



Variación espacial de los días tormentas en la Isla de Cuba. Su utilización en ingeniería. Parte II

Olga Susana Suárez
José A. Martínez

Recibido: Junio del 2008
Aprobado: Septiembre del 2008

Resumen/ Abstract

El presente trabajo reporta el estudio de la variación espacial de la cantidad de días tormentas anuales en la Isla de Cuba a partir de los datos utilizados para la actualización, en el año 2006, del Mapa de igual niveles ceráneos. Se presenta la variación del nivel ceráneo en países ubicados en diferentes latitudes y la caracterización del nivel ceráneo en el territorio nacional comenzando a escala global (país), hasta particularizar a escalas más reducidas, por ejemplo, local (estación meteorológica). Se emiten las consideraciones finales sobre el comportamiento de los días tormentas en el territorio nacional y su utilización en ingeniería para los diseños de protección contra este evento de la naturaleza.

Palabras claves: descargas atmosféricas, niveles ceráneos, Variación espacial

In this paper the studies of the spatial distribution of the electrical storms in the Cuban Island taken account of data used in the actualization, of the Isokeraunic Mapa, is reported. Its presents the variation of level keraunic in countries ubicados in diferent latituds and the the caracterización of the level keraunic on the national territorio comenzando global scale (countrie) hasta particularizar a escalas más reducidas, por ejemplo, local (estación meteorológica). Final considerations about the behavior of the day storms of the national territory and their utilization in engineering for the protection desings agains this natural phenomenun are reported.

Key words: lightning, isokeraunic level, spatial variation

INTRODUCCIÓN

En un trabajo precedente [1] se reportó el análisis de la variación temporal de los días tormentas y la importancia de su conocimiento en el diseño de protección contra rayos de los sistemas eléctricos y las instalaciones de baja tensión. Como continuación de este trabajo previo se analiza aquí la variación espacial de los días tormentas o nivel ceráneo (DT) en la Isla de Cuba.

Cuando se habla de perspectiva espacial significa que las magnitudes de los

parámetros del rayo varían global y localmente. El aspecto espacial está influenciado por la delimitación del área y por las micro y las macro influencias como los parámetros meteorológicos (temperatura, viento, presión atmosférica, etc.) y los parámetros geográficos (regiones montañosas, planas o costeras etc.).

En el trabajo se presentan también los valores de días tormentas que tienen un grupo de países ubicados geográficamente en latitudes no tropicales y el mismo indicador para algunos países tropicales marcando la diferencia del valor de DT

entre ambos grupos. Se compara además los valores de DT de estos países con el indicador para Cuba.

NIVEL CERÁUNEO EN DIFERENTES LUGARES DEL MUNDO

El primer registro de conteos de truenos del que se tiene noticias data de varios siglos antes de Cristo, en Babilonia donde se utilizaba como sistema de predicción del clima. Se conoce que esta misma práctica se utilizó en la Europa medieval con el mismo fin.

En 1876, en la reunión del Comité Meteorológico Internacional (CMI) efectuada en Viena, se adopta por primera vez la unidad Día con trueno oído donde se define contar como día tormenta aquel en que el observador note, visualice un relámpago y escuche trueno. De esta manera no se registra el relámpago sin trueno para excluir tormentas lejanas.

En 1896 el CMI mejora la instrucción a los observadores y definen tres tipos de observaciones que aún se mantienen: trueno distante es oído, observación de relámpago distante y la ya conocida de trueno y relámpago.

A finales del siglo XIX comienzan a trazarse mapas mediante líneas que unen regiones de igual cantidad de observaciones y en 1920 a este isograma de igual cantidad de días tormentas se le comienza a llamar nivel ceráuneo.

Los días tormentas, es pues el primer indicador establecido para cuantificar la actividad eléctrica y se utiliza aún en aquellos países que no cuentan con Sistemas de localización de rayos.

