

# Índice de contenidos

Índice de símbolos	iii
Índice de contenidos	v
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xiii
Resumen	xv
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Rayos cósmicos . . . . .	2
1.2. Espectro de energías . . . . .	2
1.3. Lluvias atmosféricas extendidas . . . . .	4
1.4. Descripción de una anisotropía dipolar . . . . .	4
1.4.1. Representación en coordenadas locales de una anisotropía dipolar	5
<b>2. El Observatorio Pierre Auger</b>	<b>7</b>
2.1. Introducción . . . . .	7
2.2. Detección de Rayos Cósmicos . . . . .	7
2.2.1. El Detector de Superficie y el Detector de Fluorescencia . . . . .	8
2.2.2. Diseño híbrido . . . . .	10
2.3. Reconstrucción de eventos de los detectores de superficie . . . . .	10
2.3.1. Selección de eventos . . . . .	10
2.3.2. Reconstrucción de las lluvias . . . . .	11
2.3.3. Calibración de la energía . . . . .	11
2.3.4. Monitoreo del clima . . . . .	13
2.4. Algoritmos de disparo del detector de superficie . . . . .	14
2.4.1. Disparo Estándar . . . . .	14
2.4.2. Todos los Disparos . . . . .	14
2.5. Acerca de los eventos utilizados en este trabajo . . . . .	16
2.5.1. Acerca del registro de hexágonos . . . . .	17

<b>3. Modulación sobre la señal medida por el Observatorio Pierre Auger</b>	<b>19</b>
3.1. La física detrás de la modulación en la señal de las lluvias atmosféricas	19
3.1.1. Trabajos anteriores	19
3.1.2. Efectos de la atmósfera sobre los rayos cósmicos	21
3.1.3. Descripción del modulación en la señal medida	22
3.1.4. Estimador del ajuste	24
3.1.5. Condiciones climáticas y área activa del Observatorio Pierre Auger	25
3.2. Eventos asociados al Disparo Estándar en el rango 2004-2018	28
3.2.1. Datos presentados en la ICRC 2017	29
3.2.2. Datos presentados en la ICRC 2019	33
3.2.3. Datos presentados en la ICRC 2019 usando $S_{38}$ sin corregir por el clima	35
3.2.4. Datos presentados en la ICRC 2019 usando la energía reconstruida en este trabajo	40
3.3. Eventos asociados a Todos los Disparos en el rango 2014-2020	40
3.3.1. Distribución de los eventos en función de $\sin^2 \theta$	41
3.3.2. Tasa de eventos de Todos los Disparos por encima de 1 EeV	42
3.3.3. Parámetros del clima para Todos los Disparos usando $S_{38}$	42
3.3.4. Usando la energía reconstruida en este trabajo	46
<b>4. Método Rayleigh</b>	<b>49</b>
4.1. Frecuencias de referencia	49
4.2. Variaciones relativas de los hexágonos	49
4.2.1. Cálculo de las variaciones relativas de los hexágonos	50
4.3. Descripción del método Rayleigh	52
4.3.1. Caso dipolar	53
4.3.2. Análisis para frecuencias arbitrarias	53
4.3.3. Cálculo de Rayleigh en ascensión recta para una frecuencia dada	53
<b>5. Método East-West</b>	<b>57</b>
5.1. Descripción formal del método East-West	57
5.1.1. Flujo de eventos del Este y Oeste	57
5.1.2. Aproximaciones del método	58
5.1.3. Cálculo de la diferencia de flujos	58
5.2. Estimación de la componente ecuatorial del dipolo mediante el análisis del primer armónico	60
5.2.1. Cálculo de la amplitud del dipolo para los eventos de Todos los Disparos	61
5.2.2. Cálculo para frecuencias arbitrarias	63

---

5.3. Verificación del código . . . . .	63
5.3.1. Comparación con el trabajo de la Colaboración Pierre Auger . .	63
5.3.2. Comparando con la variable $\tilde{\alpha}$ con la ascensión recta del cenit .	63
<b>6. Resultados del método Rayleigh</b>	<b>65</b>
6.1. Características del conjunto de datos . . . . .	65
6.2. Pesos de los eventos de Todos los Disparos para frecuencias de referencia	65
6.3. Análisis de la modulación en ascensión recta para el primer armónico .	66
6.3.1. Análisis de segundo orden en Fourier . . . . .	68
<b>7. Resultados del método East - West</b>	<b>71</b>
7.1. Resultados en distintos rangos de energía . . . . .	71
7.1.1. Resultados en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV . . . . .	71
7.1.2. Resultados en el rango 0.5 EeV - 1 EeV . . . . .	73
7.1.3. Resultados en el rango 1 EeV - 2 EeV . . . . .	74
7.2. Análisis de los resultados . . . . .	77
<b>8. Conclusiones</b>	<b>81</b>
<b>A. Coordenadas celestes</b>	<b>83</b>
A.1. Coordenadas Ecuatoriales . . . . .	83
A.2. Coordenadas Locales . . . . .	83
<b>B. Distribución de probabilidad de la amplitud y fase del dipolo</b>	<b>85</b>
B.1. Distribución de probabilidad de la amplitud . . . . .	85
B.1.1. Haciendo la cuenta de los márgenes de confianza de la amplitud	86
B.2. Distribución de probabilidad de la fase del dipolo . . . . .	88
<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>