

EL RUIDO EN DENSITOGRAMAS DE ESPECTROS SOLARES

TOMAS PANETH

Observatorio Nacional de Física Cósmica de
San Miguel

Abstract:

Three of the most commonly used methods to avoid the effects of plate noise in densitograms of spectra photographs are being compared in this article.

Al leer densitogramas de fotografías de espectros solares se observa que los perfiles de las líneas de absorción lejos de tener las formas suaves características de las funciones estadísticas tienen dentados que en general impiden definir su forma exacta y su ubicación relativa, llegando hasta hacer desaparecer líneas espectrales. El hecho ocurre en los espectros solares lo mismo que en los estelares porque si bien la energía original disponible es incomparablemente mayor en los primeros, este hecho se aprovecha para aumentar la resolución en cada una de las 5 dimensiones en que se opera: se trata de trabajar con la menor parte posible del área del disco solar por vez (2 dimensiones, tratando de llegarse al segundo de arco en cada una) se aumenta la resolución espectral hasta el límite del espectrógrafo utilizando (unos 15 mA si es posible), se trata de exponer poco tiempo tanto como para tener resolución temporal en el fenómeno como para mejorar la resolución espacial, ya que las inhomogeneidades atmosféricas borrarían la imagen, (lo cual tiende a llevar los tiempos de exposición al segundo o menos) y finalmente se pretende muchos niveles de gris, es decir medir pequeños incrementos de energía (en lo posible unos 1000).

El proceso comprende tres partes físicamente distintas, conviene estudiarlas por separado.

La primera es la fotografía. Habrá un compromiso entre velocidad y tamaño de grano. Pero conviene recordar, que mucho más que el grano mismo, molestan los conglomerados de grano y éstos dependen de las técnicas de revelado. Además la irregularidad en el densitograma final

depende de la abundancia estadística de granos revelados por unidad de superficie, de donde resulta conveniente operar con placas mas bien densas, sin saturar por supuesto, tanto al exponer como al revelar. Al operar en el limbo del Sol, ésto está relacionado con la zona elegida puesto que en pocos segundos de arco se pasa de fotosfera a cromósfera y corona con una variación en varios órdenes de energía disponible.

La segunda parte es el densitograma o la medición de densidad. Los instrumentos que suelen utilizarse para éste, en general, permiten reducir muchísimo el área a analizar a cada instante, llegando las ranuras de análisis a ser comparables con el grano o por lo menos con los conglomerados de grano. En fotografías de espectros estelares, en un eje suele estar la dispersión espectral y en el otro o está el ancho natural del círculo de difracción de la estrella o se ha desplazado intencionalmente la imagen de éste para ensanchar el espectro, teniendo en ambos casos el ancho del espectro la misma información. En las fotografías de espectros solares en un eje también hay dispersión espectral, pero en el otro, el ancho corresponde a distintos puntos del disco. Abrir la ranura en un eje, naturalmente reduce la resolución en dicho eje, pero es justamente el grano el que no tenemos ningún interés en resolver. Desgraciadamente siempre los conglomerados de grano resultan comparables con lo que queremos resolver y solamente los procesos estadísticos pueden ayudar. Cuanto mayor es el área que se analiza simultáneamente, menor será la influencia de cada grano pero también menor será la resolución. Dado que todo ésto lleva a situaciones de compromiso, hay que analizar cada una de las variables. En un espectro estelar, en dirección perpendicular a la dispersión, se usa todo el ancho del espectro, pero recordando que hacer los espectros más anchos implica menos energía disponible o mayor tiempo de exposición.

En el caso del Sol, aumentar el ancho de ranura perpendicular a la dispersión, reduce la resolución sobre el Sol y habrá que analizar las consecuencias en cada caso. Aumentar el ancho de ranura en la dirección de dispersión reduce la resolución espectral pero la situación también varía en cada caso. Mientras el ancho de ranura es menor que el detalle menor que se pretende ver, de algún modo se conservará la información completa, si es mayor, al llegar a una línea de absorción angosta, mientras avanza sobre el flanco, la variación de densidad registrada, estará en proporción, no solamente con la densidad del punto en cuestión, sino que será proporcional también al cociente entre

