



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

---

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

---

Estudio de corrientes para cámaras de placas resistivas  
(RPC) instaladas en el detector CMS

Tesis presentada al

**Colegio de Física**

como requisito parcial para la obtención del grado de

**LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA**

por

Juan Antonio Carpintero Hernandez

Asesorado por

Dra. Maria Isabel Pedraza Morales  
Dr. Humberto Antonio Salazar Ibargüen

Puebla Pue.  
12/2023





Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

---

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

---

Estudio de corrientes para cámaras de placas resistivas  
(RPC) instaladas en el detector CMS

Tesis presentada al

**Colegio de Física**

como requisito parcial para la obtención del grado de

**LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA**

por

Juan Antonio Carpintero Hernandez

Asesorado por

Dra. Maria Isabel Pedraza Morales  
Dr. Humberto Antonio Salazar Ibargüen

Puebla Pue.  
12/2023



**Título:** Estudio de corrientes para cámaras de placas resistivas (RPC) instaladas en el detector CMS

**Estudiante:** JUAN ANTONIO CARPINTERO HERNANDEZ

COMITÉ

---

Dr. Oscar Mario Martínez Bravo  
Presidente

---

Dr. Enrique Varela Carlos  
Secretario

---

Dr. Jhovanny Mejia Guisao  
Vocal

---

Dra. Ana Aurelia Avilez López  
Vocal

---

Dra. Maria Isabel Pedraza Morales  
Dr. Humberto Antonio Salazar Ibargüen  
Asesor



*Dedicatoria*

*A mis padres que, a pesar de no entender lo que decidí estudiar, me apoyaron en todo el camino.*

# Agradecimientos

Hay muchas personas sin las cuales no podría haber llegado hasta este punto de estar escribiendo esta tesis. Entre amigos y familiares se me podrían ir las palabras de agradecimiento. Mis padres, que estuvieron en el punto de quiebre de mi vida académica y social y que me dieron motivación para seguir adelante, mostrándome que muchas veces la vida me trataría mal pero mi determinación de seguir adelante me serviría de apoyo para superar todo obstáculo. Mis amigos Daniel, Irving, Antonio , Yuriel y Carlos que me han acompañado desde el primer día en la licenciatura; hemos tenido momentos de risas, de enojos, tristezas y alegrías. Agradezco el que nunca me dejaran atrás por mas ganas que tuviese de abandonar.



# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Compact Muon Solenoid</b>	<b>3</b>
2.1. Solenoide Superconductor . . . . .	4
2.2. Detector de trazas . . . . .	5
2.3. Calorímetro Electromagnético . . . . .	5
2.4. Calorímetro Hadronico . . . . .	6
2.5. Sistema de Muones . . . . .	7
2.5.1. Drift Tubes . . . . .	7
2.5.2. Cathode Strip Chamber . . . . .	8
2.5.3. Resistive Plate Chambers . . . . .	9
2.5.4. GEM & iRPC . . . . .	9
<b>3. Principios de operación de las RPCs</b>	<b>11</b>
3.1. Avalanchas de Townsend . . . . .	11
3.2. Modo Stream . . . . .	12
3.2.1. Fast Breakdown . . . . .	13
3.3. Modo Avalancha . . . . .	13
3.4. Eficiencia . . . . .	14
3.4.1. Modo de Operación . . . . .	14
3.4.2. Efectos de presión y temperatura . . . . .	14
<b>4. Distribución de las RPCs en el CMS</b>	<b>17</b>
4.1. RPCs en la región del Barrel . . . . .	17
4.2. RPCs en la región de las Endcaps . . . . .	19
<b>5. Corrientes en las RPCs</b>	<b>21</b>
<b>6. Análisis de Corrientes de las RPCs del CMS</b>	<b>23</b>
6.1. Resultados . . . . .	24
6.1.1. Endcaps . . . . .	24
6.1.2. Barrel . . . . .	26
<b>7. Discusión</b>	<b>31</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>35</b>



# Resumen

Los detectores de partículas son instrumentos indispensables en la física de altas energías pues permiten realizar estudios detallados sobre partículas provenientes de eventos de la naturaleza o generadas a partir de colisiones, como las que se dan en el LHC (Large Hadron Collider), una de las colaboraciones más importantes referente a la física de altas energías. El LHC cuenta con cuatro grandes experimentos que realizan investigaciones en el campo de la física de partículas, uno de ellos es el experimento CMS (Compact Muon Solenoid), que se encarga de estudiar colisiones protón-protón dadas a altas energías. Para ello cuenta con variedad de subdetectores, entre los que se encuentra el Sistema de Muones, compuesto en su mayoría por detectores gaseosos del tipo RPC (Resistive Plate Chamber).

Para garantizar que los datos que se obtienen son confiables se debe tener la certeza de que los instrumentos, en este caso las RPC, tengan un funcionamiento adecuado que no entorpezca la detección de partículas. Por ello se estudian las corrientes, conocidas como Dark Currents, que se generan en las RPCs cuando ésta está inoperativa.



# Capítulo 1

## Introducción

Existen muchas razones por las que el ser humano busca responder preguntas que parecen surgir de pensamientos sin sentido. Las grandes revoluciones en la física deben su existencia a personajes controverciales que se atrevieron a ir contra los principios establecidos en su época. Desde Galileo contradiciendo a la iglesia sobre el geocentrismo de la tierra en el universo, hasta Einstein desarrollando su teoría de la relatividad, yendo en contra de lo establecido por Isaac Newton. Y es que para dar paso a ideas nuevas se debe cuestionar las anteriores, reescribir y remendar. Así es como son las ciencias, aprender de errores y reformular lo ya escrito. En física pareciese un logro poder desmontar ideas establecidas con nuevas evidencias que se adaptan mejor a las verdades que observamos y percibimos.

Hace no mucho, en las mentes brillantes de algunos científicos, surgió la idea de que quizás debería existir algo mas allá que los protones, neutrones y electrones. Algo mas fundamental que compusiera a la materia. Así en 1964 Murray Gell Mann y George Zweig proponen por primera vez la existencia de los *quarks*, lo que hoy en día consideramos uno de los bloques fundamentales de toda la materia que hay en el universo. Como es normal, año tras año surgieron ideas y evidencia de que el rumbo que estaba tomando la recién concebida física de partículas, era un candidato perfecto para desarrollar aquella teoría que concibiera en si misma la explicación de todo lo que sucede en el universo. Fue así, como desde entonces se ha ido escribiendo poco a poco la historia de lo que hoy en día se conoce como el modelo estándar de física de partículas (SM). Una teoría aun incompleta, pero precisa en muchas cuestiones.

Para seguir avanzando es necesario el estudio de las partículas, conocer su comportamiento y propiedades, saber todo lo que podamos sobre ellas. Puede parecer irónico que para poder estudiar cosas tan pequeñas como las partículas se necesiten cada vez, mas instrumentos de mayor tamaño. El claro ejemplo de esto son los aceleradores de partículas, instrumentos enormes que, como su nombre lo indica, aceleran partículas a altas velocidades, cercanas a las de la luz, para después hacerlas colisionar y así desenmarañar todo sobre ellas. Un de estos acelerador, y quizá el mas conocido por personas ajenas al mundo de la ciencia, es el LHC (*Large Hadron Collider*), un acelerador de partículas que pertenece a la Organización Europea para la Investigación Nuclear, mayormente conocida por sus siglas CERN (*Conseli Européen pour la Recherche Nucléaire*) fundada en 1952. El LHC ubicado en la frontera Franco-Suiza se encuentra bajo tierra, a unos 100 m de profundidad en un túnel con una circunferencia de 27 km.

Al ser una de las colaboraciones mas importante que existe dentro de la física de altas energías, es de entenderse que en el LHC exista una gran variedad de experimentos llevándose a cabo en simultaneo. Entre ellos se encuentra el experimento CMS (*Compact Muon Solenoid*), un experimento compuesto por varios subdetectores, con distintos propósitos; entre los que se encuentra el encargado de la detección de muones (partículas similares a los electrones, pero de masa 207 veces mayor) un sistema compuesto en su mayoría por detectores gaseosos, del tipo RPC (*Resistive Plate Chamber*), que por su sencillez y bajos costos (comparado con el resto de componentes del CMS)

es ampliamente utilizada para la detección de partículas.

Los detectores de partículas son instrumentos indispensables en la física de altas energías, pues permiten realizar estudios detallados sobre partículas provenientes de eventos de la naturaleza o generadas a partir de colisiones, como las que se dan en el LHC; colisiones protón-protón dadas a altas energías.

El sistema de muones dentro del CMS tienen tres funciones: identificación de muones, medición de momento y *triggering* por lo que el funcionamiento de los detectores debe ser preciso y confiable, por ello se mantienen monitoreados constantemente en un estado en el que no se están dando detecciones haciendo uso de lo se conoce como *Dark Current*; corrientes que se que generan en el detector por la producción espontánea de fotones dentro de las RPC.

El valor de las corrientes esta determinado por las condiciones en las que se encuentra la RPC, tales como la presión, temperatura, voltaje, composición del gas en el detector, etc. Debido a esto se hace extremadamente difícil mantener constante el valor de las corrientes en el detector. La corriente, al depender de bastantes variables es complicada de determinar teóricamente, aun así se puede obtener un estimado de dicho valor (experimentalmente), con el que se pueda marcar un punto de referencia en las mediciones experimentales de las corrientes.

Saber el valor de las corrientes que tiene una RPC es indispensable para conocer y determinar el estado de operabilidad que tiene el detector, pues aunque las corrientes varíen constantemente lo hacen dentro de un intervalo al rededor del valor determinado experimentalmente con las variables antes mencionadas. Si la RPC tiene valores alejados del valor predicho es indicio de que el funcionamiento óptimo del detector esta comprometido. Por lo que el estudio y control de las corrientes, consideradas ruido en las mediciones, permite minimizar su impacto en los resultados y mantener un alto nivel de calidad en los datos recopilados.

## Capítulo 2

# Compact Muon Solenoid

El experimento CMS (*Compact Muon Solenoid*) es una de las colaboraciones científicas internacionales más grandes e importantes de la historia que, actualmente involucra 5945 físicos de partículas, ingenieros, técnicos, estudiantes y personal de apoyo de 254 institutos de 54 diferentes países. El CMS tiene distintos propósitos dentro del LHC, entre los que se encuentran la búsqueda de nuevas dimensiones y partículas que formen parte de la materia oscura, además como ya se hizo en 2012 con el descubrimiento del bosón de Higgs, el CMS tiene entre sus tareas el estudio del Modelo Estándar (SM). Todas estas tareas se llevan a cabo en un detector de 14000 toneladas de peso, 21 m de largo, 15 m de ancho y 15 m de alto que está construido al rededor de un solenoide superconductor que genera un campo magnético de al rededor de 100000 veces el de la tierra, aproximadamente de 4 T[1].

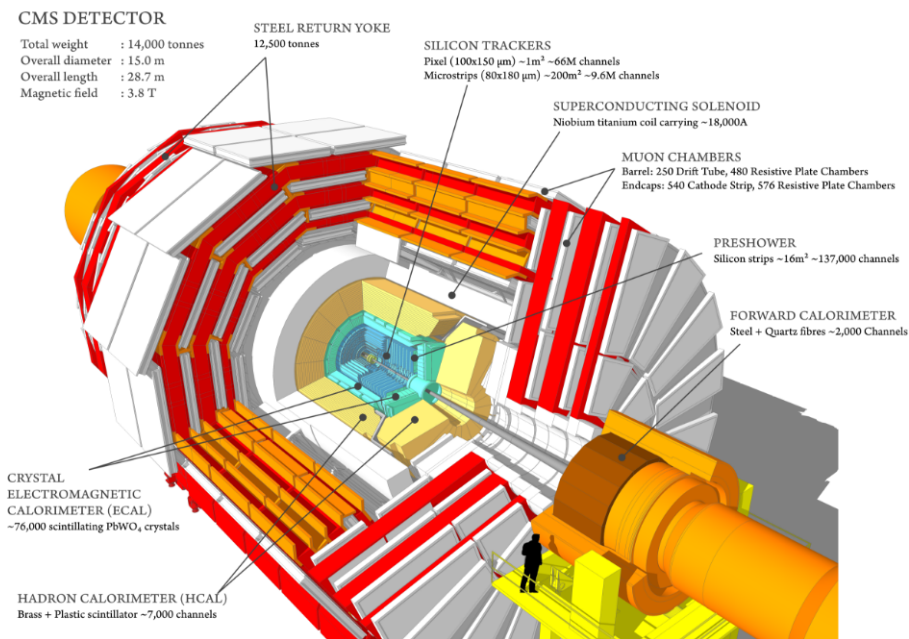


Figura 2.1: Diagrama del detector CMS en el LHC del CERN (imagen: CERN)

En el CMS se dan colisiones protón-protón a energías del centro de masa de  $\sqrt{s} = 13,6\text{TeV}$  [2], que producen una amplia variedad de partículas y fenómenos que ayudan a estudiar propiedades de la materia y las fuerzas que rigen al universo. Para poder estudiar todas estas partículas y

fenómenos es indispensable contar con instrumentos de medición, para ello el CMS cuenta con varios subdetectores y sensores encargados de recopilar los datos de cada una de las colisiones. Aunque las partículas producidas en las colisiones protón-protón son inestables, rápidamente decaen a partículas estables que son detectables en el CMS. Midiendo los momentos y energías de estas partículas es posible recrear una imagen de la colisión.

Las características distintivas del CMS son el Solenoide Superconductor, el Detector de Trazas y los Calorímetros Electromagnético y Hadronico [3]. En la figura 2.2 se muestra la disposición general del CMS, en el centro se encuentra el Detector de Trazas, rodeado por los calorímetros Electromagnético (ECAL) y Hadronico (HCAL). Estos subdetectores son envueltos por el Solenoide Superconductor, todo cubierto por 4 estaciones de detectores gaseosos, que corresponden al Sistema de Muones.

