



DISEÑO DE UN CONDENSADOR DE GERDIEN PARA CUANTIFICAR LA CONCENTRACION LOCAL DE IONES EN LA TROPOSFERA BAJA

José Jimenez¹, Orion Falcon^{1,2} y Nelson Falcon¹.

Universidad de Carabobo. ¹Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología. Laboratorio de Física de la Atmósfera y el Espacio Ultraterrestre, ² Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica. Venezuela.

jjimenez850@gmail.com, orionlfv@gmail.com, nelsonfalconv@gmail.com

Resumen

Los aerosoles y las macropartículas de la atmósfera, suelen estar influenciadas por procesos de ionización, colisiones inelásticas y electro conducción debidas al campo eléctrico atmosférico y a la foto disociación; convirtiéndose en iones, cuya permanencia y concentración, varia local y temporalmente a lo largo de los ciclos naturales (ciclo diurno-nocturno, estacional, etc.). En el presente trabajo se presentan un diseño de condensador de Gerdien, para la cuantificación de iones libres, a nivel superficial, medidos en las localidades de San Diego y Naguanagua (Valencia Edo Carabobo). Los resultados muestran que la concentración de iones varía temporal y diariamente, con la altitud y con las condiciones meteorológicas, con un máximo relativo a las 18:00 HLV, del orden 7500 iones/cm³. Se concluye que la concentración local de iones atmosféricos esta correlacionada con la variación del campo eléctrico atmosférico y la su variación vertical sigue una ley de decaimiento exponencial con la altitud.

Palabras clave: Aerosoles, Iones atmosféricos, Instrumentación: condensador de Gerdien.

Design of a Gerdien condenser to quantify the local concentration of atmospheric in the lower troposphere.

Abstract

Aerosols and particulates in the atmosphere are usually influenced by ionization processes, inelastic collisions, and electrical conduction due to the atmospheric electric field and photodissociation; becoming ions, whose permanence and concentration, varies locally and temporarily throughout the natural cycles (day-night cycle, seasonal, etc.). In the present work, a Gerdien condenser design is presented, for the quantification of free ions, at surface level, measured in the towns of San Diego and Naguanagua (Valencia Edo Carabobo). The results show that the ion concentration varies temporally and daily, with altitude and weather conditions, with a relative maximum at 18:00 HLV, of the order of 7500 ions/cm³. It is concluded that the local concentration of atmospheric ions is correlated with the variation of the atmospheric electric field and its vertical variation follows an exponential decay law with altitude.

Key words: Aerosols, atmospheric ions, Instrumentation: Gerdien condenser.

Introducción

Los iones son partículas de tamaño molecular cargadas, que aparecen, bien por la liberación por parte de una molécula neutra de algún electrón debido a la absorción de radiación, o bien por la captación de algún electrón libre por parte de una molécula neutra. Estas moléculas ionizadas se unen a otras dando lugar a agregados moleculares que constituyen lo que se denomina iones atmosféricos.

La descripción matemática de la ionización ha sido simplificada por Saha, quien considero el proceso puramente como una reacción química reversible entre un átomo y su energía ionizante respecto a un ion y un electrón (Spitzer 1969). Así P_e , P_i y P_a son las presiones parciales de los electrones, iones y átomos se tiene:

$$\frac{P_e P_i}{P_a} \propto T^{5/2} e^{-\frac{eV}{kT}} \quad (1)$$

Donde k es la constante de Boltzmann y eV es la energía ionización. La ecuación de Saha puede ser expresada en términos de las concentraciones (partículas/cm³) y del logaritmo del grado de ionización $X = P_i / (P_a + P_i)$:

$$\frac{pX^2}{(1-X^2)} = -5040 \frac{V}{T} + \frac{5}{2} \log T - 6,5 \quad (2)$$

Para detectar las cargas eléctricas libres en la atmósfera, se utiliza el método del condensador de Gerdien (Gerdien, 1905), cuyo principio es mostrado en la Figura 1.

