

Módulo de Telemetría, medición de Ionización, Temperatura

Víctor Ricardo Duque Ortiz

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, vic_duke2000@yahoo.com.ar

Edgar Camilo Cruz Salcedo

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, ek4milo@yahoo.com

Ing. Ignacio Castañeda, Profesor

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, icastaneda@udistrital.edu.co

Resumen

Gracias a las condiciones hostiles a las que se expone un satélite es importante resaltar la utilidad de un módulo de telemetría, cuya función es medir las diferentes variables que indican el estado de todos los sistemas: potencia, comunicaciones, control, etc. Además la medición de otros parámetros para investigación como: temperatura, presión, concentración de electrones, y altitud. Esto con el objetivo de estudiar fenómenos físicos como la ionización, debida a emisiones de alta energía y la transformación de los gases atmosféricos en plasma, la variación de la conductividad de dicho plasma y su interacción con las ondas electromagnéticas, afectando las comunicaciones a diferentes frecuencias. Por otro lado, se puede observar el efecto de la temperatura en diferentes materiales inmersos en las capas superiores de la atmósfera y expuestos a una gran variedad de emisiones, esto a la luz de la teoría cinética formulada por Maxwell y el modelo de radiación de energía térmica propuesto por Max Planck y las herramientas de la mecánica estadística para fermiones de Fermi-Dirac. Adicionalmente, con la medición de altitud, latitud y longitud, estudiar el comportamiento de las mareas atmosféricas producidas por la atracción gravitatoria del Sol y la Luna, de forma similar a las mareas oceánicas.

Palabras Clave

Módulo de Telemetría, Satélite, Ionización, Temperatura, Altitud

1. Ionización

Fenómeno que ocurre cuando una partícula de alta energía, como un electrón, una partícula alfa o un fotón, colisiona con un átomo y éste expulsa un electrón, quedando un ion cargado positivamente y un electrón libre. En la figura 1 se ilustra este proceso con un átomo de Nitrógeno. Para extraer un electrón de un átomo se le debe aplicar cierta cantidad de energía, esta se denomina energía de ionización. La cantidad de energía depende de la fuerza que ejerce el núcleo sobre cada electrón, la *distancia* a la cual se encuentren estas partículas, es decir el nivel de energía y la electronegatividad del átomo. Dicha energía disminuye al aumentar el número atómico, y en cada periodo, los metales alcalinos son los que tienen la mínima energía de ionización y los gases nobles la máxima. En la figura 6 se muestra la variación de dicha energía para los diferentes elementos en cada grupo.