El sistema de coordenadas que adopta el CMS tiene origen en el punto de colisión dentro del experimento, siendo un sistema diestro el eje  $x$  apunta radialmente hacia el centro del anillo del LHC, el eje  $y$  apunta hacia arriba, mientras que el eje  $z$  es paralelo al haz de protones. El algoritmo de reconstrucción usa el sistema de coordenadas esféricas basada en la distancia radial  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ . El ángulo acimutal  $\phi$  se mide desde el eje  $x$  en el plano  $xy$ . El ángulo polar  $\theta$  se mide desde el eje  $z$ . Sin embargo teniendo en cuenta que las partículas producidas están fuertemente presionadas hacia el eje de colisión y distribuidas sobre el ángulo  $\theta$  de forma muy desigual, se usa una variable cinemática mas conveniente denominada pseudo rapidez, definida como  $\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$  [21].

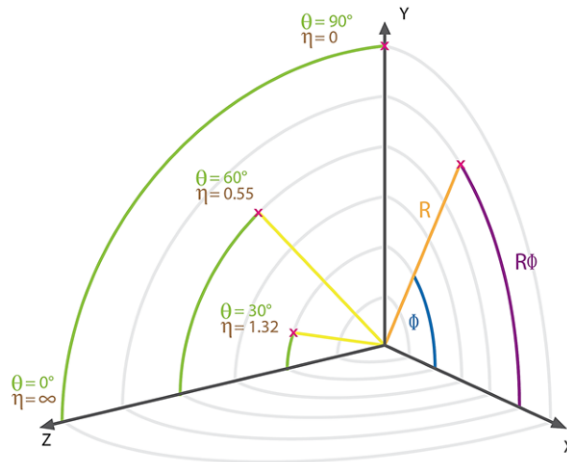


Figura 2.2: Sistema de coordenadas del CMS

## 2.1. Solenoide Superconductor

Un campo magnético es esencial para identificar las partículas que emergen de las colisiones, curva sus trayectorias permitiendo calcular su momento y establecer si tienen carga positiva o negativa, para ello el CMS utiliza un Solenoide Superconductor de 12.5 m de largo y un diámetro interno de 6 m que en su interior cuenta con varios detectores, como lo son el Detector de Trazas y los Calorímetros Electromagnético y Hadronico; en el exterior, se encuentra el sistema de muones, intercalado con una estructura de hierro que rodea las bobinas magnéticas, las contiene y guía el campo.

## 2.2. Detector de trazas

El sistema de detección de trazas del CMS esta diseñado para proporcionar una medida precisa y eficiente de las trayectorias de las partículas cargadas, en la región  $|\eta| < 2,5$  que son producto de las colisiones que se dan en el LHC. El detector de trazas se ubica en el punto mas cercano de donde se da la colisión entre protones, rodeando el punto de interacción. Cuenta con una longitud de 5.8 m y un diámetro de 2.5 m que a la luminosidad de diseño del LHC de  $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  y el campo magnético de 4 T, en promedio se tienen 1000 partículas resultantes de 20 colisiones simultaneas cada 25 ns [3].

El detector de trazas fue diseñado y construido por una colaboración de 500 miembros, formada por 51 institutos de todo el mundo, que tardó cerca de 12 años en completarse. Cuenta con dos tipos de tecnologías de detección: pixel y microstrip.

El Pixel Detector consta de tres capas cilíndricas (BPix), de 4.4, 7.3 y 10.2 cm de radio, de módulos detectores de píxeles que rodean el punto de interacción. Se complementan con dos discos de módulos de píxeles (EPix) en cada lado. En total cubre un área de  $1 \text{m}^2$ , consta de 1440 segmentos de detectores de cilicio, contando con un total de 66 millones de píxeles de precisión, electrónica rápida y resistente a la radiación, lectura óptica, etc [4].

Además del Pixel Detector el Detector de Trazas esta compuesto de varias capas de detectores microstrip. El barril interno (TIB) consta de cuatro capas, el barril externo (TOB) de 6 capas y a cada lado con tres discos internos (TID) y nueve discos en las capas finales (TEC). Contiene al rededor de  $200 \text{m}^2$  de sensores de silicio, un total de 9.3 millones de tiras [21]

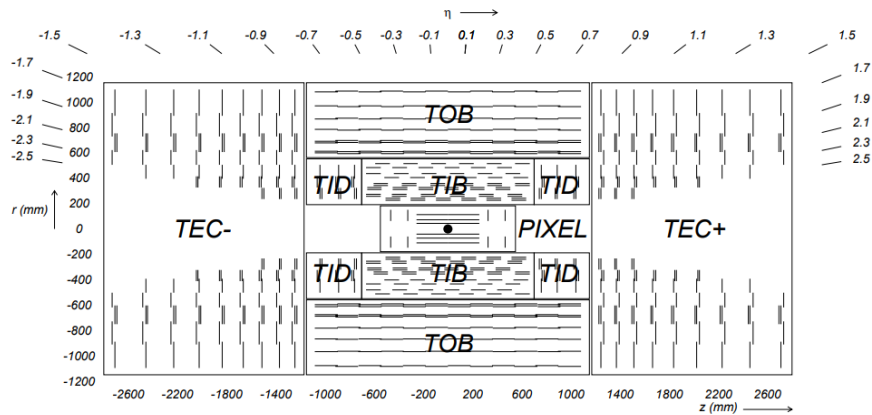


Figura 2.3: Vista esquemática de una sección transversal del detector de trazas del CMS. [3]

## 2.3. Calorímetro Electromagnético

El principal objetivo del Calorímetro Electromagnético (ECAL) dentro del CMS es identificar y medir fotones y electrones producidos durante las colisiones de protones que se dan en el LHC. El ECAL fue diseñado para tener una alta resolución energética pues se requería un alta sensibilidad a la desintegración de bosones de Higgs en dos fotones [3].

El ECAL cuenta con 36 súper módulos dispuestos en el área del *barrel*, cada súper modulo tiene dimensiones de  $3 \text{m} \times 0,6 \text{m} \times 0,6 \text{m}$  y consta de 1700 cristales centelleantes de tungstato de plomo ( $\text{PbWO}_4$ ) [6], teniendo como total 61200 cristales en el *barrel*. Estos súper módulos están cerrados por dos tapas (*endcap*), cada una de 7324 cristales. En la región del *barrel* del ECAL se usan fotodiodos de avalancha (APD) mientras que en las *endcaps* se usan fototriodos de vacío (VPT).

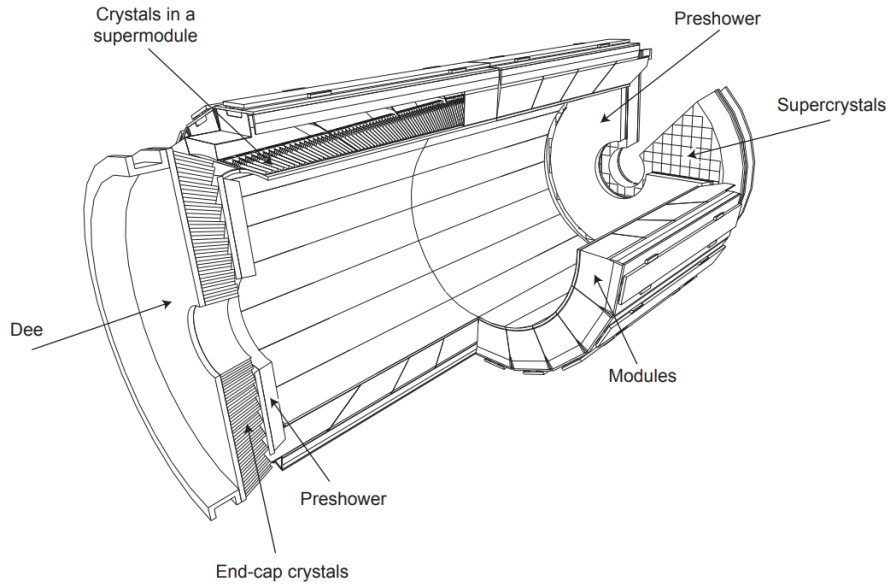


Figura 2.4: Esquema del Calorímetro Electromagnético, en él pueden apreciarse la disposición de los módulos de los cristales.

## 2.4. Calorímetro Hadronico

Cuando se dan las colisiones protón-protón en el LHC se producen partículas indistinguibles para el resto de detectores del CMS, para ello se hace uso del Calorímetro Hadronico (HCAL) encargado de la detección de *jets* de hadrones, neutrinos o partículas exóticas cuya energía transversal es casi nula. Cuando los hadrones penetran el HCAL, interactúan con los núcleos de los materiales y crean cascadas de partículas secundarias. Estas partículas generan señales que pueden ser medidas y usadas para reconstruir las partículas que incidieron originalmente. La detección de estas partículas es indispensable pues proveen información sobre la existencia de partículas nuevas.

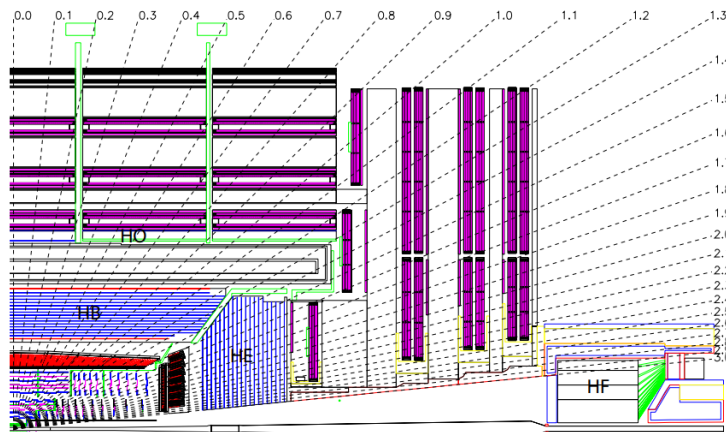


Figura 2.5: Vista longitudinal del detector CMS, en él se muestran la ubicación de los calorímetros *Hadron Barrel* (HB), *Endcap* (HE), *outer* (HO) y *Forward* (HF). [3]

El HCAL se divide en 4 secciones principales: el *Barrel Design* (HB), el *Endcap Design* (HE), el *Outer Calorimeter Design* (HO) y el *Forward Calorimeter Design* (HF). Cada una esta diseñada para medir la energía en diferentes regiones angulares, esto sirve para aprehender la mayor cantidad de partículas resultantes de las colisiones. El HCAL usa capas de alternas de materiales absorbentes y centelleadores fluorescentes (placas de latón y centelleadores) para poder medir la energía y tiempo de llegada de una partícula. Cuando esta impacta sobre el material se generan pulsos de luz que son captadas por redes de fibra óptica que son conducidos hasta cajas de lectura que amplifican la señal [3].

## 2.5. Sistema de Muones

La detección precisa de muones en el CMS es de suma importancia , tanto así que fue tema central en el diseño del detector. Esto se debe a que el Modelo Estándar predice que el boson de Higgs puede decaer en bosones ZZ o ZZ\*, que a su vez pueden decaer el 4 leptones y esos leptones pueden ser todos muones, a esto se le llama "gold plated "[3].

El sistema de muones esta dividido en dos zonas principales: El *Barrel* y las *Endcaps*. En la región del *Barrel* se tiene una pseudo rapidez de  $0 < \eta < 1,2$  mientras que en las *Endcap* se tiene una pseudo rapidez de  $\eta < 2,4$ . Debido a que los muones no interactúan con el HCAL o el ECAL los detectores se colocan en la parte mas externa del CMS

El sistema de muones del CMS esta diseñado para reconstruir el momento y la carga de los muones en todo el rango cinemático del LHC y para ello utiliza tres diferentes tipos de detectores gaseosos: *Drift Tubes* (DT), *Cathode Strip Chambers* (CSC) y *Resistive plate Chambers* (RPC) [2]

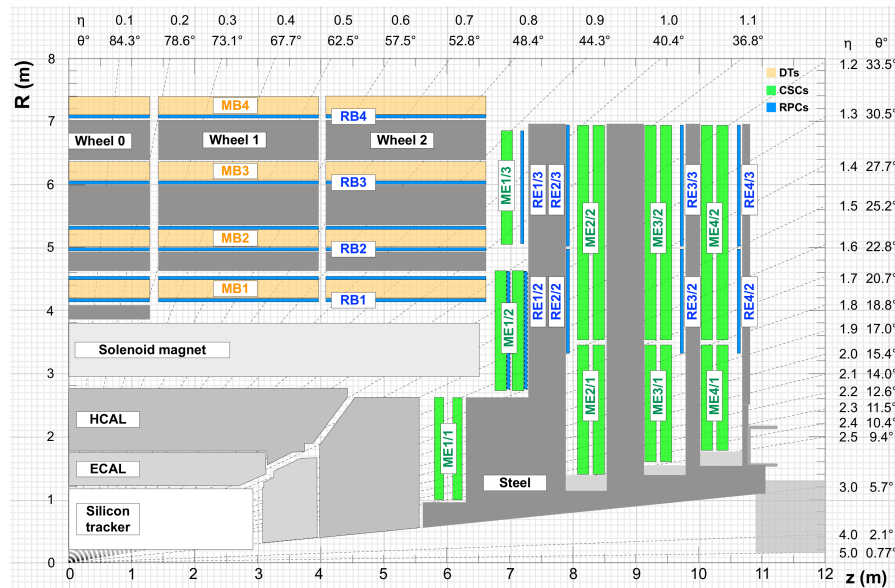


Figura 2.6: Esquema de un cuadrante del detector CMS en el que se puede ver la ubicación de los *Drift Tubes* (amarillo), las *Cathode Strip Chambers* (verde) y *Resistive plate Chambers* (azul)

### 2.5.1. Drift Tubes

En el sistema de detección de muones del CMS existen 250 *Drift Tubes chambers*, cada una de ellas dividida en tres súper capas [8], que miden e identifican las huellas de muones en la parte del *barrel* del detector. Cuando un muon o cualquier otra partícula cargada pasa a través DT ésta

elimina electrones de los átomos del gas que siguen el campo eléctrico hasta llegar al ánodo y producir una señal que es medible.

