



Variación temporal de los días tormentas en la Isla de Cuba. Su utilización en ingeniería. Parte I

Olga Susana Suárez
José A. Martínez

Recibido: Junio del 2008
Aprobado: Septiembre del 2008

Resumen/ Abstract

La caracterización de la actividad eléctrica atmosférica en países tropicales es una tarea de indiscutible importancia para el apropiado diseño de sistemas de protección. La actividad de rayos en estas regiones del planeta presenta características diferenciadas a las de otras latitudes. En el trabajo se realiza un análisis detallado de la distribución temporal de la ocurrencia de las tormentas eléctricas en la Isla de Cuba a diferentes escalas. Se emiten las consideraciones finales sobre como varían en el tiempo, en el territorio nacional, los días tormentas considerando las marcha diaria, mensual y anual en diferente escalas espaciales.

Palabras claves: descargas atmosféricas, niveles ceráneos, Variación espacial y temporal

The characterization of the atmospheric electric activity in tropical countries is an unquestionable importance task for the suitable design of the protection systems. The lightning activity in such regions of the planet presents different characteristics in relation to other latitudes. In this paper carries out a detailed analyses of the temporal distribution of the electrical storms occurrence to different local scales. Final considerations about the behavior of the day storms in the time of the national territory take account diary, monthly y annual variations in diferents scale spatiales are reported.

Key words: lightning, isokeraunic level, spatial and temporal variation

INTRODUCCIÓN

Cuba es la mayor de las islas del archipiélago cubano. Con 104 945 km² de extensión, ocupa el decimoquinto lugar entre las mayores islas del mundo. No se establecen en su territorio grandes diferencias latitudinales, está ubicada entre los 23° 17' y 19° 50' latitud Norte y los 74° 08' y 84° 58' longitud Oeste, a la entrada del Golfo de México limitando al Norte con el Océano Atlántico y al Sur con el Mar Caribe.

Tiene un clima tropical húmedo y se ubica entre las regiones de más alta actividad eléctrica atmosférica del planeta [1].

La descarga eléctrica atmosférica (DEA) causa anualmente cuantiosos daños a la sociedad cubana [2], entre los que se encuentran las pérdidas de vidas humanas, daños económicos y afectación de la calidad del servicio en el sector eléctrico y el de las telecomunicaciones, daños económicos en la producción agrícola provocados por fuego incluyendo los incendios forestales y daños

económicos y sociales por afectación de equipos sensibles, entre otros.

La hipótesis de la variación espacio temporal de los parámetros de la DEA se fundamenta en los principios científicos, planteados por C.T.R Wilson en 1920 y Whippel en 1929, sobre el Circuito Eléctrico Global y la contribución dominante, por una superposición de efectos, de las tres mayores zona de convección profunda tropical del planeta: Sur América Tropical, Centro de África y el continente Marítimo (Sureste de Asia y Australia).

El planteamiento, por tanto, de que sobre el planeta existe una distribución no uniforme de la actividad eléctrica atmosférica, al clasificar las zonas de convección profunda tropical como las de mayor actividad, data de principios del siglo pasado.

Los parámetros del rayo varían temporalmente. La perspectiva temporal significa que los parámetros del rayo se caracterizan por variar en diferentes escalas de tiempo: diaria (la información de tormentas es diferente dependiendo de la convección en la mañana o en la tarde), mensual (variación estacional) anual y multianual.

Muchos trabajos de investigaciones se han realizado, incluyendo mediciones directas e indirectas del rayo, para caracterizar sus parámetros con vistas a su aplicación en los diseños de ingeniería, sin embargo en el pasado solamente se habían considerado las mediciones realizadas en Latitudes Norte (USA y Europa) y algunas de Latitud Sur (Sudáfrica y Australia).

Actualmente mediciones del rayo realizados en algunos regiones tropicales como, Brasil, Colombia, México, Venezuela, Costa Rica, entre otros, apuntan hacia la certeza de la hipótesis de que las magnitudes de los parámetros de la descarga eléctrica atmosférica utilizados en aplicaciones en ingeniería varían espacial y temporalmente y difieren significativamente de las medidas en regiones no tropicales.