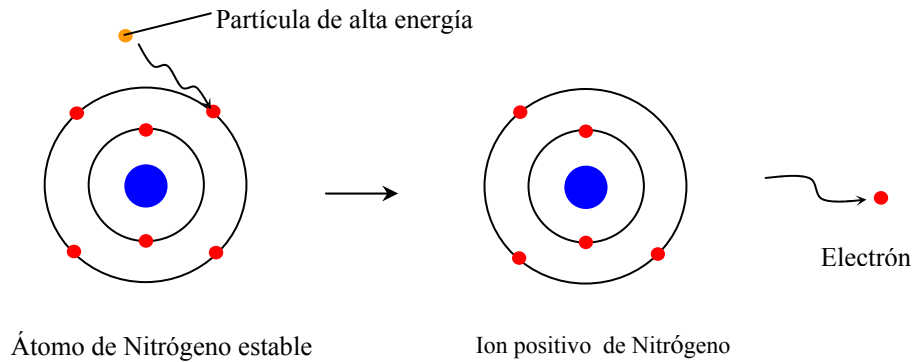


Figura 1: Ionización de un átomo de Nitrógeno

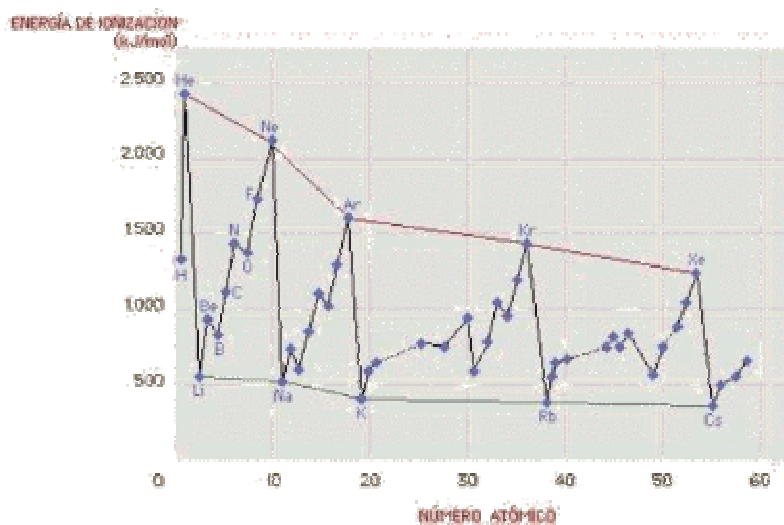


Figura 2: Primera energía de ionización de los diferentes elementos

En la gráfica se presenta esta energía con unidades de kJ/mol, para obtener el valor equivalente en electronvoltios se debe multiplicar por $1\text{eV}/1.60207 \cdot 10^{-19}\text{J}$ y dividir por el número de Avogadro $6.0221 \cdot 10^{23}$, así para el Hidrógeno esta energía es de 13.6eV.

La composición del aire se mantiene invariable hasta 70Km de altitud, predominando el oxígeno (21%) y el nitrógeno (78%), el 1% restante corresponde a argón (0,9%), dióxido de carbono (0,03%), vapor de agua, hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.. Entre este nivel y 130Km los rayos ultravioleta solares disocian la molécula de oxígeno, aumentando la proporción de este gas, que llega a ser hasta del 33.5%, mientras que disminuye el nitrógeno hasta el 66.5%. A partir de 300Km de altitud comienza la alteración química del nitrógeno, y a mayor altura, este gas alcanza la proporción del 80%, mientras que el oxígeno pasa a ser un 20%. **La Exosfera** es una capa que va desde 640Km y se extiende hasta 9400Km de la superficie, esta compuesta principalmente de aire enrarecido (Hidrógeno, Oxígeno y Helio), de poca densidad, lo cual implica una probabilidad de choque de dos partículas casi nula. **En esta capa el elemento más abundante es el Hidrógeno ionizado**. El hidrógeno siempre tiene un protón en su núcleo, sus isótopos son el Protio, sin neutrones, el Deuterio con un neutrón y el Tritio con dos neutrones.

El proceso de Ionización también puede producirse por una onda electromagnetica, si esta tiene la energía suficiente para liberar un electron, como dedujo Max Plank y más tarde explicó Einstein *“la energía de un*

cuanto de radiación electromagnética no depende de su intensidad sino de su frecuencia”, esta afirmación se resume en la siguiente ecuación:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

h : Constante de Plank ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s = $4.136 \cdot 10^{-15}$ eV·s)

1.1 Refracción debida a la ionosfera

Debido a la presencia de esta capa de plasma¹, que se comporta como una nube de campo electromagnético y que presenta propiedades físicas diferentes a las del aire, como la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica, que alteran la *velocidad de propagación*² de la onda en este nuevo medio, se obtiene un *índice de refracción*³ diferente al del aire. Así, cuando se presenta la transición de un medio a otro se produce un cambio en la dirección de propagación. Dicho índice de refracción se encuentra *inversamente* relacionado con el nivel de ionización, el cual va aumentando con la altura, de modo que el índice de refracción va disminuyendo, haciendo que la onda se propague cada vez con “mayor velocidad” al pasar de un medio a otro, lo cual produce, en conjunto, el fenómeno de reflexión total interna que, según la *ley de Snell*⁴, se produce si la onda se encuentra inicialmente en el medio con mayor índice de refracción. Dicho efecto se ilustra en la figura 3.

