

PULSACIONES AURORALES EN FRECUENCIAS MEDIAS

HORACIO A. CAZENEUVE
Instituto Antártico Argentino

Se estudian las pulsaciones de la intensidad auroral, registradas con un fotómetro foto-eléctrico en la Base General Belgrano (lat. 77° 52' S., long. 38° 24' W.). Esas pulsaciones se superponen en una onda de período mayor, la cual está modulada con período aún mayor.

Se identifican cinco modos de pulsaciones ópticas, las cuales se vinculan con el período de modulación, con la sucesión de los distintos modos de pulsar, y con el parámetro $\Delta I/I$. Este parámetro se introduce para establecer si las pulsaciones se deben a la modulación del flujo de electrones que precipitan, o a fluctuaciones en la densidad del plasma ionosférico, o a una combinación de ambos.

Los períodos de estas modulaciones aparecen agrupados en intervalos definidos: 2 a 10 seg, 40 a 70 seg, 150 a 500 seg, y período mayor de 1.200 seg.

Esta información indica la existencia de varios mecanismos que pueden excitar las pulsaciones luminosas.

Estos mecanismos deben actuar con independencia y ser simultáneos, de modo tal que se acoplen para superponerse o equilibrarse. Se correlacionan los resultados con la modulación del flujo de electrones aurorales producida por inestabilidad del plasma ionosférico y por ondas hidromagnéticas.

Se indica que los campos eléctricos fluctuantes, presentes en la ionósfera deben contribuir a esta compleja modulación. Se señala además que los procesos pulsantes muestran una fuerte dependencia de la actividad solar, que se manifiesta en la variación de las fases pulsantes según la actividad magnética.

Se obtienen además distribuciones en latitud y tiempo de las fases pulsantes, como un comienzo en el estudio de la dinámica del óvalo auroral.

The auroral intensity pulsations recorded with a photoelectric photometer at Base General Belgrano (lat. 77° 52' S., long. 38° 24' W.) are studied. The pulsations are overimposed on a wave of greater period that is modulated with a still greater one.

Five optical pulsations modes were identified. These are associated with the modulation period, the succeeding pulsation modes and the $\Delta I/I$ parameter. Such parameter is introduced to establish whether the pulsations are due to the modulation of the electron flux precipitates, to fluctuations in the ionospheric plasma density or to both effects.

The period of these modulations are grouped in several ranges, i.e. 2 to 10 seconds, 40 to 70 seconds, 150 to 500 seconds and higher than 1,200 seconds.

This fact is an indicator of the existence of several mechanisms that may trigger the optical pulsations.

These mechanisms should operate independently and simultaneously in such a way that they couple in order to be stabilized or overimposed. The results are correlated with the auroral electron flux modulation resulting from the instability of the ionospheric plasma and the hydro-magnetic waves.

It is noted that the fluctuating electric fields present in the ionosphere should contribute to such complex modulation. Furthermore, it is pointed out that the pulsating events show a strong dependence on solar activity which is evident by the pulsating phases variation according to magnetic activity.

Latitude and time distributions of the pulsating phases are obtained as a first step in the of auroral oval dynamics.

INTRODUCCION

Las pulsaciones de la intensidad luminosa auroral son consecuencia de procesos que ocurren en la magnetósfera, y en particular en la ionósfera.

Como primera etapa del estudio de pulsaciones aurorales, se discute la modulación de esas pulsaciones, buscando su origen en las perturbaciones ionosféricas, con cierta independencia de otros procesos magnetosféricos.

Analizamos algunas características de estas pulsaciones ópticas, en el rango de frecuencias de 0,30 a 0,05 cps, modulados con períodos desde 40 seg. a 100 min. mediante registros de un fotómetro fotoeléctrico instalado en Base General Belgrano (lat. geom. 67°) simultáneos con registros de cámara todocielo y de observación visual en Base Sobral (lat. geom. 70°).

Se emplea el registro de la línea verde del oxígeno atómico λ 5577 Å debido a que es menos afectada por contaminación de luz lunar dispersada, o por absorción en la atmósfera (Chamberlain, 1961).

