de estas partículas hipotéticas que pueden decaer en jets provenientes de quarks fondo [12].

Gracias a que la producción de estas partículas en el LHC sería un proceso dominado por gluones en el estado inicial, este tipo de análisis es independiente del modelo [5]. Estos escalares, como sugiere Bai, et al., (2011), pueden ser producidos en pares a través de acoples QCD de gluones y éstos a su vez decaer a través de operadores de dimensiones extra a pares de quarks pesados como el quark cima o el quark fondo. Se estima que debido a la masa de estos bosones, del orden de los TeV, éstos podrían decaer en cuatro quarks cima o en cuatro quarks fondo [5]. Dobrescu, et al., (2008) indican que la sección eficaz de producción de este tipo de decaimientos sería veinte veces mayor que de la de un quark de igual masa. Además, indican que para alcanzar una significancia estadística de cinco sigma con estados finales caracterizados por cuatro b-jets, la masa de estas partículas podrían estar en el rango de 0.75 a 1.0 TeV con  $10 \text{ fb}^{-1}$  a una energía de centro de masas de 14 TeV.

#### 4.2 Marco Conceptual

- Modelo Estándar (de la Física de Partículas): es la teoría concerniente a las interacciones electromagnéticas, débiles y fuertes que median la dinámica de las partículas subatómicas conocidas.
- Evento: conjunto de señales en el detector que resultan de una colisión protón-protón en el LHC, o muchas otras colisiones, sea en CMS o como producto de un programa de simulación. Éste incluye señales crudas (e.g. señales en el tracker, depósitos de energía en el Calorímetro, etc.) y cantidades derivadas (e.g. jets, tracks, etc.) [10].
- Jet: cono de hadrones y otras partículas que se producen cuando un quark o gluón se hadroniza. Las partículas con carga de color no pueden existir libremente debido al confinamiento de color, es por eso que quarks y gluones se transforman rápidamente en chorros de hadrones, mejor conocidos como jets.
- Entorno CMSSW: librería de clases en C++ que define la forma de todas las clases de usuario y las interacciones entre estas clases. Este provee el mecanismo de control de trabajo para ser transferido del sistema operativo (i.e. la computadora) al código CMSSW. Además este entorno utiliza archivos de configuración basados en el lenguaje de programación python para una mejor y más dinámica interacción con los usuarios [10].
- Generador de eventos: es software que utiliza métodos Monte Carlo para simular colisiones de partículas y sus subsecuentes decaimientos de acuerdo a la teoría. Eventos



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FÍSICA

simulados pueden ser pasados a través de detectores simulados para conocer los efectos de la interacción con la materia tales como pérdidas de energía y desviaciones de partículas cargadas en un campo magnético [10].

- Simulador de eventos generados: el código de simulación CMSSW, basado en el programa Geant4, es configurado con información específica de CMS como la geometría del detector y materiales; además del conocimiento de cómo varias partículas, dadas sus características, interactúan con los materiales [10].

#### 5 Hipótesis de Trabajo

Basados en los estudios de Dobrescu, et al., (2008), estudiaremos el decaimiento de estos bosones escalares pesados producidos en pares a partir de la colisión de protones. Por las razones explicadas previamente, éstos colorones decaerán en cuatro quarks cima. Es conocido que para cada quark cima su probabilidad más alta de decaimiento es mediante el bosón W y el quark fondo, proceso corroborado mediante varias precisas mediciones actuales dentro de varios experimentos en Física de Altas Energías y en particular al experimento CMS [9].

Este bosón a su vez puede decaer leptónicamente mediante un par electrón – neutrino electrón (o muón - neutrino muón), o hadrónicamente mediante dos jets. La tasa de decaimiento para el proceso leptónico es 11%, mientras que para el hadrónico es 67% [9]. La estrategia de búsqueda para estos bosones, como se puede imaginar a través de sus diferentes formas de decaimiento anteriormente descritas, podrán ser evaluadas una vez que se pueda conocer su huella al ser pasadas por un generador de eventos.

#### 6 Aspectos Metodológicos

Para la realización de este análisis, primero se requiere analizar la señal hipotética en uno de los diferentes generadores de eventos comúnmente utilizados en la Física de Altas Energías para poder tener una idea de cómo será la señal que se espera en los datos tomados. La facilidad de estos generadores radica en que se puede configurar diferentes posibles masas de las partículas buscadas, por lo que se realizará inicialmente esta generación para bosones de 500 GeV y para 1 TeV.