La figura 1 muestra el Mapa mundial de niveles

ceráuneos del globo terráqueo presentado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM antes CMI) en 1956. El mismo permite observar la distribución no homogénea del Circuito Eléctrico Global y la contribución dominante de las tres mayores zonas de Convección Profunda Tropical del planeta, Sur América Tropical, Centro de África y el continente Marítimo (Sureste de Asia y Australia), hipótesis planteada por Whipple (1929) Gish y Wait (1950).

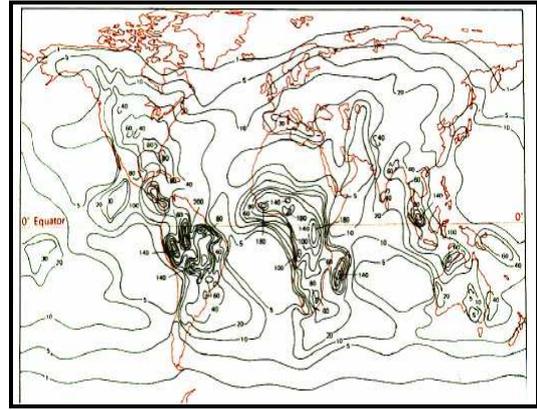


Fig.1. Mapa Mundial de Niveles Ceráuneos. Adaptado de Gary, "La Foudre", 1994.

Estudios similares pero a escalas de países han sido realizados. La figura 2 presenta las curvas de niveles ceráuneos de los Estados Unidos de América. Se observa como en el estado de la Florida, presenta una variación entre 70 y 100 DT; mientras que la región de la costa Oeste tiene un bajo nivel ceráuneo, entre 5 y 10 días tormentas al año.

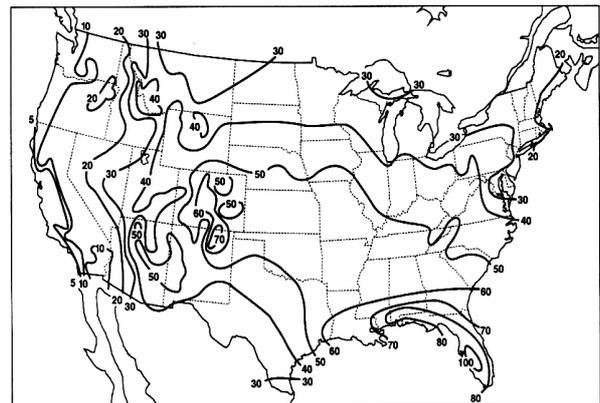


Fig. 2. Mapa de Niveles Ceráuneos de USA (1969). adaptado de U.S. Dept. Of Commerce data.

La figura 3 presenta el mapa de niveles ceráuneos de Francia dividido por sectores que corresponden a las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Compañía Eléctrica de Francia.

El nivel ceráuneo promedio multianual en Francia es alrededor de 20, mayor a 30 en las áreas montañosas de los Alpes, el *Massif Central* y los Pirineos, y menor de 15 en las áreas costeras que bordean el Canal Inglés y el Océano Atlántico.

Al igual que Francia y Estados Unidos países ubicados en latitudes norte presentan bajos niveles ceráuneos, el valor promedio de nivel ceráuneo para Alemania es 20, con un máximo de 30 en áreas cercanas a los Alpes. En Gran Bretaña el valor medio de nivel ceráuneo varía entre 2 y 14 días

tormentas al año mientras Canadá, por su parte presenta promedios entre 15 y 35 DT con valores máximos promedios de 35 en la región de los grandes lagos.