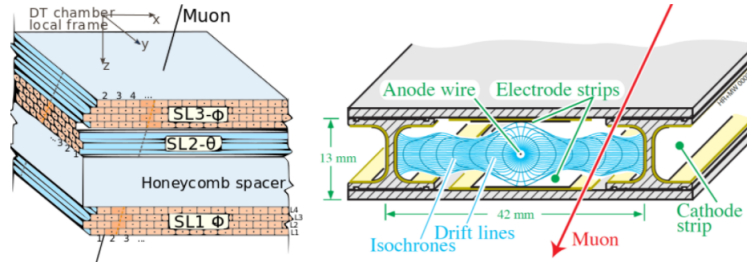


Figura 2.7: Esquema de las *Drift Tubes* en las que se muestran las súper capas y los tubos de cada una de ellas.

Las *Drift Tubes chambers* tienen medidas de  $2m \times 2,5m$  hasta los  $4m \times 2,5m$  y constan de 8 o 12 capas de aluminio acomodadas en dos o tres súper capas, con hasta 90 tubos cada una [9].

### 2.5.2. Cathode Strip Chamber

Cada una de las 540 *Cathode Strip chambers* [10] que hay en el CMS se ubican en la zona de las *Endcaps*, donde el campo magnético es desigual y las tasas de partículas son mas altas que en el *Barrel*. Las CSC consisten en matrices de cables de ánodo cargado positivamente cruzadas con tiras de cátodo de cobre cargadas negativamente dentro del gas. Gracias a este acomodo de las tiras se obtienen dos coordenadas de posición, proporcionando información espacial y temporal precisa para cada partícula que pasa a través del detector [11].

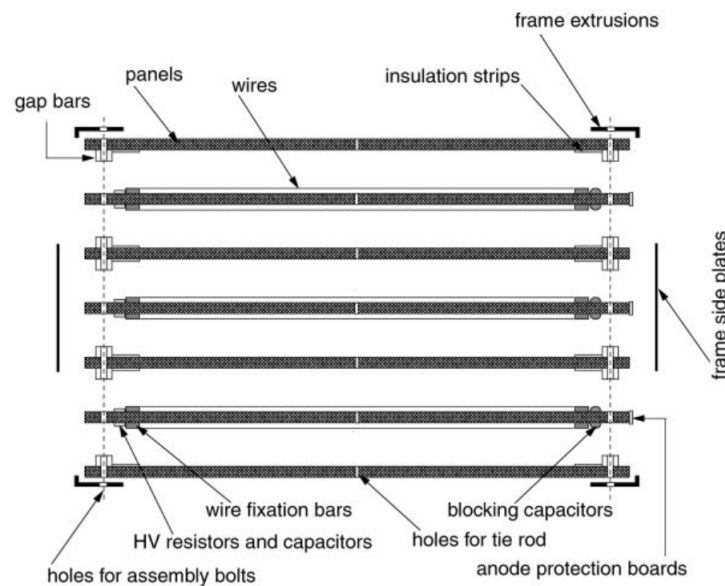


Figura 2.8: Vista de una *Cathode Strip Chamber*.

### 2.5.3. Resistive Plate Chambers

Las *Resistive Plates Chambers* (RPC) son detectores gaseosos de placas paralelas, utilizados comúnmente en la física de altas energías para la detección de partículas. Los primeros modelos de RPCs fueron desarrollados en Roma a principios de los años 80's por Rinaldo Santonico y Ricarco Cardarelli. Los primeros prototipos usaban laminado fenólico comprimido a altas presiones y operaban a presiones atmosféricas. Estos detectores fueron diseñados con la idea de una geometría plana, con ventaja de una buena resolución temporal, y usando materiales resistivos para los electrodos, evitando el alto voltaje tras el paso de partículas ionizantes y la posterior descarga [15].

Las RPC como su nombre lo dice consisten en 2 placas dieléctricas, separadas entre sí, formando una brecha de pocos milímetros de separación en la que se deposita una mezcla de gases. A las placas dieléctricas se les aplica un potencial, teniendo así un cátodo y un ánodo. Su uso en el CMS esta dado principalmente para la detección de muones, una RPC es capaz de marcar el tiempo de un evento ionizante, con una resolución temporal de 25 ns, entre dos *Brunch Crossings* (BX). De esta manera con un detector dedicado al disparo de muones, basado en RPCs puede identificar sin ambigüedad los BXs relevantes con los que las trazas de muones están asociadas, inclusive con el *background* esperado en el LHC [2].

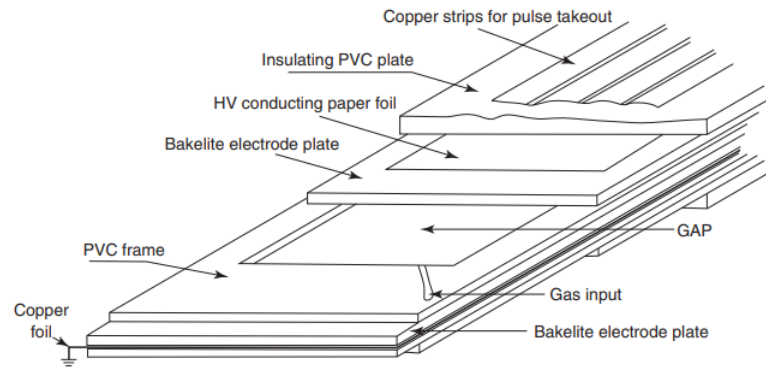


Figura 2.9: Vista de una Cámara de Placas Resistivas en la que se puede observar los elementos que la componen.

Existen diferentes tipos de materiales dieléctricos usados en la fabricación de RPC, tales como el vidrio y la baquelita, El material usado debe tener una resistencia de al rededor de  $10^8 - 10^{12} \Omega cm$  [15] separadas por una brecha de unos pocos milímetros. Las usadas en el CMS están hechas de baquelita, un material con resistividad de al rededor de  $10^{10} - 10^{11} \Omega cm$ , que forman una brecha de 2mm de grosor [19], en la que se deposita gas compuesto en un 95,2% de  $C_2H_2F_4$ , un 4,5% de  $C_4H_{10}$  y un 0,3% de  $SF_6$ , con una humedad de 40% a temperaturas de entre 20 y 22 °C [16]. Estas operan en rangos de voltaje de 7-10 kV, dependiendo del la mezcla de gas usado. En la parte exterior de los electrodos se ubican las tiras de lectura que detectan las señales producidas en el detector.

### 2.5.4. GEM & iRPC

#### Gas Electron Multiplied Detector

Dado el aumento que se tiene previsto en la luminosidad del LHC, que se espera en años futuros sea de  $5 \times 10^{34} cm^{-2} s^{-1}$ , el CMS aprobó el uso de nuevos detectores en el área delantera del detector, en la región de las *Endcaps*, en los discos 1 y 2. Estos detectores, al igual que el resto en el sistema de muones son detectores de tipo gaseoso, que operan con tecnología *Gas Electron Multiplier* (GEM). Nombrados como ME0, GE1/1 y GE2/1 iniciaron su instalación en el CMS

en el año 2019, comenzando con la estación GE1/1, siguiendo en 2023 y 2026 con las estaciones GE2/1 y ME0, respectivamente [12].

Estos detectores proporcionan coberturas en valores de  $1,55 < |\eta| < 2,18$ , cada cámara GEM, consta de tres láminas GEM separadas por espaciadores y sostenidas entre una placa de lectura de ánodo y una placa de deriva de cátodo [13].

### improved Resistive Plate Chamber

Como medida para hacer frente al aumento de la tasa de partículas y el entorno de alta luminosidad que se espera en el CMS en años futuros, se propuso la instalación de nuevos RPC mejorados, en los discos 3 y 4, que constan de doble gap de 1,4mm cada una. Hechas de electrodos laminados a alta presión de baja resistividad con el mismo grosor que las gaps, funcionando en Modo Avalanche con una mezcla de gas de 95,2% de  $C_2H_2F_4$ , un 4,5% de  $C_4H_{10}$  y un 0,3% de  $SF_6$ .

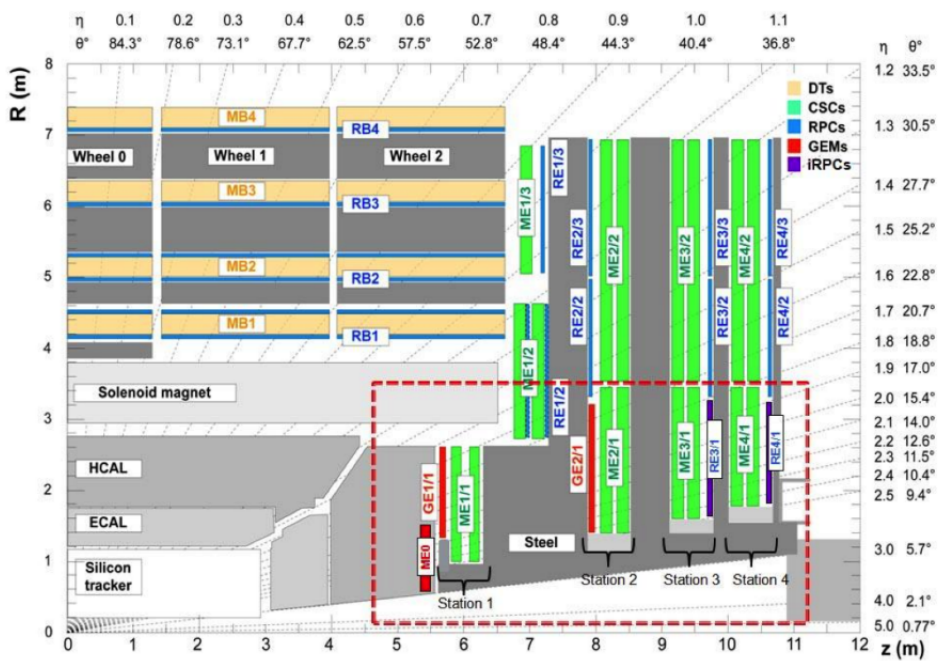


Figura 2.10: Vista de una Cámara de Placas Resistivas en la que se puede observar los elementos que la componen.

## Capítulo 3

# Principios de operación de las RPCs

Las RPCs funcionan debido a la multiplicación de pares de electrón-ion que se da en el volumen de gas. Esto se da por la ionización que sufre el gas al aplicarle un campo eléctrico y experimentar el paso de partículas cargadas, pero este proceso de ionización produce solo unos cuantos pares de electrón-ion, produciendo una muy pequeña lectura de corriente. Para que esta señal sea útil se requieren altos campos eléctricos que sean capaces de acelerar a los electrones producidos para generar colisiones inelásticas que den lugar a la multiplicación de pares de electrón-ion. Las RPCs pueden operar en diferentes modos Cada uno ofrece diferentes características

Lo que hace que una RPC opere en modo *Stream* o modo *Avalancha*, es la mezcla de gas que contenga la *gap*. Las primeras RPCs que operaban en modo *Stream* usaban una mezcla de 50/50 de argón y butano, esta mezcla aprovecha el buen coeficiente de *Townsend* efectivo del argón para maximizar el número de cargas liberadas en el gas por las partículas ionizantes y las propiedades de extinción del butano. Aunque la capacidad de operación de las RPCs en modo *Stream* era una preocupación, una mejora de su rendimiento se estudiaba en el aumento de la relación de carga rápida en el desarrollo de la señal disminuyendo la carga inducida por *avalancha*, para esto se introdujeron pequeños partes de freón ( $C_2H_2F_4$ ). Esto llevó al descubrimiento del modo *Avalancha*, en el que cuanto menor sea la carga inducida, mejor será la tasa de capacidad. [17].

### 3.1. Avalanchas de Townsend

La primera vez que se observaron avalanchas de multiplicación de electrones en gases fue entre 1897 y 1901 por John Searly Townsend. El proceso de *avalancha* comienza en un punto crítico de  $\frac{E_0}{n_A}$ . En donde  $E_0$  es la intensidad del campo eléctrico y  $n_A$  la densidad.

Un electrón libre, yendo a la deriva en un volumen de gas, bajo la influencia de un campo eléctrico, experimenta una serie de colisiones inelásticas con los átomos y moléculas del gas. Durante estas colisiones el electrón pierde parte de su energía cinética, que hace excitar a los átomos y moléculas, produciendo su ionización. Esto genera otros electrones libres, adicionales al anterior, en el volumen de gas.

En un caso sencillo donde las líneas de campo eléctrico son paralelas a lo largo del eje  $x$ , el incremento infinitesimal del número de electrones libres se expresa matemáticamente como

$$dn_e = \alpha n_e dx$$

En el que  $\alpha$  es el coeficiente de *Townsend*, que expresa la probabilidad de que un electrón genere pares de electrón-ion y depende del valor del campo eléctrico. [15]

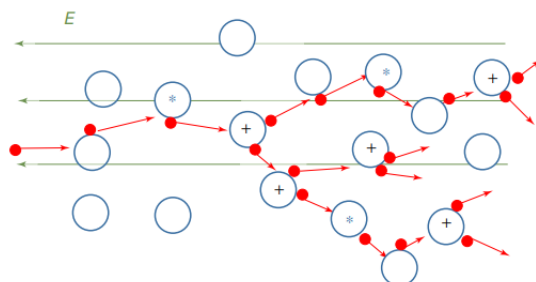


Figura 3.1: Esquema del desarrollo de avalanchas *Townsend* en un gas.

### 3.2. Modo Stream

Las primeras RPCs que se desarrolladas en la década de los ochenta, operaba en modo *stream*. Los *streams* son canales de plasma que se generan entre las placas del detector. Si el campo eléctrico dentro del volumen del gas es lo suficientemente intenso, se forma una extensa y densa nube de cationes en el ánodo que se extenderá hasta el cátodo. Los electrones que viajan más rápido se alejan de la región de gas cerca del ánodo llena de cationes. El campo es entonces lo suficientemente fuerte como para que los electrones sean arrastrados fuera del cátodo dando lugar a una descarga en espiral. En el momento en el que un campo eléctrico es aplicado en su superficie exterior las cargas dentro del volumen de gas se mueven, provocando que no haya diferencia de potencial entre los electrodos haciendo que haya una mayor densidad de cargas negativas. Finalmente cuando una descarga en espiral ocurre, los electrones son parcialmente liberados en el volumen de gas contribuyendo a incrementar la fuerza de descarga hasta la creación de un canal de plasma [17]. La señal que produce el modo *Stream* es muy conveniente pues no necesita ser amplificada puede ser discriminada directamente. Por lo tanto adquirir lecturas en modo *Stream* es sencillo .

