

TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FÍSICAS

INFORME DE AVANCE

Evelyn G. Coronel
Maestrando

Dra. Silvia Mollerach
Director

Miembros del Jurado
Dr. Diego Harari (Instituto Balseiro)

18 de Junio de 2020

Partículas y Campos – Centro Atómico Bariloche

Instituto Balseiro
Universidad Nacional de Cuyo
Comisión Nacional de Energía Atómica
Argentina

Índice de contenidos

Índice de contenidos	ii
Índice de figuras	iv
1. Introducción	1
1.1. Acerca de la tesis de licenciatura	1
1.2. Acerca del archivo con todos los disparos	1
1.3. Acerca de los eventos	1
1.4. Cálculo de los coeficientes de Fourier para el análisis de anisotropía en ascensión recta	2
1.4.1. Variaciones relativas de los hexágonos	2
1.4.2. Cálculo de Rayleigh para una frecuencia dada	4
2. Report #3: 07/05/2020 - Reconstrucción de energía	6
2.0.1. Rango de tiempo	6
2.0.2. Tasa de eventos	6
2.0.3. Parámetros del clima	7
2.0.4. Anisotropía en el rango 1-2 EeV	9
2.1. Introducción	9
2.2. Update	9
2.2.1. Cálculo de Rayleigh.	10
2.2.2. Pesos de los hexágonos	10
2.2.3. Cálculo de Rayleigh.	10
2.2.4. Resultados con el rango de energía 1 EeV - 2 EeV	12
3. Modulación del clima para todos los disparos (2014-2020)	13
3.1. Pesos de los hexágonos	13
3.2. Anisotropía	14
3.2.1. Lista detallada de los filtros aplicados de datos del herald	14
3.2.2. Análisis en frecuencia	15
3.3. Corrección del clima	16
4. Report #5: 22/05/2020 - Dipolo en el bin 1 EeV - 2 EeV	17
4.1. Anisotropías	17
4.2. Ajuste del primer armónico de la variación de hexágonos y pesos	18
5. Dipolo en el bin 1 EeV - 2 EeV	20
5.1. Características del conjunto de datos	20
5.1.1. Grafico de la anisotropía	20

A. Cosas para hacer: Mails con Mollerach	24
Bibliografía	25

Índice de figuras

1.1. Valores de $\Delta N_{cell,k}$ en el rango 2004-2017 para distintas frecuencias obtenidas en el trabajo [5].	3
1.2. Valores de $\Delta N_{cell,k}$ en el rango 2004-2017 para distintas frecuencias utilizando el código escrito en este trabajo.	4
1.3. Comparación entre los análisis de anisotropía hechos para el mismo conjunto de datos, con el código de [4] y con el código escrito para este trabajo.	5
2.1. Tasa de eventos para eventos por encima de 1 EeV.	6
2.2. Hexágonos	7
2.3. Un ejemplo de pesos de los hexágonos en el rango 2005-2019 para distintas frecuencias.	11
2.4. Un ejemplo de pesos de los hexágonos en el rango Enero 2014- Enero 2019 para distintas frecuencias.	11
2.5. Análisis en frecuencia para el bin 1 EeV - 2 EeV, entre Enero 2014- Enero 2019 (Cantidad de eventos $\approx 10^6$).	12
3.1. Pesos de los hexágonos	13
3.2. Tasa de eventos en el rango de tiempo a trabajar	14
3.3. Tasa de eventos en el rango de tiempo a trabajar para el ajuste de los parámetros del clima.	15
3.4. Análisis en frecuencia en ascensión recta en rango 1 EeV - 2 EeV	15
3.5. Parámetro de clima a_P calculado para la corrección del archivo de todos los disparos	16
3.6. Parámetro de clima a_ρ calculado para la corrección del archivo de todos los disparos	16
3.7. Parámetro de clima b_ρ calculado para la corrección del archivo de todos los disparos	16
4.1. Anisotropía para el intervalo 2014-2020	17
4.2. Zoom en el pico de anisotropía cercana para la frecuencia sidérea para el intervalo 2014-2020	18
4.3. Pesos de los eventos en función de la ascensión recta para la frecuencia sidérea en el periodo 2014-2020	19
4.4. Hexágonos para la frecuencia sidérea en el periodo 2014-2020	19
5.1. El ajuste hecho a la frecuencia sidérea usando el valor de h para clasificar.	21
5.2. El ajuste hecho a la frecuencia sidérea usando el valor de la ascensión recta para clasificar.	22
5.3. Anisotropía en función de la frecuencia, se comparan los análisis sin los pesos y con los pesos de los hexágonos	22
5.4.	23

Capítulo 1

Introducción

1.1. Acerca de la tesis de licenciatura

En el trabajo de tesis de licenciatura se analizaron los efectos de las variaciones de los parámetros del clima sobre el desarrollo en la atmósfera de las lluvias atmosféricas. Se analizaron datos del arreglo de detectores espaciados 1500 m entre sí, conocido como *arreglo principal*, del Observatorio Pierre Auger en el periodo 2005-2018, extendiendo así los periodos de tiempo estudiados anteriormente en los siguientes trabajos [1], [2] y [3]. Se emuló los resultados de la corrección de la modulación del clima sobre el periodo 2005-2015 de la colaboración Pierre Auger [3], obteniéndose resultados compatibles. Se observó que posterior a la corrección, la modulación del clima se vio disminuida. Para eventos con energía mayor a 2 EeV, esta modulación es despreciable.

En el mismo trabajo, se estudió la modulación del clima mediante el valor del S_{38} sin la corrección propuesta por trabajos anteriores. Se observó que los parámetros del clima obtenidos de estos datos son compatibles con los utilizados en la reconstrucción oficial. Se realizó una corrección de los efectos atmosféricos a la energía con estos coeficientes, observándose que la modulación era despreciable para energías mayores a 2 EeV al igual que la reconstrucción oficial.

1.2. Acerca del archivo con todos los disparos

El análisis anterior fue realizado sobre los eventos medidos por el arreglo principal utilizando el disparo estándar. Este disparo tiene una eficiencia completa para eventos de energía mayor a 2,5 EeV. Por lo que el análisis de anisotropías en el rango de energía entre 1 EeV - 2 EeV, requiere factores relacionados a la eficiencia función de la energía que se obteniendo de manera fenomenológica [4].

Para superar esta dificultad, a partir del año 2013 se implementó otros protocolos de disparo en el arreglo principal, llamados Mops y ToTs. Con esta mejora, la eficiencia completa se alcanza para una energía mayor a 1 EeV. De esta manera se aumenta la cantidad de eventos a estudiar en el rango 1 EeV - 2 EeV y no son necesarios factores relacionados a la eficiencia. La desventaja es que el disparo estándar tiene una mayor cantidad de datos ya que se adquieren datos desde el año 2004 con ese protocolo.

1.3. Acerca de los eventos

Para poder prescindir de los factores de corrección a los datos de los eventos, se aplican cortes a los datos para asegurar la eficiencia completa de los detectores. Por eso se implementan límites en

ángulo cenital, en la cantidad de vecinos al tanque de mayor señal, además de restringirse a los datos fueron medidos en condiciones normales, es decir cuando los sistemas de comunicación del Observatorio funciona sin inconvenientes.

A partir de los registros de eventos del arreglo principal con todos los disparos, se consideran solamente los eventos que cumplan las siguientes características:

1. Ángulo cenital $\theta < 60^\circ$
2. $ib = 1$ *Bad period flag*. Un valor de 1 indica un buen periodo en el cual los datos son recopilados sin inconvenientes.
3. Buena reconstrucción de la lluvia atmosférica asociada al evento
4. La cantidad de vecinos alrededor del tanque con mayor señal sea de 6 tanques.

1.4. Cálculo de los coeficientes de Fourier para el análisis de anisotropía en ascensión recta

1.4.1. Variaciones relativas de los hexágonos

Los pesos de los eventos son importantes para el cálculo de anisotropías, ya que las mismas son pequeñas y eliminar todo factor espúreo en el análisis es importante. Para una representación fiel entre los registros de los hexágonos y los pesos de los eventos, se optó por utilizar 288 segmentos ya que si consideramos para 24 hrs del día, cada segmento tiene un ancho de 5 min. Esto es conveniente ya que la actualización tanto del clima como de los hexágonos se realiza una vez cada 5 min.

Se establecen una frecuencia a estudiar f y el rango de tiempo de análisis, por ejemplo la frecuencia solar $f_{Solar} = 365,25$ ciclos en un año entre los años 2013 y 2020. Existe un registro del Observatorio de los hexágonos 6T5 que se actualiza cada 5 min. Cada dato tomado durante el rango seleccionado, se clasifica según la cantidad de horas t desde un momento de referencia t_0 . Esta referencia t_0 es el 1 de Enero del 2004 a las 00 : 00 : 00 GMT, o 21 hrs del 31 de Diciembre del 2003, según la hora local de Malargüe.

Podemos asociar una coordenada angular h a t y f utilizando la siguiente expresión

$$h = t \times \frac{360}{24} \times \frac{f}{f_{Solar}} + h_0 \quad (1.1)$$

El factor f/f_{Solar} sirve para hacer un escaleo de las horas entre diferentes frecuencias. Se usa como referencia la f_{Solar} dado que las horas (solares) se basan en esta frecuencia, y el valor de $h_0 = 31,4971$ representa la ascensión recta del cenit en el momento utilizado como referencia.

Para simplificar el cálculo del peso de los hexágonos, se divide los 360° de la ascensión recta en L segmentos de $360/L$ hrs cada uno. Para clasificar un dato se toma el valor h y se calcula

$$h' = h \text{ mod } 360 \quad (1.2)$$

donde la función *mod* representa la función módulo. Luego con el valor de h' se asigna al dato con el segmento k correspondiente.

$$k = \left\lceil \frac{h'}{360} \times L \right\rceil \quad (1.3)$$

done $\lceil a \rceil$ representa la función techo ¹. Por ejemplo, si optamos por $L = 24$ y un registro en particular

¹La función techo da como resultado el número entero más próximo por exceso

resulta con $h = 395^\circ$, esto implica que $h' = 35$ hr y $k = [2,3] = 3$, por lo tanto, este registro corresponde al segmento en la 3ª posición.