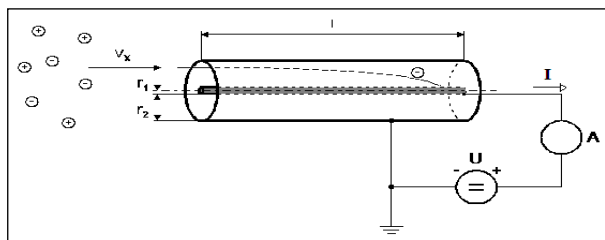


Fig. 1 Esquema del tubo de Gerdien

Este método se basa en pasar una cantidad de aire M , mediante un ventilador-aspirador, a través de un condensador (Israel 1957). El condensador es polarizado por un voltaje ajustable U (DC). Los iones negativos son atraídos por el interior del electrodo positivo, por el impacto de los iones dentro del electrodo se genera una corriente I , que se detecta mediante un electrómetro. Cuando el voltaje U es suficientemente alto, la corriente I se satura y es directamente proporcional a la concentración de iones en el aire, que se obtiene de la ecuación (Nicoll and Harrison 2008):

$$n = \frac{I}{Me} = \frac{I}{\pi(r_2^2 - r_1^2)v} \quad (3)$$

Donde: e es la carga del electrón (C), n representa la concentración de iones en el aire (iones m⁻³), $M = S \cdot v$ el flujo de aire a través del condensador de aspiración (m³·s⁻¹), S es la sección transversal del condensador (m²) y r_2 y r_1 los radios interno y externo del electrodo (m).

El principio del condensador de Gerdien ha sido utilizado en diferentes por diferentes autores, en distintas ciudades del mundo. Aplin y Harrison (2000), realizaron medidas precisas de los iones atmosféricos con el fin de investigar los procesos atmosféricos de los aerosoles, utilizando un capacitor cilíndrico contador de iones que posee un sistema de control computarizado con el fin de poder seleccionar la movilidad iónica cambiando la tensión de polarización a través del condensador. Bartusek et al (2007) realizo un análisis del estado eléctrico de muestras de aires en la presencia de iones de diferentes tipos. Jayaratne et al (2007) reportaron la concentración de iones del aire en 41 sitios, alrededor de líneas de alta tensión y de un entorno urbano. La polaridad iónica neta en las líneas de energía era positiva y las concentraciones variaban desde 0 a 3300 iones/cm³. Nicoll y Harrison (2008), construyeron un instrumento que mide la conductividad bipolar del aire con el fin de

usarlo en paquetes meteorológicos de radiosondas desechables. En un vuelo de prueba utilizando un globo determino las conductividades positivas y negativas a 400 m de altura: $n_+ = 2,77 \pm 0,2 \text{ fSm}^{-1}$ y $n_- = 2,82 \pm 0,2 \text{ fSm}^{-1}$. Skromulis y Noviks (2010) muestran los resultados de la contaminación del aire en Rezekne, Letonia, las concentraciones de iones del aire (positivos y negativos) fueron tomados durante la primavera, verano y otoño del 2009 y durante el invierno del 2010, en 8 puntos distintos de la ciudad, tres veces al día. Kalivilis y col realizaron medidas de iones atmosféricos con un tamaño de $0,8-42 \text{ nm}$ en la universidad de Creta, Grecia, desde abril del 2008 a abril del 2009, encontrando que tanto los iones positivos como negativos tienen el mínimo de concentración en verano (Kalivitis et al 2016).

Materiales y Método.

El contador de iones atmosféricos se basa en un ventilador que impulsa al aire a través de un instrumento. Seguidamente, una fina placa de latón instalada dentro de un tubo conductor rectangular detecta la presencia de iones positivos y negativos en la corriente de aire como se observa en la figura 2.

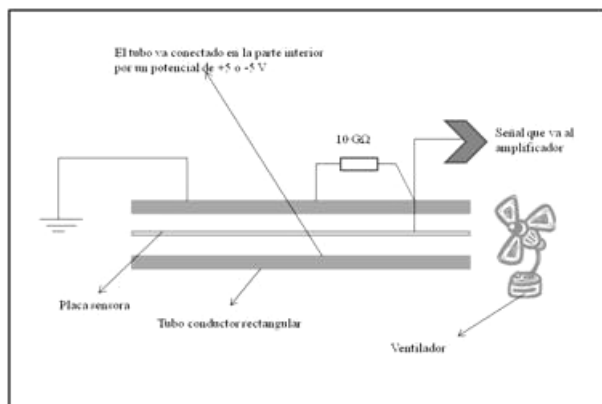


Fig. 2 Diseño de contador de iones con condensador de placas planas-paralelas.