En ingeniería el conocimiento de la variación espacio - temporal de los parámetros de la DEA tiene importantes implicaciones en el diseño y el mantenimiento de los sistemas de protección y por tanto en su eficacia.

En el desarrollo del trabajo se estudia la variación temporal de uno de los parámetros de la DEA, los días tormentas, y se explica como debe ser utilizado en los diseños de protección.

NECESIDAD DE ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE NIVELES CERÁNEOS DE LA ISLA DE CUBA

Para el propósito de planeamiento de sistemas eléctricos, instalaciones industriales y edificaciones, así como el de diseño y mantenimiento, los parámetros del rayo pueden dividirse en dos grupos fundamentales:

- Los parámetros de incidencia.
- Los parámetros de la descarga.

Se definen como parámetros de incidencia del rayo:

- La intensidad de las tormentas eléctricas que se expresa, fundamentalmente, en:

Densidad de rayos a tierra.

Nivel ceráneo (días tormenta).

- La polaridad de la descarga.

Las características de las descargas múltiples que incluye:

Multiplicidad.

Duración de intervalos entre descargas consecutivas.

Duración total de la descarga atmosférica.

Se definen como parámetros más importantes de la descarga:

- La amplitud máxima de la corriente del rayo conocida como corriente de retorno o corriente de la descarga principal.
- La forma de onda de la corriente de retorno.

Uno de los parámetros fundamentales para el diseño de sistemas de protección contra rayos es la densidad de rayos a tierra por km^2 al año (Ng) la cual permite estimar el número de rayos en cuestión en el objeto a proteger.

Cuba no cuenta con tecnologías avanzadas de medición de parámetros del rayo como los Sistemas de Localización y de disponer de uno de ellos en el futuro, se necesitarán series de tiempo confiables para utilizar, sin duda importante, la información y resultados que se obtengan.

Por tal razón en nuestro país se cuenta solo con el primer indicador, *los días tormentas*, ampliamente utilizado todavía en diversas regiones del mundo. Este es un indicador indirecto que expresa la cantidad de días tormenta al año (DT) de la región y acostumbra a darse según el Mapa de Niveles Isoceráneos (curvas de nivel de igual cantidad de días tormentas al año).

La importancia de constar con un Mapa de Niveles Isoceráneos que nos brinde una información lo más real posible de la actividad eléctrica radica en que la densidad de rayos a tierra, indicador del que comienzan todos los

estudios de protección contra rayos, se obtiene en Cuba a partir de los DT que refleja el mapa a través de una relación del tipo $N_g = a \cdot DT^b$. Mientras más confiabilidad en el Mapa, más confiabilidad en N_g y más eficaz la protección.

Los estudios realizados en Cuba respecto a la ocurrencia y distribución de las tormentas eléctricas se han ejecutado en períodos de tiempos muy cortos y con distintos criterios de evaluación del fenómeno. Las tormentas más estudiadas son las denominadas tormentas locales severas (TLS).

Estudios llevados a cabo por el Instituto de Meteorología a lo largo de todo el país permitieron publicar una cronología [3] de estos fenómenos y enfocarlos como una cuestión de interés científico, un aspecto más de la comprensión de nuestro clima, un problema de seguridad pública y la certeza de la necesidad de establecer la clasificación de las TLS en Cuba respecto a la densidad de rayos a tierra.

En el caso del tratamiento del fenómeno en general, en cuanto a su distribución espacial en el territorio nacional, destaca en 1978 el trabajo sobre inversión de temperatura provocada por la lluvia rápida [4] donde se obtienen colateralmente tres mapas, mínimo, promedio y máximo de frecuencia de ocurrencia de tormentas eléctricas pero no se consideran todas las estaciones meteorológicas y se toman en cuenta solo unos pocos años de estudios.

Con conocimiento de lo anterior el CIPEL (Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas) dentro del marco de una investigación sobre protección de líneas eléctricas a realizar para la UNE (Unión Nacional Eléctrica) propone la subcontratación del Instituto Nacional de Meteorología para actualizar el Mapa cubano de igual niveles ceráneos.

