

## **EVALUACIONES CLIMATOLOGICAS DE TORMENTAS SEVERAS OCURRIDAS EN LA ZONA DEL BAJO CHACO PARAGUAYO Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE TRANSMISION DE 500 kV**

**Ing. Hugo Acosta – Ing. José Servián Renna**

**ANDE**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Debido a la acción de violentas rayas de vientos ocurridos durante una Tormenta Severa el día 09/12/15 en la Subestación Villa Hayes 500/220/66/23 kV, se ha generado un incidente de falla mecánica ante el quiebre del conector de un Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) de Línea (fase T) - 500 kV resultando en un fuera de servicio de la Línea de aproximadamente 8 horas. Ante evaluaciones climatológicas investigadas cualitativamente durante un periodo de 17 años se han encontrado muestras estadísticas satelitales de descargas atmosféricas, en las cuales se han identificado una serie de pasillos o trayectos con altos niveles de generación de Tormentas Severas, dichos pasillos se encuentran entre los países limítrofes y nuestro país; en donde el Sistema de Transmisión de 500 kV en lo que respecta al área comprendida del Bajo Chaco paraguayo se encuentra influenciada y amenazada por uno de estos pasillos de vientos, lluvias, granizos y descargas atmosféricas severas. La investigación es encarada bajo los criterios de la Normas de Seguridad NTC-OHSAS 18001 y la NTC-330 tienen por objetivo identificar el incidente, el peligro y evaluar los riesgos de manera preventiva en este caso ante los pasillos de formación tormentosa sobre el Sistema de Transmisión de 500 kV de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) [1].

### **PALABRAS CLAVES**

Transmisión – 500 kV – Falla – Incidencia – Peligro – Riesgo – Tormentas – Vientos – Descargas atmosféricas - Climatología.

## Introducción

El cambio climático se ha convertido en un problema importante para los seres humanos. Las Tormentas Severas en nuestro país se hacen presentes en su formación y aparición principalmente entre los meses de octubre a diciembre que afectaran principalmente a la Región Oriental y el Bajo Chaco [2] que es por donde afecta a parte del Sistema de Transmisión de 500 kV [3], no obstante la exposición ante este peligro o amenaza pueden manifestarse en otro periodo estacionales pero con menor cuantía de aparición. Es así que en los meses señalados se podrían tener entre 8 a 12 Tormentas Severas por año con ráfagas de vientos que pueden superar los 100 km/h. Modelos de cambio climático elaborados por el *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de la ONU (IPCC)* [4] advierte que en este decenio habrán aumentos en la severidad de las tormentas, en otras palabras, que el número de descargas eléctricas por tormentas serán cada vez mayores. En la actualidad distintos estudios refuerzan la idea de que estas descargas eléctricas pueden ser utilizadas como indicadores de severidad de una tormenta.

## 1. EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 500 KV DEL PARAGUAY

El Sistema de Transmisión en 500 kV es la tercera obra de infraestructura más grande del país, después de las hidroeléctricas de ITAIPU y Yacyretá. La construcción del Sistema de Transmisión en 500 kV se inició en junio de 2011 con las siguientes obras: Ampliación de la Subestación Margen Derecha de ITAIPU (SEMD), la Subestación de Villa Hayes (SEVH) en la Región Occidental, Bajo Chaco Paraguayo y la Línea de Transmisión en 500 kV y sus obras complementarias fueron inauguradas el 23 de octubre del 2013.



Figura 1: Sistema de Transmisión de 500 kV

### 1.1 Subestación de Villa Hayes - (SEVH)

La Subestación de Villa Hayes se encuentra distante de Asunción a 16 km y a 4 km del “Puente Remanso” a la margen derecha del río Paraguay en la región del Bajo Chaco paraguayo, a un costado de la ruta Internacional “Tte. Esteban Martínez”. Desde esta Subestación reductora de tensión salen ocho Líneas de Transmisión en 220 kV; dos líneas en 66 kV y dieciocho alimentadores en 23 kV, para el sistema Metropolitano del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de la ANDE. La reducción de tensión se realiza a través de ocho autotransformadores monofásicos para uso externo, inmerso en aceite aislante, de 120 / 160 / 200 MVA, 500 / 220 / 23 kV, 50 Hz, instalados en dos bancos de tres transformadores monofásicos cada uno, con potencia nominal de 600 MVA cada banco. El séptimo autotransformador fue montado y cableado como reserva en caliente.