RPCs sencillas o con doble gap operando en modo *Stream* tiene utilidad dentro de experimentos de física de altas energías como L3 del CERN, BABAR de SLAC, BELLE de KEK, ARGO experiment del laboratorio de rayos cósmicos de alta altitud YangBajing [18].

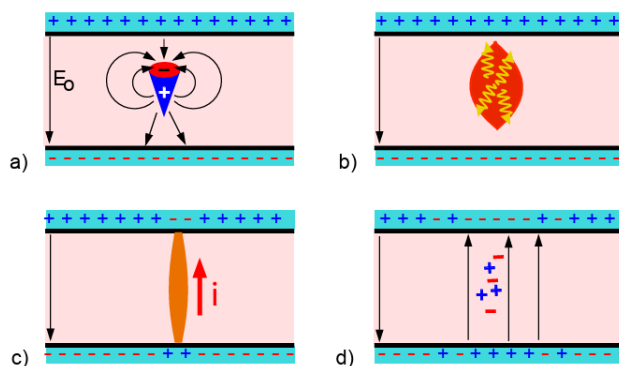


Figura 3.2: Esquema del desarrollo del modo *Stream* en una RPC. a) Una avalancha desarrollándose. b) Las cargas de la avalancha provocan un deterioro en el campo eléctrico dentro de la gap. cada vez mas fotones comienzan a generar avalanchas secundarias, provocando una rápida propagación de la avalancha; Se forma un puente de plasma. c) Una débil chispa puede ser creada. El área local del electrodo esta descargada. d) El campo eléctrico disminuye fuertemente al rededor de la avalancha. El detector tiene un punto ciego. [18]

### 3.2.1. Fast Breakdown

El *Fast Breakdown* (ruptura rápida) se da en escalas de tiempo altas, teniendo una alta resolución temporal. Para ello el numero de electrones es alto, de esta manera el numero de electrones y fotones producidos es mayor, lo que incrementa la probabilidad de que se produzcan avalanchas secundarias, que significan una mayor y mas rápida propagación de la avalancha principal. El campo eléctrico generado por esta avalancha es comparable con el campo externo aplicado, esto hace que las lineas de campo eléctrico se inclinen hacia la cabeza de la avalancha, se produzca un canal de plasma (llamado *streamer*) y posteriormente una chispa [15].

### 3.3. Modo Avalancha

Operar las RPC en modo avalancha tiene la ventaja de reducir la carga que viaja dentro del volumen de gas. Cuando se reduce el campo eléctrico, se reduce la ganancia electrónica hasta que los electrones se acercan lo suficiente al ánodo y la nube de catines permanece mucho mas pequeña. El campo eléctrico no llega al punto en el que sea posible una emisión de campo de electrones en el cátodo. La señal resultante es mas débil, en promedio 10 veces menores que en el modo *Stream*, por lo que requiere ser amplificada, a cambio la velocidad de proporcionar descargas es mas alta. Este modo de operación tiene fluctuaciones temporales mucho mas pequeñas que las del modo *stream*, de tal manera que permite operar el detector a una tasa mayor de partículas, pero hace necesario el uso de electrónica de bajo ruido [17]. Las RPCs operando en modo avalancha tiene su uso en experimentos como ATLAS y CMS del CERN

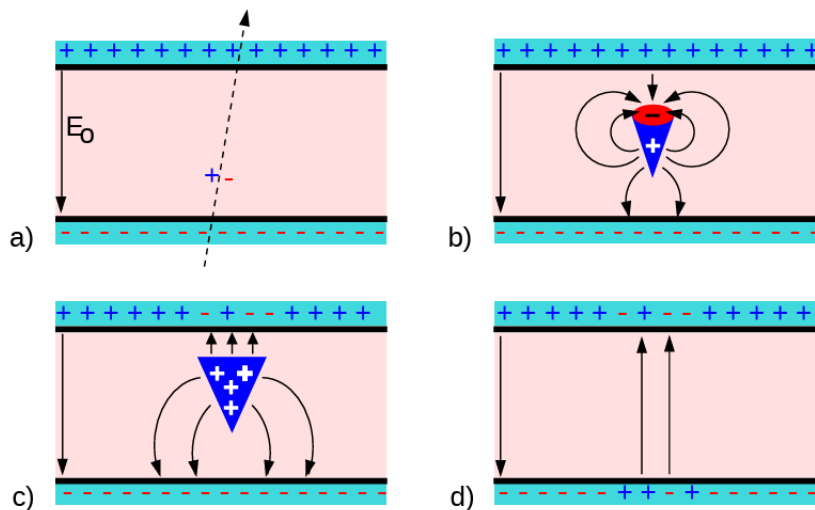


Figura 3.3: Diferentes fases de la avalancha producida por una partícula cargada incidente en la RPC que pasa a través de la gap que contiene gas sometido a un campo eléctrico constante. a) Una avalancha es iniciada por la primera ionización producida por la partícula cargada incidente. b) Debido al aumento de tamaño de la avalancha comienza a influir sobre el campo eléctrico. c) Los electrones al ser mas ligeros llegan al ánodo antes que los cationes. d) Los iones alcanzan el cátodo [18]

## 3.4. Eficiencia

### 3.4.1. Modo de Operación

Las RPCs deben ser capaces de una alta tasa de detección, debido a la gran cantidad de colisiones que se dan en el CMS. Esta debe proporcionar la hora y posición del impacto de un muon con la precisión requerida. La tasa puede alcanzar hasta  $10^3 Hz/cm^2$  [3].

En el CMS las RPCs operan con el Modo Avalancha, este modo de operación, a diferencia del Modo *Stream*, proporciona descargas mas pequeñas que no afectan la carga de los electrodos y están contenidos mas localmente en el punto de colisión, esto evita la necesidad de recargar los electrodos, un proceso largo que afecta gran parte del detector.

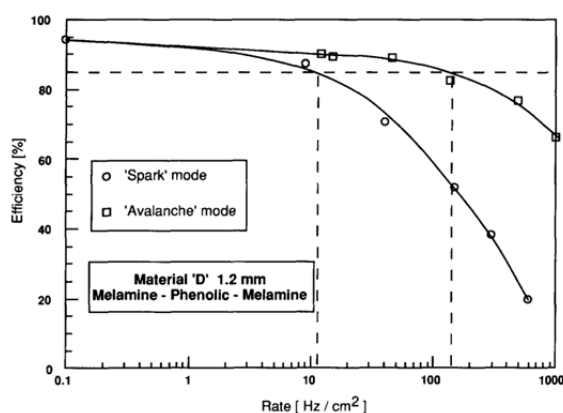


Figura 3.4: Comparación de la eficiencia de una RPC, operando en Modo Avalancha y Modo *Stream*, con respecto a la tasa de capacidad [14].

### 3.4.2. Efectos de presión y temperatura

El voltaje que se le aplica a las RPCs puede variar debido a las condiciones ambientales a las que se encuentre sujeta. La variación en la presión y temperatura tiene efectos sobre la densidad del gas y la resistividad del electrodo. Para corregir esto se modula la intensidad del campo eléctrico. Este voltaje puede calcularse usando la fórmula.

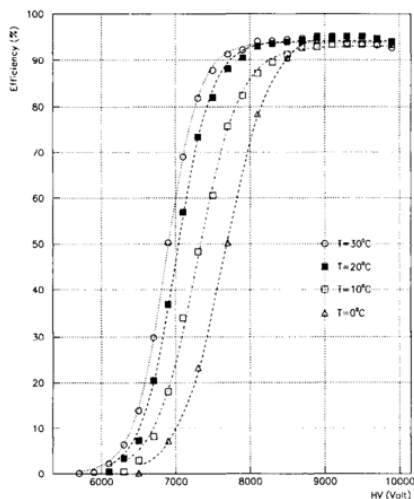
$$HV_{app} = HV_{eff} \frac{P_0 T}{P T_0}$$

Un procedimiento estándar para las correcciones en las variaciones de la temperatura y presión es mantener constante el factor  $HV \frac{T}{P}$ , teniendo como referencia los valores de  $P_0$  y  $T_0$ , que en el CMS  $T_0 = 293,15k$  y  $P_0 = 965hPa$ .

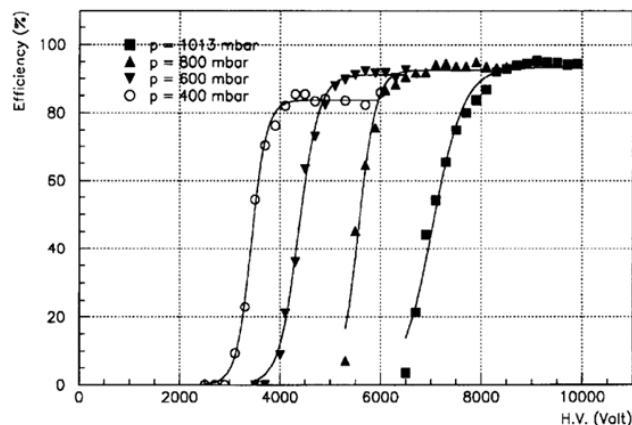
Actualmente el CMS considera que las variaciones de temperatura dentro de la caverna son pequeñas, por lo que se decidió mejorar la corrección de la presión, dando lugar a la fórmula

$$HV_{app} = HV_{eff} \left( 1 - \alpha + \alpha \frac{P_0}{P} \right) \frac{T}{T_0}$$

El factor de *Townsend*  $\alpha$  empleado en el CMS se extraen de ajustes realizados a los datos obtenidos durante el funcionamiento de los detectores ( $\alpha = 0,8$ ) [17].



(a) efectos de la temperatura en la eficiencia



(b) efectos de la presión en la eficiencia

### Voltaje Efectivo

La eficiencia de un detector puede medirse usando como referencia el numero de eventos registrados entre el numero de eventos disparados.

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{events}}{\epsilon_{trigger}}$$

Teniendo en cuenta que la eficiencia de una RPC esta directamente ligada con el voltaje aplicado, podemos hacer esta una función dependiente del voltaje (llamado *High Voltaje Effective*), descrita como

$$\epsilon(HV_{eff}) = \frac{\epsilon_{max}}{1 - e^{\lambda(HV_{eff} - HV_{50})}}$$

Una función sigmoide, en la que  $\epsilon_{max}$  es la máxima eficiencia del detector,  $\lambda$  es proporcional a la pendiente a la mitad del máximo y  $HV_{50}$  es el valor del voltaje cuando la eficiencia alcanza la mitad del máximo [17].

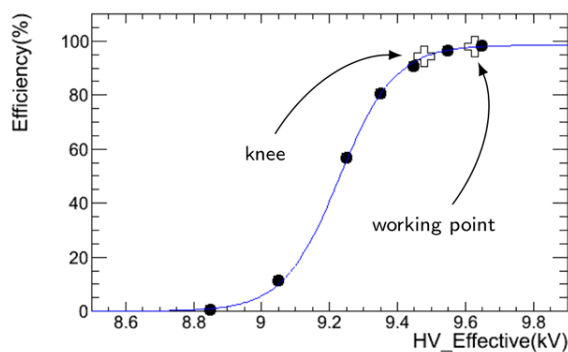


Figura 3.5:



## Capítulo 4

# Distribución de las RPCs en el CMS

Las RPC en el CMS se encuentran distribuidas entre la sección del *Barrel* y las *Endcaps*. En cada sección la geometría de las RPC cambia, mientras que en la región del *Barrel* estas son rectangulares en las *Endcaps* tienen forma trapezoidal.

### 4.1. RPCs en la región del Barrel

El sistema de RPC en la región del *Barrel* consta de 5 *wheels*, cada una con 4 estaciones etiquetadas como: RB1, RB2, RB3 y RB4 (en radio creciente), que se dividen en 12 sectores. Una estación consta de 2 estaciones internas en RB1 y RB2: RB1*in*, RB1*out*, RB2*in* y RB2*out*, y una sola estación en RB3 y RB4, en estas dos estaciones las RPC se dividen en (+) y (-). Por cuestiones mecánicas en todos los sectores, excepto en los sectores S04, S09, S11 de RB4; S09 y S11 consisten en una sola RPC pues están en los pies del cañón, mientras que S04 consta de cuatro RPCs, y estas etiquetadas como RB4--, RB4., RB4+ y RB4++ [20].

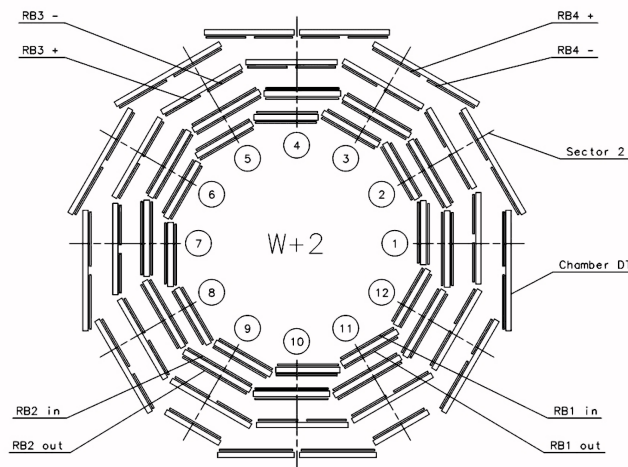


Figura 4.1: Distribución de las RPC en las *wheels*

Todas las RPC del *Barrel* se dividen a lo largo del eje de la viga en 2 particiones, adelante y atrás. Excepto RB2*in* en *wheels* -1, 0, 1 y RB2*out* en las *wheels* -2, +2 que se dividen en 3 particiones, adelante, medio y atrás.

