

**EVIDENCIAS OBSERVACIONALES DEL PROCESO DE ACELERACION DE
PARTICULAS EN UNA FULGURACION SOLAR**

**OBSERVATIONAL EVIDENCES OF THE PARTICLE ACCELERATION PROCESS
IN A SOLAR FLARE**

M.G. Rovira¹, A.M. Hernández¹, C.H. Mandrini¹
y M.E. Machado²

1: Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET)

2: Centro Espacial San Miguel (CNIE)

RESUMEN: En su interacción con el plasma que forma los "loops" de las fulguraciones solares, los electrones acelerados emiten rayos X por bremsstrahlung de blanco grueso y de blanco delgado. Realizamos un estudio detallado del comportamiento de la emisión de rayos X duros de la fulguración del 6 de Noviembre de 1980 a las 17:25 T.U., con el objeto de identificar estos procesos y obtener información acerca del mecanismo de liberación de energía. Las observaciones están de acuerdo con un modelo de dos componentes: una emisión térmica superpuesta a una no-térmica producida por un espectro potencial de los electrones acelerados.

ABSTRACT: The electrons accelerated in solar flares give rise to X-ray emission through thick and thin bremsstrahlung when interacting with the plasma within the loops. We have made a detailed study of the behaviour of the hard X-ray

emission for the Nov. 6 1980, 17:25 U.T. flare so as to identify these processes and get information about the energy release mechanism. The observations are in good agreement with a two component model: a thermal emission superimposed to a non-thermal one produced by a power law spectrum of accelerated electrons.

OBSERVACIONES

Mediante observaciones en rayos X, se estudió la evolución espacio-temporal de la fulguración solar del 6 de noviembre de 1980, a las 17:25 TU.

Se utilizaron los datos de imágenes en rayos X del Hard X-Ray Imaging Spectrometer (HXIS, van Beek y otros 1980) obtenidos en 6 bandas de energías entre 3,5 y 30 keV. Estas observaciones fueron complementadas con los datos de rayos X de mayor energía (28-508 keV) del Hard X-Ray Burst Spectrometer (HXRBS, Orwing y otros 1980). Ambos instrumentos volaron a bordo del satélite SMM.

En la Figura 1 se muestran las isofotas en el rango de energía 16 a 30 keV, en las que se observan dos regiones de mayor intensidad, identificadas como las bases (foot points A y B) en la cromósfera de una estructura magnética (loop L) que se extiende en la corona solar.

La región donde se inicia la liberación de energía de la fulguración está situada en la estructura A, ya que es allí donde se observa el primero y más intenso brillantamiento en rayos X duros (16 a 30 keV) como se muestra en la Figura 2: mientras que la emisión en el footpoint B comienza a crecer durante la fase de decaimiento de este primer pico.