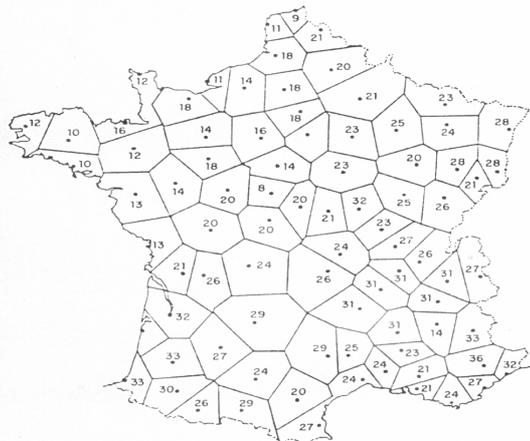


Fig.3. Mapa de Niveles Ceráneos de Francia. Adaptado de Gary "La foudre".

La literatura especializada reporta también valores de DT en países tropicales. En Brasil desde 1971 en aproximadamente 580 sitios de observación, cubriendo todo el estado de Minas Gerais y algunos estados vecinos se han registrado los días tormentas al año que permite conformar el Mapa de iguales niveles ceráneos de esa región que se muestra en la figura 4..

Los valores observados para todo el estado de Minas Gerais, varían entre 30 y 140 DT con un valor promedio de 70

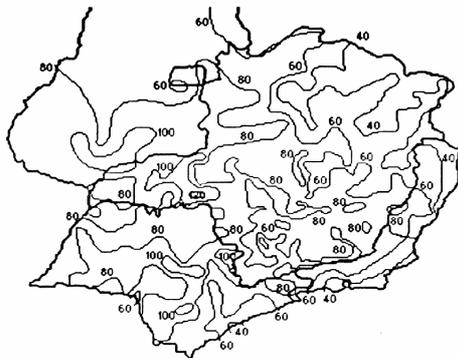


Fig.4. Mapa de Niveles Ceráneos de Minas Gerais, Brasil. Adaptado de Diniz, 1996.

La figura 5 muestra el Mapa de niveles ceráneos de Colombia.

En el mapa se observan zonas de muy bajo y de muy alto días tormentas al año, por ejemplo, al Sureste del Departamento de Nariño, donde penetra la Cordillera de los Andes a territorio colombiano se tiene un DT de 10 mientras que alrededor de la Sierra Nevada de Santa Marta se presenta un

fuerte gradiente con niveles iguales o superiores a 120 días tormentas al año.

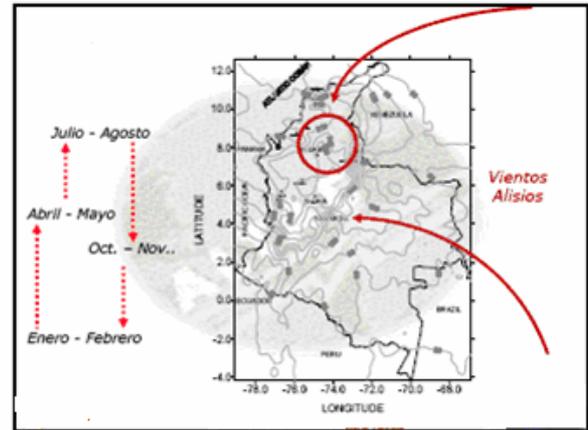


Fig.5. Mapa colombiano de niveles ceráneos.

La tabla 1 muestra los valores de días tormenta de algunos países reportados en la literatura especializada (1-5).

Tabla 1	Latitud y días tormentas al año		
	Lugar	Latitud	DT
	Brisbane, Australia.	27 ° S	20
	Gabarone	24 ° S	60
	Minas Gerais, Brasil	15° S	70
	Darwin, Australia.	12 ° S	80
	Rabaul, Nueva Bretaña	4 ° S	90
	Bogota, Colombia	5 ° N	90
	Cuba	23 ° N	98
	Orlando, USA	28° N	80
	Tel Aviv, Israel	32 ° N	20
	Toronto, Canada	43 ° N	20
	Berlin, Alemania	52 ° N	20
	Tomsk, Rusia	54 ° N	20
	Uppsala, Suecia	60 ° N	10

De los gráficos, tablas y análisis anteriores puede concluirse que existe una alta actividad eléctrica atmosférica promedio multianual en países y regiones ubicadas en latitudes tropicales muy superior a la que ocurre en regiones de Latitudes no tropicales.