DISTRIBUCION EN LATITUD

Aunque la finalidad no es estudiar la dinámica del óvalo auroral, mostraremos brevemente la distribución en latitud de fases pulsantes. La figura 1 muestra que la máxima frecuencia observada se encuentra entre los 80° y 83° de latitud geográfica Sur (69° y 72° de latitud geomagnética). Esto muestra que las fases pulsantes corresponden a auroras del óvalo y no a auroras del casquete polar.

Distribuciones similares (Cazeneuve, 1969) muestran un desplazamiento en latitud del pico de frecuencias observadas, y las que abarcan un período mayor muestran dos picos bien definidos. Esto indica un desplazamiento en latitud del óvalo auroral, y permite definir algunos rasgos que distinguen las pulsantes de los otros tipos aurorales.

FORMA DE LAS PULSACIONES

Se identificaron cinco tipos de pulsaciones según sus formas y períodos y según su modulación. Clasificamos los siguientes grupos de pulsaciones:

pl, pulsación irregular de gran amplitud. Su período varía entre 5 y 8 seg. Esta oscilación se superpone en una línea de base modulada con período entre 40 y 50 seg. A su vez, esta línea aparece superpuesta en una oscilación con período entre 150 y 300 seg.

La amplitud de la oscilación excede siempre la intensidad de la base.

Qp, pulsaciones cuasi-periódicas, período entre 2 y 5 seg. Positivas y negativas con respecto a la línea de base. Esta línea pulsa con período entre 40 y 50 seg. (igual que pl), y está superpuesta en una oscilación con período del orden de 1.200 seg. que decrece rápidamente con el tiempo.

pE, pulsaciones esporádicas irregulares y de gran amplitud, superpuestas en un nivel lentamente decreciente, o que oscila con período mayor de 1.400 seg. La duración de cada pulso es del orden de 30 seg. al comenzar la fase pulsante, y llega hasta 70 seg. decreciendo después. Con el tiempo aumenta la separación entre las pulsaciones y se transforman en pulsaciones pP.

pP, pulsaciones positivas superpuestas en un nivel que oscila con períodos

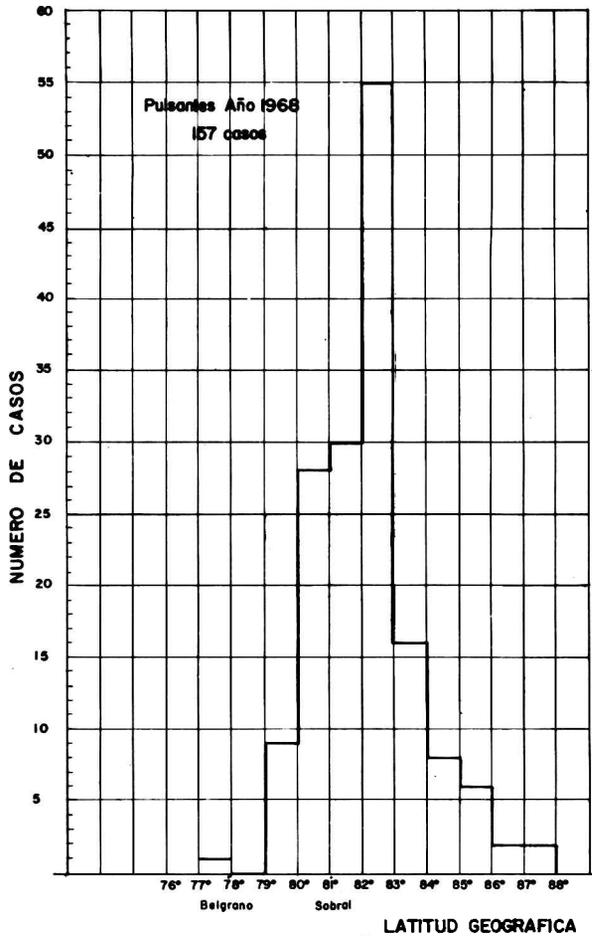


Figura 1: Distribución en latitud de auroras pulsantes vistas simultáneamente en las bases General Belgrano y Sobral.

de 600 seg. (10 min.).