## Distribución de las RPCs en el CMS

### 4.1 RPCs en la región del Barrel

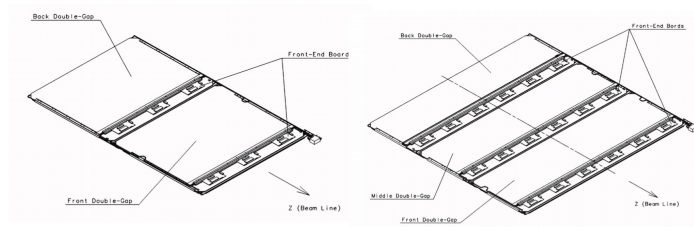


Figura 4.2: se muestran los dos tipos de particiones que tienen las RPC en la región del *Barrel*.

Existe un total de 480 RPC rectangulares, cada una de 2455 mm de longitud. Las excepciones son las RPCs del sector S03 de W-1 y S04 de W+1 que tienen longitudes de 2055 mm para permitir el paso de la chimenea de refrigeración del imán. Las RPCs en RB1, RB2 y RB3 tienen anchuras de 2080 mm, 2500 mm y 1500 mm respectivamente. Las anchuras en las RPC en RB4 dependen del sector en que se ubiquen [3].

Sector	RB4+	RB4++	RB4-	RB4--	RB4
S1-S3					
S5-S7	2000 mm		2000 mm		
S8	1500 mm		2000 mm		
S12	2000 mm		1500 mm		
S9, S11					2000 mm
S10	2500 mm		2500 mm		
S4	1500 mm	1500 mm	1500 mm	1500 mm	

Figura 4.3: Anchura de las RPC en la estación RB4

Se muestra un breve resumen de las RPCs en la región del *Barrel* en la siguiente tabla

RPC	W+2	W+1	W0	W-1	W-2	Total
RB1in	12	12	12	12	12	60
RB1out	12	12	12	12	12	60
RB2/2in	12	-	-	-	12	24
RB2/2out	-	12	12	12	-	36
RB2/3in	-	12	12	12	-	36
RB2/3out	12	-	-	-	12	24
RB3	24	24	24	24	24	120
RB4	24	24	24	24	24	120
Total	96	96	96	96	96	480

## 4.2. RPCs en la región de las Endcaps

El sistema de RPC en las *Endcaps* tiene dos extremos, positivo y negativo denotados como (+) y (-), de acuerdo con la coordenada  $z$  del CMS. Cada *Endcap* consta de estaciones etiquetadas como: RE+1, RE+2, RE+3, RE+4, RE-1, RE-2, RE-3 y RE-4 (*Disk*). Las estaciones estas instaladas en los yugos de la *endcap* de hierro (YE); Las estaciones RE±1,2 se instalan en la parte delantera de la parte del primer yugo de la YE±1. Las estaciones RE±3,4 se instalan en la parte delantera de la parte posterior del primer yugo de la YE±3

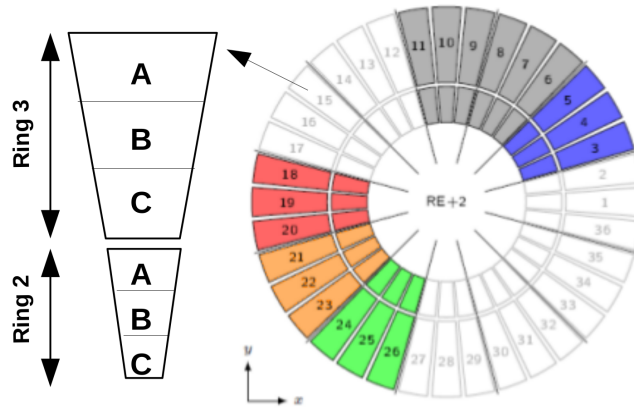


Figura 4.4: Distribución de las RPC en cada *Endcap*

Cada estación de cada *Endcap* consta de 3 anillos. Las RPC se instalan en el segundo y tercer anillo, cada uno consta de 36 RPCs, divididas en sectores de 60 grados etiquetadas como RE±1-4\_R2-3\_CH1-32 [20].

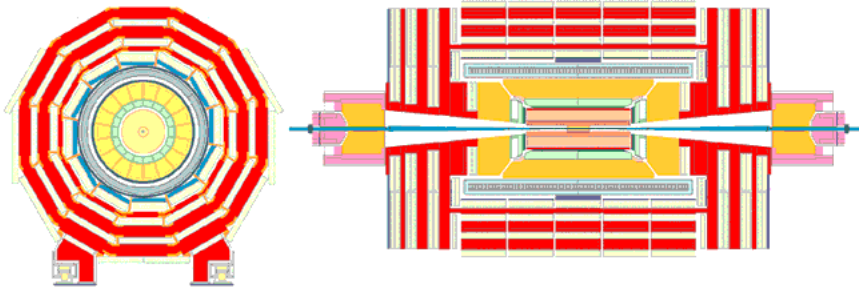


Figura 4.5: Vista transversal del CMS en el que se aprecia las 5 *wheels* y 8 *Disk*. En el CMS hay un total de 1056 RPCs.

Existen 288 RPCs en cada *Endcap*, haciendo un total de 576 RPCs en toda la región de las *Endcaps*.



## Capítulo 5

# Corrientes en las RPCs

La *Dark current* es un fenómeno que se da por la generación espontánea de fotones en las brechas donde se encuentra depositado el gas, esta generación espontánea esta relacionada con las condiciones bajo las que se encuentra la RPC, tales como: humedad relativa, presión atmosférica, temperatura, luminosidad y voltaje aplicado, entre otros. Estas corrientes son relativamente pequeñas pero suficientemente grandes para ser detectadas e interferir con las mediciones. Un aumento repentino de la corriente puede indicar un mal funcionamiento del detector. Propiamente a este tipo de corrientes (*Dark currents*) se les considera ruido, por lo tanto es importante realizar un seguimiento cuidadoso y continuo de las corrientes [23]

Existen pocos métodos para calcular el valor de estas corrientes bajo determinadas condiciones, principalmente son experimentales. Pues el calculo teórico es tedioso y complicado.

En el año 2008 el CMS llevó a cabo un periodo de toma de datos de aproximadamente un mes para aprender lo mas posible sobre las operaciones y el rendimiento antes de la puesta en marcha del LHC, En ese periodo el sistema de RPCs del *Barrel* participó en la toma de datos con un enfoque de analizar el rendimiento de las RPCs. Uno de los resultados de esas mediciones, fue el encontrar un rango de valores (experimentalmente) entre los que varían las corrientes en las RPCs bajo las condiciones en las que opera el LHC. Dichos resultados, se presentan en las siguientes gráficas.

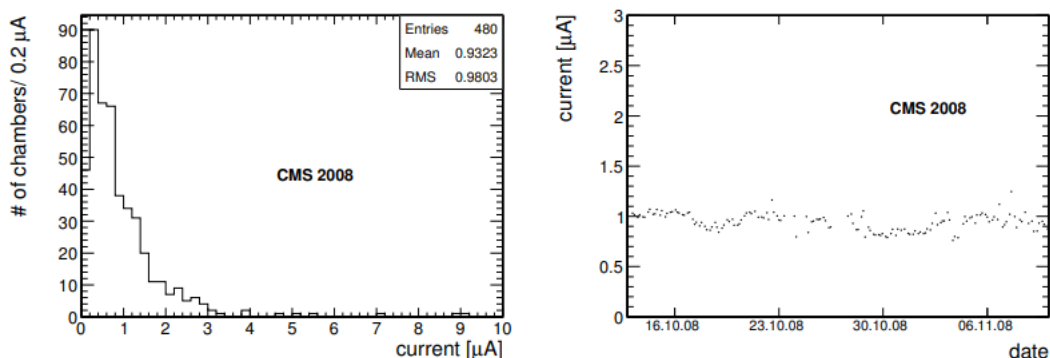


Figura 5.1: En la gráfica de la izquierda se muestra un histograma de las corrientes por día, mientras que en la derecha se muestra un registro diario del valor medio de las corrientes durante el periodo de toma de datos. Se usó un voltaje aplicado de 9.2 kV

En la primer gráfica podemos notar que los valores de corriente registrados están sobre el rango

de  $0 - 3\mu A$ , teniendo un pico en  $0,9323\mu A$ , aproximadamente  $1\mu A$  [23].

Posteriormente en el 2020 la *University of Rome Tor Vergata*, en Roma, Italia, desarrolló un método para predecir el valor de las corrientes usando técnicas de *machine learning* en el que se propone un modelo lineal dado como

$$I_{pred} = C_0 + C_1 L_{inst} + C_2 HV + C_3 T + C_4 L_{inst} e^{HV/P} + C_5 RH + C_6 P + C_7 \Delta t$$

En el que las  $C_i$  son coeficientes a determinar haciendo uso de los datos obtenidos de mediciones previas en el CMS.  $L_{inst}$  denota la luminosidad instantánea del LHC, HV es el voltaje aplicado a las RPC, P es la presión atmosférica, T es la temperatura, RH es la humedad relativa y  $\Delta t$  es el tiempo en el que se dio la toma de datos [22].

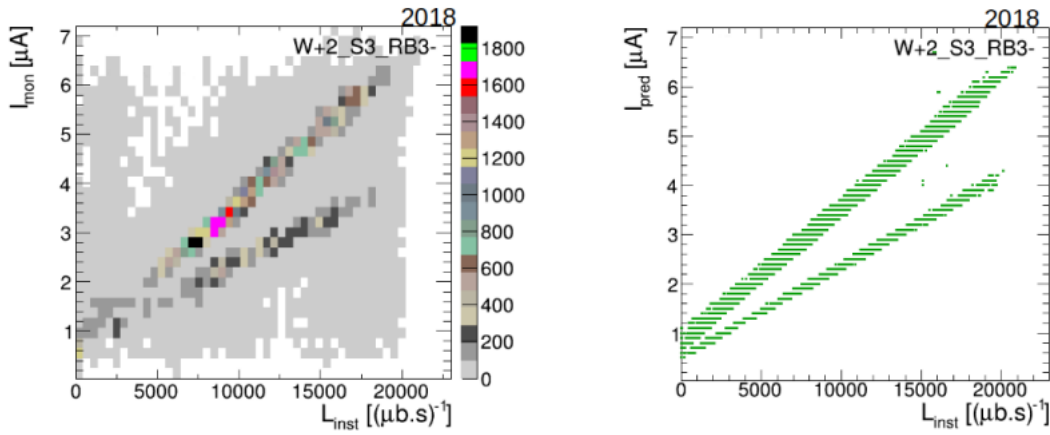


Figura 5.2: En la gráfica de la izquierda se muestran los valores de corrientes monitoreados a diferentes luminosidades mientras que la gráfica de la derecha muestra los valores de corriente predichos por el modelo.

Puede apreciarse que a luminosidades en las que opera normalmente el LHC se tiene un valor de corriente predicho de  $I_{pred} \approx 0,96\mu A$ . Entonces se asume que las RPC con valores de corriente mayores a  $3\mu A$  tienen un menor rendimiento. Esto para las RPC en el *Barrel* trabajando a voltajes de 9.2kV.

Para las RPCs de la región de las *Endcaps* los valores de corriente registrados tienen una media de  $5\mu A$ , con valores máximos aceptados de  $10\mu A$  usando un voltaje de 9.2 kV [24] [25].

## Capítulo 6

# Análisis de Corrientes de las RPCs del CMS

Para la elaboración de esta tesis se hace uso de datos recopilados del experimento CMS a través de varios años en distintas fechas, de septiembre de 2016 a octubre de 2021. Los datos corresponden a mediciones en los valores de corriente detectadas por las RPCs en situaciones en las que no se daban colisiones.

	DPID	DATE	START_DATE	STOP_DATE	V_APPLIED	AVG_IMON
0	315.0	14-SEP-16 06.44.51.000000 PM	14-SEP-16 07.58.33.000000 PM	14-SEP-16 09.20.56.000000 PM	3000.0	0.200000
1	315.0	14-SEP-16 06.44.51.000000 PM	14-SEP-16 09.21.32.000000 PM	14-SEP-16 10.55.29.000000 PM	4000.0	0.178129
2	315.0	14-SEP-16 06.44.51.000000 PM	14-SEP-16 10.56.05.000000 PM	15-SEP-16 03.26.16.000000 AM	5000.0	0.122341
3	315.0	14-SEP-16 06.44.51.000000 PM	15-SEP-16 03.26.52.000000 AM	15-SEP-16 04.31.02.000000 AM	6000.0	0.300000
4	315.0	14-SEP-16 06.44.51.000000 PM	15-SEP-16 04.31.02.000000 AM	15-SEP-16 05.35.48.000000 AM	7000.0	0.300000

Figura 6.1: Archivo de datos usado para realizar los histogramas

Se registraron mediciones usando un rango de voltaje de 1-9.8kV. De los valores de 1-9kV se registran mediciones cada 500 V, posteriormente de 9-9.8kV se toman mediciones cada 100V. Se tienen mas de 210,000 datos para RPC del *barrel* y las *endcaps* en distintas fechas a diferentes valores de voltaje.

Para poder identificar cada RPC se le asigna un código, de se define como DPID, como el que puede verse en la segunda columna del archivo de datos siguiente. Gracias a este código de identificación es posible saber a que *chambers* corresponden las corrientes graficadas.

	DPID2	CHAMBER_NAME
0	315	W+2_RB1in_S01
1	316	W+2_RB1out_S01
2	317	W+2_RB2in_S01
3	318	W+2_RB2out_S01
4	319	W+2_RB3-_S01

Figura 6.2: Archivo en el que se designa un código único para cada *Chamber*

La manipulación de los datos se hizo mediante un programa de Python, con el que a su vez se realizaron los histogramas.

En específico para este trabajo se hace uso de un voltaje aplicado de 9.2 kV, tomando mediciones de siete fechas que van desde el 2017 al 2021, siendo estas: 24-jul-17, 27-oct-17, 25-mar-18, 20-jun-18, 20-sep-18, 03-mar-21, 14-oct-21.