ANÁLISIS ESPACIAL DEL NIVEL CERÁUNEO EN CUBA

Cuba ubicada entre los 19° 50' y 23° 17' de latitud Norte clasifica como un país tropical por lo que el trabajo presenta el estudio de la distribución espacial de los

días tormenta a escala global (país) y su comparación con el comportamiento de países de latitudes tropicales y no tropicales según el análisis anterior. Se presenta además el estudio a niveles más locales como regional (regiones occidental, central y oriental), provincial y local (se realiza para una provincia y una estación meteorológicas para ejemplificar) [2,3].

a) **Cómo se distribuyen los días tormentas a lo largo y ancho de la Isla de Cuba?**

La figura 6 muestra el Mapa de niveles ceráneos de la Isla de Cuba.

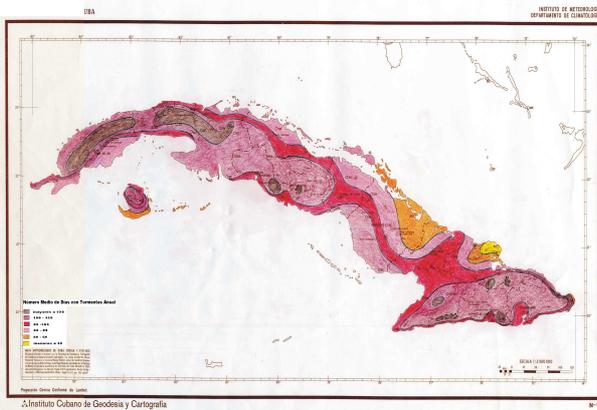


Fig. 6. Mapa de niveles ceráneos.

Las figura 7 y tabla 2 presentan las variaciones de DT en la Isla de Cuba y los estadísticos fundamentales del análisis realizado, respectivamente.

Las figuras de la 8 a la 13 expresan los valores de las variaciones espaciales de cada provincia utilizando la media aritmética en los años de estudio. Estos valores son valores discretos sin embargo se presentan en gráficos de línea y no en barras para evaluar la variación latitudinal.



Fig.7. Variación espacial de DT en el país.

Tabla 2	Estadísticos fundamentales
Parámetros	Isla de Cuba
Media	98,45
Mediana	97,93
Moda	81,3
Desviación típica	8,50
Varianza	72,25
Kurtosis	-,45
Rango	32,9
Mínimo	81,3
Máximo	114,1
Suma	1969,2

Del estudio puede concluirse que las principales características en la variación espacial de los DT en la Isla de Cuba son [3]:

- Se registran valores altos de DT, entre **100** y **120** días, en la costa sur y en especial en zonas aledañas del oeste del Golfo de Batabanó el Golfo de Ana María y el Golfo de Guacanayabo.
- Se registran valores muy altos de DT (mayores a **120**) en la cordillera de Guaniguanico, en el interior de las provincias de la Habana y Matanzas, en el grupo Guamuhaya, en las zonas llanas interiores de la isla y en las regiones montañas de las provincias orientales.
- Los máximos absolutos se registran en el interior de la cuenca del Cauto con **135** días al año, seguida muy de cerca por las áreas de mayor elevación de la Sierra Maestra que reporta **134**.
- Los valores más bajos se localizan cerca de las costas, sobre todo hacia la porción oriental del país, y el mínimo absoluto se ubica en punta Lucrecia, Holguín con **32**.
- El valor promedio es de **98** DT en todo el territorio nacional de los cuales 87 se reportan en el período de gran actividad.
- La hipótesis de la variación espacial que comprende la variación latitudinal del valor de los días tormentas, no está muy definida en la Isla de Cuba que por ser larga y estrecha mantiene en su ancho con muy poca variación latitudinal (19°

50' y 23° 17' de latitud Norte aproximadamente).

