

# Resultados del método East-West con All Triggers

Evelyn G. Coronel  
*Tesis de Maestría en Ciencias Físicas*  
*Instituto Balseiro*

(1 de diciembre de 2020)

## COMO SE HACE EL CÁLCULO

1. Definimos el rango de tiempo a estudiar, para estos resultados se utilizaron los límites: 1 de Enero del 2014 hasta el 1 de Enero del 2020.
2. Se recorre cada evento que cumpla con las siguientes características:
  - Pertenezca el rango de energía a estudiar
  - Sea un evento 6T5 con ángulo cenital menor a  $60^\circ$
  - Se haya registrado en el rango de tiempo seleccionado

En cada evento se calcula los siguientes valores:

$$a' = \cos(X - \beta) \quad (1)$$

$$b' = \sin(X - \beta) \quad (2)$$

el valor de  $X$  depende la frecuencia a estudiar, la misma es igual a la ascensión recta del cenit  $\alpha_i^0$  al momento del evento si se estudia la frecuencia sidérea, en cambio para la frecuencia solar es igual al equivalente en grados de la hora local de Malargüe. El valor de  $\beta$  es depende si el evento provino del Este donde  $\beta = 180^\circ$  o  $\beta = 0$  caso contrario. Se intentó hacer un barrido de frecuencias análogo al análisis de Rayleigh pero la variable utilizada para generalizar el análisis a frecuencias arbitrarias:

$$\tilde{\alpha} = 2\pi f_x t_i + \alpha_i - \alpha_i^0(t_i) \quad (3)$$

es tal que la variable es igual a la ascensión recta del evento a estudiar y no al cenit como es el caso del EW.

3. Una vez corridos todos los eventos se calculan los parámetros:

$$a_{EW} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N a \quad b_{EW} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N b$$

que es equivalente a haber calculado

$$a_{EW} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \cos(\alpha_i^0 - \beta_i)$$

$$b_{EW} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \sin(\alpha_i^0 - \beta_i)$$

donde  $N$  indica la cantidad eventos considerados. La cantidad de eventos por rango de energía se muestran en la tabla I.

Con esto puedo calcular la amplitud asociada al análisis  $r_{EW}$  y la fase  $\phi_{EW}$ :

$$r_{EW} = \sqrt{a_{EW}^2 + b_{EW}^2}$$
$$\phi_{EW} = \tan^{-1}(b_{EW}/a_{EW})$$

Estos valores se traducen a los valores de amplitud  $r$  y fase  $\phi$  del dípolo físico mediante las expresiones:

$$r = \frac{\pi}{2} \frac{\langle \cos \delta \rangle}{\langle \sin \theta \rangle} r_{EW} \quad \phi = \phi_{EW} + \frac{\pi}{2}$$
$$d_{\perp} = \frac{\pi}{2 \langle \sin \theta \rangle} r_{EW}$$

Se suma  $\frac{\pi}{2}$  por el artificio de agregar  $\pi$  en los coeficientes para obtener la diferencia entre tasas del este y oeste. Los valores  $\langle \cos \delta \rangle$  y  $\langle \sin \delta \rangle$  son los valores medios de estas variables en los años estudiados.

4. Se calcula la amplitud límite  $r_{99}$  y la probabilidad de que las amplitudes calculadas sea ruido  $P(r_{EW})$  mediante:

$$P(\geq r_{EW}) = \exp - \frac{N}{4} r_{EW}^2$$
$$r_{99} = \frac{\pi}{2} \frac{\langle \cos \delta \rangle}{\langle \sin \theta \rangle} \sqrt{\frac{4}{N} \ln(100)}$$

Por último, estos resultados se comparan con los valores obtenidos con el método EW en el trabajo [1] en frecuencia sidérea, aplicado al conjunto de eventos del disparo estándar registrados entre el 1 de Enero del 2004 y el 1 de Agosto del 2018.

## VERIFICACIÓN DEL CÓDIGO

Se verificó el código escrito en este trabajo de la siguiente manera:

1. El conjunto de eventos del disparo estándar registrados entre el 1 de Enero del 2004 y el 1 de Agosto del 2018 fue analizado en el trabajo [1].
2. Utilizando el código y los datos de los eventos del paper [1], obtenidos de la página del *Publications Committee* de la colaboración Auger, se replicaron los datos del paper.

3. Luego utilizando el código escrito para este trabajo, se realiza que análisis de EW con los datos del trabajo [1].
4. Finalmente se verifica que los valores obtenidos en los item 2 y 3, con ambos códigos, sean el mismo.

### TABLA CANTIDAD DE EVENTOS PARA DISTINTOS RANGOS DE ENERGÍA

Los eventos son clasificados en los distintos rangos con la energía reportada el archivo del Herald de todos los disparos entre el 2014 y 2019 y para el disparo estándar entre el 2004 y 2018.

Rango [EeV]		0.25 - 0.5	0.5 - 1	1 - 2
Eventos	Todos	3 967 368	3 638 226	1 081 846
	Estandar	770 323	2 388 468	1 243 098
Energía	Todos	0.38	0.69	1.32
	Estandar	0.42	0.71	1.34.