Una vez clasificado todos los datos del registro de hexágonos, se calcula la suma $N_{hex,j}$ de los registros de hexágonos que cayeron un segmento j dado. Para definir la variación relativa de hexágonos $\Delta N_{cell,k}$ de un segmento k en particular, se necesita la media de hexágonos por segmento:

$$\langle N \rangle = \sum_{i=1}^L \frac{N_{hex,i}}{L} \quad \Delta N_{cell,k} = \frac{N_{cell,k}}{\langle N \rangle} \quad (1.4)$$

En la Fig.1.1 se muestran las variaciones relativas de los hexágonos en función de la ascensión recta del cenit del observatorio para las frecuencias sidérea, solar y antisidérea. Este análisis fue realizado en el marco del trabajo [5] en el periodo 2004-2017.

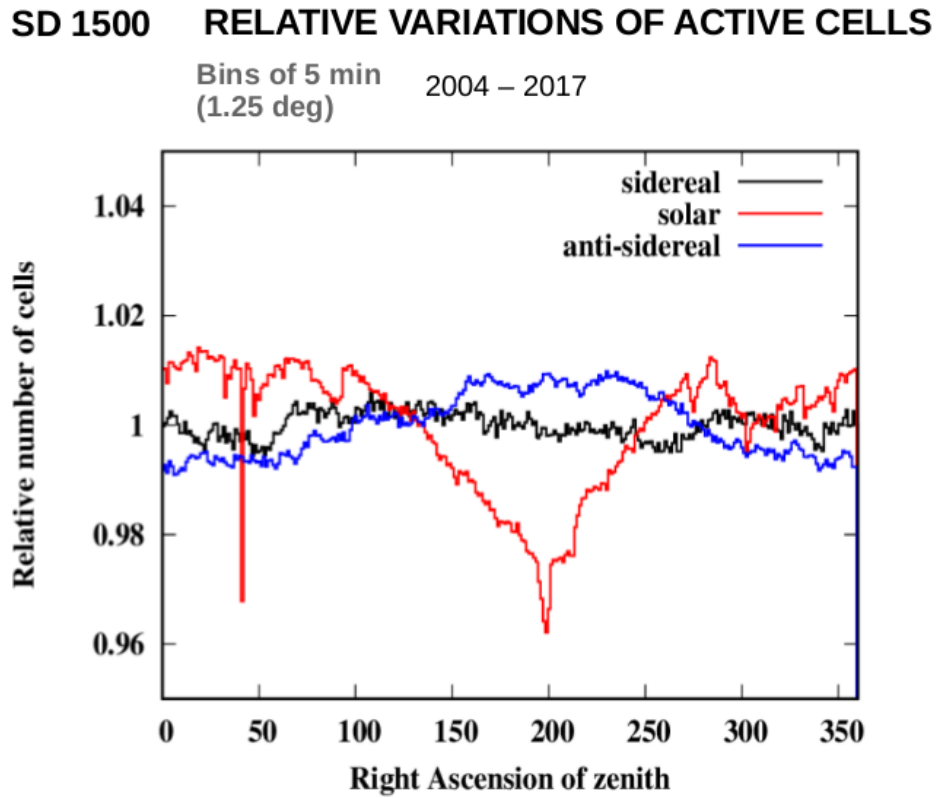


Figura 1.1: Valores de $\Delta N_{cell,k}$ en el rango 2004-2017 para distintas frecuencias obtenidas en el trabajo [5].

En la Fig.1.2 se observa valores obtenidos de $\Delta N_{cell,k}$ en función de la ascensión recta del cenit para $L = 288$ segmentos con el programa escrito para este informe, utilizando el mismo conjunto de datos que el utilizado para obtener los resultados la Fig.1.1 desde el 1 de Enero del 2004 a las 00 : 00 : 00 hrs GMT hasta el 1 de Enero del 2017 a las 00 : 00 : 00 hrs GMT. Se observa que estos los resultados obtenidos son compatibles con la Fig.1.1

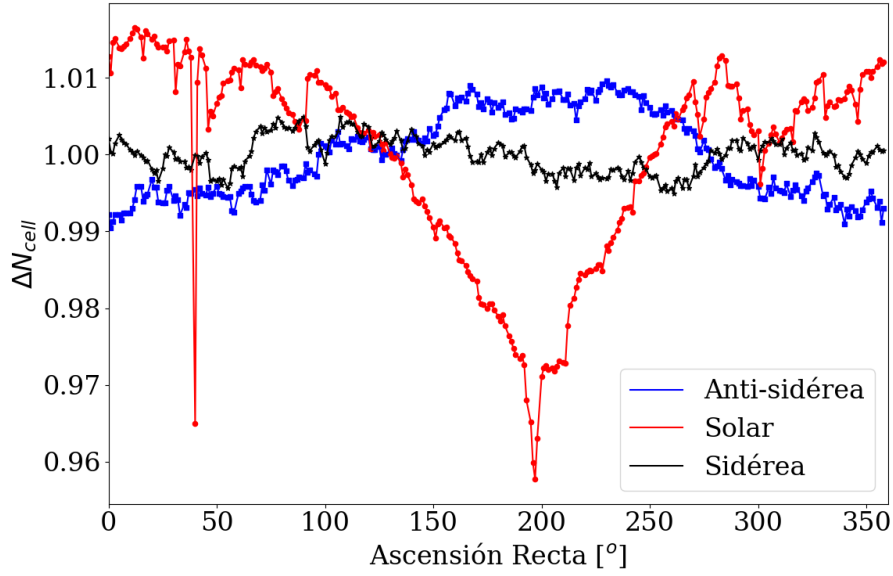


Figura 1.2: Valores de $\Delta N_{cell,k}$ en el rango 2004-2017 para distintas frecuencias utilizando el código escrito en este trabajo.

1.4.2. Cálculo de Rayleigh para una frecuencia dada

1. Fijando un rango de tiempo y un rango de energía en el cual se desea estudiar la anisotropía, se establece una frecuencia en particular f a analizar.
2. Con los eventos ya filtrados según el criterio de la sección 1.3, asigno cada evento i un valor h_i , definida en la Ec.1.1
3. Para asignar el peso correspondiente al evento, se asocia a un segmento k , calculado en la sección 1.4.1, mediante el valor de h'_i definido en la Ec. 1.2. Luego, el peso asignado w_i al evento i es

$$w_i = (\Delta N_{cell,k})^{-1}$$

4. Para el análisis en frecuencias, a partir del valor de h_i se asigna un ángulo $\tilde{\alpha}_i$ como:

$$\tilde{\alpha}_i = 2\pi \frac{h}{24} + \alpha_i - \alpha_{cenit,i} \quad (1.5)$$

donde α_i representa la ascensión recta del evento y $\alpha_{cenit,i}$ la ascensión recta en el cenit del observatorio en el momento del evento. A partir de este ángulo $\tilde{\alpha}_i$ se realiza en análisis en frecuencias.

5. Para calcular los coeficientes de Fourier del primer armónico a y b , se siguen los siguiente pasos:

a) Por cada evento i se calculan los siguientes valores:

$$a'_i = w_i \cos \tilde{\alpha}_i \quad b'_i = w_i \sin \tilde{\alpha}_i \quad (1.6)$$

b) Una vez que se obtuvieron los valores de a'_i y b'_i para todos los eventos en el rango de tiempo

estudiado, se calculan los coeficientes mediante:

$$\mathcal{N} = \sum_i^{Eventos} w_i \quad (1.7)$$

$$a = \frac{2}{\mathcal{N}} \sum_i^{Eventos} a'_i \quad b = \frac{2}{\mathcal{N}} \sum_i^{Eventos} b'_i \quad (1.8)$$

6. Con los coeficientes es posible calcular la amplitud de la frecuencia estudiada \tilde{r} y la fase ϕ . Otros parámetros calculados para el análisis son la probabilidad $P(\tilde{r})$ de que la amplitud obtenida sea producto de una variación de ruido, y el valor de amplitud r_{99} para que dicha probabilidad sea del 1 %.

$$\tilde{r} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \phi = \arctan \frac{a}{b} \quad (1.9)$$

$$P(\tilde{r}) = \exp(-\mathcal{N} \frac{\tilde{r}^2}{4}) \quad r_{99} = \sqrt{\frac{-4 \log(0,01)}{\mathcal{N}}} \quad (1.10)$$

Una forma de validar el código para el análisis de anisotropía es comparar los resultados del código con los obtenidos en otros trabajos [4]. En la Fig.1.3 se muestra el análisis hecho sobre el mismo conjunto de eventos. Estos eventos fueron adquiridos con el disparo estándar desde el 1 de Enero del 2004 a las 00 : 00 : 00 GMT hasta el 1 de Enero del 2017 a las 00 : 00 : 00 GMT. Se consideraron los eventos por encima de 8 EeV que además cumplan las condiciones dadas en la sección 1.3. En esta figura que los resultados obtenidos en [4] y con el código utilizado por este trabajo son indistinguibles.

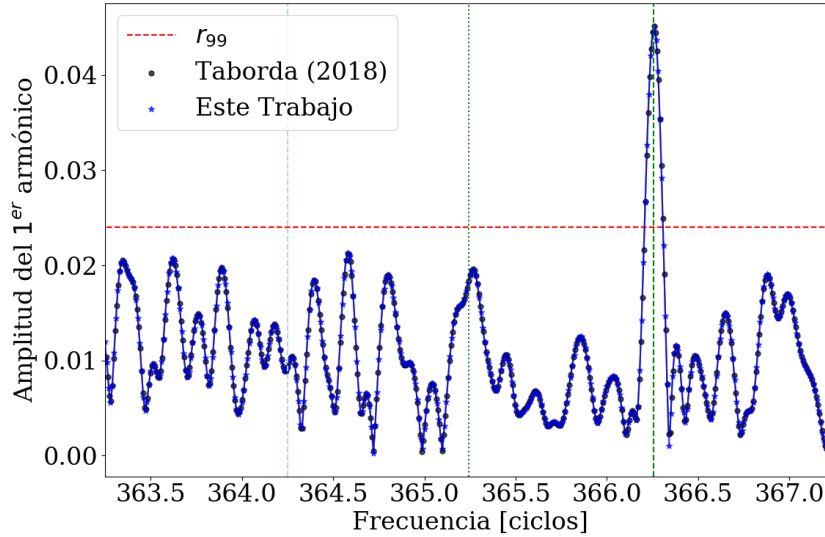


Figura 1.3: Comparación entre los análisis de anisotropía hechos para el mismo conjunto de datos, con el código de [4] y con el código escrito para este trabajo.