- Sin embargo la variación está estrechamente relacionada con los lugares de mayor actividad atmosférica en regiones montañosas y llanuras hacia el centro sur de territorio nacional en toda su extensión, así se ve que en lugares con latitudes similares se presentan niveles ceráneos marcadamente diferentes.
- La hipótesis de la variación espacial del valor de los días tormentas que comprende la variación latitudinal, está perfectamente definida respecto a países de latitudes tropicales y no tropicales. Los valores de DT son muy superiores que los que se tienen para, por ejemplo, USA, Francia, Alemania, etc, países de latitudes no tropicales y se encuentran en los rangos máximos (de **120** y más) que presentan países y regiones ubicadas en latitudes tropicales.

b) Cómo se comportan los DT en las diferentes regiones? Escala regional.

La figura 8 presenta las variaciones de DT en la región occidental de la Isla de Cuba. Vamos del análisis a escala de país a una escala más reducida espacialmente, una de las tres regiones en que se divide el país.

En la tabla 3 se muestran los estadísticos fundamentales del análisis para la zona occidental. Se observa que los valores de la media y la mediana, alrededor de **110** DT cada uno, superan el valor de 98 establecido para la Isla en su conjunto. Los valores de DT varían ampliamente en la región, desde **93** (92.83) a **126** (125,67).



Fig. 8. Variación DT zona occidental.

Tabla 3	Estadísticos fundamentales
Parámetros	Zona Occidental
Media	109,65
Mediana	109,71
Moda	92,83
Desviación típica	9,217
Varianza	84,95
Kurtosis	-,495
Rango	32,84
Mínimo	92,83
Máximo	125,67
Suma	2193,05

Las principales características de la región occidental son:

El valor promedio de días tormenta en la región occidental **110** (109.65) DT es superior al de la Isla en su conjunto y equivale a 2193,05 días tormentas en 20 años.

- El valor promedio máximo de días tormenta obtenido en los 20 años (DT máximo) en la región occidental es de **126** (125.67) y el valor promedio mínimo (DT mínimo) de **93** (92.83).
- En los 20 años el menor valor de DT, en un año, en la región occidental ocurrió en la provincia de Pinar del Río en la estación del Cabo San Antonio y fue de **41** en el año 1984 mientras el mayor valor de DT ocurrió en la provincia de Matanzas, fue de **164**, registrado en la estación de Jagüey Grande en el año 1991.
- En la provincia de Pinar del Río existe un fuerte gradiente de valores bajos hacia la costa sur (valores por debajo de **80**), probablemente debido a que el flujo predominante del viento en los niveles bajos de la atmósfera tiende a alejar la convección de la costa, y un gradiente de valores altos hacia la costa norte donde se encuentra la Cordillera de Guaniguanico (valores mayores a **120**).

La figura 9 presenta las variaciones de DT en la Región Central.



Fig. 9. Variación DT Zona Central.

La tabla 4 muestra valores coincidentes de la media y la mediana para la Región Central, **96**, ligeramente inferior a los valores establecidos para el territorio nacional. Como región los valores varían de **76** (75.73) a **116** (115.63) DT.

Tabla 4	Estadísticos fundamentales
Parámetros	Zona Central
Media	96,15
Mediana	96,15
Moda	75,73
Desviación típica	9,69
Varianza	93,92
Kurtosis	,145
Rango	39,89
Mínimo	75,73
Máximo	115,63
Suma	1923,12

Las principales características de la región central son:

- El valor promedio multianual máximo de días tormenta en la región central es de **116** (115.63) y el mínimo de **76** (75.73). El promedio multianual de días tormenta para la región central es de **96** (96.15) que equivale a 1923,12 DT en 20 años.
- En los 20 años el valor de DT mínimo ocurrió en la estación Villa Clara y fue de **64** (63.50) en el año 1984 mientras el DT máximo fue de **130**, registrado en la estación de Cienfuegos en el año 1999.