El resultado obtenido por esta institución teniendo en cuenta la información las 63 estaciones meteorológicas existentes en el territorio nacional desde 1983 al 2002 se muestra en la figura 1[5].

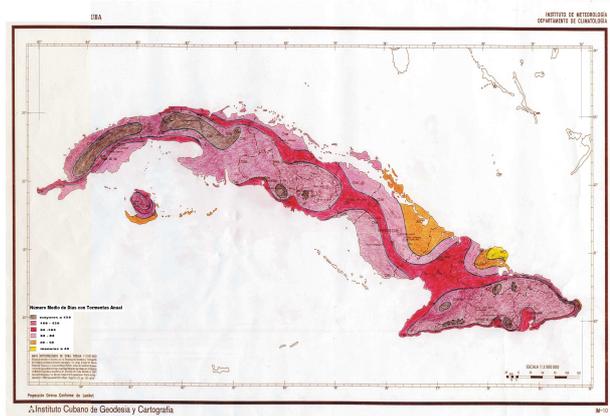


Fig. 1. Mapa de niveles ceráneos.

OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA

Un gran número de relaciones han sido propuestas por diferentes investigadores para establecer la relación entre los días tormentas y la densidad de rayos a tierra.

Elas tienen procedencia empírica y analítica cuando se obtienen de correlacionar los datos obtenidos de los contadores de rayos o los modernos sistemas de localización de tormentas.

En la tabla 1 se muestran las principales relaciones entre N_g y DT propuestas por investigaciones en países tropicales, la ecuación aceptada hasta el 2004 por CIGRE, IEEE, (primera en la tabla) y la normalizada a partir del 2005 por IEC (segunda en la tabla) obtenida con el Detector Óptico de Transitorios (OTD), equipo científico montado sobre la estación satelital MicroLab-1 puesto en órbita por la NASA en un cohete Pegasus, en 1995.

Tabla 1	Principales relaciones N_g -DT
CIGRE,IEEE,IEC $N_g = 0.04 \cdot DT^{1.24}$	No diferencias
Nasa $N_g = 0.1 \cdot DT$	No diferencias
Mexico $N_g = 0.024 \cdot DT^{1.12}$ $N_g = 0.044 \cdot DT^{1.24}$ $N_g = 0.026 \cdot DT^{1.33}$	Regiones montañosas Regiones planas Regiones costeras
Brasil $N_g = 0.003 \cdot DT^{1.12}$	Regiones montañosas
Colombia $N_g = (5.4 \lambda^{1.6} \cdot DT^{2.5}) \cdot 10^{-7}$ $N_g = 176 \lambda^{-3.8} \cdot DT$ λ : Latitud en grados	Regiones montañosas Regiones costeras

Según el estudio reportado en [6] la relación adecuada para utilizar en Cuba es la reportada por la NASA.

VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS DÍAS TORMENTA EN LA ISLA DE CUBA

La variación temporal de DT se analiza en tres escalas: diaria, mensual y anual en diferentes escalas espaciales.

Excepto la variación multianual diaria que se describe según lo reportado en [5,7] las variaciones multianuales mensuales y multianuales son el resultado del trabajo realizado directamente a partir de la información registrada en las 63 estaciones meteorológicas para el periodo en que se actualiza el Mapa de niveles ceráneos.

En lo adelante se realiza el análisis respondiendo a un grupo de preguntas.

¿Cuáles son las horas más probables de las tormentas en Cuba?

La respuesta se obtiene con el estudio de la variación multianual diaria o marcha diaria. Las horas más probables de formación de las tormentas eléctricas a lo largo del país son entre las 13:00 y las 20:00 horas. La hora de máxima frecuencia es cercana a las 16 horas.

En determinadas localidades, estación Playa Girón (Matanzas) la frecuencia máxima de las observaciones ocurre a las 19 horas.

En algunas localidades costeras, durante la madrugada y primeras horas de la mañana, este fenómeno es perceptible con un origen marítimo.

En la Isla de la Juventud la frecuencia de tormentas eléctricas ocurre en el horario de las 13:00 a las 16:00 horas con un máximo secundario a las 22:00 horas, provocado por la invasión de tormentas eléctricas provenientes del mar.