## 6.1. Resultados

### 6.1.1. Endcaps

Se exponen los histogramas obtenidos de la región de las *Endcaps* y una tabla para cada *endcap* en la que se enlistan las RPC que presentaron mediciones de corrientes mayores a los límites establecidos. Las x corresponden a las fechas donde se tuvo una corriente mayor al límite y los espacios en blanco a fechas que tuvieron valores dentro del intervalo establecido.

Se debe tener en consideración que en la región de las *Endcaps*, de las 576 *chambers* que existen, solo tenemos registros de 570. De las cuales, 280 *chambers* comparten fuente de voltaje con alguna otra *chamber* (esto puede apreciarse mejor en el archivo de datos), teniendo entonces un máximo de 290 lecturas de corriente para cada fecha. Estas RPCs comparten fuente de voltaje porque su working point es similar.

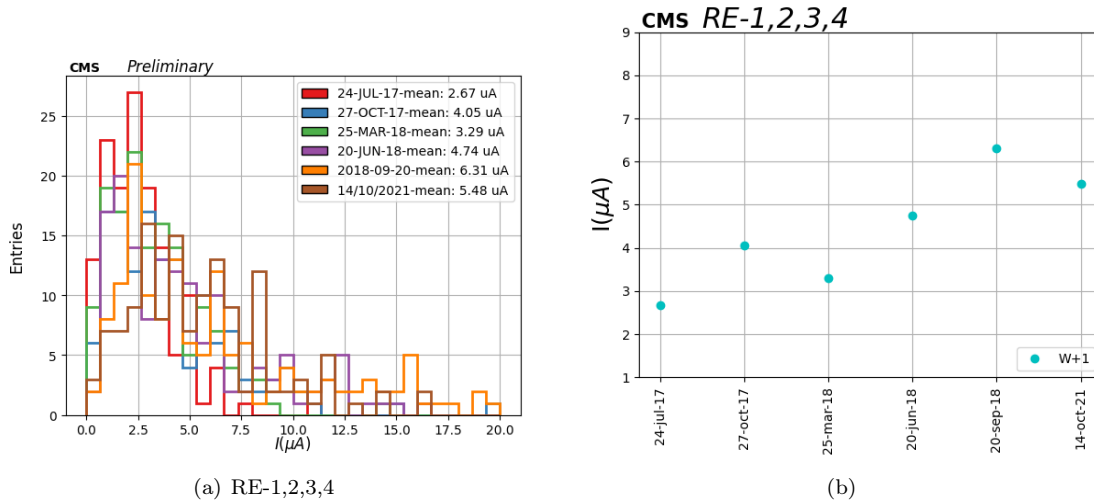


Figura 6.3: Histogramas de la distribución de corriente en las RPCs de la región de las *endcaps* en RE-1, RE-2, RE-3, RE-4 en una fecha dada.

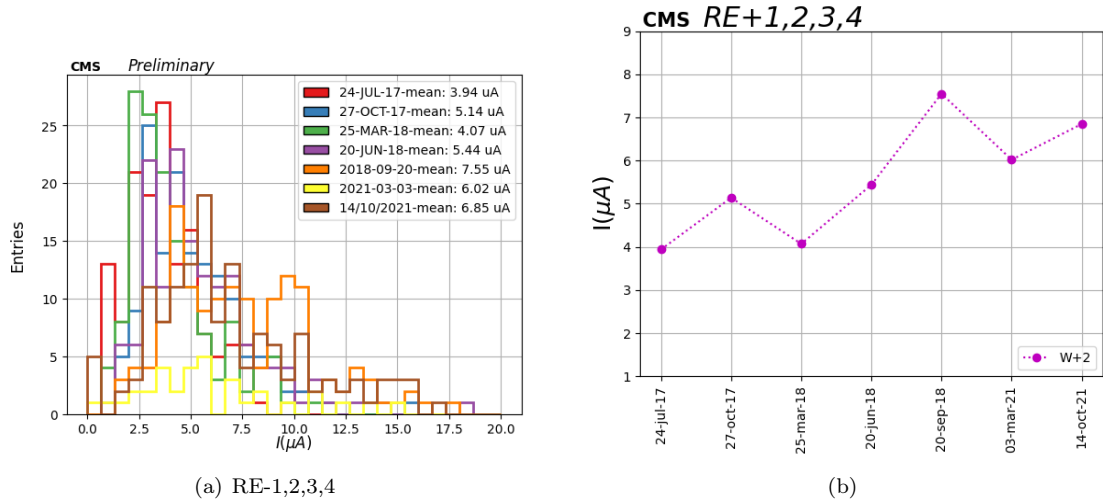


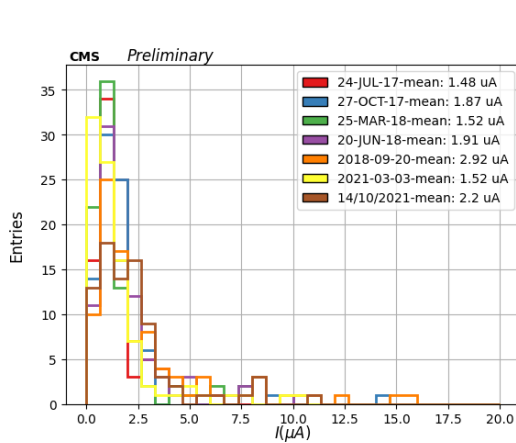
Figura 6.4: Histograma de la distribución de corriente en las RPCs de la región de las *endcaps* en RE+1, RE+2, RE+3, RE+4 en una fecha dada

Chamber	2017							2018							2021							
	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	
RE-1 R2_CH05							x	RE-4 R2_CH19			x	x			RE-4 R2_CH05					x		
RE-1 R2_CH07							x	RE-4 R2_CH20			x	x			RE-4 R2_CH06					x		
RE-1 R2_CH08							x	RE-4 R2_CH22				x			RE-4 R2_CH07					x		
RE-1 R2_CH09							x	RE-4 R2_CH26				x			RE-4 R2_CH09				x	x		
RE-1 R2_CH31	x	x	x					RE-4 R2_CH27			x	x			RE-4 R2_CH10					x		
RE-1 R2_CH33							x	RE-4 R2_CH28			x				RE-4 R2_CH12				x	x		
RE-1 R3_CH36							x	RE-4 R2_CH29			x	x	x		RE-4 R2_CH13		x		x	x		
RE-2 R2_CH07	x	x	x					RE-4 R2_CH30				x			RE-4 R2_CH14				x	x		
RE-2 R2_CH17							x	RE-4 R2_CH31				x			RE-4 R2_CH15						x	
RE-2 R2_CH30							x	RE-4 R2_CH34				x			RE-4 R2_CH16		x	x	x	x		
RE-2 R2_CH34							x	RE-4 R2_CH35			x	x			RE-4 R2_CH17				x	x		x
RE-2 R3_CH01							x	RE-4 R2_CH36			x	x			RE-4 R2_CH18		x	x	x	x		
RE-2 R3_CH02							x	RE-4 R3_CH01				x			RE-4 R3_CH19				x	x		
RE-2 R3_CH03							x	RE-4 R3_CH02				x			RE-4 R3_CH20				x	x		
RE-2 R3_CH05					x		x	RE-4 R3_CH03				x	x		RE-4 R3_CH22						x	
RE-2 R3_CH07							x	RE-4 R3_CH04	x	x	x	x	x		RE-4 R3_CH26						x	
RE-2 R3_CH09					x		x	RE-4 R3_CH05				x			RE-4 R3_CH27				x	x		
RE-2 R3_CH11							x	RE-4 R3_CH06				x			RE-4 R3_CH28						x	
RE-2 R3_CH20							x	RE-4 R3_CH07				x			RE-4 R3_CH29				x	x		x
RE-2 R3_CH25							x	RE-4 R3_CH09			x	x			RE-4 R3_CH30						x	
RE-2 R3_CH26							x	RE-4 R3_CH10				x			RE-4 R3_CH31						x	
RE-2 R3_CH31					x		x	RE-4 R3_CH12				x	x		RE-4 R3_CH34						x	
RE-2 R3_CH34					x		x	RE-4 R3_CH13		x		x	x		RE-4 R3_CH35				x	x		
RE-3 R3_CH26							x	RE-4 R3_CH14				x	x		RE-4 R3_CH36				x	x		
RE-4 R2_CH01					x			RE-4 R3_CH15				x			RE-4 R2_CH04	x	x	x	x	x		
RE-4 R2_CH02					x			RE-4 R3_CH16		x	x	x	x		RE-4 R3_CH18		x	x	x	x		
RE-4 R2_CH03				x	x			RE-4 R3_CH17				x	x									

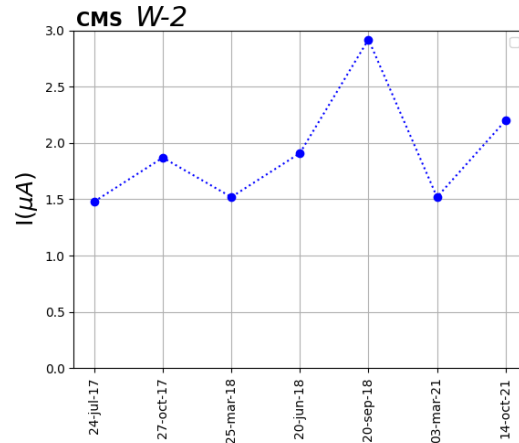
Chamber	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	Chamber	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	Chamber	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	
	RE+1_R2_CH04								x	RE+3_R3_CH16								x	RE+4_R3_CH06					
RE+1_R2_CH05						x	x	RE+3_R3_CH18					x		x	RE+4_R3_CH11	x	x	x	x	x	x		x
RE+1_R2_CH14	x	x	x	x	x	x		RE+3_R3_CH20					x		x	RE+2_R3_CH24						x		x
RE+1_R2_CH16	x	x	x		x	x	x	RE+3_R3_CH22					x		x	RE+2_R3_CH27								x
RE+1_R2_CH17					x		x	RE+3_R3_CH24							x	RE+2_R3_CH29				x	x			x
RE+1_R2_CH19					x			RE+3_R3_CH27							x	RE+3_R2_CH03								x
RE+1_R2_CH21					x	x		RE+3_R3_CH31					x			RE+3_R2_CH06						x		x
RE+1_R2_CH22		x				x	x	RE+3_R3_CH32							x	RE+3_R2_CH29						x		x
RE+1_R2_CH26		x				x	x	RE+3_R3_CH35					x		x	RE+3_R3_CH02						x		x
RE+1_R2_CH31							x	RE+4_R2_CH03					x			RE+3_R3_CH07						x		x
RE+1_R3_CH01						x	x	RE+4_R2_CH05				x	x		x	RE+3_R3_CH10					x	x		x
RE+1_R3_CH12	x	x	x	x	x	x		RE+4_R2_CH06					x		x	RE+3_R3_CH11	x	x	x	x	x	x		x
RE+1_R3_CH16					x		x	RE+4_R2_CH07	x	x	x	x	x		x	RE+3_R3_CH12						x		x
RE+1_R3_CH18					x		x	RE+4_R2_CH11	x	x	x	x	x		x	RE+3_R3_CH14	x	x	x	x	x	x		x
RE+2_R2_CH04							x	RE+4_R2_CH12					x		x	RE+4_R2_CH24						x		x
RE+2_R2_CH07					x		x	RE+4_R2_CH17					x		x	RE+4_R3_CH12					x			x
RE+2_R2_CH11						x		RE+4_R2_CH19				x	x		x	RE+4_R3_CH17					x			x
RE+2_R2_CH12							x	RE+4_R2_CH20					x			RE+4_R3_CH19					x	x		x
RE+2_R2_CH17					x			RE+4_R2_CH21					x			RE+4_R3_CH20						x		x
RE+2_R2_CH22							x	RE+4_R2_CH22				x	x		x	RE+4_R3_CH21						x		x
RE+2_R3_CH06					x		x	RE+4_R2_CH26					x			RE+4_R3_CH22					x	x		x
RE+2_R3_CH08							x	RE+4_R2_CH27					x			RE+4_R3_CH24						x		x
RE+2_R3_CH12	x	x	x		x	x	x	RE+4_R2_CH34					x			RE+4_R3_CH26						x		x
RE+2_R3_CH14					x		x	RE+4_R3_CH03					x			RE+4_R3_CH27						x		x
RE+2_R3_CH15					x	x		RE+4_R3_CH05				x	x		x	RE+4_R3_CH34						x		x
RE+2_R3_CH17					x			RE+2_R3_CH18					x											

### 6.1.2. Barrel

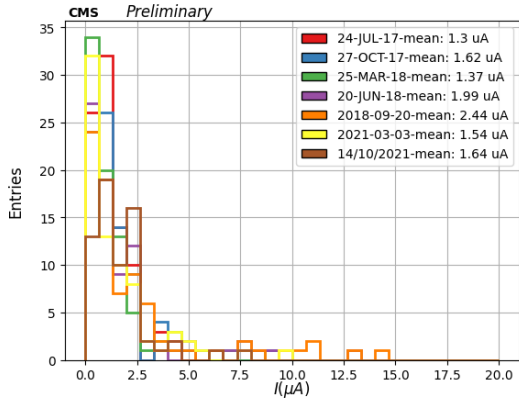
Se exponen los histogramas obtenidos de la región del *Barrel* y una tabla para cada *Wheel* en la que se enlistan las RPC que presentaron mediciones de corrientes mayores a los límites establecidos. Las x corresponden a las fechas donde se tuvo una corriente mayor al límite y los espacios en blanco a fechas que tuvieron valores dentro del intervalo establecido.