La figura 10 presenta las variaciones de DT en la región oriental, mientras la tabla 5 brinda la información de los estadísticos principales para la zona central.

Las principales características de la región oriental son:

El valor promedio multianual máximo de días tormenta en la región oriental es de **107** (107.15) y el mínimo de **76** (75.29). El promedio multianual de días tormenta para la región oriental es de **90** (89.56) que equivale a 1791,98 DT en 20 años.



Fig. 10. Variación DT Zona Central.

Tabla 5	Estadísticos fundamentales
Parámetros	Zona Central
Media	89.56
Mediana	87.69
Moda	75,20
Desviación típica	8.79
Varianza	77.22
Kurtosis	-9.17
Rango	31.87
Mínimo	75.29
Máximo	107.15
Suma	1791.28

- En los 20 años el valor de DT mínimo ocurrió en la estación Punta Lucrecia de la provincia Holguín y fue de **19** en el año 1989 mientras el DT máximo fue de **167**, registrado en la estación Veguitas de la provincia Grama en el año 1999.
- La región oriental presenta los valores máximos (**135**) y mínimos locales (**32**) de días tormentas en el país, fenómeno que tiene que ver con sus condiciones climáticas y su relieve.

c) **Cómo se comportan los DT en las diferentes provincias. Escala provincial.**

La tabla 6 muestra los resultados del estudio estadístico en una escala más reducida, a nivel de las 4 provincias que integran la región occidental. Se observa como los valores medios de DT en las regiones enmarcadas dentro de las provincias difieren del valor de la región occidental en su conjunto y tienen menores o mayores valores de este indicador.

Para los diseños de ingeniería cuando conocemos, por ejemplo, el DT en el entorno reducido de la zona donde se emplaza una subestación se realizara un diseño lo más óptimo posible de las protecciones.

Parámetros	Ciudad Habana	Matanzas	La Habana	Pinar del rio
Media	104,87	116,53	109,38	107,82
Mediana	105,75	115,42	109,90	108,75
Moda	106,50	100,50	104,00	92,25
Desviación típica	12,00	11,43	11,05	7,78
Varianza	144,12	130,75	122,25	60,5
Kurtosis	-,509	-,483	-,507	,066
Rango	42,00	39,50	40,50	31,13
Minimo	86,50	100,50	86,00	92,25
Maximo	128,50	140,00	126,50	123,38
Suma	2097,50	2330,67	2187,62	2156,42

La provincia Matanzas, por, ejemplo, presenta los mayores valores de media y mediana de las 4 provincias, **117** (116.53) y **115** (115,42) los mayores valores de mínimo **100** (100,50) y máximo, **140** DT.

La figura 11 muestra la variación espacial de DT a una escala más reducida, las estaciones sinópticas que se encuentran en la provincia Matanzas.



Fig. 11.Variación en la provincia Matanzas.

La tabla 7 presenta los estadísticos fundamentales de las 6 estaciones sinópticas.

	Unión de Reyes	Indio Hatuey	Jovellanos	Jagüey Grande	Colon	Playa Girón
Media	126,80	125,40	115,10	127,40	100,85	103,65
Mediana	126,00	123,00	113,00	124,50	101,50	103,50
Moda	111,00	112,00	111,00	116,00	95,00	102,00
Desviación típica	16,27	11,59	11,76	16,87	13,06	11,32
Varianza	265,01	134,35	138,30	284,67	170,7	128,34
Kurtosis	-,528	-,818	-,780	-,196	-,089	1,194
Rango	57,00	38,00	38,00	66,00	52,00	48,00
Minimo	103,0	109,00	99,00	98,00	75,00	75,00
Maximo	160,0	147,00	137,0	164,00	127,00	123,00
Suma	2536,	2508,0	2302,0	2548,0	2017,00	2073,00

Se observa que los valores de DT, desde 101 (100,85) en la estación Colon hasta 128 (127.40) en la estación Jagüey Grande se mantienen todas con un DT por encima del promedio nacional (98 DT).

d)Cuál es la forma de óptima de trabajar con la información de DT? Escala más local.