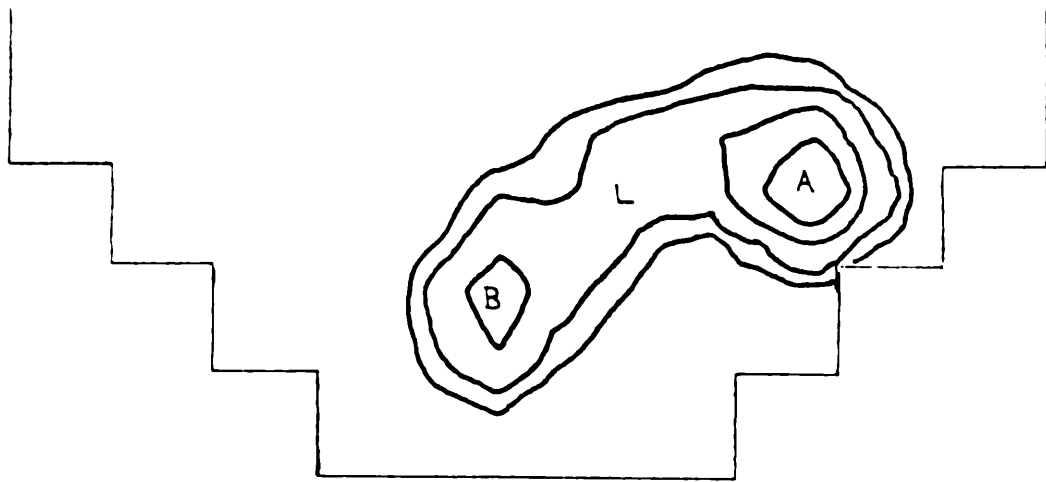


Figura 1: Isofotas correspondientes al rango de energía de 16 a 30 kev donde se distinguen los dos footpoints.

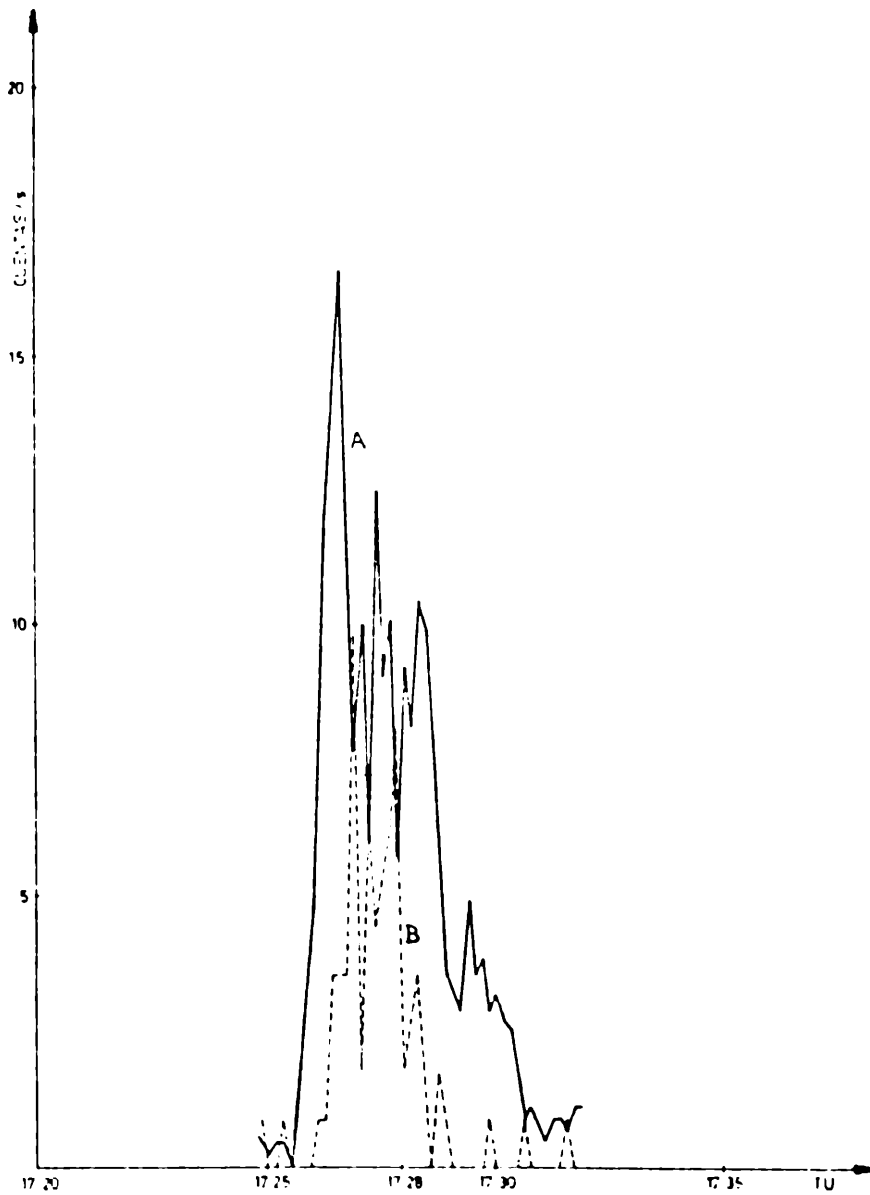


Figura 2: Intensidad en función del tiempo en rayos X duros (16 -30 kev).