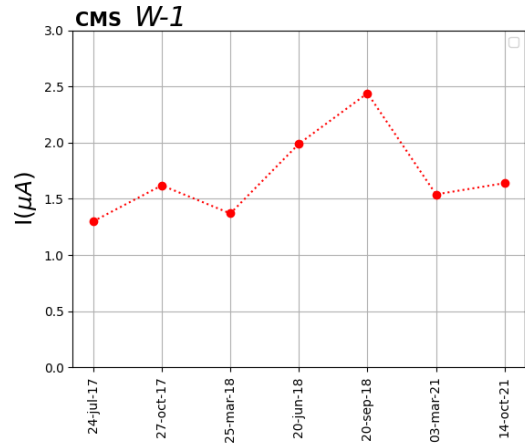
(a) W-2



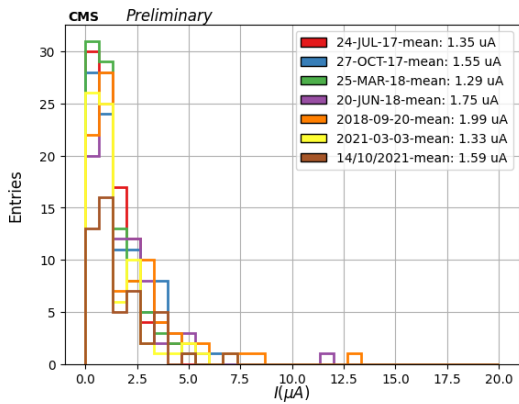
(b)



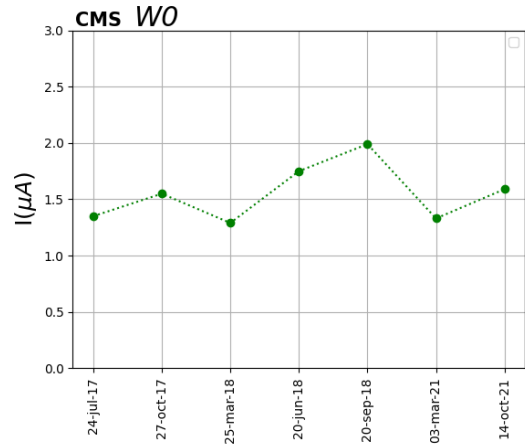
(c) W-1



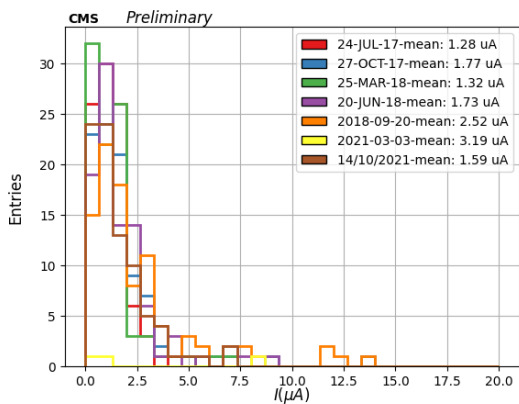
(d)



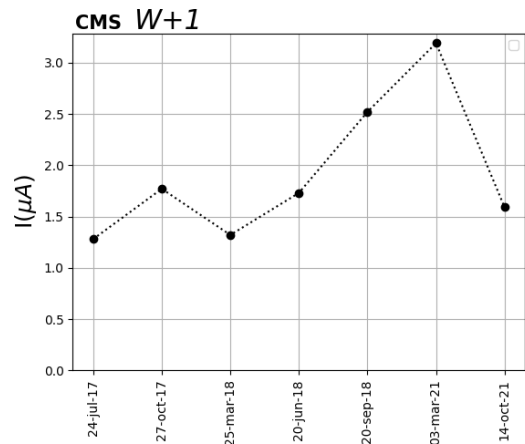
(e) W0



(f)



(g) W+1



(h)

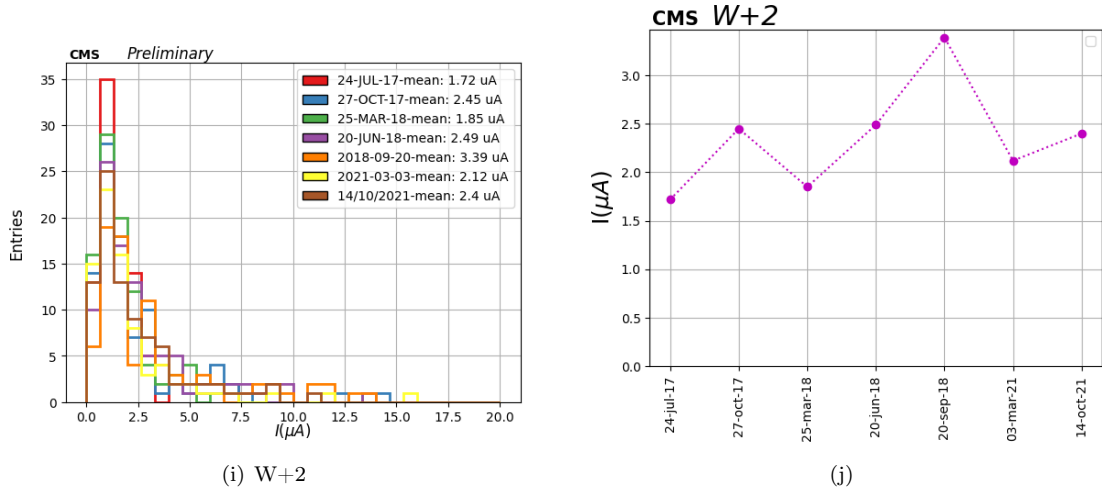


Figura 6.5: Histogramas de la distribución de corriente en las RPCs de la región del *Barrel*

		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
<b>W+2</b>	<b>Chamber</b>							
	W+2_RB1in_S02		x	x		x	x	
	W+2_RB1in_S03		x		x		x	x
	W+2_RB1in_S04	x	x		x	x		x
	W+2_RB1in_S05		x	x		x		
	W+2_RB1in_S06	x	x		x	x		x
	W+2_RB1in_S07		x		x		x	x
	W+2_RB1in_S08		x		x	x		
	W+2_RB1in_S09	x	x	x	x	x		x
	W+2_RB1in_S10					x		
	W+2_RB1in_S11	x	x	x	x	x	x	x
	W+2_RB1in_S12		x	x	x		x	x
	W+2_RB1out_S01					x		x
	W+2_RB1out_S02			x	x		x	x
	W+2_RB1out_S04		x	x	x	x		
	W+2_RB1out_S05		x	x	x	x	x	x
	W+2_RB1out_S06		x	x	x	x	x	x
	W+2_RB1out_S07				x		x	x
	W+2_RB1out_S08	x	x	x	x	x		x
	W+2_RB1out_S10					x		x
W+2_RB1out_S11		x						
W+2_RB1out_S12	x	x		x				
	<b>Chamber</b>							
	W+2_RB2in_S08	x	x	x		x		
	W+2_RB2in_S09					x		x
	W+2_RB2out_S03							x
	W+2_RB2out_S08	x	x	x			x	x
	W+2_RB2out_S09	x	x			x	x	x
	W+2_RB2out_S12		x		x			x
	W+2_RB3- S08					x		
	W+2_RB3+ S01				x		x	x
	W+2_RB3+ S08					x		
	W+2_RB4- S03					x		
	W+2_RB4- S04		x					
	W+2_RB4- S05					x		
	W+2_RB4- S06				x	x		
	W+2_RB4+ S01	x	x	x	x	x	x	x
	W+2_RB4+ S02					x		
	W+2_RB4+ S03		x		x	x		
	W+2_RB4+ S05		x			x		
	W+2_RB4+ S06					x		
	W+2_RB4+ S07					x		x
	W+2_RB4+ S12							x
	W+2_RB4++ S04					x		

		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21			24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	
<b>W+1</b>	Chamber								Chamber									
	W+1_RB3+_S02	x	x	x	x	x			W+1_RB2out_S02									x
	W+1_RB1in_S02							x	W+1_RB2out_S12	x	x	x	x	x				
	W+1_RB1in_S07					x			W+1_RB3-_S06					x				x
	W+1_RB1in_S08		x						W+1_RB4-_S01		x		x	x				
	W+1_RB1in_S09		x		x		x	x	W+1_RB4-_S02					x				
	W+1_RB1out_S02					x			W+1_RB4-_S03				x	x				
	W+1_RB1out_S05				x	x			W+1_RB4-_S05		x	x	x	x				x
	W+1_RB1out_S08		x	x	x	x			W+1_RB4+_S01					x				
	W+1_RB1out_S10					x		x	W+1_RB4+_S02		x	x	x	x				x
	W+1_RB1out_S11							x	W+1_RB4+_S03					x				
	W+1_RB2in_S02					x			W+1_RB4+_S05		x		x	x				x
	W+1_RB2in_S06					x			W+1_RB4+_S06				x	x				x
	W+1_RB2in_S11					x			W+1_RB4+_S07					x				
	W+1_RB2in_S12	x	x	x	x	x		x	W+1_RB4+_S12									

		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21			24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21	
<b>W0</b>	Chamber								Chamber									
	W0_RB1in_S05	x	x	x	x	x			W0_RB3+_S12	x	x	x	x	x				
	W0_RB1out_S05		x		x	x			W0_RB4-_S03					x				
	W0_RB1out_S11					x	x	x	W0_RB4-_S04		x		x	x				
	W0_RB2out_S03	x	x	x	x				W0_RB4--_S04		x		x	x				x
	W0_RB2out_S06	x	x	x	x	x	x	x	W0_RB4-_S05					x				
	W0_RB2out_S08							x	W0_RB4-_S06					x				
	W0_RB2out_S11					x		x	W0_RB4-_S08					x				
	W0_RB2out_S12	x	x	x	x	x			W0_RB4-_S12		x							
	W0_RB3-_S02			x		x	x		W0_RB4+_S01							x		
	W0_RB3-_S10	x	x		x	x			W0_RB4+_S03		x		x	x				
	W0_RB3-_S12	x				x			W0_RB4+_S04		x			x				
	W0_RB3+_S01	x	x	x	x	x	x		W0_RB4+_S05		x	x	x	x	x	x	x	x
	W0_RB3+_S07							x	W0_RB4+_S06								x	x

Análisis de Corrientes de las RPCs del CMS  
6.1 Resultados

		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21			24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
W-1	Chamber								Chamber								
	W-1_RB1in_S02		x	x	x	x			W-1_RB3-_S04				x	x			
	W-1_RB1in_S04						x	x	W-1_RB3-_S12						x	x	
	W-1_RB1in_S05					x			W-1_RB3+_S04		x	x	x	x			
	W-1_RB1in_S08		x	x	x	x	x		W-1_RB4-_S02	x							
	W-1_RB1in_S11				x	x	x		W-1_RB4-_S04		x	x	x	x			
	W-1_RB1out_S02	x	x	x	x	x			W-1_RB4--_S04					x			
	W-1_RB1out_S05						x	x	W-1_RB4-_S06					x			
	W-1_RB1out_S08		x	x	x	x			W-1_RB4_S09					x			
	W-1_RB1out_S11	x	x	x	x	x	x		W-1_RB4+_S01	x	x	x					
	W-1_RB2in_S04	x	x						W-1_RB4+_S04						x	x	
	W-1_RB2out_S04	x	x						W-1_RB4+_S05	x					x		
	W-1_RB2out_S07			x	x				W-1_RB4+_S08						x		
	W-1_RB2out_S09					x	x	x	W-1_RB4+_S12		x	x	x	x			

		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21			24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
W-2	Chamber								Chamber								
	W-2_RB1out_S02	x	x	x	x	x	x	x	W-2_RB4+_S04				x	x			x
	W-2_RB4-_S02	x	x	x	x	x	x	x	W-2_RB1in_S03					x			
	W-2_RB4-_S03	x	x	x	x	x	x	x	W-2_RB1out_S03					x			
	W-2_RB4+_S03	x	x	x	x	x	x	x	W-2_RB1in_S04					x		x	
	W-2_RB4+_S06	x	x			x			W-2_RB3+_S04					x			
	W-2_RB1out_S08	x	x	x		x	x		W-2_RB1in_S05					x		x	
	W-2_RB3-_S08	x	x		x	x		x	W-2_RB4+_S05					x	x	x	
	W-2_RB1in_S12	x	x	x	x	x	x	x	W-2_RB1in_S07					x			
	W-2_RB3-_S12	x							W-2_RB2in_S07					x			
	W-2_RB4+_S02		x	x	x	x		x	W-2_RB1in_S08					x		x	
	W-2_RB1out_S04		x		x		x	x	W-2_RB1out_S09					x			
	W-2_RB1out_S06		x		x	x			W-2_RB1out_S11					x			
	W-2_RB3+_S07		x		x	x		x	W-2_RB4+_S12					x			
	W-2_RB2in_S08			x	x	x		x	W-2_RB3-_S03								x
	W-2_RB3-_S10			x					W-2_RB3-_S07								x

# Capítulo 7

## Discusión

Se aprecia que la media de las RPC pertenecientes a la región del *Barrel* tienen un valor dentro de los límites establecidos de  $0 - 3\mu A$ . Existen RPC que registraron valores de corriente mayores al límite superior, las RPC que mostraron constancia en estos valores anómalos se enlistan a continuación (RPC que registraron valores de corriente mayores a  $3\mu A$  durante 4 o más fechas continuas): W2\_RB1out\_S02, W-2\_RB4-\_S02, W-2\_RB4-\_S03, W-2\_RB4+\_S03, W-2\_RB1in\_S12, W-2\_RB4+\_S02, W-1\_RB1in\_S02, W-1\_RB1in\_S08, W-1\_RB1out\_S02, W-1\_RB1out\_S08, W-1\_RB1out\_S11, W-1\_RB3+\_S04, W-1\_RB4-\_S04, W-1\_RB4+\_S12, W0\_RB1in\_S05, W0\_RB2out\_S03, W0\_RB2out\_S06, W0\_RB2out\_S12, W0\_RB3+\_S01, W0\_RB3+\_S12, W0\_RB4+\_S05, W+1\_RB3+\_S02, W+1\_RB1out\_S08, W+1\_RB2in\_S12, W+1\_RB2out\_S12, W+1\_RB4-\_S05, W+1\_RB4+\_S02, W+2\_RB1in\_S02, W+2\_RB1in\_S04, W+2\_RB1in\_S06 W+2\_RB1in\_S09, W+2\_RB1in\_S11, W+2\_RB1out\_S04, W+2\_RB1out\_S05, W+2\_RB1out\_S06, W+2\_RB1out\_S08, W+2\_RB1out\_S12, W+2\_RB4+\_S01.