Tabla I: Tabla de eventos por rango de energía

### Resultados en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV

En la Fig. 1 se comparan las direcciones en las que apuntan la fase en frecuencia siderea obtenida en este trabajo con la obtenida en [1]. Las fases tiene un margen donde se solapan en la incertidumbre pero no son comparables, la línea punteada marca la dirección del centro galáctico.

Frecuencia:	365.25	366.25	366.25 [1]
Amplitud:	0.00173	0.00123	0.00479
$d_{\perp}$ :	-	0.00156	0.00609
Probabilidad:	0.66	0.81	0.45
Fase:	$145 \pm 60$	$279 \pm 90$	$226 \pm 50$
$r_{99}$ :	0.00580	0.00580	0.0115
$d_{\perp,99}$	-	0.00732	0.0147

Tabla II: Características para las frecuencias solar y siderea con el método East-West en el primer armónico en rango de energía 0.25 EeV - 0.5 EeV

### Resultados en el rango 0.5 EeV - 1 EeV

En este rango de energía se observa una diferencia entre las probabilidades de este trabajo y [1] en la frecuencia siderea. Este valor dice cuando probable es que las amplitudes sean debido al ruido. Este trabajo obtiene que la amplitud en siderea es significativa por un 6 %.

En la Fig. 2 se comparan las direcciones en las que apuntan la fase en frecuencia siderea obtenida en este trabajo con la obtenida en [1]. En esta figura se observa

que las fases son comparables entre sí y apuntan a una dirección cercana al centro galáctico (línea punteada).

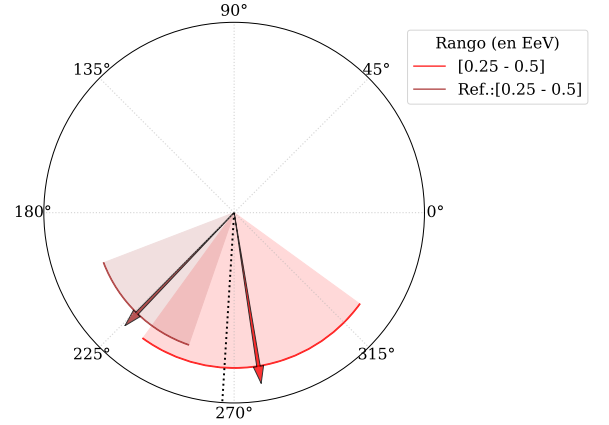


Fig. 1: Valores de las fases obtenidos en este trabajo y en la referencia con sus respectivas incertidumbres para la frecuencia siderea en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV .

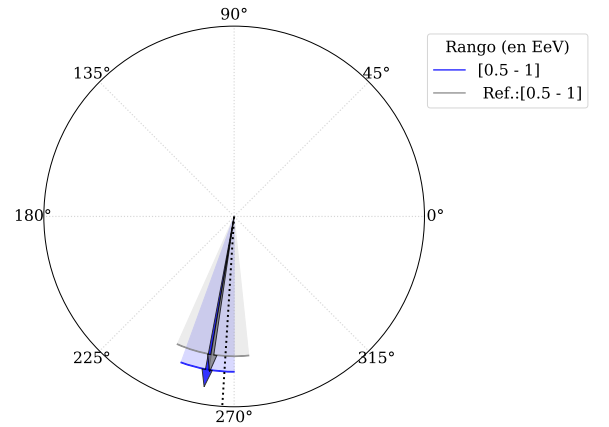


Fig. 2: Valores de las fases obtenidos en este trabajo y en la referencia con sus respectivas incertidumbres para la frecuencia siderea en el rango 0.5 EeV - 1.0 EeV .

Frecuencia:	365.25	366.25	366.25[1]
Amplitud:	0.00428	0.00442	0.00377
$d_{\perp}$ :	-	0.00561	0.00481
Probabilidad:	0.07	0.06	0.20
Fase:	$128 \pm 20$	$260 \pm 20$	$261 \pm 30$
$r_{99}$ :	0.00556	0.00556	0.00634
$d_{\perp,99}$	-	0.00706	0.00809

Tabla III: Características para las frecuencias solar y siderea con el método East-West en el primer armónico en rango de energía 0.5 EeV - 1 EeV

## Resultados en el rango 1 EeV - 2 EeV

En las Tablas IV y V se comparan los resultados de este trabajo y los obtenidos en [1] para la frecuencia solar y sidérea respectivamente. En el Fig.3 se observan en un gráfico polar las fases de la referencia y este trabajo para la frecuencia sidérea. Los resultados son comparables entre sí.

	Rayleigh	EW
Frecuencia:	365.25	365.25
Amplitud:	0.00385	0.00282
Probabilidad:	0.02	0.64
Fase:	$288 \pm 20$	$200 \pm 60$
r99:	0.0041263	0.00916

Tabla IV: Características para la frecuencia solar con los métodos de Rayleigh e East-West en el primer armónico.