F, fluctuaciones de pequeña amplitud sobre un nivel lentamente variable. La amplitud-media es del orden del 1 % de la intensidad del nivel de base. El período es del orden de 10 seg. Este modo de oscilación pertenece a las muy escasas fases pulsantes con intensidad relativamente alta, hasta 8 kR, cuando el resto de los casos suele ser inferior a 3 kR.

En la figura 2 se observa la modulación de la línea de base en la cual se superponen las oscilaciones de mayor frecuencia. Entre pulsos sucesivos se observa una disminución de la línea de base y luego un nuevo aumento. En el período de decaimiento antes del mínimo de intensidad se registra una disminución de la frecuencia y un aumento del tiempo de recurrencia. Los trenes de pulsos se hacen

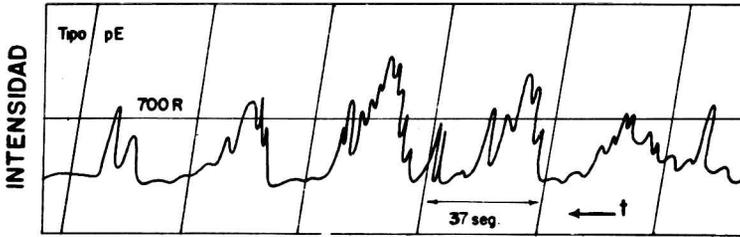


Figura 2: Registro del fotómetro fotoeléctrico, mostrando uno de los tipos de pulsaciones.

más espaciados. Después del mínimo al aumentar la intensidad de base las pulsaciones superpuestas aumentan súbitamente su frecuencia.

PARAMETRO SOBRE LA MODULACION

Llamaremos ΔI a la amplitud de las oscilaciones, e I a la intensidad del nivel de base, que corresponde a la intensidad que existiría si no hubiera oscilaciones. Se encuentra que la relación $\Delta I/I$ muestra variaciones sistemáticas con el tiempo. En la figura 3 se representa esta relación y se unen con un trazo las horas de comienzo y fin de las fases pulsantes. En la figura se observa:

- El valor $\Delta I/I$ aumenta al avanzar el período de observaciones. Esto concuerda con el aumento de la actividad auroral durante el período oscuro (abril a setiembre).
- Las pendientes de las rectas trazadas aumentan al avanzar el período de observaciones, y aparentan no depender de la hora.
- Las rectas presentan una discontinuidad, la cual se produce en horas más avanzadas durante el período oscuro.

El parámetro $\Delta I/I$ es un indicador de la preponderancia de la amplitud de la oscilación, sobre la intensidad luminosa que existiría en ausencia de fluctuaciones, en el mismo instante.

Como veremos luego, la variación de este parámetro permite interpretar el mecanismo de cada modo de pulsaciones, sobre la base de la relación entre el incremento periódico de la intensidad, y el aumento en la energía del flujo de partículas necesario para aquel incremento.

INTERACCION ONDA-PARTICULA

Las oscilaciones no son aisladas, sino que se superponen en una línea de base la cual oscila con período mayor.

A su vez, esta oscilación está superpuesta en otra cuyo período es aún mayor. Esta superposición múltiple refleja la modulación en energía y en intensidad del flujo de electrones aurorales, y debe ser manifestación de una compleja interacción de distintas fuentes de modulación, en el plasma auroral.

Estas oscilaciones simultáneas aparentan ser manifestaciones de procesos de

distinta naturaleza, que concurren independientemente a modular la energía auroral.

Parece un modo natural de explicar estos fenómenos mediante los procesos ondulatorios que se desenvuelven en el plasma auroral, que se generan en el plasma auroral, o que se desenvuelven allí propagándose desde otro lugar en la magnetósfera.

Entre estas fuentes de modulación se encuentran: a) inestabilidades del plasma ionosférico que originan perturbaciones que se propagan en el plasma auroral; b) Ondas hidromagnéticas y sus inestabilidades, generadas en la magnetósfera, a distancias de varios radios terrestres. Estas ondas pueden además ser debidas a la actividad de la magnetopausa, que reacciona ante las perturbaciones del viento solar, con compresiones y expansiones.