Por dentro del tubo, el aire avanza sobre una placa de latón conectada a tierra mientras

que el potencial eléctrico del tubo se ajusta a +5 o -5 volts. La superficie superior debe mantenerse a tierra y hay que aislarla eléctricamente. Como la corriente que recibe el sensor es muy pequeña, en el orden de $10-15 \text{ A}$, se requiere de una resistencia de gran valor nominal (del orden de $10 \text{ G}\Omega$) para convertir esta corriente en una señal detectable. Esta señal está en el orden de $10 \mu\text{V}$, que un amplificador de gran impedancia puede aumentar. La figura 3 muestra el circuito amplificador de la señal recibida por el sensor:

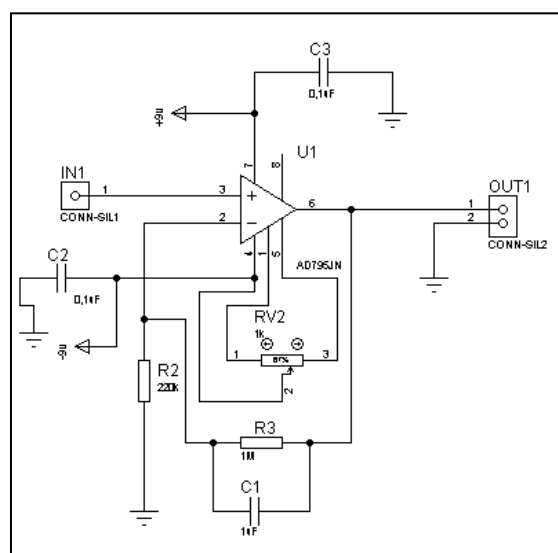


Fig. 3 Diagrama del circuito amplificador

La figura 4 muestra el dispositivo de detección ya construido, con sus dimensiones y especificidades.

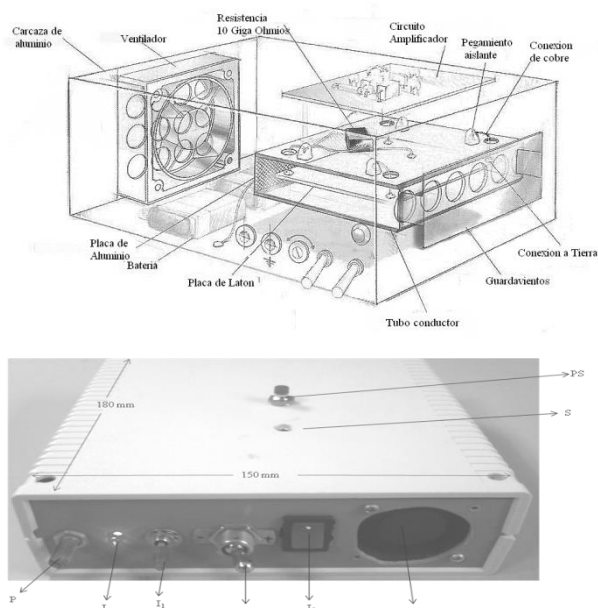


Fig. 4 Esquema del tubo de Gerdien. Panel superior esquema de partes internas, Panel inferior: comandos e indicadores.

En la figura 4 se muestran los controladores del dispositivo:

- I₁=Interruptor On/Off del medidor
- V= Ventilador aspirador.
- L= Luz indicadora del encendido .
- P= Potenciómetro para el ajuste de cero.
- I₂=Interruptor para seleccionar carga +/- de los iones.
- I₃=Interruptor On/off ventilador aspirador
- PS= Pulsador de descarga de la placa sensora.
- S= Salida de voltaje por un conector tipo Jack de 3.5 mm, hacia un micro voltímetro

La tabla 1 resume las especificaciones técnicas del contador de iones.

Para la calibración del contador de iones, se utilizó como referencia un contador de iones del aire, marca comercial Alpha Lab Inc ®. El contador de iones del aire Alpha Lab es un medidor portátil diseñado para medir la densidad de iones (iones/cm³) basado en condensador cilíndrico de Gerdien.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del contador de iones.