Cuando se pasa de escala global a provincial y de escala provincial a estación meteorológica se obtiene una información más fidedigna en cuanto a los datos necesarios para los estudios de protección contra descargas atmosféricas.

Si puede garantizarse que el objeto a proteger se encuentra en el radio de validez de las observaciones de la estación meteorológica, la curva de distribución de probabilidad acumulada de DT de la misma tiene aplicación en el diseño probabilística de sistemas de protección contra rayos.

La figura 12 muestra la función de distribución acumulada para los DT y Ng en la estación Jaguey Grande de la provincia Matanzas.

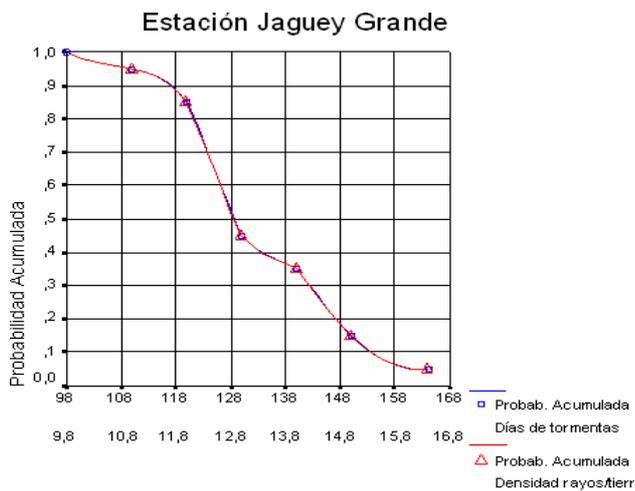


Fig. 12. Función de distribución acumulada.

CONCLUSIONES

1. El promedio multianual de los días tormentas en la Isla de Cuba es de 98 DT con valores extremos de mínimo y máximo de 32 y 135 en las estaciones de Punta Lucrecia en Holguín y Veguitas en Granma, respectivamente.
2. Los valores de DT son muy superiores que los que se tienen para, por ejemplo, USA, Francia, Alemania, etc, países de latitudes no tropicales y se encuentran en los rangos máximos (de 120 y más) que presentan países y regiones ubicadas en latitudes tropicales.
3. La variación espacial en la Isla de Cuba está estrechamente relacionada con los lugares de mayor actividad atmosférica que son las regiones montañosas y llanuras hacia el centro sur de territorio nacional en toda su extensión, así se ve que en lugares con latitudes similares se presentan niveles ceráneos marcadamente diferentes.
4. Cuando se pasa de escala global a provincial y de escala provincial a estación meteorológica se obtiene una información más fidedigna en cuanto a los datos

necesarios para los estudios de protección contra descargas atmosféricas de las líneas y subestaciones eléctricas así como cualquier objeto o instalación de baja tensión.

5. Las distribuciones de probabilidad acumulada del parámetro de días tormentas a escala de las estaciones meteorológicas permiten diseños de sistemas de protección contra rayos en términos probabilísticas lo cual responde más adecuadamente a la naturaleza del fenómeno que se trata y su variación local..

REFERENCIAS

- [1] Suárez, O. y J. Ramírez: Variación temporal de los días tormentas en la Isla de Cuba. Su utilización en Ingeniería. Parte I. Revista Energética
- [2] Álvarez, L. : Características espacio-temporales del número de días de tormenta en Cuba. Contrato UNE-CIPEL-ISMET. Informe final INSMET, 2006.
- [3] 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@electronica.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@electronica.cujae.edu.cu