Las variaciones de la marcha diaria de la frecuencia de tormentas eléctricas en las provincias de la zona occidental de Cuba son consistentes con la Curva de Carnegie y los resultados de otros países tropicales tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2	Horas de ocurrencia	
Parámetro	Localización	Hora de máxima actividad
Trueno	Sierra Leona	17:30
Descargas nube-tierra	Sur de la Florida	17:30
Descargas nube-tierra	Centro de la Florida	15:30
Descargas nube-tierra	Nigeria	18:00
Descargas nube-tierra	Bogota, Cali, Medellin	15:30
Trueno	Cuba	16:00

A. Cuáles son los meses con más días tormentas probables en Cuba?

La respuesta se obtiene con el estudio de la variación multianual mensual o marcha mensual [8,9].

La figura 2 presenta las variaciones del promedio multianual de días con tormentas para un mes (DTM) en la Isla de Cuba.

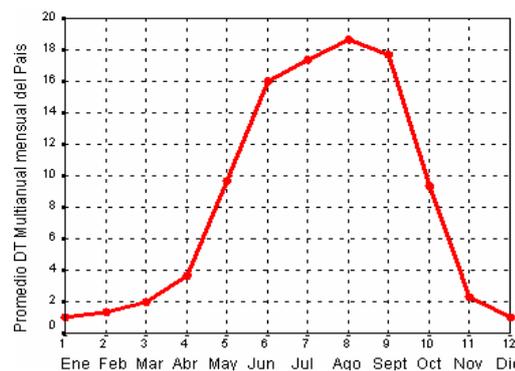


Fig. 2. Variación multianual mensual de la Isla de Cuba.

La figura 2 muestra que una amplia actividad eléctrica atmosférica ocurre a lo largo de casi todo el año marcándose dos periodos de ocurrencia de tormentas eléctricas.

El primero, de Marzo a Mayo donde comienza una actividad baja (entre 2 y 10 días tormentas) asociados a sistemas extratropicales como las tormentas frontales que afectan la isla en estos meses.

El segundo caracterizado por una alta actividad asociada a sistemas tropicales coincidente con la estación de lluvia, de mayo a octubre, DTM oscilan entre 10 y 21. El DTM máximo es de 18 y ocurre en el mes de agosto, mientras que el valor promedio durante todo el año (en los 20 años) es 8,33.

La figura 3 presenta el mismo indicador tomando como espacio las regiones occidental, central y oriental, mientras que las figuras 4, 5 y 6 lo hacen para las diferentes provincias dentro de cada una de estas regiones.

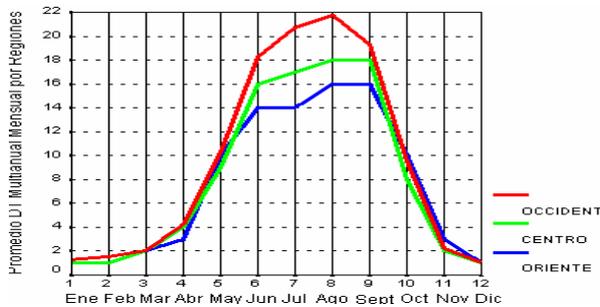


Fig. 3. Variación multianual mensual en las diferentes regiones.

De la figura 3 se observa que en occidente el DTM máximo es de 22 (21.75) y ocurre en el mes de Agosto, coincidente en mes pero superior en días respecto a la Isla en su conjunto, mientras que el valor es de 18 DTM sostenidos en Agosto y Septiembre en la región central y de 16 DTM sostenidos en los mismos meses en la región oriental.

La región occidental presenta el mayor ancho de duración promedio de DTM en meses consecutivos, entre 20 y 22, y ocurre de julio a agosto.