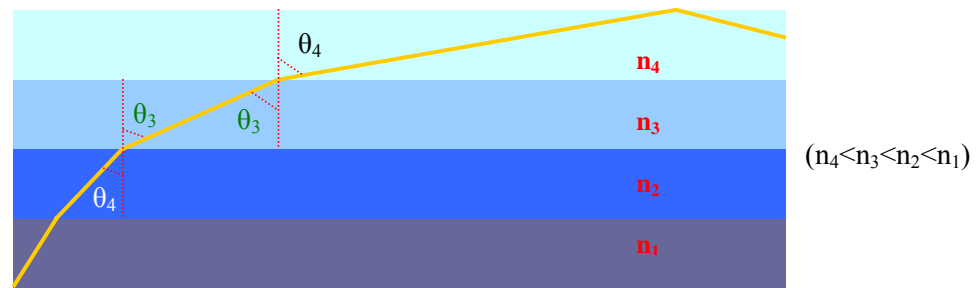


Figura 3: Refracción y Reflexión Total Interna

Estas ondas refractadas alcanzan el suelo sólo a determinadas distancias del transmisor; **la distancia depende del ángulo de refracción y de la altura**. Así, una señal de radio puede no ser detectable a 100km de la fuente, pero sí a 500km. Este fenómeno se conoce como **skip**. En otras zonas, las señales terrestres y las refractadas por la ionosfera pueden alcanzar el receptor e interferir una con otra produciendo el fenómeno llamado **fading**. El efecto de refracción debido a la ionosfera disminuye al aumentar la frecuencia de las ondas, para frecuencias muy altas es casi inexistente.

La relación entre la concentración de electrones y el índice de refracción se expresa a continuación e incluye la frecuencia de resonancia y la frecuencia de la onda transmitida:

$$n^2 = 1 - \left(\frac{f_N}{f} \right)^2$$

¹ Cuarto estado de la materia, generalmente gas ionizado

² Velocidad de propagación de una onda electromagnética: $v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$

³ Relación entre la velocidad de propagación en el vacío y la velocidad en el medio: $n = c/v$

⁴ Ley de Snell: $n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$

n : Índice de Refracción
 f : Frecuencia de la Onda Incidente
 f_N : Frecuencia de Resonancia Atmosférica

Donde

$$f_N = 8.98\sqrt{N}$$

N : Concentración de electrones (unidades / m^3)

1.3 Medición de la Concentración de Electrones

Existen varios dispositivos que pueden emplearse para la detección de partículas, tales como el contador geiger, el contador de centelleo, el detector de barrera superficial, detectores de trazas, entre otros. En este módulo de telemetría se propone el uso de un Canal Multiplicador de Electrones (CEM), que consiste en un tubo recubierto internamente de un material emisivo como el yoduro de sodio activado con talio. El choque con una partícula o radiación de alta energía desencadena una emisión sucesiva de electrones secundarios que se capturan con un colector que está polarizado y acoplado a un amplificador que entrega una corriente proporcional al flujo inicial, esto si esta configurado en modo análogo ó un voltaje DC si esta operando por conteo de pulsos. La figura 4 muestra el efecto multiplicador del CEM.

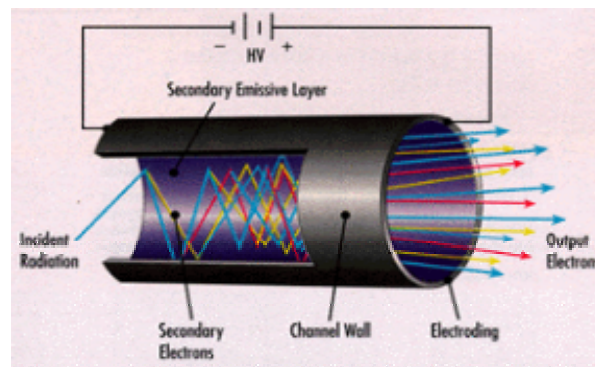


Figura 4: Canal Multiplicador de Electrones

La ganancia, en este dispositivo, es la relación entre la cantidad de electrones secundarios a la salida y la carga a la entrada, dicho valor esta en el orden de 10^6 y 10^8 . Este dispositivo puede ser configurado para detectar iones o electrones, el modelo MD501 de Amptektron tiene una tasa de conteo de 0 a 10^6 cps. Tiene integrado el amplificador de corriente de bajo ruido y el elevador de voltaje para polarizar el colector (4000V D.C.). El consumo de potencia es de 0,4W y la salida es compatible con tecnología TTL y CMOS. En la figura 5 se muestran algunos tipos de Channeltron.