Obtenidos los datos generados, se requiere averiguar cómo éstos interactuarán con la materia y en especial con el detector CMS. Para esto, dentro del Entorno CMSSW, se realizará la simulación y reconstrucción de estos eventos. Con datos obtenidos en este proceso, se analiza mediante archivos de configuración de python y utilizando el programa de análisis estadístico ROOT, un estudio de las diferentes variables cinemáticas de los casos encontrados en los diferentes eventos. Este paso sugerirá pistas para la mejor estrategia de detección de este decaimiento en los datos reales de CMS.

Con las herramientas de CMSSW los datos crudos que se obtienen de la simulación pueden ser





# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FISICA

clasificados, obteniéndose con cada filtro datos más significativos para nuestro análisis. Estos filtros dependerán de la estrategia que se decida tomar, una vez analizados los datos anteriores.

Además, se debe hacer el mismo procedimiento para procesos de fondo, tales como la producción de pares de quarks cima o procesos multijet que no provengan de nuestros bosones. Este mecanismo se utiliza para diferenciar procesos conocidos de la señal buscada.

Obtenidos todos estos datos, se realizan varios análisis de diferentes cantidades cinemáticas de nuestro proceso y se observa si es posible la detección con las características definidas, tanto del detector como de los colorones.

Finalmente, conociendo la mejor estrategia y la variable cinemática que permite observar la mejor diferencia de nuestros eventos con eventos de fondo, se realiza el mismo procedimiento anterior pero con datos reales. Cabe resaltar que, debido al tamaño de datos simulados y más aún de los reales, todos estos análisis y procedimientos se realizarán dentro de la red de computadoras del CERN, conocida como GRID.

## 7 Temario

- 1 Introducción
- 2 Marco Teórico
  - 2.1 Bosones Escalares Pesados
  - 2.2 El Experimento CMS
- 3 Metodología
- 4 Resultados y Análisis
- 5 Conclusiones y Recomendaciones

## 8 Bibliografía

- [1] Gerbush, M. et al., 2008. Color-octet scalars at the CERN LHC. *Physical Review D*, 77(9), p.15. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/0710.3133> [Accedido Agosto 10, 2011].
- [2] Cacciapaglia, G. et al., 2011. Four tops on the real projective plane at LHC. *Arxiv preprint arXiv:1107.4616*, p.25. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1107.4616> [Accedido Agosto 4, 2011].
- [3] Gregoire, T., Katz, E. & Sanz, V., 2011. Toptet. *Arxiv preprint arXiv:1101.1294*. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1101.1294> [Accedido Agosto 4, 2011].
- [4] Dobrescu, B., Kong, K. & Mahbubani, R., 2008. Massive color-octet bosons and pairs of





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE FÍSICA**

- resonances at hadron colliders. *Physics Letters B*, 670(2), pp.119-123. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/0709.2378> [Accedido Agosto 10, 2011].
- [5] Battaglia, M. & Servant, G., 2010. Four-top production and  $t\bar{t}$  + missing energy events at multi TeV  $e^+e^-$  colliders. *Nuovo Cimento*, (1), p.6. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1005.4632> [Accedido Agosto 4, 2011].
- [6] Dobrescu, B.A. & Krnjaic, G.Z., 2011. Weak-triplet, color-octet scalars and the CDF dijet excess. *Arxiv preprint arXiv:1104.2893*, p.18. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1104.2893> [Accedido Octubre 15, 2011].
- [7] Lillie, B., Shu, J. & Tait, T.M.P., 2008. Top compositeness at the Tevatron and LHC. *Journal of High Energy Physics*, 2008(04), pp.087-087. Disponible en: <http://stacks.iop.org/1126-6708/2008/i=04/a=087?key=crossref.b2d956d208cec9e91fe6a0f9eec0fb93>. [Accedido Octubre 13, 2011].
- [8] Dicus, D., Dutta, B. & Nandi, S., 1995. Top quark signatures in extended color theories. *Physical review D: Particles and fields*, 51(11), pp.6085-6091. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10018372> [Accedido Octubre 13, 2011].
- [9] The CMS Collaboration, 2011. Measurement of the  $t\bar{t}$  Production Cross Section at  $\sqrt{s} = 7$  TeV in Lepton + Jets Events using b-quark Jet Identification Techniques. *CMS Paper*. [Accedido Octubre 13, 2011].
- [10] CMS Experiment Workbook, 2011. [En línea] Disponible en: <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/Workbook> [Accedido Octubre 14, 2011].
- [11] Sayre, J. et al., 2011. Searching for colorons at the Large Hadron Collider. *Physical Review D*, 84(1), pp.1-11. Disponible en: <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.84.015011> [Accedido Octubre 15, 2011].
- [12] Bai, Y. & Dobrescu, B.A., 2011. Heavy octets and Tevatron signals with three or four b jets. *Journal of High Energy Physics*, 2011(7), p.33. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1012.5814> [Accedido Octubre 15, 2011].