RESULTADOS Y DISCUSION

A partir de los contajes de las bandas de menor energía determinamos la temperatura y medida de emisión de las distintas estructuras que forman parte de la fulguración: footpoints A y B y loop L. Para estos cálculos se utilizó el CRFP (Count Rate Prediction Program) que predice los contajes en cada banda del HXIS ante la incidencia de un espectro térmico, con la temperatura como parámetro (Mewe y Gronenschild, 1981).

Las temperaturas halladas se grafican en la Figura 3, en la que se observa que la temperatura del footpoint A se mantiene menor que la del loop L durante todo el tiempo de emisión en rayos X duros, consistente con el hecho de que la densidad de A es aproximadamente 5 veces mayor que la del loop. Por el contrario, encontramos que la temperatura del footpoint B es mayor que la del loop, a pesar de su mayor densidad, durante la presencia de rayos X duros en esa zona. Esta inconsistencia nos induce a pensar que se está haciendo una sobreestimación de la temperatura en el footpoint B, y que debemos considerar la emisión de rayos X por bremsstrahlung no-térmico debido al pasaje de electrones acelerados superpuesto al espectro térmico. Estudiamos entonces, la contribución de espectros térmicos y no térmicos variando la temperatura, medida de emisión e índice espectral dentro de los rangos estimados de los datos. El objeto de este análisis es encontrar la combinación de esos parámetros que mejor se ajuste a las observaciones.

La contribución térmica fue calculada con temperaturas $T = 17, 20$ y $23 \cdot 10^6$ K. Para la contribución no térmica se empleó el método numérico descrito por Machado y otros

(1985), usando valores del índice espectral $\gamma = 5$ y 6 y energías de corte $E_0 = 10, 15$ y 20 keV.