Contador de iones del aire	
Rango de operación	-10°C a 50°C
Velocidad del flujo	4,16 m/s
Rango/Resolución	1,7 millones/10 (iones/cm ³)
Exactitud	+/- 25%
Ruido	10 iones/cm ³ (2 s)
Tamaño	15 cm x 18cm x 5cm
Peso	494,2 gr
Batería	9 V
Tiempo de Carga	8 horas en máximo consumo

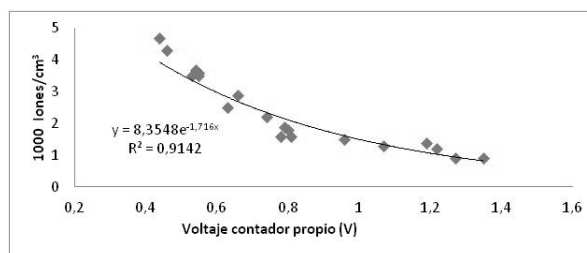


Fig. 5 Calibración del contador de iones.

El valor $R^2=0,9142$ indica la bondad del ajuste. La figura 5 permite un ajuste del voltaje umbral, puesto que se verifica la relación:

$$n = 8,35 e^{-1,716V} \quad (4)$$

Evaluando en $V=0$ se obtiene el voltaje crítico de saturación del detector: 8,35V. Mientras que el valor -1,716 provee el rango de medición del instrumento, que representa $1716 \cdot 10^3 \text{ iones/cm}^3$, mientras el rango del contador Alpha Lab Inc es $2000 \cdot 10^3 \text{ iones/cm}^3$.

Resultados y Discusión

Se estudia la variación horaria de los iones, tanto diurna como nocturna, y se discutirá también las variaciones inter-diarias y variación local entre los municipios San Diego y Naguanagua.

Las medidas de los iones atmosféricos fueron realizadas en el municipio San Diego en la localización 10,25 N, -67,95 W, a 467 m.s.n.m y en el Municipio Naguanagua 10,37 N 68,01 W y a 520 m.s.n.m, en la región metropolitana de Valencia, Edo Carabobo,

1. Variación horaria

Se puede observar en ambas graficas de la figura 6, tanto para los iones positivos como los negativos, que el máximo de iones se encuentra entre las 16:00 y las 18:00 horas registrando valores entre $5-8 \cdot 10^3$ iones/cm³, y en el intervalo horario de las 9:00-11:00 HLV un mínimo de aproximadamente 1/8 de los iones presentes respecto al intervalo entre las 16 y las 18 HLV. En concordancia con los valores reportados para la ciudad de Atenas a la misma hora (Retalis et al 2007) y el máximo de irradiancia solar reportadas para la Ciudad de Valencia (Falcon y Palacios 2013, Falcon et al 2001)

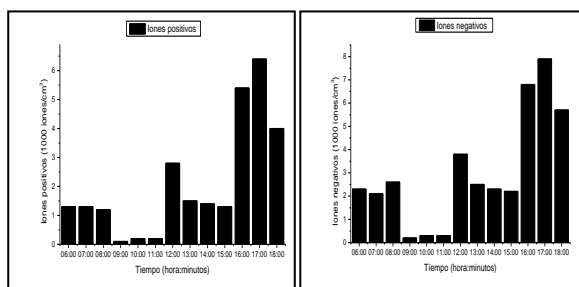


Fig. 6. Variación horaria diurna promedio, de Iones Positivos (Izq.) y negativos (Der.).

Se destaca un mínimo de conteo de iones a nivel de superficie entre las 09 y 11 horas (HLV), no solo en los valores medios reportados sino incluso en todas y cada una de las medidas efectuadas en ambas estaciones.

No hay reportes en la literatura para este mínimo, pero es de destacar que no se han efectuado conteo de iones atmosféricos en nuestro país ni en regiones aledañas. Una interpretación plausible es que a esas horas la atmósfera local se vuelve convectiva y los iones son transportados junto al aire

circundante por efecto del calentamiento solar. El hecho empírico que dicha disminución no se observaba a esas horas en condiciones de tiempo lluvioso y/o muy nublado, pareciera avalar esa interpretación. Por otro lado ese intervalo de mínimo de conteo de iones concuerda con los resultados obtenidos en Grecia por (Retalis et al 2007).

Los promedios de las variaciones nocturnas de los iones negativos y positivos se muestra en la figura 7.