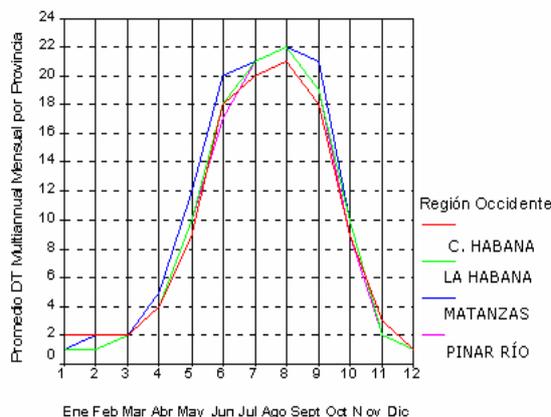


Fig. 4. Variación multianual mensual en las provincias de la región occidental.

De la figura 4 se observa una variación multianual mensual similar en todas las provincias de la región occidental.

La provincia de Matanzas, la más al este de la zona occidental, presenta el mayor ancho de duración promedio de DTM en meses consecutivos, entre 20 y 22, y ocurre de junio a septiembre.

La provincia Habana, mantiene estos valores entre julio y mediados de Septiembre y Pinar del Río y Ciudad de La Habana entre los meses de Julio y Agosto. Todas las provincias alcanzan los valores máximos de DTM, en el mes de agosto.

En la figura 5 se observa que las provincias de Ciego de Ávila (16 DTM, septiembre) y Villa Clara (16.5 DTM) tienen menor cantidad de DTM que las provincias Cienfuegos (20,5 DTM) y Sancti Spiritus (21 DTM) estableciendo los máximo en las tres últimas, en agosto.

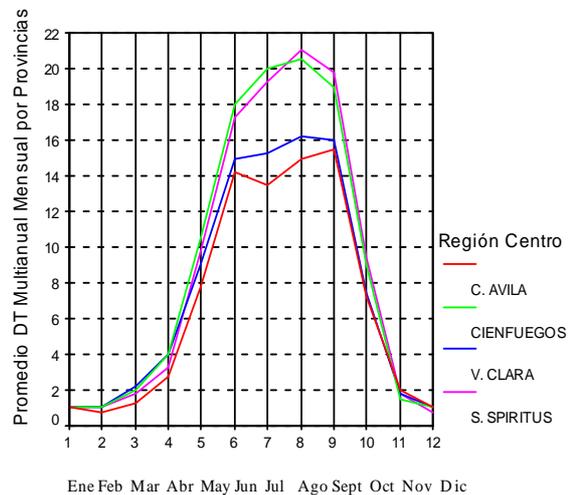


Fig. 5. Variación multianual mensual en las provincias de la región central.

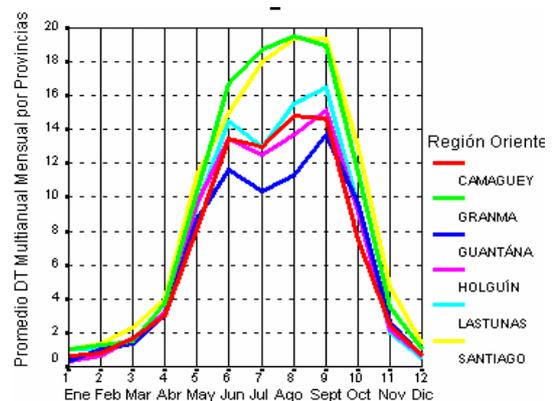


Fig. 6. Variación multianual mensual en las provincias de la región oriental.

De la figura 6 se observa que Granma con 20 (19.75 en agosto) DTM y Santiago de Cuba con 19 DTM son las provincias de mayores valores del indicador mientras que Guantánamo con 14 DTM es la provincia de

menor valor. Excepto Granma todas las provincias tienen su máximo en el mes de septiembre.

Una perspectiva temporal mensual a escala de las estaciones meteorológicas (más local) presenta determinados comportamientos diferentes a las provincias en su conjunto [9].

c) Cuál es la tendencia de los días tormentas en los 20 años en Cuba. Marcha multianual.

Los gráficos [7 - 9] que se presentan permiten hacernos una idea de la tendencia en el tiempo de los días tormentas en tres escalas espaciales Isla, regiones y provincias.

La figura 7 presenta las variaciones del promedio multianual de DT de la isla de Cuba en el período 1983 -2002.

El grafico presenta un incremento importante de los DT aproximadamente a partir del año 1989, hasta 1998 donde disminuye bruscamente para mostrar posteriormente un valor que en su promedio puede ser ligeramente superior al valor medio del período de ascenso anteriormente señalado.