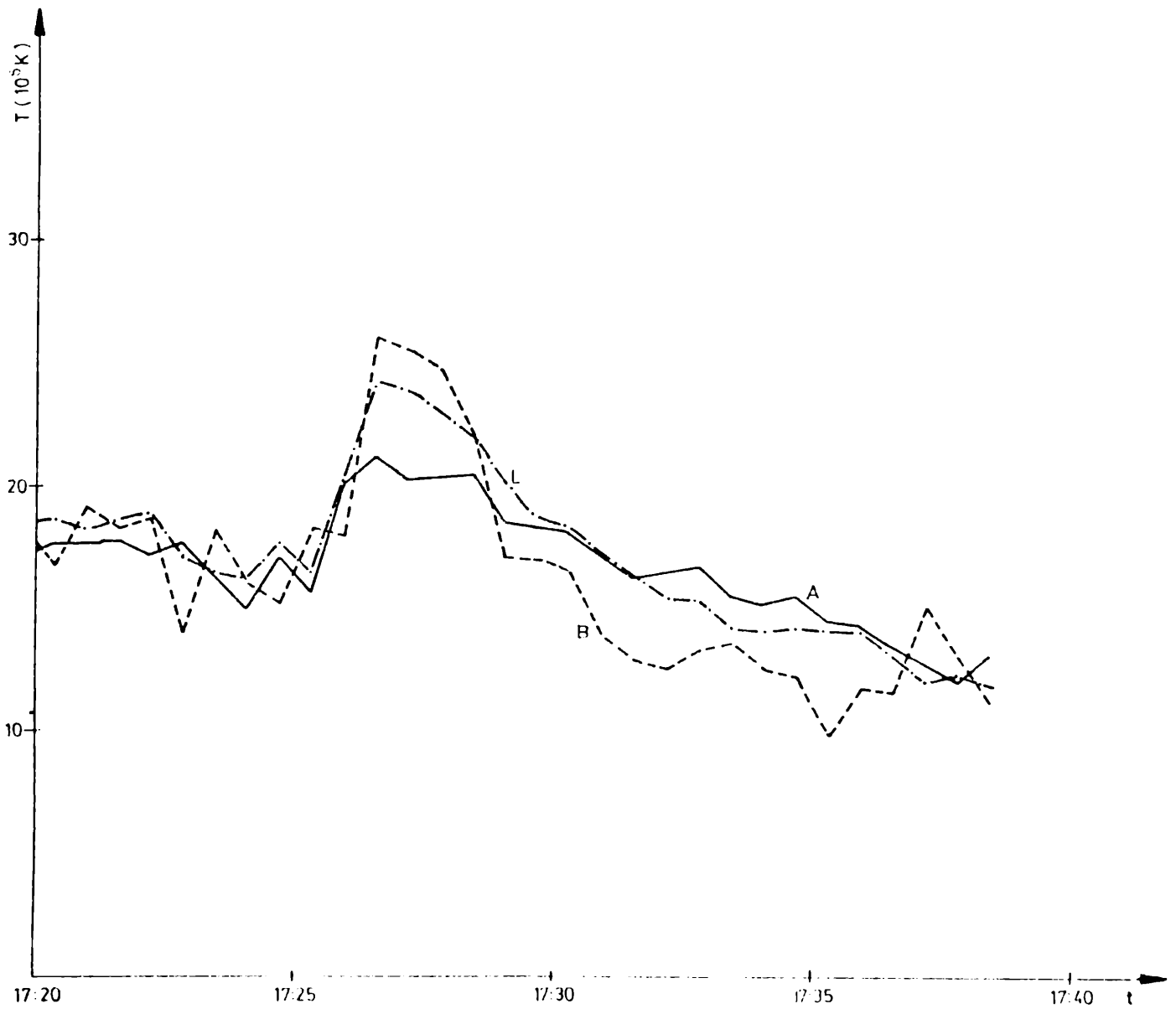


Figura 3: Temperaturas en función del tiempo para los footpoints (A y B) y el loop (L).

En la Figura 4 se ha dibujado la contribución térmica para $23 \cdot 10^6$ K y no-térmica para $\gamma = 6$ y $E_0 = 15$ keV siendo ésta la combinación de los parámetros que "a priori" mejor ajustan a la intensidad observada en el loop. Cabe señalar que el ajuste con los datos permite elegir dentro de las incertezas la temperatura, por el contrario es difícil discernir entre 5 y 6 para el índice espectral.