## 9 Presupuesto y Fuentes de Financiamiento

Gracias al apoyo de Fermilab, este proyecto podrá ser realizado en el LPC de este laboratorio y la estadía por seis meses de los investigadores involucrados será financiado por este organismo. Además se incluyen algunos gastos de papelería e impresiones en el siguiente cuadro:

Rubro	Cantidad (en dólares)
Estadia de investigadores en LPC	\$12,000.00
Impresiones	\$50.00
Copias	\$50.00
Anillados	\$100.00
<b>Total</b>	<b>\$12,400.00</b>

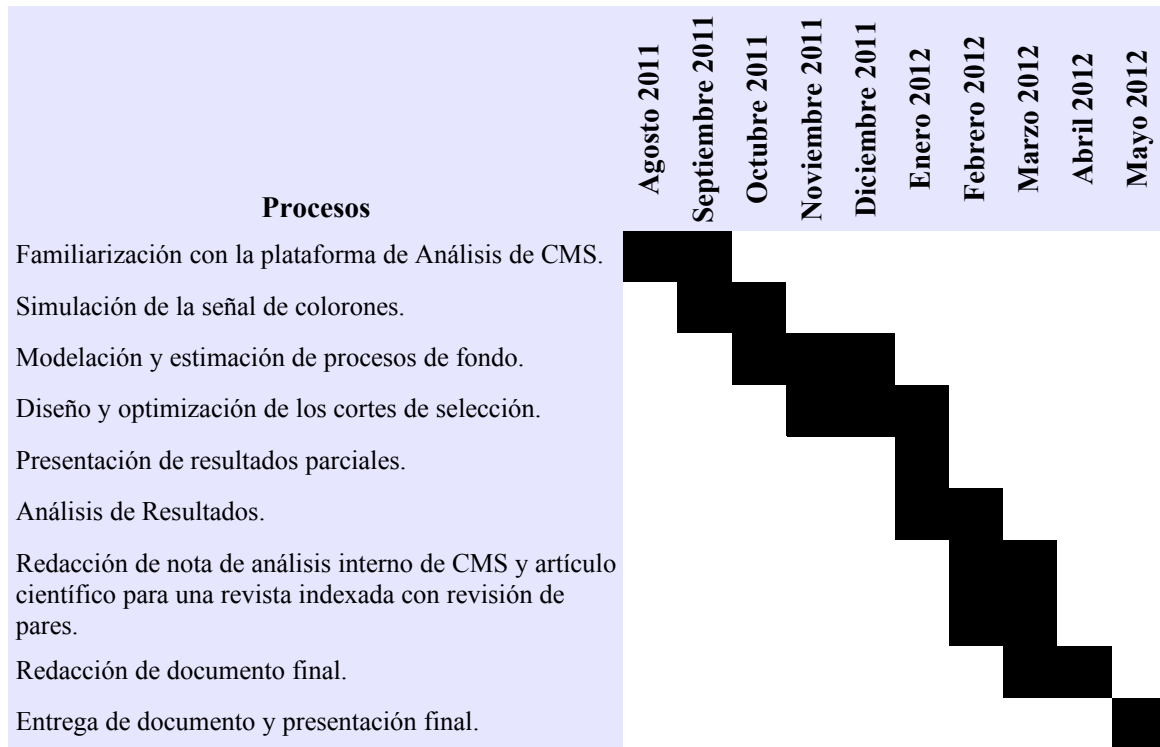


# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE CIENCIAS

### CARRERA DE FÍSICA

#### 10 Cronograma de Actividades



Tirso Alejandro Gómez Espinosa  
Proponente

Email: [alejandro.gomez@cern.ch](mailto:alejandro.gomez@cern.ch)  
Telf.: 095292408

Dr. Edgar Carrera Jarrín  
AUSPICIANTE

Email: [ecarrera@cern.ch](mailto:ecarrera@cern.ch)  
Telf.: 084311377