Capítulo 2

Report #3: 07/05/2020 - Reconstrucción de energía

2.0.1. Rango de tiempo

Inicio	1388628499	2 January 2014
Final	1550534100	18 February 2019

2.0.2. Tasa de eventos

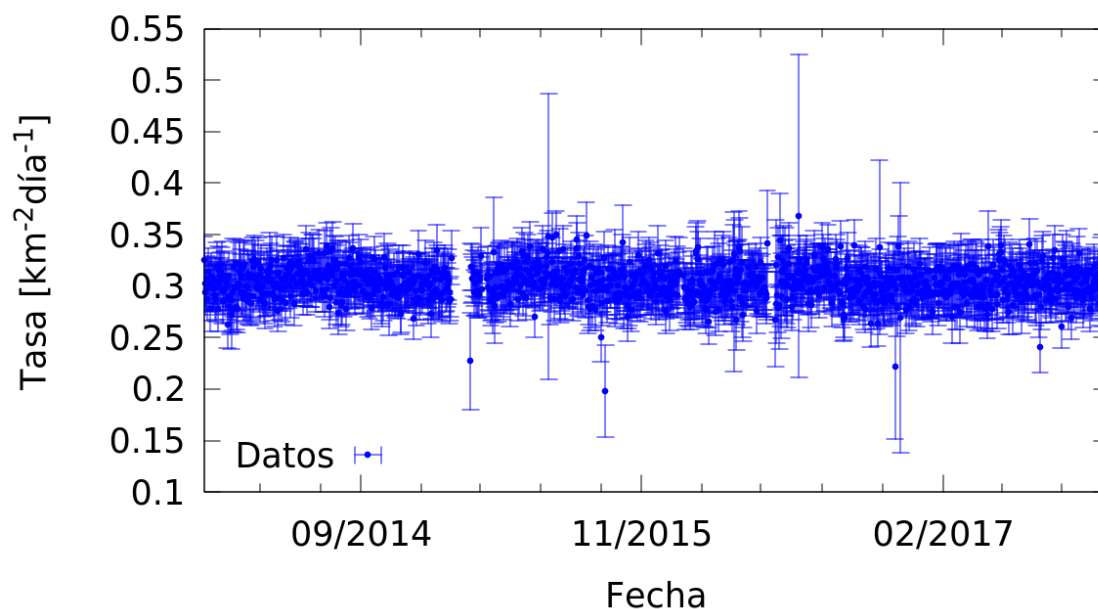


Figura 2.1: Tasa de eventos para eventos por encima de 1 EeV.

Antes del 2 de Enero del 2014, se tenía una tasa por debajo de la media de los siguientes años.

La cantidad de hexágonos 6T5 durante el periodo mencionado arriba evolucionó como se muestra en la figura que sigue

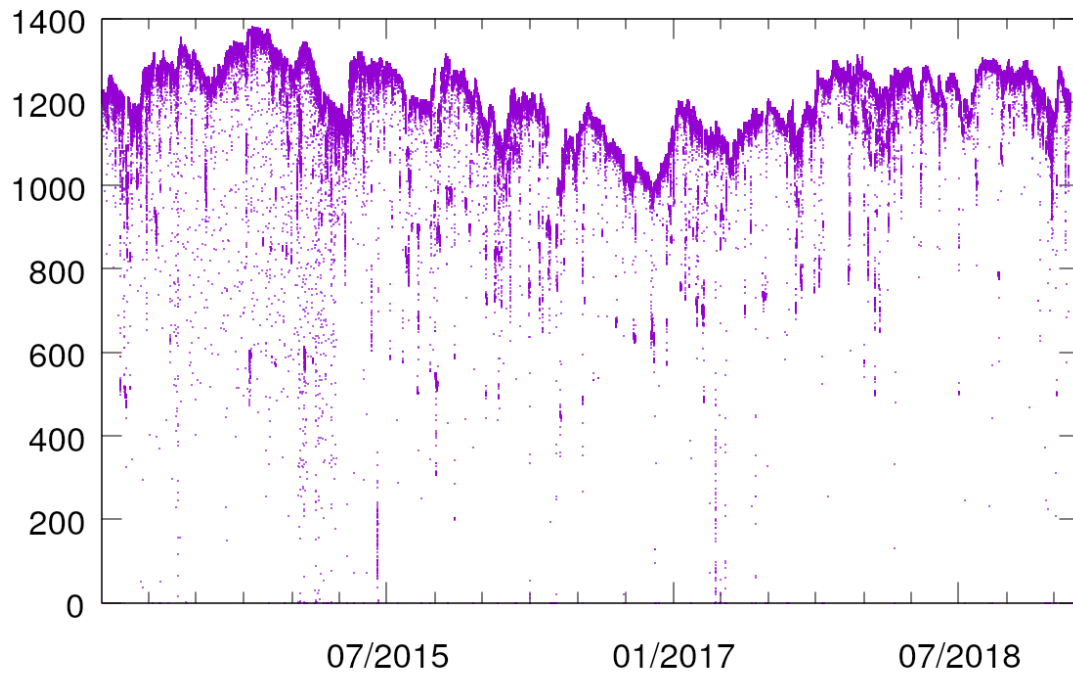
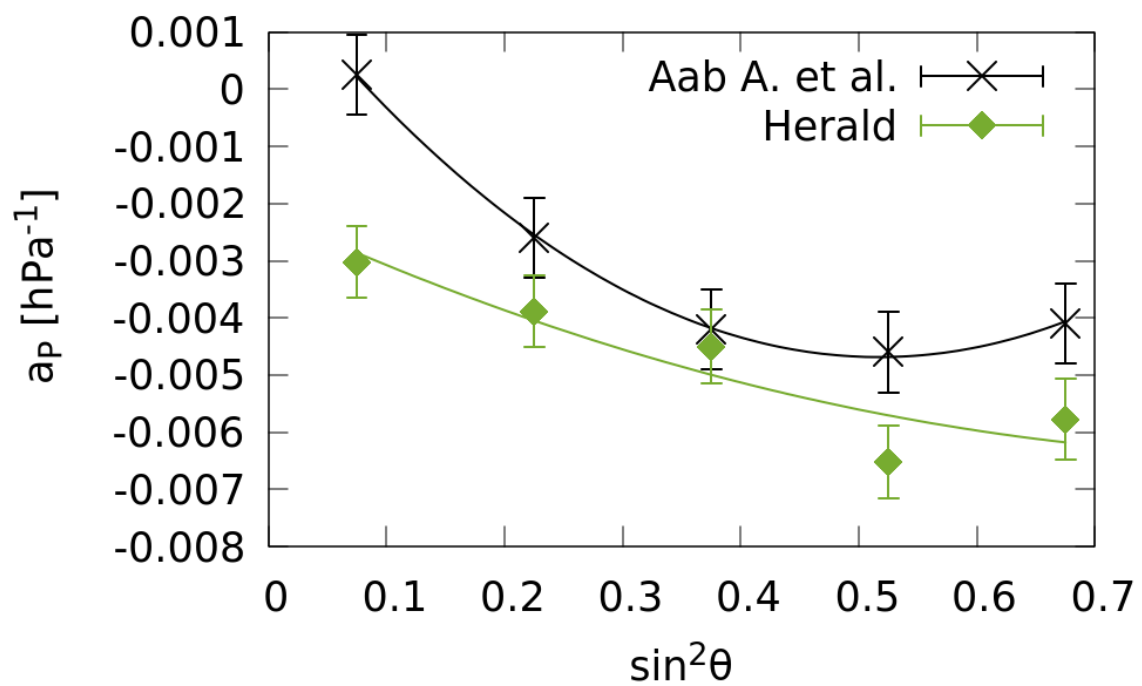
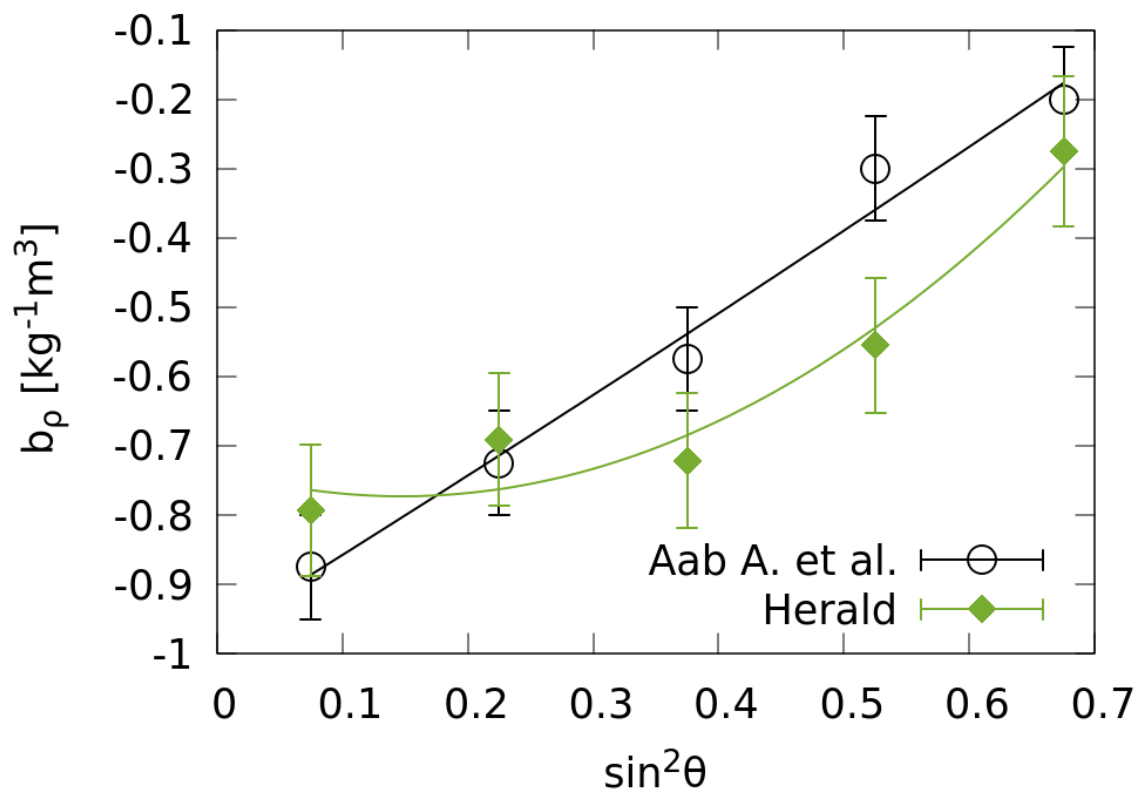
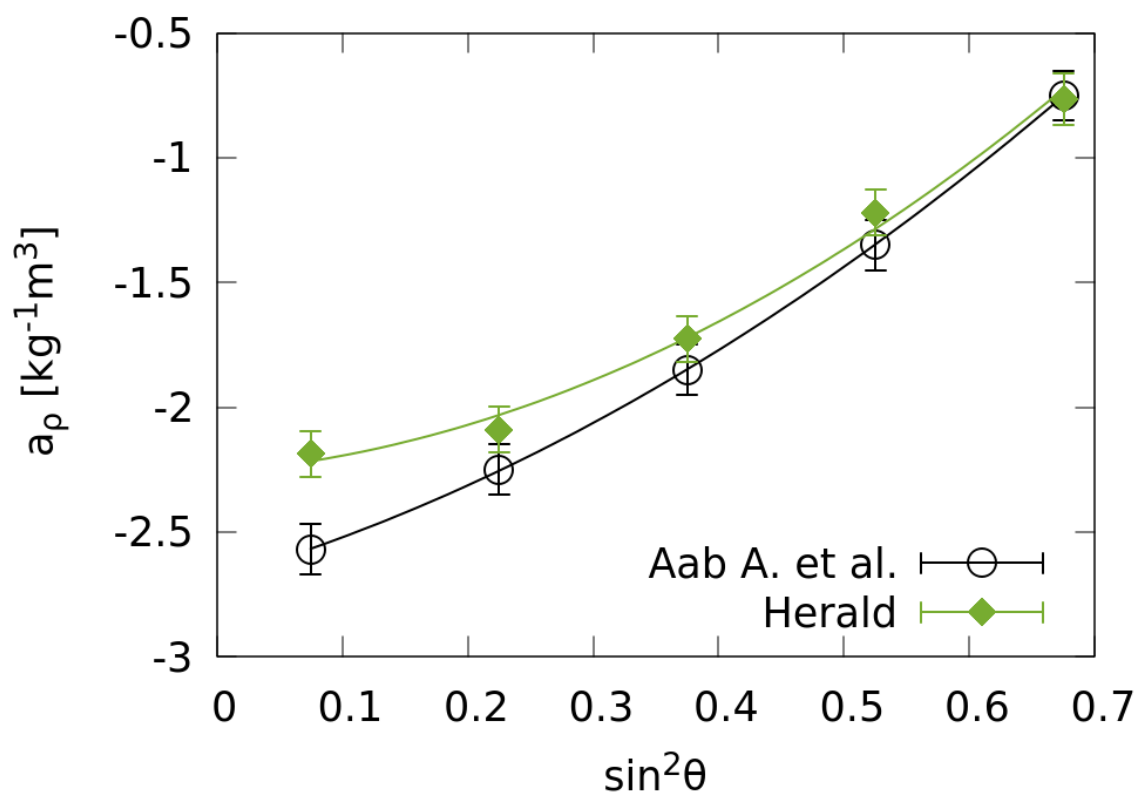