### 1.2 Línea de Transmisión de 500kV-ITAIPU-VILLA HAYES

La Línea de Transmisión de 500 kV que une la Subestación Margen Derecha de ITAIPU (SEMD) y la Subestación de Villa Hayes (SEVH) tienen una extensión de 348 km, comprende de 759 estructuras auto

portantes, que sostienen un circuito simple que está proyectado para transmitir hasta 2.265 MVA. Las torres metálicas son de acero galvanizado en caliente. Los tramos iniciales y finales son estructuras de doble circuito, totalizando 81 torres (cerca de 30 km), el tramo intermedio está compuesto por estructuras de circuito simple. Los conductores están constituidos por cuatro cabos x fase, tipo CAA 636 MCM ROOK. La Línea atraviesa en su recorrido, áreas de expansión urbana, zonas pantanosas cercanas a Carayaó, Bajo Chaco, cuenca y cruce del Rio Paraguay. El cruce del Rio se realizó en un vano de 800 metros de extensión.

## 2. IEC 60826 - CRITERIOS DE VELOCIDADES DE VIENTO

Se realizaron relevamiento de datos de estaciones anemométricas, próximas al trazado de la línea de Transmisión, para determinar las velocidades del viento y temperaturas representativas en las áreas de influencia, a fin de que sean consideradas en el proyecto. De acuerdo con criterios establecidos en la norma IEC 60826 [5], en el área de investigación se han determinado las velocidades y presiones del viento en el proyecto, para el dimensionamiento mecánico de las estructuras de circuito doble.

**Tabla I: Parámetros de dimensionamiento mecánico de las estructuras de circuito doble**

Componentes	Presión del viento (kgf/m <sup>2</sup> )	Viento de referencia	Velocidad del Viento (km/h)	Periodo de retorno (años)/ tiempo de integración
Conductores	166	Viento extremo	130	250/10 minutos
Cabo Pararrayos	179	Viento extremo	130	250/10 minutos
Conductores	205	Alta Intensidad	190	250/3 minutos
Cabo Pararrayos	221	Alta Intensidad	190	250/3 minutos

## 3.0 INCIDENCIA DURANTE LA TORMENTA SEVERA EN LA SEVH

De acuerdo a la Norma de Seguridad de la NTC-OHSAS 18001 [6] es necesario definir tres criterios que son: la Incidencia, la identificación del peligro y la valoración de los riesgos. Durante una Tormenta Severa ocurrida el día 09/12/15 siendo las 18:10hs han disparados los interruptores en ambos extremos de la LI.500kV-IPU-VHA, por actuación de relé diferencial y distancia, detectándose un incidente en el patio de 500 kV de la SEVHA debido a una falla mecánica en la parte superior de un TPC-OTCF/550 kV de Línea (fase T), causados por rayas de vientos severos que fatigaron al material quebrando su placa superior por lo que se procedió a dejar fuera de servicio el TR-02 500/220kV de la SEVHA. Posteriormente se realizaron trabajos de reparación, energizándose la LI.500kV-IPU-VHA desde la SE-MD siendo las 01:32hs del día 10/12/15.



**Figura 2: TPC-OTCF/550 kV de Línea (fase T)      Figura 3: Placa Sup. del TPC-OTCF/550 kV**

#### 4. IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Las Tormentas Severas se halla clasificadas en la Tabla de peligros de la NTC-OHSAS 18001 como fenómenos naturales peligrosos que pueden generar daños físicos y/o materiales que se originan fuera del sitio de trabajo, capaces de afectar adversamente la salud y seguridad de las personas, individualizado para la Subestación Villa Hayes con sus Líneas Aéreas de entradas y de salidas. En este caso la amenaza o el peligro para a) el personal b) la transmisión de la energía eléctrica c) la operación eléctrica d) la comunicación interna y externa e) infraestructuras, equipos y materiales f) las distribuciones de energía eléctrica g) los mantenimientos h) y otros; pero citado aquí de modo especial a partir del incidente o evento identificado como un casi-accidente ocurrido el 09-12-15 (ya que no ha ocurrido lesión, enfermedad o fatalidad alguna de personas) pero sí daños físicos a equipos instalados derivados de severas rayas de vientos violentos en una tormenta.