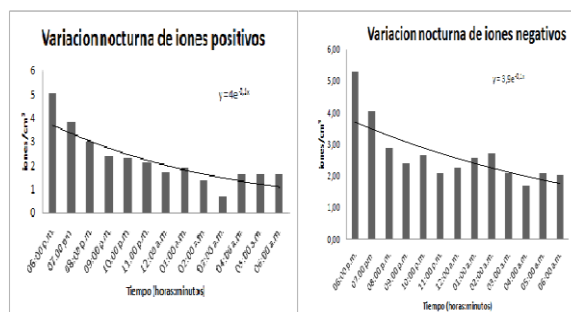


Fig. 7. Variación horaria nocturna promedio de Iones Positivos (Izq) y negativos (Der).

Para ambas variaciones tanto de iones positivos como negativos, se puede observar un máximo entre las 17:00 y las 20:00 horas con un promedio entre $3,5 \cdot 10^3$ y $4,5 \cdot 10^3$ iones/cm³ como se puede observar en (Retalis et al 2007). En ambas graficas se nota un decaimiento exponencial, este decaimiento se asocia con el descenso de la temperatura e irradiancia solar.

2. Variación local:

La variación local fue realizada tomando medidas a las mismas horas en el municipio San Diego y en el municipio Naguanagua. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la figura 8.

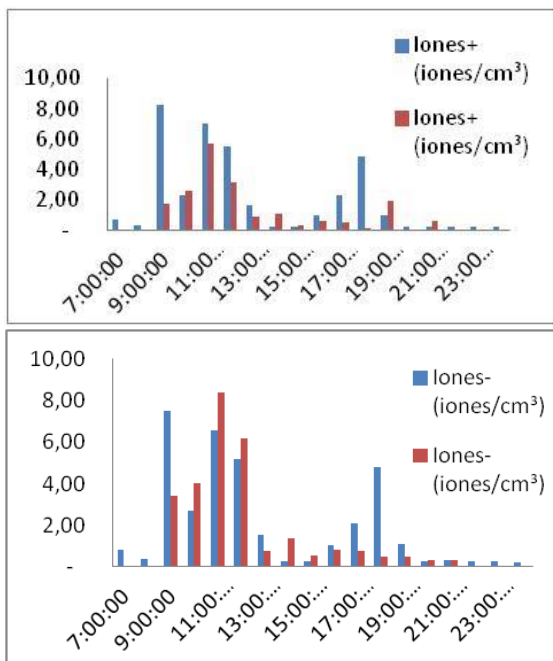


Fig. 8. Variación Local diurna promedio, en millardos de iones por centímetro cúbico, en Naguanagua (arriba) y en San Diego (abajo).

Se puede observar la similitud entre las dos medidas con máxima concentración de iones entre las 11:00 y las 13:00 horas. Presumiblemente por el incremento de la irradiancia solar y la temperatura ambiente, que facilita la ionización de acuerdo con (2).

3. Variación con la altitud

La variación de los iones con respecto a la altura se efectuó en el cerro de Montesperino en las coordenadas $10,25 N -67,98 W$, como se observa en la figura 9. Los resultados obtenidos muestran en la figura 10.



Fig. 9. Localización del muestreo para estudiar la variación de los iones con la altitud en municipio San Diego (Cerro Montesperino).

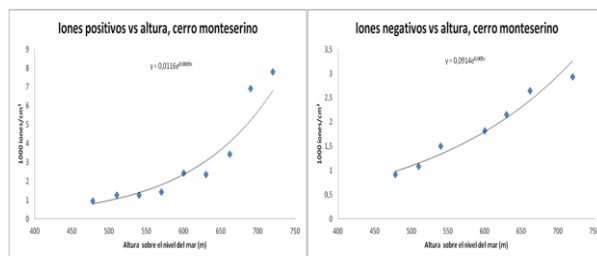


Fig. 10. Concentración de iones positivos y negativos versus altura.

Nótese en la figura 10 el aumento de la ionización con la altitud, debido al aumento de rayos cósmicos e irradiancia solar (IR y UV). Las constantes de crecimiento exponencial son características de cada lugar específico y del estado de la atmósfera en el instante de la medición (Tammet, 2007). En ambos casos el valor de back-ground de la concentración de iones se ajusto a cero a través del off-set del medidor (potenciómetro P) al inicio del ascenso.

Conclusiones

Se cuantificaron las cargas eléctricas libres a nivel de superficies con un refinado instrumento de fabricación propia que mide los iones atmosféricos, mostrando que el mismo cumple la funcionalidad, especificidades y características similares a los instrumentos comerciales basados en el condensador de Gerdien.