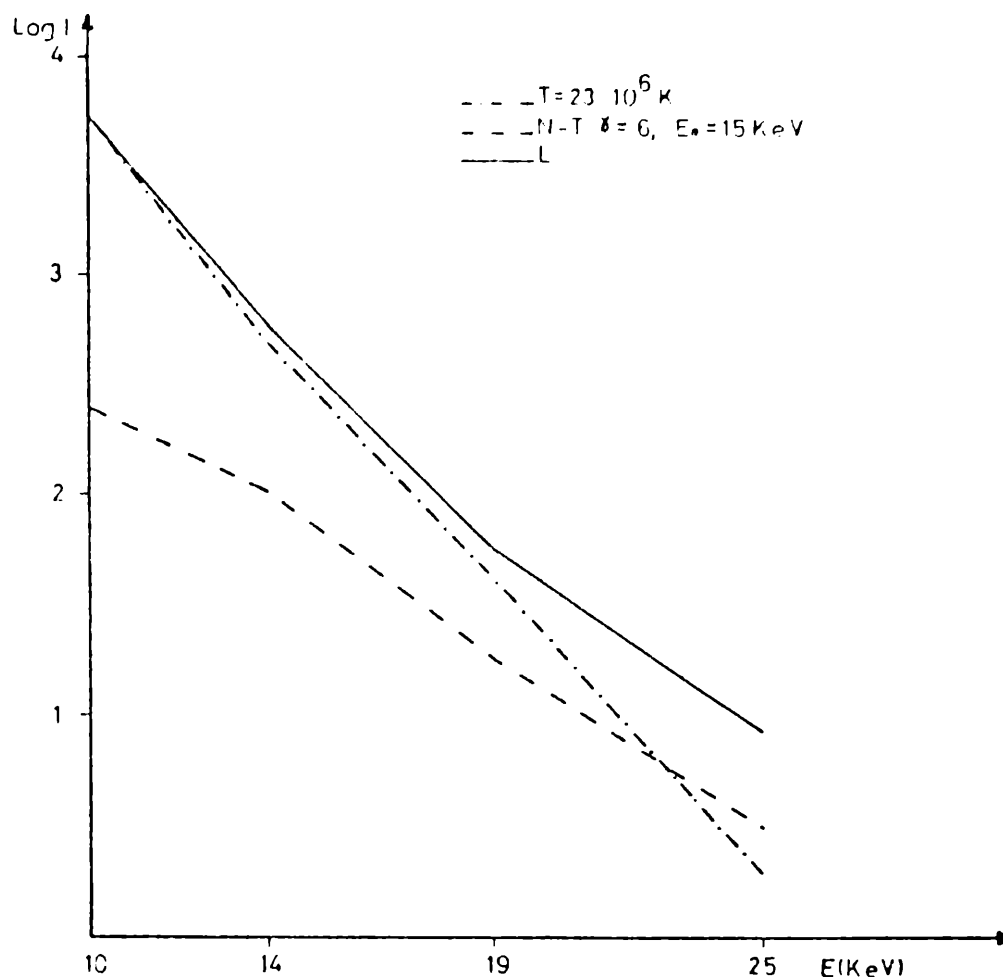


Figura 4: Intensidad en función de las energías medias de las bandas 3, 4, 5 y 6 para las contribuciones térmica (T), no térmica (N-T) y observaciones para el loop (L).

Para ambos γ y $E_0 = 15$ keV el flujo total de electrones acelerados resulta entre 2 y $3 \cdot 10^{36}$ electrones/s, compatible con el flujo de electrones máximo inferido de la

hipótesis de estabilidad de la corriente de retorno. El resultado obtenido de los datos del HXRBS de $5.9 \cdot 10^{37}$ electrones/s también está de acuerdo con el calculado ya que este instrumento obtiene información integrada sobre todo el Sol.

El valor medido del cociente de intensidades entre el loop y el loop incluido el footpoint B, para el rango de energía 16 a 22 keV, es de 0.85. Con $\gamma = 5$ y 6 y $E_0 = 13$ keV hemos computado la distribución de la emisión de rayos X duros en el rango de energía observado, obteniéndose para el cociente anterior 0.77.

También se calcularon las intensidades en el footpoint B para las bandas de mayor energía del HXIS, de las que se infiere un índice espectral (suponiendo una ley de potencia) entre 3.6 y 5.1 lo que corresponde a valores de γ en el loop de 5 y 6. El $\gamma = 4.6$ obtenido para el footpoint B con el exceso de cuentas sobre un espectro térmico correspondiente a $20 \cdot 10^6$ K es compatible con los valores calculados anteriormente.

Todos estos resultados son consistentes con la hipótesis de un haz de electrones acelerados en el footpoint A que se propaga a lo largo del loop emitiendo rayos X duros por bremsstrahlung no-térmico. Este espectro es más blando que el emitido en el footpoint B y, superpuesto al espectro térmico, resulta una distribución de intensidades de acuerdo con las observaciones.

REFERENCIAS

Machado, M.E.; Rovira, M.G. y Sneibrum, C.V. 1985, Solar Phys. 99, 189.

Mewe, R. y Gronenschild, E.H. 1981, Astron. Astrophys.
Suppl. **45**, 11.

Orwing, L.E.; Frost, K.J. y Dennis, B.R. 1980, Solar Phys.
65, 25.

van Beek, H.; Hoyng, P.; Lafleur, B. y Simnett, G.M. 1980,
Solar Phys. **65**, 39.