Figura 2.2: Hexágonos

2.0.3. Parámetros del clima

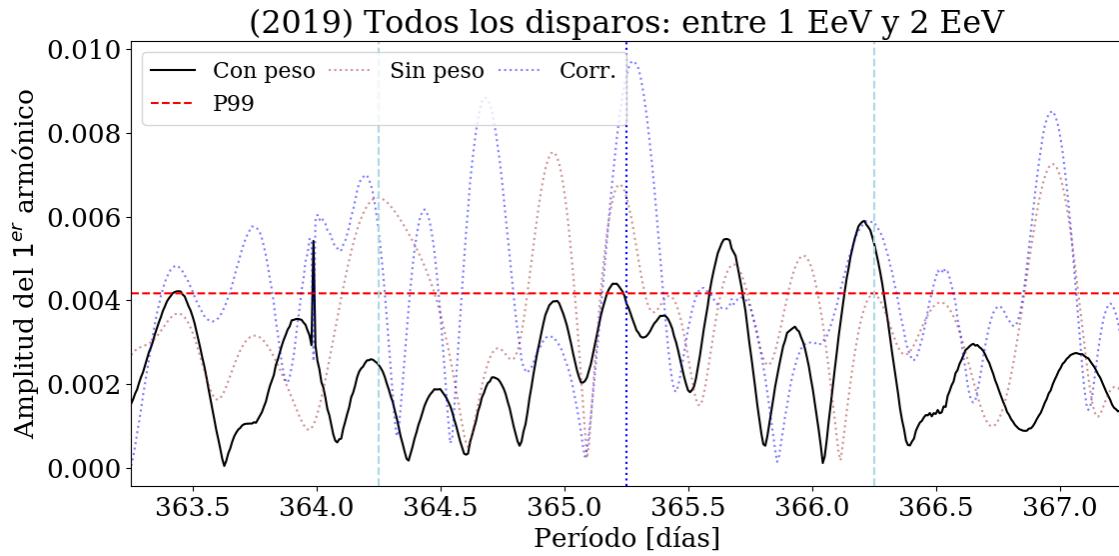




Considerando una cuádrica para el ajuste de la curva, se obtiene los parámetros de la siguiente table

	a_P	a_ρ	b_ρ
c_0	-0.002(1)	-2.2(1)	-0.74(9)
c_1	-0.009(6)	0.4(6)	-0.0(6)
c_2	0.00(9)	2.7(8)	1.7(7)

2.0.4. Anisotropía en el rango 1-2 EeV

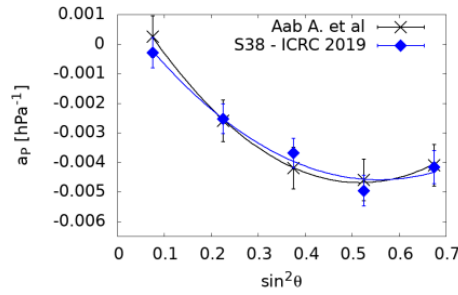
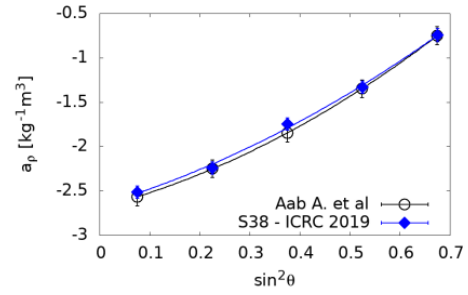
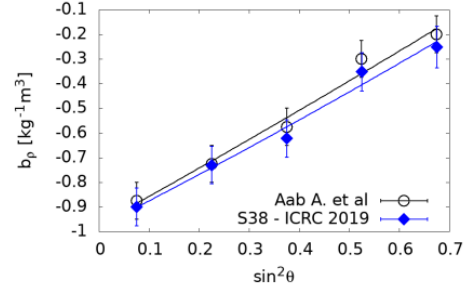


2.1. Introducción

- Cosas que hice en la tesis de licenciatura.
 - Corrección del clima
 - Familiarizarse con el dataset
- Resultados a los que llegué.
- Nos movimos a otros disparos (MoP y ToTs)

2.2. Update

- Diferencias con el disparo tradicional.
 - Empieza en el 2013
 - Eficiencia
 - Cantidad de datos en el bin de 1 EeV - 2 EeV.
- Pesos de los hexágonos.

(a) Parámetro a_P (b) Parámetro a_ρ (c) Parámetro b_ρ

se propone la siguiente modulación, presentada en la Ec. 1.3, para la señal S que reciben los tanques

$$S = S_0(1 + \alpha_P(P - P_0) + \alpha_\rho(\rho_{media} - \rho_0) + \beta_\rho(\rho_{2h} - \rho_{media}))$$

- Resultados con el rango de energía 1 EeV - 2 EeV.
- ¿Podemos mejorarlo con la corrección del clima?

2.2.1. Cálculo de Rayleigh.

1. Fijo una frecuencia a estudiar.
2. Me muevo en el dataset de hexágonos, a cada utc lo clasifico según:

$$h = (\text{hora local}) \times \text{Frecuencia a estudiar} / \text{Frecuencia Solar}$$

3. El valor de h no es continuo, sino está dividido en 288 segmentos entre 1 y 24
4. Le asigno un peso al bin h:

$$\text{peso del bin } h = \text{Hexagonos que cayeron en el bin } h / I$$

$$I = \sum_h^{288} \text{Hexagonos que cayeron en el bin } h / 288$$

2.2.2. Pesos de los hexágonos

2.2.3. Cálculo de Rayleigh.

1. Fijo una frecuencia a estudiar.
2. Me muevo en el cielo con esa frecuencia (fase).
3. Dado el utc del evento, lo clasifico según:

$$h = (\text{hora local}) \times \text{Frecuencia a estudiar} / \text{Frecuencia Solar}$$

4. El valor de h no es continuo, sino está dividido en 288 segmentos entre 1 y 24

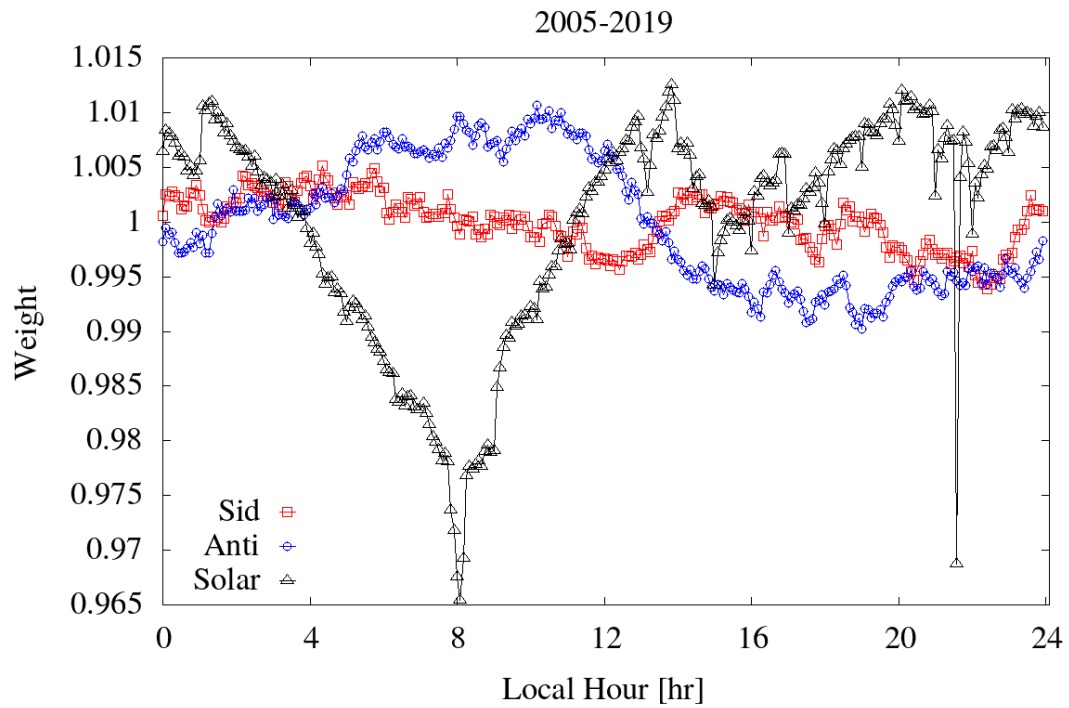


Figura 2.3: Un ejemplo de pesos de los hexágonos en el rango 2005-2019 para distintas frecuencias.