	Rayleigh	EW	EW[1]
Frecuencia:	366.25	366.25	366.25
Amplitud:	0.00391	0.00495	0.00143
$d_{\perp}$ :	0.00499	0.00631	0.00182
Probabilidad:	0.0136	0.26	0.87
Fase:	$336 \pm 20$	$320 \pm 30$	$290 \pm 100$
r99:	0.00413	0.00916	0.00837
$d_{\perp,99}$	0.00526	0.0117	0.0107

Tabla V: Características para la frecuencia sidérea con los métodos de Rayleigh e East-West en el primer armónico.

La referencia tiene 1 243 098 eventos con una energía media de 1.34.

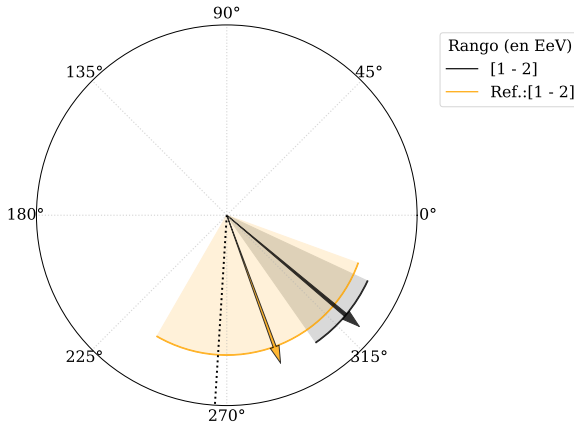


Fig. 3: Valores de las fases obtenidos en este trabajo y en la referencia con sus respectivas incertidumbres para la frecuencia sidérea en el rango 1.0 EeV - 2.0 EeV .

## GRÁFICOS

Para poder comparar los resultados de  $d_{\perp}$  entre sí, podríamos graficar los valores de la proyección y de la límite del 99 % como se muestra en la Fig.4. El inconveniente es la cantidad de datos en cada rango de energía entre los conjuntos de datos, todos los disparos y disparo estándar, son distintos.

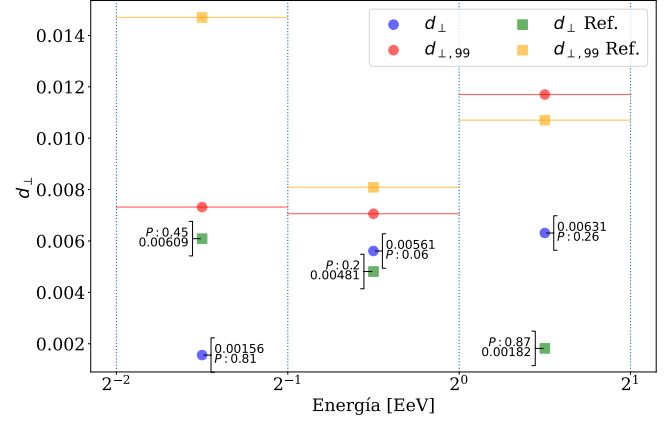


Fig. 4: Sin normalizar

Para compararlos mejor con respecto a  $d_{\perp,99}$ , usamos el valor de cada rango y de cada conjunto de datos, para normalizar la amplitud de  $d_{\perp,99}$ . Como se muestra en la Fig.5, ahora  $d_{\perp,99} = 1$  y los otros valores se pueden comparar.

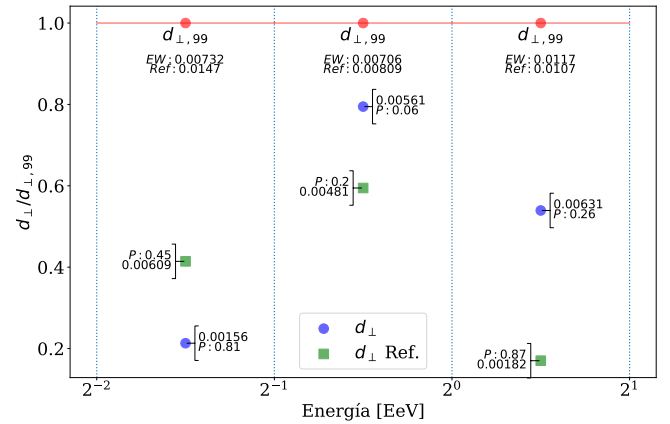


Fig. 5: Valores normalizados con  $d_{\perp,99}$

Por lo que ahora podemos decir que en los rangos entre 0.5 EeV - 1.0 EeV y 1.0 EeV - 2.0 EeV, la amplitud obtenida en este trabajo está por encima que la referencia.

Para comparar los resultados en el rango 0.25 EeV - 0.5 EeV, tenemos que tener en cuenta que el disparo estándar

tiene una sensibilidad menor que el todos los disparos. Esto se ve claramente en la Tabla I, donde el primer tiene 7 veces menos eventos para analizar. Por lo tanto,

la discrepancia entre la referencia y los trabajos puede deberse a la diferencia de eventos a estudiar causada por la sensibilidad del disparo.

- 
- [1] A. A. et al., The Astrophysical Journal **891**, 142 (2020).