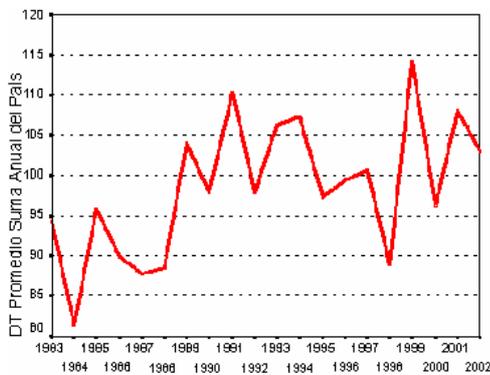


Fig. 7. Variación temporal multianual. Isla de Cuba.

La figura 8 presenta los resultados del análisis de las zonas occidental, central y oriental en el período 1983 al 2002.

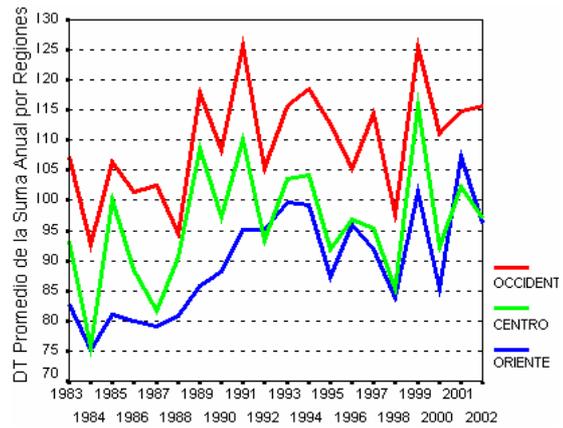


Fig.8. Variación temporal multianual en las tres regiones.

Se observa en este gráfico una tendencia muy similar de la ocurrencia de tormentas eléctricas en las 3 regiones de la Isla de Cuba, sin embargo la intensidad del fenómeno es notablemente sostenida más alta a lo largo de los 20 años en la Región Occidental.

Un cambio en ascenso del promedio a partir de los últimos años de la década del 80 es también notable a nivel de regiones.

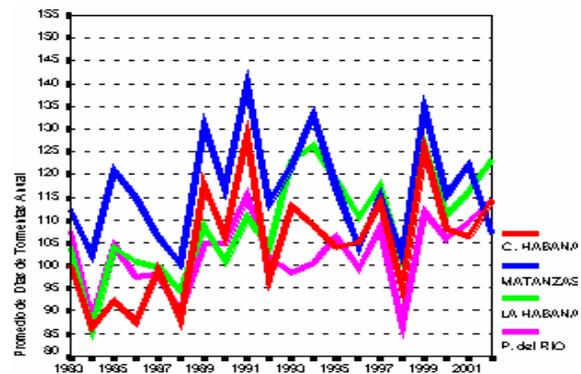


Fig.9. Variación temporal multianual en provincias de occidente.

Las figuras 9, 10 y 11 presentan las variaciones del promedio multianual de días con tormentas, de las provincias que integran las regiones occidental, central y oriental, respectivamente.

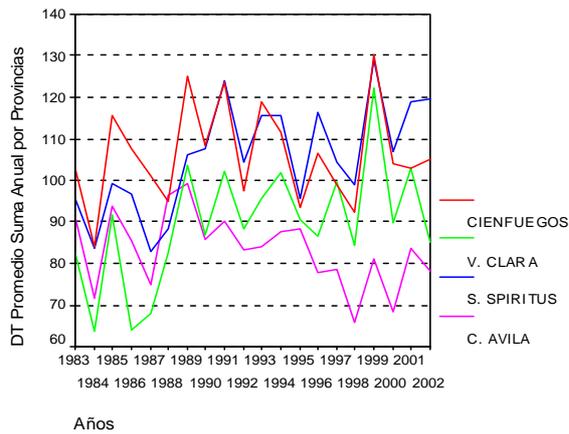


Fig.10. Variación temporal multianual en provincias de la región central.