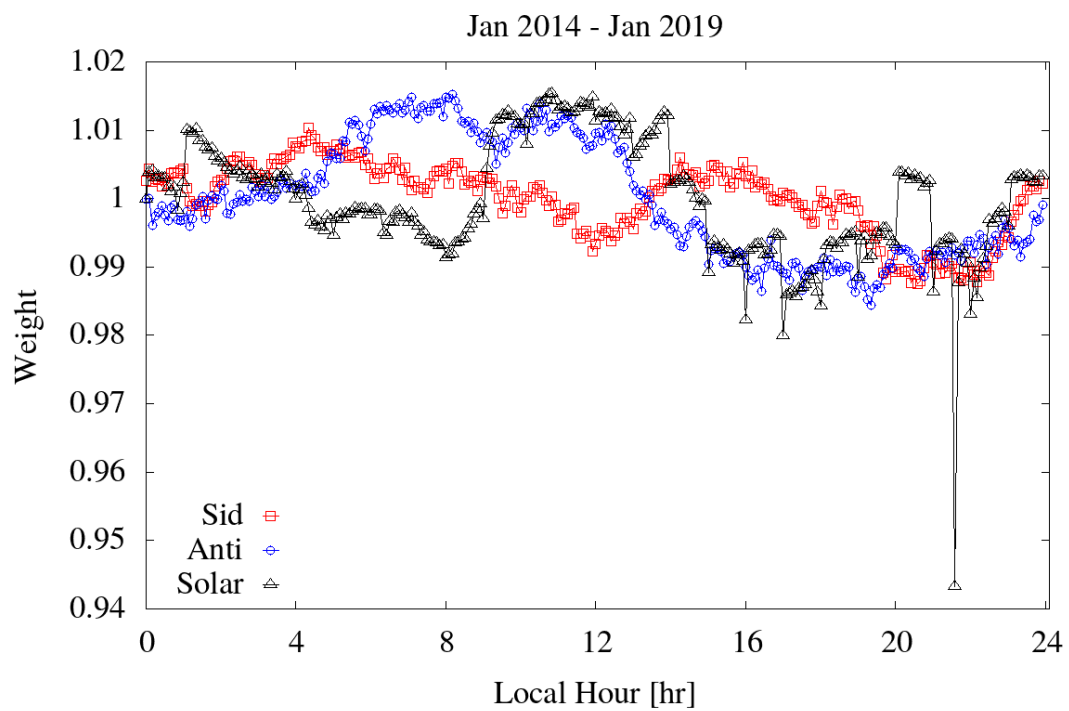


Figura 2.4: Un ejemplo de pesos de los hexágonos en el rango Enero 2014- Enero 2019 para distintas frecuencias.

5. Le asigno un peso por evento:

$$\text{peso del evento} = (\text{peso de los hexágonos para el bin } h)^{-1}$$

6. Hago el análisis en frecuencias:

$$a = \sum_i^{\text{Eventos}} \cos(2\pi h/24 + (RA - RA_{cenit})) \times (\text{peso del evento})_i / N$$

$$b = \text{Lo mismo pero con seno} \quad N = \sum_i^{\text{Eventos}} \text{peso del evento}_i$$

2.2.4. Resultados con el rango de energía 1 EeV - 2 EeV

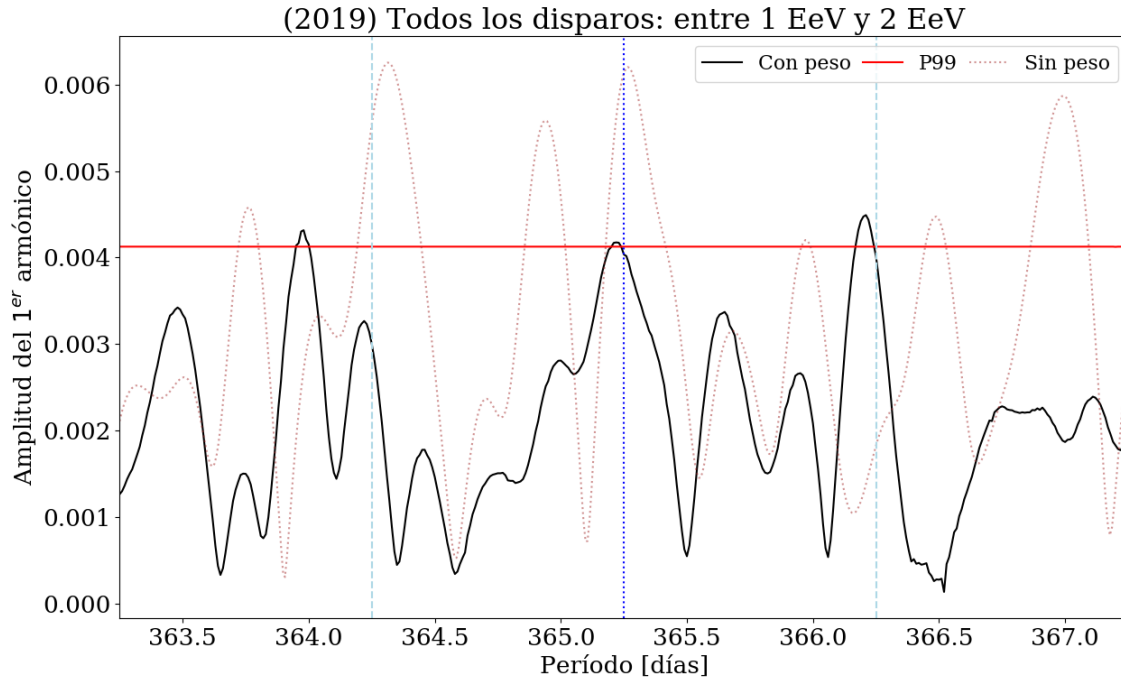


Figura 2.5: Análisis en frecuencia para el bin 1 EeV - 2 EeV, entre Enero 2014- Enero 2019 (Cantidad de eventos $\approx 10^6$).

Capítulo 3

Modulación del clima para todos los disparos (2014-2020)

La selección de los eventos genera dos conjuntos de datos: uno para el análisis de anisotropía en el bin 1 EeV - 2 EeV, y el segundo de los eventos con energía mayor a 1 EeV para obtener los parámetros del clima. En esta selección se tiene en cuenta los eventos de $\theta < 60^\circ$ ¹, como también los mismos que no se encuentren en un periodo de mala adquisición de datos, este parámetro se denomina *ib* de los **eventos del herald**. Este periodo consiste en el momento donde el observatorio no recibe datos de las estaciones de clima o de los hexágonos.

El parámetro de *ib* de los **datos del clima** es irrelevante durante el proceso de filtrar eventos. Entra en juego cuando hago el análisis del clima, donde desecho los eventos que fueron recabados durante *bad weather* y no fueron filtrados ya antes.

3.1. Pesos de los hexágonos

Para constatar que no exista ninguna anomalía en los pesos de los hexágonos, se realiza el cálculo de los mismos para tres frecuencias de referencia para el análisis de anisotropías. Los pesos se muestran en la Fig. 3.1. El rango de tiempo en el que se calculan estas curvas es entre 1 de Enero del 2014 y el 1 de Enero del 2020.

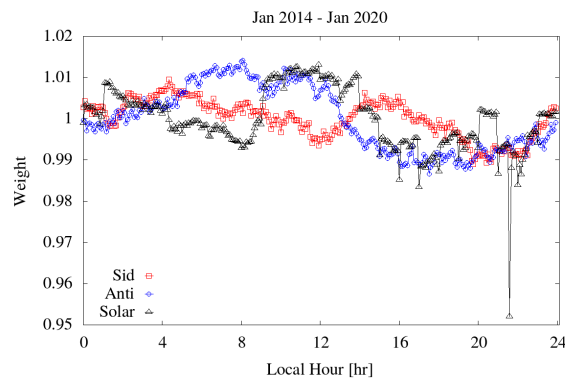


Figura 3.1: Pesos de los hexágonos

¹el archivo que bajo de <http://ipnwww.in2p3.fr/~augers/AugerProtected/herald.php>

3.2. Anisotropía

El archivo de de todos los disparos empieza el Mon, 1 July 2013 12:05:08 GMT ². Para trabajar en una cantidad entera de años, se trabaja a partir del Thur, 1 January 2014 12:00:00 GMT ³ y hasta el Thursday, 1 January 2020 12:00:00 GMT ⁴. En este rango se tiene la tasa de eventos por día que se muestra en la Fig. 3.2.

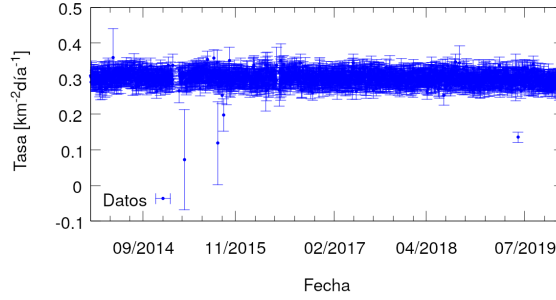


Figura 3.2: Tasa de eventos en el rango de tiempo a trabajar

3.2.1. Lista detallada de los filtros aplicados de datos del herald

Datos para el análisis de anisotropía

Esta sección muestra los filtros para los datos del análisis de anisotropía en el rango 1 EeV - 2 EeV.