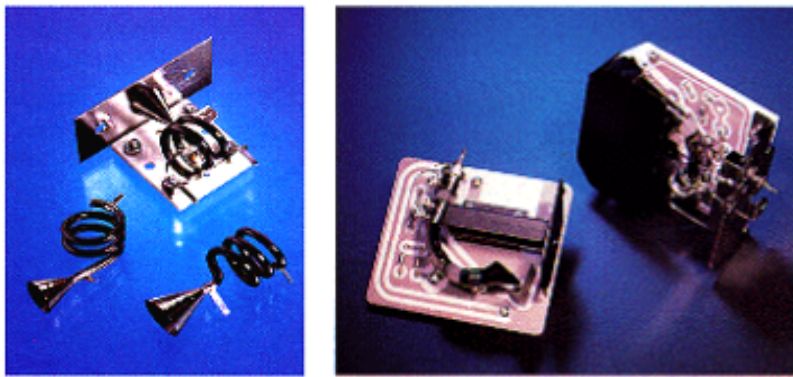


Figura 5: Diferentes Tipos de Channeltron

2. Temperatura

La temperatura puede presentar variaciones muy marcadas en las capas superiores de la atmósfera debido a las diferentes radiaciones que se presentan, al comportamiento de los diversos gases, y a los cambios de presión y de densidad que ocurren al aumentar la altitud. En la figura 6 se ilustran los valores de temperatura en las diferentes capas de la atmósfera.

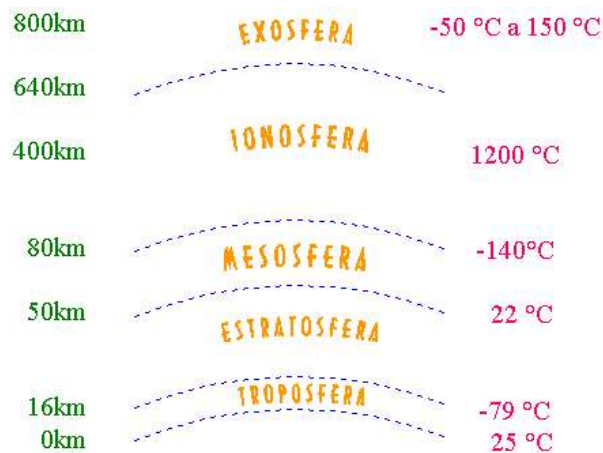


Figura 6: Distribución de la Temperatura en la Atmósfera en función de la Altitud

2.1 Flujo de Energía térmica

El calor se puede transferir por convección, radiación o conducción. Estos procesos pueden darse simultáneamente, pero puede ser que uno de ellos predomine sobre los otros dos. Se denomina convección a la transmisión de calor en un líquido o gas, a través del movimiento de éste. Este movimiento puede ser natural o forzado. La conducción es la única forma de transferencia de calor en los sólidos y aunque el proceso no es completamente conocido, se puede relacionar con el desplazamiento de electrones libres debido a una diferencia de temperatura. La radiación tiene una diferencia radical con respecto a los dos procesos anteriores y es que los cuerpos que participan en el proceso no están en contacto sino que pueden estar separados por un vacío. Este efecto está ligado con la propagación de ondas electromagnéticas cuya única teoría satisfactoria es la teoría cuántica. Einstein sugirió que en el efecto fotoeléctrico la radiación se comporta como diminutos proyectiles, llamados fotones y no como ondas. El físico alemán Max Planck empleó la teoría cuántica y el desarrollo matemático de la mecánica estadística para deducir una ley fundamental de la radiación. Esta expresión matemática, llamada

distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo:

$$\text{Distribución de Planck} \quad P(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}$$

Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante, dicha longitud de onda que puede ser determinada por la *ley del desplazamiento de Wien*⁵. La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie y por unidad de tiempo, esta formulación se denomina ley de *Stefan-Boltzman*⁶. Existe un valor denominado Constante Solar, que corresponde a la Densidad de Potencia recibida por la Tierra a la distancia promedio al Sol, equivale a 1353W/m² ó 2cal/min/cm², (La temperatura en la superficie solar es 6000°C).