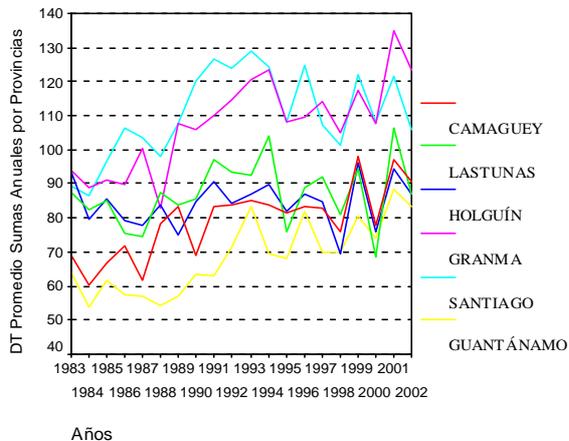


Fig.11. Variación temporal multianual en provincias de la región oriental.

De los tres gráficos anteriores se observa que, un grupo importante de provincias como Granma, Santiago, Guantánamo, Santiago, Sancti Spiritus, Villa Clara, Cienfuegos y La Habana, entre otras, muestran un incremento del valor promedio de días tormentas en la última década del siglo pasado mientras que a partir de 1996 parece tender a la disminución en Ciego de Ávila una localidad que muestra esta característica.

La figura 12 muestra las variaciones temporales multianuales de las estaciones meteorológicas con menor y mayor días tormentas registrados en la Isla en el período estudiado; ellas son Punta Lucrecia y Veguitas, respectivamente. Ambas pertenecen a la región oriental.

La estación Punta Lucrecia está ubicada a 4 m sobre el nivel del mar, a los $21^{\circ} 04' 12''$ de latitud norte y los $75^{\circ} 37' 18''$ de longitud Oeste y la estación Veguitas a 30 m sobre el nivel del mar y a los $20^{\circ} 19'$ de latitud norte y $76^{\circ} 53'$ de longitud Oeste.

Como valoración general parece existir una tendencia al incremento en el tiempo de los días tormentas en el territorio nacional que representa también el comportamiento en la mayoría de las provincias y localidades del país.

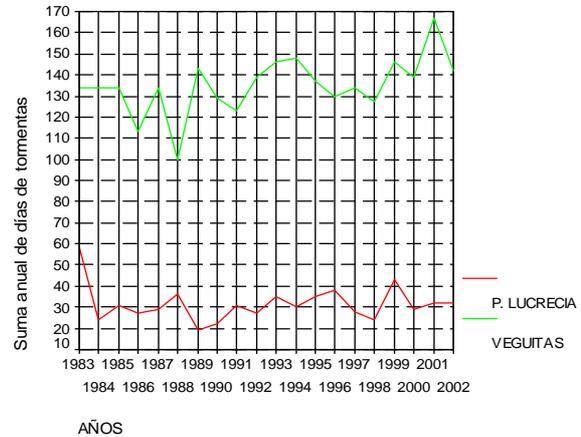


Fig.12. Variación temporal multianual en Punta Lucrecia y Veguitas.

La tendencia real debe ser obtenida en un análisis de series de tiempo. En este análisis de series de tiempo sería importante correlacionar las series del parámetro precipitación con el registro de día tormenta, puesto el Mapa de niveles ceráneos y en la base de datos con que se realiza este estudio no se correlacionaron estos parámetros.

d) Para qué sirve la información del análisis temporal de las tormentas eléctricas en la protección contra DEA?

El conocimiento de la variación y aleatoriedad temporal del fenómeno del rayo es de una gran importancia en lograr adecuados diseños de protección. Por ejemplo, supongamos que se realiza el diseño protección contra rayos de una línea en la localidad de Veguitas tomando el valor de DT (100) del año 1988 y se obtiene un buen resultado en el índice de salidas de la misma en ese año. Sin embargo el año posterior (140 DT), la línea presenta valores del índice de salidas superiores al que se quiere alcanzar y se plantea la ineficacia de la protección. Un diseño y análisis incorrecto de protección se han realizado por no tener en cuenta la variación temporal de este indicador.