Las partículas del plasma auroral pueden intercambiar su energía con la onda. Cuando las partículas transfieren su energía a la onda, ésta es amplificada. Inversamente, la onda puede perder su energía transfiriéndola a las partículas. En este

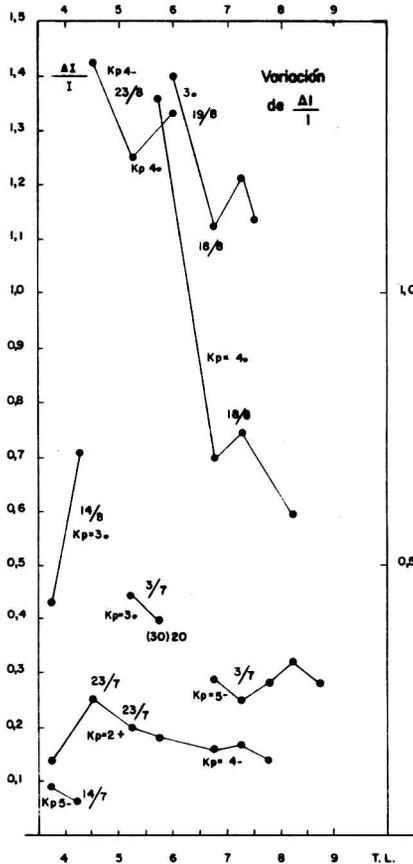


Figura 3: Variación del parámetro $\Delta I/I$ en función del tiempo local. Se indican los valores del índice Kp.

caso la onda es amortiguada y las partículas son aceleradas. Estos procesos fueron analizados por Stix (1962) y más recientemente por Dungey (1968).

Aquí no nos ocuparemos de los mecanismos posibles de interacción onda-partícula que pueden influir en los procesos aurorales. Nos referiremos únicamente al caso de la figura 2, que fue descrito más arriba.

El hecho de que la variación del nivel de base aparezca sincronizado con la variación de las frecuencias superpuestas, indica una fuente común en ambos procesos. La naturaleza de esta observación sugiere una dependencia o sincronización entre los aumentos (o disminución) de las frecuencias superpuestas. Si relacionamos el aumento del nivel de base con incrementos en la densidad electrónica, consideramos también en la vinculación entre estos incrementos y las variaciones de frecuencia.

Problemas de este tipo fueron inicialmente estudiados por Farley (1963) y Buneman (1963). El problema fue ampliado a mayores frecuencias por Lee, Kennel y Kindel (1970) quienes considerando un plasma en un campo magnético, obtienen una relación de dispersión dependiente de la densidad electrónica.

Aplicando al cálculo los parámetros de la región auroral (campo magnético, frecuencia de colisiones, girofrecuencia), se obtiene que al aumentar la densidad electrónica del plasma, aumenta el rango de frecuencias de los modos inestables. Es decir que al aumentar la densidad, los modos con menor tiempo de crecimiento se desplazan a mayores frecuencias. Esta primera incursión en el problema da un resultado que en términos generales explica la variación de la línea de base y las frecuencias superpuestas que hemos mencionado.

La verificación cuantitativa que debe hacerse en cada caso particular, se ve dificultada por las limitaciones en la observación.

DECADENCIA DE LOS INDICES K_p

En la figura 4 se indican los valores de índices K_p correspondientes a 24 casos. Se nota un intervalo limitado a valores medios y bajos: la distribución varía entre $K_p = 2+$ y $5-$.

No obstante el reducido rango, se observa que el valor del índice K_p que caracteriza el comienzo y el fin de las fases pulsantes, muestra una marcada dependencia de la hora local. Se observa, además, un pequeño intervalo en el cual comienzan las fases pulsantes, entre las 04.00 y las 07.00 TL y un intervalo más amplio en el cual cesan, entre las 04.00 y las 10.00 TL.