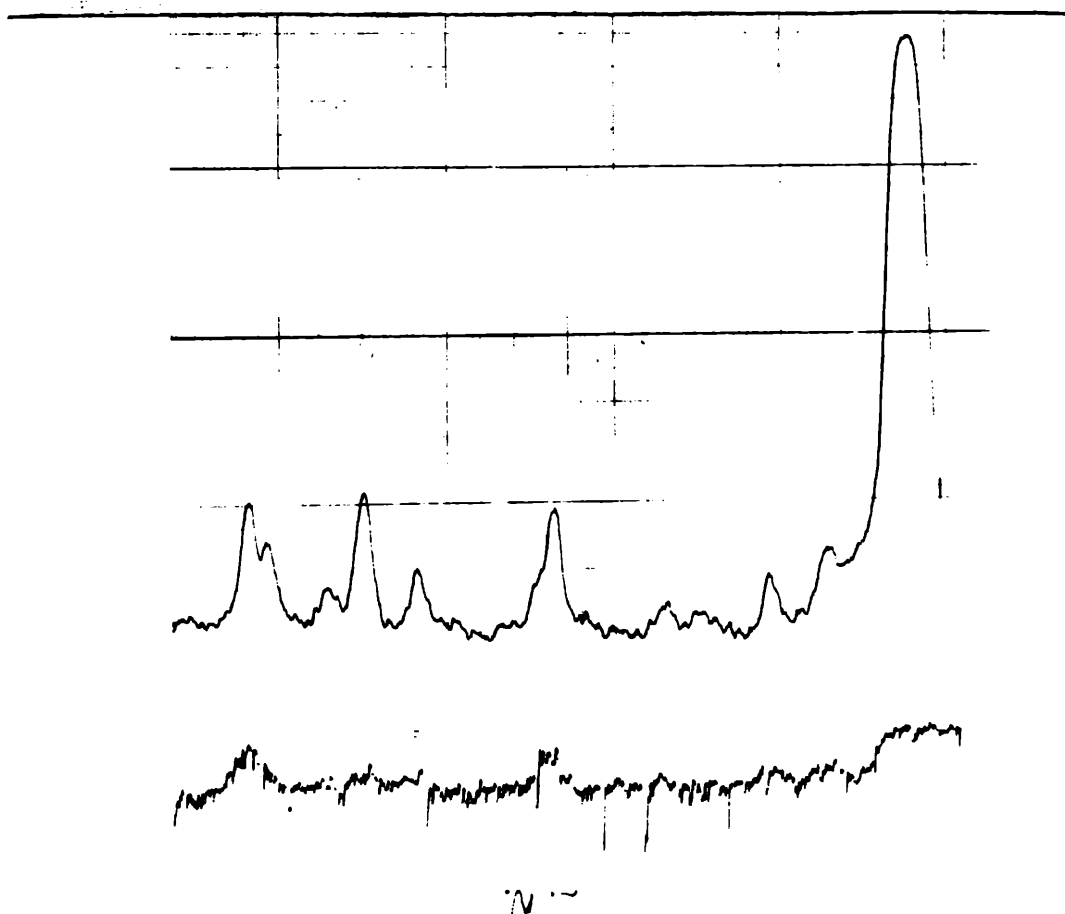
el área de la línea en cada caso, y el área total analizado por la ranura. Al llegar al segundo flanco, si bien la densidad dentro de la zona de análisis sigue aumentando, hasta que toda la línea esté dentro del área de análisis. A continuación, mientras la línea se desplaza dentro del área de análisis, la indicación de densidad será constante y proporcional al ancho equivalente. Al llegar la rampa de comienzo de la línea al final del área de análisis, comenzará a aumentar la indicación de densidad hasta que la línea salga totalmente del área. Esto en un caso ideal, en que el área de análisis existe una sola línea, que en este caso vía matemática podría reconstruirse bastante bien. Desgraciadamente, éste no es el caso normal. Lo normal es que se vayan superponiendo otras líneas de otro origen aparte de las estructuras finas e hiperfinas de la misma línea. Dadas estas consideraciones se verá en cada caso lo que se puede salvar.

El tercer paso será la elaboración matemática consiguiente. La primera cuestión que se plantea es la cantidad de puntos a considerar. En todo lo que sigue, suponemos tener en el eje de las "X" la dispersión y en el de las "Y" la densidad. Siguiendo el densitograma en el sentido de las "X" éste tendrá forma de una línea ondulada o quebrada según los casos. Designaré con "x" la media onda más corta que aparezca en el densitograma, llamando media onda a la distancia desde un máximo relativo hasta el mínimo relativo siguiente o viceversa, o tomando dos puntos sucesivos en que la segunda derivada de la función representada por la línea sea muy distinta aunque no de signo contrario. Si no se quiere correr el riesgo de perder toda la información en alguna zona del densitograma, la distancia entre puntos considerados tiene que ser como máximo $x/2$. Si se toma igual a "x", se corre peligro de que, dado que a lo largo del densitograma la media onda no es constante, en algunas partes tomaremos los puntos en máximos y mínimos relativos, conservando la información y en otros caerán justo a la mitad del flanco, quedando siempre los máximos y mínimos relativos entre ellos, con pérdida de información, salvo respecto el promedio. Al duplicar el número de puntos este peligro no existe. Si la onda entera hubiera correspondido a la distancia entre centros de granos vecinos, éste representa el límite práctico de información que puede lograrse de una placa. Incluso L. Rusconi y G. Sadmak, en un artículo publicado en *Astron. & Astrophys.* (10, 469-473, 1971) se conforman con la onda entera para tomar la información. Disponiendo de medio de digitalización au-