##### 4.1 Territorio de análisis y evaluación del peligro

De acuerdo a la *Organización Meteorológica Mundial* (OMM), 2011[7] la climatología consiste en el estudio del clima, sus variaciones y extremos y sus influencias en varias actividades, sobre todo (aunque no exclusivamente) en los ámbitos de la salud, la seguridad y el bienestar humano. Sin embargo, en sentido estricto se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados. El clima puede explicarse mediante las *descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad principal de elementos pertinentes*, que en este caso consideramos a las Tormentas Severas como fenómeno meteorológico con sus elementos variables a) descargas atmosféricas b) vientos c) granizos d) lluvias. No obstante para su análisis temporal y estadístico de los procesos físicos y dinámicos en la región del Bajo Chaco paraguayo que abarca parte del Sistema de Transmisión de 500 kV, será considerado al Sistema Climático generado entre la atmósfera y la superficie del territorio paraguayo a partir de los límites con la Argentina, Brasil y Bolivia hasta los picos nevados de la Cordillera de los Andes.

##### 4.2 Datos en Altitud

La información climatológica como indicador para detectar los pasillos de tormentas severas fueron analizadas a través de las muestras temporales de descargas atmosféricas bajadas desde el portal de la NASA emitidas por el satélite meteorológico para medir la precipitación tropical en forma de lluvia [8] (TRMM en sus siglas en inglés) [9] que orbita a una altitud de 350 km y una inclinación de 35° el cual monitorea a las descargas atmosféricas y relámpagos que ocurren durante su desplazamiento orbital en un barrido espacial de 600km x 600 km. Cualquier punto terrestre es captado durante un tiempo de 90 seg en 19 oportunidades diarias. Este satélite meteorológico monitorea gran parte de Sudamérica, cayendo así en su detección al espacio paraguayo. Al generarse una descarga atmosférica o un relámpago la misma es captada a través de su sensor óptico denominado LIS (Lighting Imaging Sensor) mediante el destello y la emisión de las radiaciones electromagnéticas captadas durante la aparición de estos fenómenos naturales. Las muestra satelitales son acumuladas en la memoria del sensor óptico del satélite meteorológico registradas de manera mensual, diarias o estacionales desde el año 1998 hasta 2014. Las muestras fueron catalogadas y categorizadas por su distribución y variabilidad espacial, sin embargo, el origen de esta investigación años atrás, se remonta a que en un principio estos datos fueron extraídos para analizar y cuantificar regionalmente los “kilo Amperes promedios de los rayos acontecidos en Paraguay” a fin de formar parte de cálculos de Puestas a Tierra de Subestaciones y/o Líneas de Transmisión de la ANDE, pero lo que llamó la atención a este investigador fue una traza continua de rastros de descargas atmosférica detectadas por el sensor óptico, observadas en una de las muestras temporales, bajadas para el mes de agosto del año 1999 en horario diurno, cuyas trazas evidenciaban un claro trayecto continuo, comenzado en territorio Argentino pasando por las ciudades de Encarnación, Villarrica, Asunción, para ir disipándose en el territorio Chaqueño. Sin embargo, este mismo trayecto de rastros acontecidos de descargas atmosféricas posteriormente fue observado de manera reiterada bajo otras muestras temporales, obtenidas para otros años venideros, no obstante, en varias muestras no se las pudo detectar u observar a simple vista, sin embargo están allí, ya que solo se encuentran solapadas por una cantidad de descargas atmosféricas ubicadas de maneras aleatorias y discontinuas al

entorno del trayecto buscado, más tarde fueron definidos otros pasillos bajados en otras muestras diferentes al primer pasillo definido. La formación de los pasillos en ocasiones se las observa perfectamente definidas durante un solo día de tormenta, otras veces se realiza mediante la sumatoria de los días de tormentas de un periodo estival y otras veces en la sumatoria de varios días. La base de datos de descargas atmosféricas del Sensor Optico LIS se halla en función del tiempo (17 años de orbita continua) lo que se transforma en una importante herramienta cualitativa y de estadísticas para determinar variaciones relacionadas con el tiempo severo. En la climatología, una tendencia es una característica interesante porque constituye un resumen del comportamiento histórico de las observaciones de un elemento. En la mayoría de los casos, se examinan las tendencias lineales de una serie temporal, pero a veces, puede ser mejor describir una tendencia en términos no lineales como no lo es el caso nuestro.

### 4.3 Ruta de actuación del Pasillo de Tormentas Severas

Es posible dar una explicación de la existencia de áreas o pasillos longitudinales de Tormentas Severas a partir de evaluaciones observadas en las muestras temporales de descargas atmosféricas bajadas desde la base de datos del sensor óptico ubicado dentro del satélite meteorológico (TRMM). Se los pueden identificar a partir de áreas continuas de mayores frecuencias de descargas atmosférica y de relámpagos dentro del país, cuya franja o pasillo de actuación se encuentran atravesando al territorio paraguayo con un ancho variable entre 15 a 30 km, con una extensión aproximada de 1200 km, ubicados longitudinalmente a 45 ° en una dirección Sureste a Noroeste y distantes cada pasillo de manera paralela a casi 100 km uno del otro. La ruta de investigación del Pasillo de Tormentas Severas, afectan al suelo Misionero de la Argentina; en Paraguay dentro de los Departamentos de Itapúa, Caazapá, Guaira, Cordillera, Paraguari, Central, Pte. Hayes, Boquerón, rio Pilcomayo hasta los picos nevados de la Cordillera de Andes.