Se determinó que los iones negativos a nivel de superficie muestran una ligera mayoría respecto de los positivos, aun cuando presentan el mismo orden de magnitud, como cabe esperar debido al balance de cargas..

En la variación diurna y nocturna de iones positivos y negativos se encontró que la concentración máxima de iones esta en el rango de $5-8 \cdot 10^3$ iones/cm³ en concordancia con los valores reportados en Australia por (Suní, et al 2008).

La variación nocturna de iones positivos y negativos decae exponencialmente como se ve en la figura 8, en concordancia con la disminución de la irradiancia, causante de la ionización del aire en la superficie terrestre (Retalis et al 2007).

En la variación diurna de iones positivos y negativos en días despejados, se destaca un mínimo de conteo de iones a nivel de superficies entre las 09 horas y las 11 horas (HLV). Este hecho parece relacionado con el inicio diurno de los procesos de convección y advección de la troposfera baja.

Trabajos futuros involucrarían la cuantificación de iones en distintas áreas geográficas para monitoreo ambiental y automatización mediante tecnología PLC y microprocesadores PIC.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento parcial del FONACIT, bajo el N° 2011-000326

Bibliografía

- Baum, L. E. et al (1970). A maximization technique occurring in the statistical analysis of a probabilistic functions of Markov chains. *Ann. Math. Stat.* 41(1):164–171
- Bernardo, J.; Smith, A. (1994). *Bayesian theory*. Wiley. New York
- Aplin K.L.; Harrison R.G. (2000). A computer-controlled Gerdien atmospheric ion counter. *Rev. Sci. Instrum.* 71 (8): 3037-3041.
- Bartusek et al (2007). Experiments of Accuracy Air Ion Field Measurement, *Progress In Electromagnetics Research Symposium*. Prague. Czech Republic, 463-466.
- Falcon, N. et al (2001) Irradiancia Solar Global en la Ciudad de Valencia. *Ingeniería UC* 8 (2): 36-41.
- Falcon, N; Palacios, J. (2013) Medición de la irradiancia solar global y del espesor óptico atmosférico, mediante un piranómetro digital, en condiciones de cielos claros y sin nubes, en Valencia (Venezuela) *J. Opt. Pura Apl.* 46 (3): 295-302-
- Gerdién H. (1905). Demonstration eines Apparates zur absoluten Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Luft, *Phys. Zeitung* 6, 800-801.
- Israël, H. (1957). Atmosphärische Elektrizität. Akad. Verlagsgesellschaft Leipzig.
- Jayarathne R.; Fatokun O.; Morawska. L. (2007) Air Ion Concentrations under Overhead High-Voltage Transmission Lines. *Atmospheric Environment* 42 (8): 1846-1856.
- Kalivitis et al. (2016). Night-time enhanced atmospheric ion concentrations in the marine boundary layer, *Atmos. Chem. Phys.* 12, 3627–3638.
- Mandija F. V. (2007). Studies about Atmospheric Electricity The Dependence between Air Ionization Level and Altitude in Different Locations. *Proceedings of the 13th International Conference on Atmospheric Electricity*, Zhao Y and Qie X Edts. Science Academy, Beijing 2007.
- Nicoll. K.A; Harrison. R.G. (2008). A double Gerdien instrument for simultaneous bipolar air conductivity measurements on balloon platforms. Dpt. of Meteorology, University of Reading, Earley Gate, Reading, Berks UK.

Retalis A, Nastos P; Retalis D (2007). Small Ions Concentration in The Air Above Athens, Greece. *Proceedings of the 13th International Conference on Atmospheric Electricity*, Yang Zhao and Xiushu Qie Edts., Academy of Science, Beijing 2007.

Skromulis. A., Noviks. G. (2010). Atmospheric light air ion concentrations and related meteorologic factors in Rezekne city, Latvia. Department of Environmental Protection, Faculty of Egeineering, Rezekne Higher Education Institution, Rezekne, LV 4601, Latvia.

Spitzer. Jr. (1969). *Física de los gases totalmente ionizados*. Alhambra Edit. Barcelona

Tammet. H. (2007.) Air ion research 2003-2006. *Proceedings of the 13th International Conference on Atmospheric Electricity*, editado por Yang Zhao and Xiushu Qie Edts., Academy of Science, Beijing 2007