1. Energía entre [1 EeV , 2 EeV)
2. Rango de tiempo:
 - Inicial:1388577600
(Thursday, 1 January 2014 12:00:00 GMT)
 - Final: 1577880000
(Thursday, 1 January 2020 12:00:00 GMT)
3. Sectancia: $\theta < 60^\circ$
4. 6T5
5. $ib = 1$ Bad period flag. Un valor de 1 indica un buen periodo

Con estos filtros se tienen 1 092 753 eventos

Datos para el cálculo de las correcciones del clima

Estos son los filtros para los datos a utilizar para el cálculo de los parámetros del clima:

1. Eventos con valor de señal de S_{38} ⁵ por encima de 5,36 VEM. Este valor corresponde a ~ 1 EeV en VEM.
2. Rango de tiempo:

²1372680308

³1388577600

⁴1577880000

⁵Valor de S38 sin la corrección del clima del paper del 2017

- Inicial: 1388577600
(Thursday, 1 January 2014 12:00:00 GMT)
 - Final: 1577880000
(Thursday, 1 January 2020 12:00:00 GMT)
3. Sectancia: $\theta < 60^\circ$
 4. $iw < 4$ (weather quality flag)
 5. 6T5
 6. $ib = 1$ Bad period flag del herald. Un valor de 1 indica un buen periodo
 7. $ib = 1$ Bad period flag de los datos del clima. Un valor de 1 indica un buen periodo

Con estos filtros se tienen 1 208 615 eventos, con una tasa de eventos que se muestra en la Fig. 3.3. En la figura se observa que utilizando el corte en la señal de S38 sin corregir por la modulación del clima del herald ⁶ se observa una modulación anual.

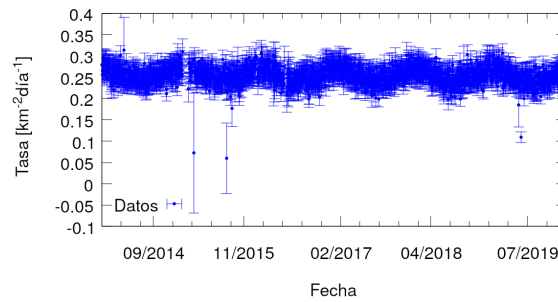


Figura 3.3: Tasa de eventos en el rango de tiempo a trabajar para el ajuste de los parámetros del clima.

3.2.2. Análisis en frecuencia

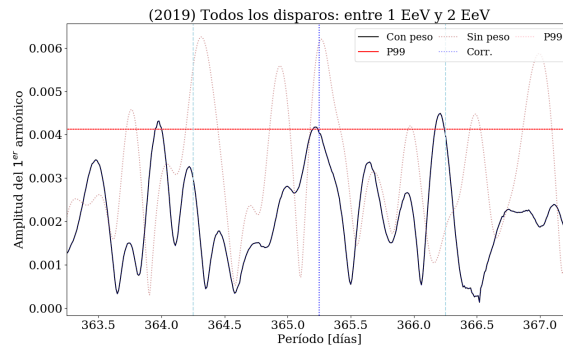


Figura 3.4: Análisis en frecuencia en ascensión recta en rango 1 EeV - 2 EeV

⁶Las correcciones se calcularon para el archivo del disparo estándar

3.3. Corrección del clima

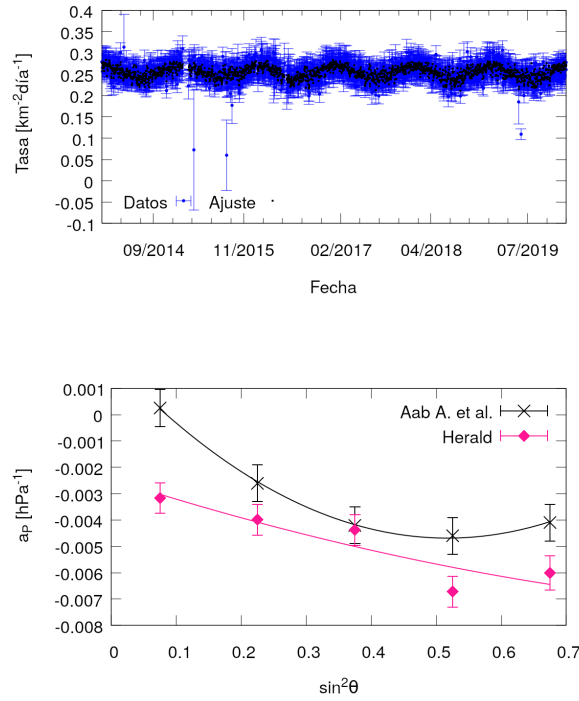


Figura 3.5: Parámetro de clima a_P calculado para la corrección del archivo de todos los disparos

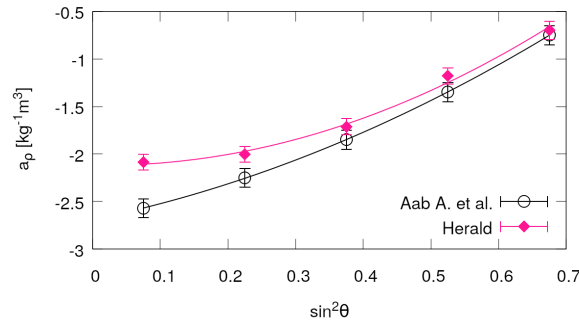


Figura 3.6: Parámetro de clima a_p calculado para la corrección del archivo de todos los disparos

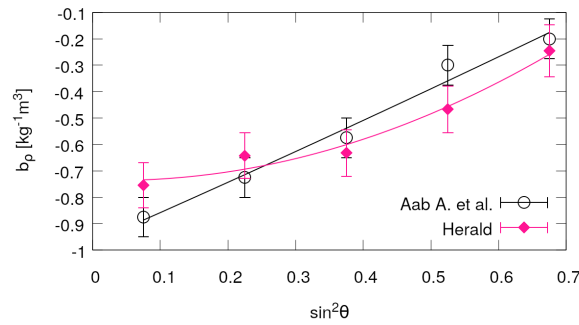


Figura 3.7: Parámetro de clima b_p calculado para la corrección del archivo de todos los disparos

Capítulo 4

Report #5: 22/05/2020 - Dipolo en el bin 1 EeV - 2 EeV

4.1. Anisotropías

Características del conjunto de datos del reporte

- Energía entre [1 EeV , 2 EeV)
- Rango de tiempo:
 - Inicial:1388577600 (Thursday, 1 January 2014 12:00:00 GMT)
 - Final: 1577880000 (Thursday, 1 January 2020 12:00:00 GMT)
- Sectancia: $\theta < 60^\circ$
- 6T5
- $ib = 1$ Bad period flag. Un valor de 1 indica un buen periodo
- Número de eventos: 1 081 844

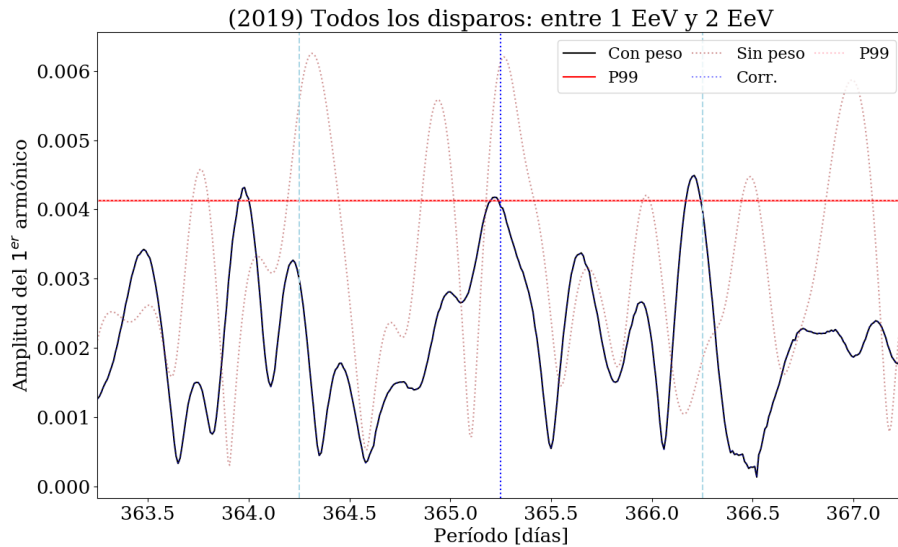


Figura 4.1: Anisotropía para el intervalo 2014-2020

	Con Peso	Sin peso
Frecuencia:	366.25	366.25
Fase:	329.865	292.312
$P(r)$:	0.76398 %	26.6838 %
Amplitud:	0.004676	0.00243515

Tabla 4.1: Fase, r_{99} y P_{99} del análisis de anisotropía entre en 1 de Enero del 2014 y el 1 de Enero del 2020

En la Fig.4.2 se muestra el pico que se presenta en el intervalo de energía entre 1 EeV - 2 EeV, cercano a la frecuencia sidérea. El pico tiene un máximo para un período de 366,21. En la Tabla. 4.2 se muestran los valores de la fase, r_{99} y P_{99} para el periodo anterior.