2.2 Efectos de la temperatura en materiales

Uno de los logros de la teoría cinética, desarrollada James Clerk Maxwell, Johannes Diderik van der Waals y Ludwig Boltzmann, fue la demostración de que la temperatura, propiedad termodinámica macroscópica que describe el conjunto del sistema, está directamente relacionada con la energía cinética media de las moléculas. Según esta teoría, las moléculas se encuentran en constante movimiento que aumenta con la temperatura. Esta idea se resume en la siguiente ecuación:

$$\text{Energía Cinética} \quad E_{c,m} = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_m = \frac{3}{2}kT$$

k : Constante de Boltzman, $1,381 \cdot 10^{-23} \cdot \text{J/K}$

Si la temperatura es lo suficientemente elevada, se puede alcanzar una energía cinética que libere los electrones del átomo. A bajas temperaturas los semiconductores puros se comportan como aislantes, pero sometidos a altas temperaturas y *dopados con impurezas*, la conductividad puede aumentar hasta alcanzar niveles cercanos a los de los metales. El nivel de energía conocido como *nivel de Fermi*, potencial electroquímico, determina el límite a partir de la cual los niveles de energía tienden a estar vacíos, y por debajo de la cual tienden a estar llenos, ayuda a definir las propiedades de aislamiento y conducción de los materiales. La distribución de Fermi-Dirac describe la probabilidad de ocupación de electrones en diferentes niveles de energía en relación con el nivel de Fermi. Dicha distribución se presenta a continuación:

$$\text{Distribución de Fermi-Dirac} \quad f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

$$\text{Nivel de Fermi} \quad E_F = E_C + kT \ln \frac{n}{N_C}$$

⁵ Ley de Desplazamiento de Wien: $\lambda_{\max} = 2.898 \text{mm} \cdot K / T$

⁶ Ley de *Stefan-Boltzman* $I = e\sigma AT^4$, e : emisividad, σ : Constante de Stefan, $5.6703 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Referencias

Balanis Constantine, (1998). "Electromagnetismo Avanzado para Ingenieria", ed. John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos de America

Krauss John Daniel, Fleisch A. Daniel, (1991). "Electromagnetismo", ed. McGraw-Hill, Madrid

Tipler Paul A, (1995). "Física para Científicos e Ingenieros", ed. Editorial Revert, S.A. Madrid

Resnick Robert Halliday David, (1990). "Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería", ed. Cecsca

Lorrain Paul, Corson R. Dale, (1975). "Campos y Ondas Electromagnéticas", ed. Selecciones Científicas

INFORMACION Biografica

Victor Ricardo DUQUE ORTIZ. Estudiante de 10 semestre de Ingenieria Electronica de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota. Actualmente Tesorero del Capitulo de Comunicaciones de la rama IEEE de Universidad Distrital.

Edgar Camilo CRUZ SALCEDO. Estudiante de 10 semestre de Ingenieria Electronica de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota. Actualmente Vicepresidente del Capitulo de Comunicaciones de la rama IEEE de Universidad Distrital.

Ing. Jose Ignacio CASTAÑEDA FANDIÑO. Ingeniero Electronico, Especialista en Telecomunicaciones Moviles. Desarrollo e implementacion del laboratorio de digitalizacion de sonido musical y del curso de apreciacion musical correspondiente. Profesor de Planta Universidad Distrital desde 1998 hasta la fecha. Profesor Hora Catedra Univesidad Catolica(Mayo 1997 - Diciembre 1998). Profesor Hora Catedra Universidad Santo Tomas desde 1999 hasta la fecha.

Autorizacion y Negacion

Los autores autorizan LACCEI para publicar los papeles en los procedimientos de la conferencia en el CD y en la web. Ni LACCEI ni los redactores será responsables del contenido o de las implicaciones de qué se expresa en el papel.