Se pueden dividir estas mediciones arriba del promedio en dos casos, el primero en el que las corrientes hayan ido aumentando con el paso del tiempo, es decir, que la corriente registrada fuera incrementando tras cada medición, o en el segundo, que la corriente aunque se haya registrado por encima de los límites establecidos se haya mantenido constante con el paso del tiempo.

En la Wheel W+2 se puede apreciar que la *chamber* W+2\_RB1out\_S06 tiene una variación pequeña en los valores de corriente, mientras que el resto de *chambers* tienen variaciones significantes en los valores de las corrientes registradas. Estos valores por encima del límite se mantienen prácticamente todo el tiempo, a excepción de las *chambers* W+2\_RB1out\_S12 y W+2\_RB1out\_S04 que a partir del 20-jun-18 y 03-mar-21, respectivamente, registran valores dentro de los límites.

	<i>Chamber</i>	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
W+2	W+2_RB4+_S01	6.93	12.3	4.1	4.34	9.19	15.7	10.7
	W+2_RB1out_S04		5.94	4.47	7.89	9.66		
	W+2_RB1out_S05		6.5	3.8	8.19	10.8	6.9	8.89
	W+2_RB1out_S06		3.12	3.21	4.4	5.3	3.09	3.59
	W+2_RB1out_S08	4.19	6.83	4.16	6.2	7.69		3.2
	W+2_RB1in_S09	6.4	14.3	7	13.5	12.7		6.16
	W+2_RB1in_S11	5	8	4.69	9.53	13.3	5.5	6.59
	W+2_RB1out_S12	4.8	6	3.7	7.08			

En el caso de la *Wheel* W+1 todas las *chambers* tienen valores de corriente no constantes que aumentan considerablemente con el paso del tiempo. Aunque en algunos casos estas corrientes no sobrepasan por mucho el límite establecido (como en el caso de la *chamber* W+1\_RB1out\_S08) es problemático que las variaciones de corriente sean grandes. A partir del 03-mar-21 todas las *chambers* registran corrientes dentro de los límites, siendo solo las *chambers* W+1\_RB4+\_S02, W+1\_RB4-\_S05 Y W+1\_RB2in\_S08 que en la fecha del 14-oct-21 registran corrientes por encima de lo establecido.

<i>Chamber</i>		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
W+1	W+1_RB3+_S02	4.3	5.1	3.63	5.4	6.69		
	W+1_RB4+_S02		6.5	4.6	6.7	12		4.8
	W+1_RB4-_S05		8.9	6.7	7.9	11.9		7.08
	W+1_RB1out_S08		3.71	3.15	4.3	7		
	W+1_RB2in_S12	5.19	7.19	6.19	8.9	13.7		5.9
	W+1_RB2out_S12	8.57	13.8	5	7.21	11.8		

Para la *Wheel* W0 las *chambers* W0\_RB3+\_S12 y W0\_RB2out\_S03 presentan un valor constante en el valor de las corrientes que se registran, en el resto, las corrientes tienen valores muy variables. En la fecha del 03-mar-18 las *chambers* registraron corrientes dentro de los límites, exceptuando a W0\_RB4+\_S05 y W0\_RB2out\_S06 que presentan registros altos en todas las fechas.

<i>Chamber</i>		24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
W0	W0_RB2out_S12	3.7	3.74	3.59	3.6	3.7		
	W0_RB3+_S12	3.42	3.59	3.12	3.13	3.13		
	W0_RB3+_S01	3.64	3.79	3.49	4.3	4.5	4.61	
	W0_RB2out_S03	4.59	4.62	4.39	4.69			
	W0_RB1in_S05	3.62	3.68	5.09	11.5	13		
	W0_RB4+_S05	2.59	6	4.3	5.29	7.4	6.69	6.71
	W0_RB2out_S06	4	3.76	3.89	4.4	4.83	4.69	4.69

En la *Wheel* W-1 todas las *chambers* registraron valores de corrientes no constantes, estos van aumentando conforme pasa el tiempo, lo que indica afectaciones en el detector. Se aprecia una disminución considerable, respecto al último registro, de la corriente, en la fecha 03-mar-21, aunque en las *chambers* W-1\_RB1in\_S08 y W-1\_RB1out\_S11 el valor registrado es superior al límite, este disminuyó y queda por debajo del límite superior en la fecha consiguiente.

		<i>Chamber</i>	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
<b>W-1</b>	W-1_RB1in_S02		3.45	3.89	6.32	8.5			
	W-1_RB1out_S02	3.79	8.19	6.69	9.37	14.3			
	W-1_RB3+_S04		3.5	5.09	8.19	10.1			
	W-1_RB4-_S04		3.59	3.9	7.59	13.2			
	W-1_RB1in_S08		4.19	4	7.4	9.69	4.09		
	W-1_RB1out_S08		3.59	3.2	5.28	7.69			
	W-1_RB1out_S11	4.28	5.77	5.3	7.3	10.7	5.8		
	W-1_RB4+_S12		4.8	4.59	8.69	11.3			

Tenemos que en la *Wheel* W-2 las *chamber* registran corrientes no constantes, aumentan o disminuyen drásticamente con el tiempo, un comportamiento anómalo en los detectores.

		<i>Chamber</i>	24-jul-17	27-oct-17	25-mar-18	20-jun-18	20-sep-18	03-mar-21	14-oct-21
<b>W-2</b>	W-2_RB1out_S02	3.2	4.19	4.09	4.9	10.6	6.71	8.39	
	W-2_RB4-_S02	3.5	7.4	6.29	7.4	9.5	4.69	6.3	
	W-2_RB4+_S02		4	3	4.3	5.8		3.4	
	W-2_RB4-_S03	4.8	9	7.9	7.5	15.9	9.89	11.2	
	W-2_RB4+_S03	3.9	7.4	7.69	6.9	8.3	5.5	5.59	
	W-2_RB1in_S12	6	9.63	6.09	10.2	14.8	4.59	7.65	



## Capítulo 8

# Conclusiones

- De un total de 480 RPC que conforman a la región del *barrel*, 152 registraron en algún momento valores de corriente mayores a los  $3\mu A$ , de las cuales solo 35 registraron continuamente por 4 fechas o mas, valores de corrientes por encima del limite.
- De las 35 *chambers* que mostraron incidencia en el registro de corrientes mayores al limite establecido, las RPCs W0\_RB3+\_S12, W0\_RB2out\_S03 pueden considerarse no problemáticas debido a que las corrientes se mantuvieron entre valores de  $3,12 - 3,7\mu A$ .
- Las *chambers* W-1\_RB1 in\_S02, W-1\_RB1 in\_S08, W-1\_RB1 out\_S02, W-1\_RB1 out\_S08, W-1\_RB1 out\_S11, W-1\_RB3+\_S04, W-1\_RB4-\_S04, W-1\_RB4+\_S12, W0\_RB1 in\_S05, W0\_RB2 out\_S12, W0\_RB3+\_S01, W+1\_RB3+\_S02, W+1\_RB1 out\_S08, W+1\_RB2 in\_S12, W+1\_RB2 out\_S12, W+1\_RB4-\_S05, W+1\_RB4+\_S02, W+2\_RB1 out\_S04, W+2\_RB1 out\_S12 registraron corrientes variables mayores al limite hasta la fecha del 20-sep-18, lo que indica que se corrigieron problemas en su funcionamiento, teniendo muy pocas RPCs reincidentes que aun así la corriente registrada es menor a los valores que tenían en un principio.
- Las *chambers* W-2\_RB1out\_S02, W-2\_RB4-\_S02, W-2\_RB4-\_S03, W-2\_RB4+\_S03, W-2\_RB1in\_S12, W-2\_RB4+\_S02, W0\_RB4+\_S05, W0\_RB2out\_S06, W+2\_RB1in\_S11, W+2\_RB1out\_S06, W+2\_RB1out\_S05, W+2\_RB4+\_S01, W+2\_RB1in\_S09, W+2\_RB1 out\_S08 no mostraron mejoría en las corrientes registradas, los valores siguen estando muy por encima del limite aceptado y siendo muy variables. El no mostrar una disminución en las corrientes registradas hace que sea necesario una inspección mas precisa sobre la mezcla del gas, el voltaje aplicado, la presión o la temperatura para determinar así si es conveniente sustituir la RPC.
- De un total de 576 RPC ue conforman la región de las *Endcaps*, 158 registraron en algún momento valores de corriente mayores a los  $10\mu A$ , de las cuales las correspondientes al DPID 203857,203871, 203873, 142910, 142938, 203818, 203830 registraron continuamente por 4 fechas o mas, valores de corriente por encima del limite. No mostraron mejoría en las corrientes registradas, los valores siguen estando muy por encima del limite aceptado y siendo muy variables. El no mostrar una disminución en las corrientes registradas hace que sea necesario una inspección mas precisa sobre la mezcla del gas, el voltaje aplicado, la presión o la temperatura para determinar así si es conveniente sustituir la RPC.
- Estudiar el comportamiento que tienen las corrientes dentro de las RPCs es indispensable para mantener una buena calidad en los datos que se recolectan durante las colisiones que ocurren en el experimento CMS.



# Bibliografía

- [1] "Detector | CMS Experiment."<https://cms.cern/detector>,
- [2] CMS COLLABORATION, et al. The CMS muon project: Technical Design Report. Technical Design Report CMS. CERN, Geneva, 1997.
- [3] ADOLPHI, Roman, et al. The CMS experiment at the CERN LHC. *Jinst*, 2008, vol. 803, p. S08004.
- [4] KRAMMER, Manfred; CMS TRACKER COLLABORATION. The Silicon Inner Tracker of CMS: Construction, Organization and Future Upgrade. En *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics, 2008. p. 84-90.
- [5] ORFANELLI, Stella, et al. The phase 2 upgrade of the CMS inner tracker. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2020, vol. 980, p. 164396.
- [6] CMS COLLABORATION, et al. Performance and operation of the CMS electromagnetic calorimeter. *Journal of Instrumentation*, 2010, vol. 5, no 03, p. T03010.
- [7] EZZELDINE, M., et al. The modification of CMS Electromagnetic Calorimeter Supermodule insertion tool. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2023, vol. 1047, p. 167723.
- [8] FERNÁNDEZ-BEDOYA, C., et al. Overview of the Read-Out System for the CMS Drift Tube Chambers. 2003.
- [9] "Muon Drift Tubes | CMS Experiment."<https://cms.cern/detector/detecting-muons/muon-drift-tubes>
- [10] ACOSTA, D., et al. Large CMS cathode strip chambers: design and performance. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2000, vol. 453, no 1-2, p. 182-187.
- [11] Cathode Strip Chambers | CMS Experiment.". <https://cms.cern/detector/detecting-muons/cathode-strip-chambers>
- [12] Asilar, Ece, and CMS MUON Group. "Performance of improved RPCs demonstrator for the CMS at the HL-LHC." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 1048 (2023): 167953.
- [13] Abbas, M., et al. "Quality control of mass-produced GEM detectors for the CMS GE1/1 muon upgrade." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 1034 (2022): 166716.

- [14] CROTTY, Ian, et al. The non-spark mode and high rate operation of resistive parallel plate chambers. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1994, vol. 337, no 2-3, p. 370-381.
- [15] PESKOV, Vladimir; ABBRESCIA, Marcello; FONTE, Paulo. Resistive gaseous detectors: designs, performance, and perspectives. John Wiley & Sons, 2018.
- [16] PAOLUCCI, P., HADJISKA, R., LITOV, L., PAVLOV, B., PETKOV, P., DIMITROV, A., ... & CHOI, Y. I. (2013). CMS RESISTIVE PLATE CHAMBER OVERVIEW, FROM THE PRESENT SYSTEM TO THE UPGRADE PHASE I. JOURNAL OF INSTRUMENTATION, 8(04), P04005.
- [17] Fagot, Alexis. Consolidation and extension of the CMS Resistive Plate Chamber system in view of the high-luminosity LHC upgrade. Diss. Ghent University, 2020.
- [18] Lippmann, Christian, and Werner Riegler. "Detector physics of resistive plate chambers." 2002 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record. Vol. 1. IEEE, 2002.
- [19] ANDRABI, RAAFEY. (2018). RESISTIVE PLATE CHAMBERS: CURRENTS ANALYSIS. 10.13140/RG.2.2.29085.95206.
- [20] RPCDPGResultsforVenice <CMSPublic < TWiki.". <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/RPCDPGResultsforVenice>
- [21] Voevodina. (2019). R&D on the Resistive Plate Chamber for the Phase-II Upgrade of the CMS Muon Detector. Tesi di dottorato. <http://www.fedoa.unina.it/id/eprint/12731>
- [22] SHUMKA, E. (2022). MACHINE LEARNING BASED TOOL FOR CMS RPC CURRENTS QUALITY MONITORING (NO. CMS-CR-2022-225).
- [23] CMS COLLABORATION, et al. Performance study of the CMS barrel resistive plate chambers with cosmic rays. Journal of Instrumentation, 2010, vol. 5, no 03, p. T03017.
- [24] KHURSHID, Taimoor. Detector Control System for CMS Endcap RPCs and Cross Section Measurement of  $t\bar{t}$  dileptonic channel with the CMS Detector at  $\sqrt{s}= 8TeV$ . 2015. Tesis Doctoral. Quaid-i-Azam U.
- [25] Ball, A., et al. Cosmic ray test certification of the first 100 CMS endcap RPCs and the corresponding construction database." Nuclear Physics B-Proceedings Supplements 158 (2006): 99-102.
- [26] GALLARDO SANTACRUZ, Diana, et al. Simulación de RPCs en el experimento CMS-CERN. 2021. Tesis de Licenciatura.