Los rasgos más notables son: a) los trazos que unen los valores de K_p , aparentan dos ondas, una para las horas de comienzo, y otra para el fin de las fases pulsantes. b) Ambas ondas se encuentran desplazadas en tiempo, aproximadamente con un corrimiento de una hora. c) El primero y el último de los intervalos horarios en que puede darse el comienzo de pulsaciones, acusan los más altos valores de K_p .

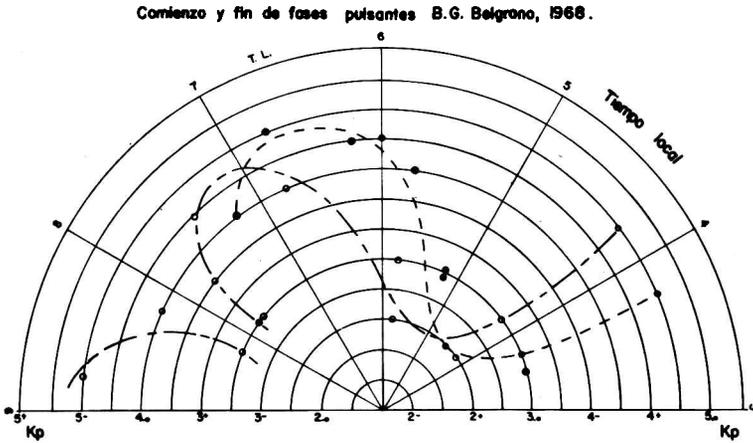


Figura 4: Relación entre las actividades magnética y auroral. Los puntos negros indican el comienzo de la fase-pulsante y los círculos en blanco indican el fin.

DISCUSION

Las formas de las pulsaciones aurales pueden ser clasificadas en cinco tipos bien definidos. En ciertos procesos estos tipos se mezclan, pudiéndose identificar la superposición de dos formas de pulsaciones. Estas oscilaciones aparecen moduladas con períodos agrupados en intervalos definidos. Se destaca que estas formas suelen desaparecer para dar lugar a otras, existiendo una sucesión de modos de pulsar. Esta información indica la existencia de varios mecanismos posibles que excitan y modulan las oscilaciones luminosas. Estos mecanismos además, deben interactuar entre sí, para superponerse o equilibrarse, o dar lugar a un nuevo proceso de excitación.

Se intenta mostrar que los campos eléctricos fluctuantes presentes en la ionósfera pueden ser la fuente de esta compleja modulación. En apoyo de esta hipótesis, se citan las observaciones sobre campos eléctricos ionosféricos, efectuadas mediante nubes de bario en Kiruna y Alaska, y mediante cohetes y globos. En cuanto a la dependencia de los procesos pulsantes, de la actividad magnética, aparece entre la hora de comienzo y de terminación de las fases pulsantes, una cierta periodicidad con los valores del índice planetario Kp.

BIBLIOGRAFIA

- BUNEMAN, O. (1963): "Excitation of Field Aligned Sound Waves by Electron Streams". *Physical Reviews Letters*, vol 10, p. 285. Washington.
- CAZENEUVE, H. (1969): "Mecanismo de Excitación de Auroras Rojas". *Contri-*

bución del Instituto Antártico Argentino Nº 123. Buenos Aires.

- CHAMBERLAIN, J.W. (1961):** *"Physics of the Aurora and Airglow". Academic Press, London.*
- DUNGEY, J.W. (1968):** *"Waves and Particles in the Magnetosphere". En: "Physics of the Magnetosphere". Editado por R. Carovillano, J. Mc Clay y H. Radoski. Springer-Verlag. Berlín.*
- FARLEY, D. (1963):** *"A Plasma Instability Resulting in Field-Aligned Irregularities". Journal Geophysical Research, vol. 10, p. 6083. Washington.*
- LEE, K.; KENNEL, C. & KINDEL, J. (1970):** *"High Frequency Hall Currents Instability". Proceedings of Upper Atmospheric Currents and Electric Field Symposium. Boulder.*
- ITX, T.H. (1962):** *"The Theory of Plasma Waves". Mc Graw Hill Comp. Inc. New York.*