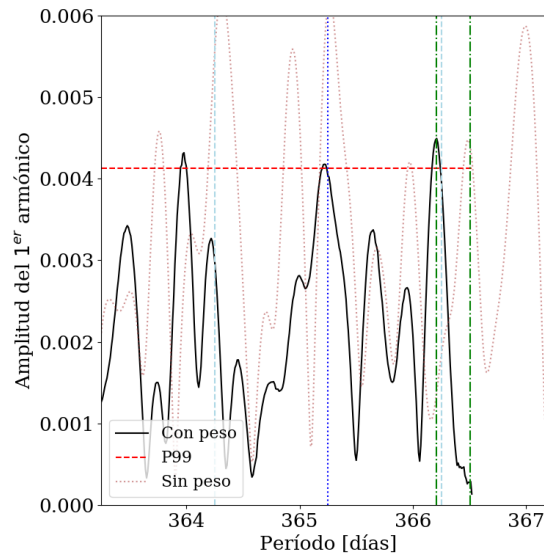


Figura 4.2: Zoom en el pico de anisotropía cercana para la frecuencia sidérea para el intervalo 2014-2020

	Con Peso	Sin peso	Con Peso	Sin peso
Frecuencia:	366.21	366.21	~366.505	366.506
Fase:	151.032	121.695	~190	73.8188
$P(r)$:	0.289882 %	46.9691 %	~96 %	0.24013 %
Amplitud:	0.00512146	0.0018417	~0.0006	0.00520328

Tabla 4.2: Fase, r_{99} y P_{99} del análisis de anisotropía entre en 1 de Enero del 2014 y el 1 de Enero del 2020

4.2. Ajuste del primer armónico de la variación de hexágonos y pesos

Para verificar los valores de amplitud y fase en la frecuencia sidérea, se ajusta una función del tipo

$$f(RA) = a \cos(2\pi(\omega RA + \phi)) + c \quad (4.1)$$

a la variación de los hexágonos por ángulos de ascensión recta RA , así como también a la variación de los pesos de los eventos en ascensión recta ¹. En el ajuste, se dejan libres los parámetros de la

¹El peso de los eventos es la inversa del peso de los hexágonos

amplitud a , desfase ϕ y offset c , en cambio la frecuencia $\omega = 1$, ya que los valores de ascensión recta 0° y 360° son equivalentes y estamos trabajando con el primer armónico. La variación y el ajuste puede verse en las Figs.4.3 y 4.4.

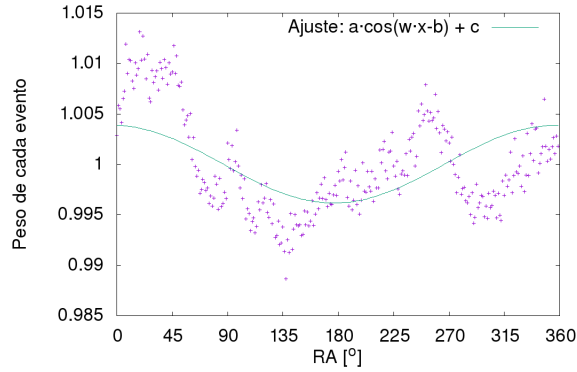


Figura 4.3: Pesos de los eventos en función de la ascensión recta para la frecuencia sidérea en el periodo 2014-2020

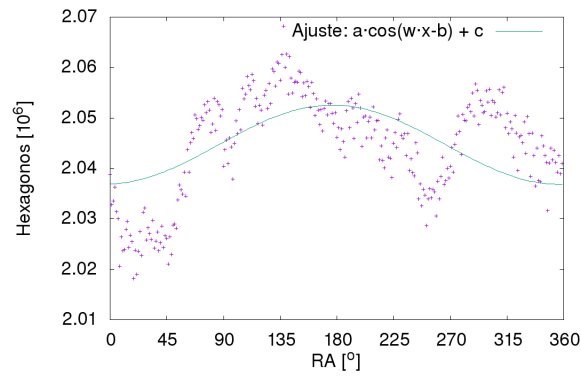


Figura 4.4: Hexágonos para la frecuencia sidérea en el periodo 2014-2020

Los valores de los ajustes, comparados con el análisis de Rayleigh se muestran en la Tabla 4.3. SE observa que el valor de la amplitud para el caso de la variación de los pesos es más cercana al que se obtuvo en el análisis de Rayleigh. Esto puede deberse que los pesos están normalizados por la integral de todos los hexágonos dada una frecuencia, por lo que si existe alguna constante multiplicativa en la cantidad de hexágonos, la amplitud la tabla para la primera columna puede no ser igual a la segunda columna.

	Hexágonos	Pesos de los eventos	Rayleigh con peso
Figura:	4.4	4.3	4.2
Fase ϕ :	284.874	285.099	329.865
Amplitud a :	0.00784107	0.00384774	0.004676

Tabla 4.3: Fase y amplitud del ajuste del primer armónico en ascensión recta en los hexágonos y pesos de los eventos para la frecuencia sidérea

Capítulo 5

Dipolo en el bin 1 EeV - 2 EeV

5.1. Características del conjunto de datos

Además de los filtros aplicados mencionados en la sección 1.3, se aplican filtros adicionales sobre la energía y el rango de tiempo. Para estudiar los eventos en esta sección, consideramos los eventos entre 1 EeV y 2 EeV de energía y que ocurrieron entre las 12 : 00 : 00 GMT del 1 de enero de 2004 y las 12 : 00 : 00 GMT del 1 de enero de 2020. Se optó por elegir ese rango de tiempo, dado que el registro de eventos más reciente al que se tuvo para hacer este trabajo termina el 1 de Enero del 2020 a las 8 : 59 : 43 GMT, además de para estudiar una cantidad entera de años, se optó por considerar los eventos desde el 1 de Enero del 2013 a las 12 : 00 : 00 GMT.

Un resumen de todos los filtros aplicados se encuentra a continuación

1. Son eventos obtenidos mediante todos los disparos.
2. Energía entre [1 EeV , 2 EeV)
3. Rango de tiempo:
 - Inicial:1388577600 (Thursday, 1 January 2014 12:00:00 GMT)
 - Final: 1577880000 (Thursday, 1 January 2020 12:00:00 GMT)
4. Ángulo cenital $\theta < 60^\circ$
5. 6T5
6. $ib = 1$ Bad period flag. Un valor de 1 indica un buen periodo

Aplicando estos filtros, se tienen 1 081 844 eventos para estudiar en este rango de energía.

5.1.1. Grafico de la anisotropia

Lo de agregar un desfase adrede al valor de h se puede hacer porque ya que para definir el valor del peso del evento, solo tiene que se debe ser consistente los valores de h . Lo que no estoy teniendo en cuenta al hacer esta afirmación es que es cuando calculo la coordenada angular sobre la que hago el analisis en frecuencia

$$\tilde{\alpha}_i = 2\pi \frac{h}{24} + \alpha_i - \alpha_{cenit,i}, \quad (5.1)$$

tiene en cuenta el valor de h . Probe en cambiar este desfase de 2 hr a otros valores arbitrarios para ver que pasaba. Lo que obtuve fue que la amplitud r en el analisis de anisotropia se mantiene igual, pero la fase cambia. Los valores que muestro a continuación son dejando el desfase de h como 2 hr.

Tabla comparando:

	Solar	Siderea
Fase ϕ	30(7)	356(5)
Amplitud a	0.0047(6)	0.0038(6)

Tabla 5.1: tabla

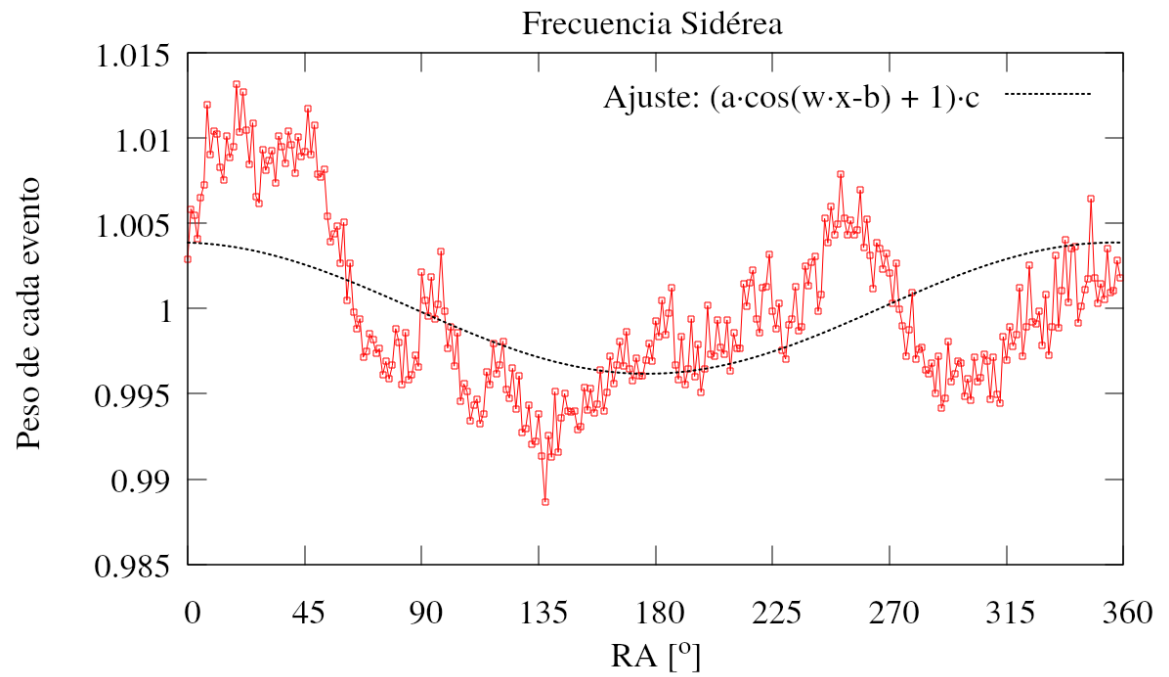


Figura 5.1: El ajuste hecho a la frecuencia sidérea usando el valor de h para clasificar.