tomática y de computador, lo lógico es operar con la ranura en dirección del eje "X" igual o ligeramente menor que la media onda más corta, puesto que al operar con computadora se puede filtrar mejor el ruido del grano por alguno de los métodos matemáticos de filtrado que se conocen: uno consiste en promediar siempre cierta cantidad de datos sucesivos y otro en considerar la media onda de la información buscada como la media onda de cierta frecuencia fundamental, descartando armónicas de cierto orden en adelante. Para pasar a frecuencia habrá que elegir una constante de transformación con dimensión de una velocidad y dividir luego ésta por la longitud de onda correspondiente. De todos modos la transformación de Fourier puede hacerse con períodos de cualquier naturaleza. Llamaremos media onda de la información buscada a cierta distancia " x_1 " tomada sobre el eje de las "X" lo más grande posible, por ejemplo la longitud total del espectrograma, siempre que sea un número entero de datos digitalizados. Para comparar los dos métodos, es decir, el de los promedios y el de análisis armónico hay que tener presente que si bien el período de integración del uno, corresponde a la media onda de la frecuencia más alta considerada del otro, el hecho de integrar, solamente anula las armónicas pares de orden superior, mientras de las impares queda siempre media onda como residuo. Esta media onda para órdenes muy altos carece de importancia puesto que dicha media onda carece de peso frente a la cantidad de períodos enteros de dicha frecuencia que se anulan, aparte de que siendo la serie de Fourier una función convergente, la amplitud de las armónicas superiores desde cierta armónica en adelante decrece. De todos modos es superior al método usado normalmente de promediar siempre determinada cantidad de valores sucesivos y permite si se dispone de un graficador adecuado, obtener luego gráficos muy suaves, especialmente si una vez descartadas las armónicas superiores, se calculan más puntos que los utilizados como datos para la computadora. Este método está descrito en el artículo arriba citado.

Todavía falta comparar lo que ocurre al integrar o promediar cierta cantidad de puntos con la computadora y el simple hecho de abrir la ranura del microdensitómetro de modo que promedie la información de la distancia equivalente. El microdensitómetro, trabajando así, dará una curva suave puesto que trabaja con una función continua, mientras que con el graficador de la computadora se obtendrá, por más puntos que se quieran luego interpolar, una recta quebrada correspondiente a las distancias entre datos. En

ambos casos se tendrá siempre presente el peso de una media onda de cada una de las armónicas impares superiores. La enorme eficacia del método de eliminar armónicas superiores se ve en el gráfico que acompaña el artículo arriba citado donde de un densitograma, en el cual a simple vista no se puede sacar ninguna información se logra la información y un gráfico limpio. El trabajo de programar por Fourier habrá que hacerle una sola vez en vez de los simples promedios. Pero si no se dispone de facilidad para digitalizar gran cantidad de datos es preferible integrar, pero en este caso con el mismo densitómetro. De todos modos, como hoy en día toda la elaboración posterior del densitograma, como ser pasar de densidad a intensidad cálculos de abundancia y temperatura, etc., se hace con computadora, hay que considerar seriamente si no se justifica operar con ella desde el principio. En el gráfico se muestra la comparación entre dos densitogramas de la misma zona espectral, uno realizado antes de un estudio serio del ruido y el otro después, mejorando tanto la técnica de la fotografía como la del densitograma.



(El gráfico muestra la zona correspondiente a la línea D₁ en el limbo solar y abarca unos 5 Å. La dispersión en la fotografía es de 1 mm por Å aproximadamente y de 50 mm/Å en el densitograma original). La ranura de análisis es de 10 μ (10 mÅ) x 200 μ (6") en el primer caso y de 30 μ (30mÅ)x200 μ (6") en el segundo. Además, la segunda está más expuesta siendo la altura sobre la fotosfera solar parecida.

Finalmente, no quiero dejar de mencionar la posibilidad que presenta la computadora de juntar los datos de densitogramas correspondientes a fotografías sucesivas ganando en resolución en alguna de las otras dimensiones, lo que se pierde en resolución temporal. Para llevar a coincidencia los orígenes correspondientes, suponiendo la dispersión idéntica, aparte de los espectros de referencia sirven los métodos de correlación cruzada, métodos que incluso permiten igualar la dispersión en caso necesario.