La eficacia de cualquier protección en un año dado tiene que estar referida al DT del año en cuestión. Cuando el diseño se realiza con el promedio de DT del mayor número de años posibles y se hacen inferencias sobre el futuro comportamiento de este indicador con base en

lo ocurrido en el pasado, es decir se buscan posibles patrones temporales que permitan sobrepasar la incertidumbre del futuro se puede obtenerse una eficacia de la protección tan cercana a lo deseado como se pretenda. .

Un oportuno conocimiento sobre los períodos de tormenta permite, además, preparar el sistema para disminuir los daños por avería.

CONCLUSIONES

1. La Isla de Cuba se somete a una fuerte actividad eléctrica atmosférica en la que se establecen dos períodos, siendo el lluvioso el de más actividad.
2. El análisis temporal multianual diario en frecuencia de las observaciones de DT de todas las estaciones meteorológicas demuestra que la hora de máxima frecuencia es, como promedio, cercana a las 16 horas, en casi todas las regiones del territorio nacional.
3. El análisis temporal multianual mensual muestra que el promedio máximo de días con tormentas para un mes varía entre 16 y 22 como valores máximos en las tres regiones del país y se establecen, por lo general, en agosto excepto en la mayoría de las provincias orientales que ocurre en septiembre.
4. El análisis temporal en régimen anual muestra una tendencia al incremento en el tiempo de los días tormentas en el territorio nacional lo que representa también el comportamiento en la mayoría de las provincias y localidades del país.

Dado que el Mapa de niveles ceráuneos se obtuvo sin verificar día de tormenta con el parámetro precipitación, el incremento de los días tormentas que se obtiene debe ser tomado con prudencia al inferir de este resultado el incremento de la densidad de rayos a tierra. Para un análisis más exacto deben compararse los comportamientos de coincidencia de las series de tiempo de días tormentas y lluvia sobre cada estación.

REFERENCIAS

- [1]NASA/MSFC. Reporte de observaciones desde 12 Abril de 1995 a Diciembre de 1999.
- [2] Suárez, O. S. y otros: Descargas atmosféricas y sus efectos en la sociedad cubana. Informe técnico, 2004, Revista *energética* Vol. XXVII, No. 1/2006.
- [3] P. Alfonso, A. : Climatología de las tormentas locales severas de Cuba.

Cronología. Editorial Academia, 1994, Cuba.

[4] Torres A.: Localización de las inversiones provocada por la lluvia rápida.

[5]Álvarez, L.. : Características espacio-temporales del número de días de tormenta en Cuba. Contrato UNE-CIPEL-ISMET. Informe final INSMET, 2006.

[6].Suárez, O. S. : Parámetros del rayo. Su utilización en los diseños de ingeniería en la Isla de Cuba. Informe técnico CIPEL, 2002, Cuba.

[7] Campos, A. y L. Álvarez: Distribución espacio temporal de las tormentas eléctricas en la región occidental de la Isla de Cuba. Contrato UNE-CIPEL-ISMET, Informe Preliminar INSMET, 2005.

[8]Suárez, O. S. y J. A. Martínez: Distribución espacio- temporal de los días tormentas en la Región Occidental de la Isla de Cuba. Su utilización en Ingeniería. Informe Técnico, CIPEL, 2005, Cuba.

[9]Suárez, O. S. y J. A. Martínez: Variación espacio- temporal de los días tormentas en la Isla de Cuba. Su utilización en Ingeniería. Informe Técnico, CIPEL, 2006, Cuba.

AUTORES

Olga Susana Suárez Hernández

Ingeniera Electricista, Master en Ingeniería eléctrica y Doctora en Ciencias técnicas Sus líneas de investigación están relacionadas con la Coordinación de Aislamiento, Protección vs Descargas Atmosféricas de los Sistemas Eléctricos y las Instalaciones Industriales, Alta Tensión y Calidad de la Energía Eléctrica.

e-mail:susana@electrica.cujae.edu.cu

José Ángel Martínez Barbado

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Jefe del laboratorio de Alta Tensión del CIPEL. Actualmente es Vicedecano de Extensión Universitaria de la facultad de Eléctrica.

e- mail: jabm@electrica.cujae.edu.cu