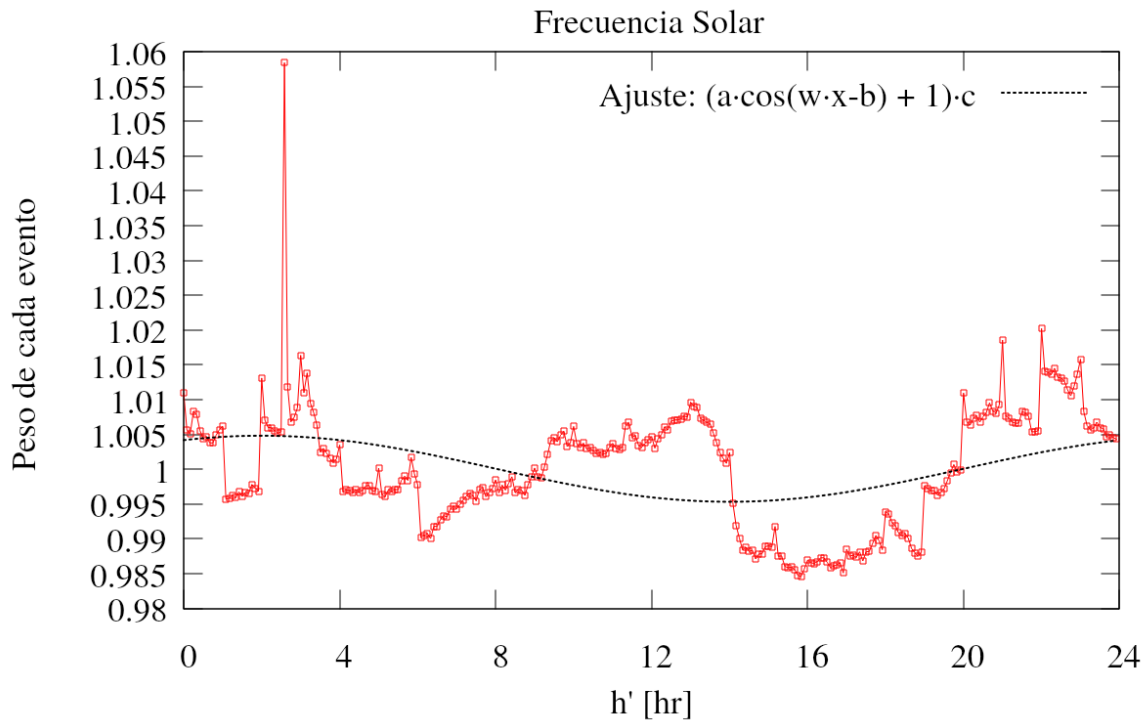


Figura 5.2: El ajuste hecho a la frecuencia sidérea usando el valor de la ascensión recta para clasificar.

Análisis de anisotropías en ascensión recta

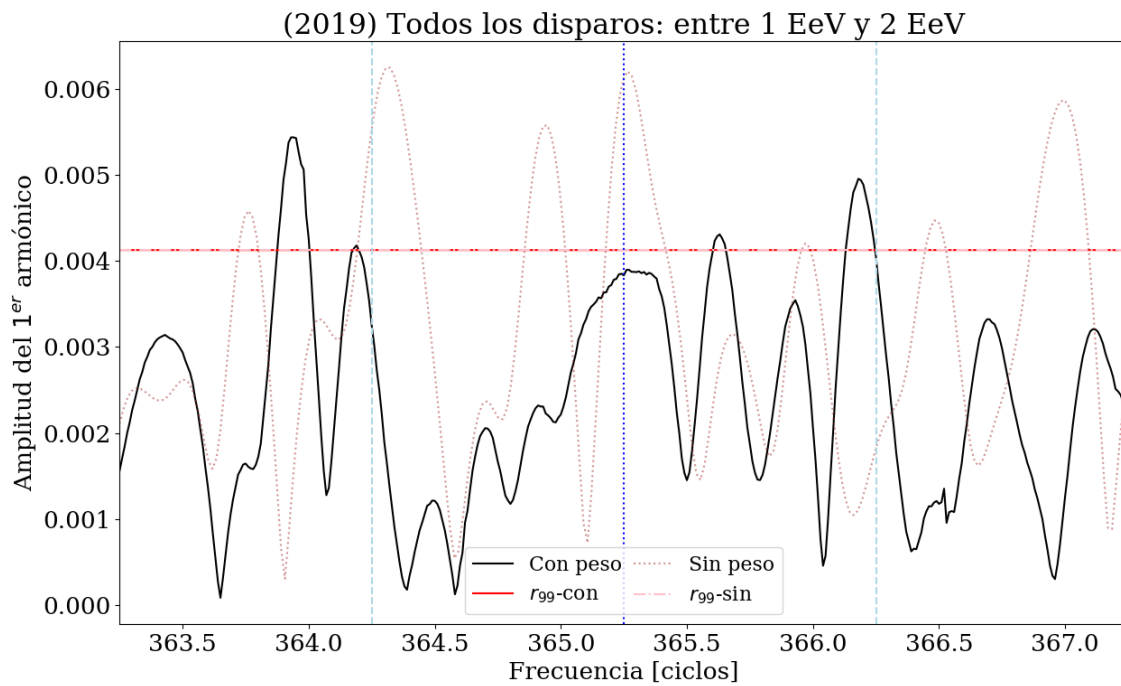


Figura 5.3: Anisotropía en función de la frecuencia, se comparan los análisis sin los pesos y con los pesos de los hexágonos

	Solar (sin peso)	Siderea (sin peso)
Fase ϕ	224.681	335.104
Amplitud r	0.00706339	0.00404635

Tabla 5.2: Tabla

	Solar (con peso)	Siderea (con peso)
Fase ϕ	286.567	335.104
Amplitud r	0.00383264	0.00404635

Tabla 5.3: Tabla

Bineado de eventos (va a ir al final)

Clasificando a los eventos mencionados en la sección 5.1 según el valor de la ascensión recta

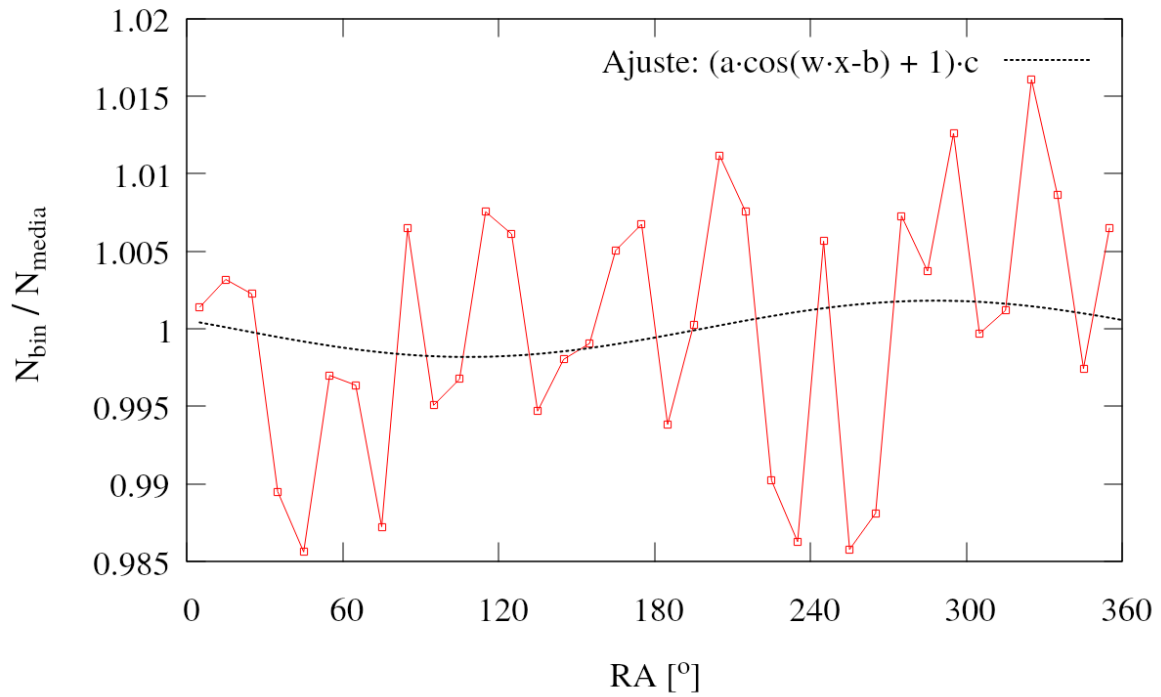


Figura 5.4

Si realizamos un ajuste de una función del tipo $f(x) = c \cdot (1 + a \cdot \cos(\omega x - \phi))$, se obtiene los siguientes valores

Fase ϕ : 288(60)^o

Amplitud a : 0.002(2)¹

¹Sí, el error es del 100 % para el ajuste.

Apéndice A

Cosas para hacer: Mails con Mollerach

Fecha: 27/05/2020

el test que queriamos hacer para ver si son compatibles las amplitudes de Fourier del primer armonico con y sin peso con la modulacion de los pesos no estaria funcionando. La idea es que si sumas vectorialmente un vector con amplitud igual a amplitud del primer armonico sin pesos apuntando en la direccion de la fase sin pesos mas otro vector con amplitud igual a la del fit a los pesos de los eventos apuntando en la fase del maximo del coseno, el vector suma deberia tener amplitud igual a la amplitud del analisis de fourier con pesos y apuntar en la direccion de la fase de ese analisis. No se en cual de los pedazos estara el error.

Fecha 15-06-2020

- Es que cada evento va pesado con los hexagonos del momento en que el evento fue registrado. El RA del cenit de Malargue en ese momento te dice cual es la correspondencia con el bin de los hexagonos que hay que usar. No se puede a ojo sumar o restar 2hs o lo que sea.
- A lo mejor no te estoy entendiendo bien lo que decir de las 2hs que agregaste, pero no hay nada arbitrario en la frecuencia siderea, hay que poner todo consistentemente.

Bibliografía

- [1] Abraham, J., Abreu, P., Aglietta, M., Aguirre, C., Ahn, E., Allard, D., *et al.* Atmospheric effects on extensive air showers observed with the surface detector of the pierre auger observatory. *Astroparticle Physics*, **32** (2), 89–99, 2009.
- [2] Abreu, P., Aglietta, M., Ahlers, M., Ahn, E., Albuquerque, I. F. d. M., Allard, D., *et al.* Description of atmospheric conditions at the pierre auger observatory using the global data assimilation system (gdas). *Astroparticle Physics*, **35** (9), 591–607, 2012.
- [3] Aab, A., Abreu, P., Aglietta, M., Al Samarai, I., Albuquerque, I., Allekotte, I., *et al.* Impact of atmospheric effects on the energy reconstruction of air showers observed by the surface detectors of the Pierre Auger Observatory. *Journal of Instrumentation*, **12** (02), P02006, 2017.
- [4] Taborda, O. Estudios de anisotropías a grandes escalas angulares de los rayos cósmicos de alta energía detectados por el observatorio Pierre Auger, 2017.
- [5] Aab, A., Abreu, P., Aglietta, M., Albuquerque, I. F. M., Albury, J. M., *et al.*, I. A. Large-scale cosmic-ray anisotropies above 4 EeV measured by the pierre auger observatory. *The Astrophysical Journal*, **868** (1), 4, nov 2018. URL <https://doi.org/10.3847/2F1538-4357%2Faae689>.