### 4.4 Oscilación del Pasillo de Tormentas

Estos pasillos o áreas longitudinales de altas descargas atmosféricas por kilómetro cuadrado o pasillos de Tormentas Severas son fáciles de identificar en ciertas ocasiones sobre las muestras temporales de descargas atmosféricas, pero en otras ocasiones resulta difícil observar al área o pasillo definido con anterioridad, no obstante, este mismo pasillo se lo ubica desplazado a escasos km, ya sea por arriba o por debajo del área promedio de actuación, considerando a éste como pasillo principal de actividad de las Tormentas Severas. La finalidad de los análisis de las series temporales definidas en las muestras como pasillos de tormentas, trata de comprender la manera en la que su variabilidad se distribuye en función a los elementos emergentes (en este caso a los sistemas orográficos del terreno, campos magnéticos terrestres, vientos, lluvias, descargas atmosféricas, granizos) que interactúan dentro de escala temporal de su actividad. Tradicionalmente las normales climatológicas se han centrado en el valor medio de un elemento climático analizado estadísticamente durante un período de tiempo; considerado 10 años como mínimo y con más seguridad en 30 años. Cabe aclarar de ese modo que en determinadas muestras sobre estos pasillos, se pudo observar pequeños desplazamientos de algunos kilómetros, variables entre 10 a 20 km, a la izquierda y la derecha del eje longitudinal (considerado al eje principal del pasillo a una traza continua de descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> observadas con mayor frecuencia en distintas muestras satelitales). Se puede deducir que la variabilidad temporal de probabilidad de activaciones de Tormentas Severas se puede dar por ejemplo en algunas ocasiones sobre la ciudad de Mariano Roque Alonso, otras veces en Asunción y otras veces sobre el Sistema de Transmisión de 500 kV, en el Bajo Chaco paraguayo. Siendo estos lugares de actuaciones, fluctuaciones de una misma condición de variabilidad temporal correspondiente al mismo pasillo o trayecto tormentoso. Sobre este hecho la *Organización Meteorológica Mundial (OMM)* afirma que “*lo que podría parecer una tendencia sostenida durante el período más reciente de un registro climático podría formar parte de una oscilación lenta relacionada con variaciones multidecenales que no pueden apreciarse claramente debido a que el intervalo de tiempo de dicha tendencia sostenida es solo una parte de la oscilación total, o porque se conoce la naturaleza de la serie proyectada para el futuro*”.

#### 4.4.1 Los Campos Magnéticos en las Tormentas Severas

Los campos magnéticos terrestres [10] pueden ser considerados dentro de esta investigación, como elementos influyentes en la variabilidad de aparición y de ubicación de las Tormentas Severas. Veamos como sigue: La región de Paraguay, Sur del Brasil y Norte de Argentina es considerada como la cuarta región del mundo con mayor densidad de tormentas, cuyos rayos a nivel global afectan al año a 0,6 personas por cada millón de habitantes. Sin embargo esta región de acuerdo al *Modelo de Campo Magnético Mundial* [11] dentro de esta región se halla lo que se denomina la *Anomalía Magnética del Atlántico Sur* [12] en donde el campo magnético terrestre tiene valores inferiores a la mitad de la intensidad del promedio del planeta que implica mayor vulnerabilidad a radiaciones exteriores.

##### 4.4.1.1 Sus características

El campo magnético terrestre puede ser representado en cualquier punto por un vector tridimensional. Su ángulo con respecto al norte geográfico se denomina declinación. Apuntando hacia el norte magnético el ángulo que el campo mantiene con la horizontal es la inclinación. La intensidad (F) del campo es proporcional a la fuerza que se ejerce sobre el imán. La expresión variación magnética equivale a declinación (magnética). Se sabe por centros de monitoreo magnéticos mundiales que las desviaciones del campo magnético principal son variables y constituyen el 6 % de la intensidad total del campo magnético de la Tierra. La declinación magnética no es siempre de igual valor en el mismo punto y de un día para otro. En la mayoría de los sitios la causa de la variación es el flujo interno del núcleo de la Tierra. En algunos casos se debe a yacimientos subterráneos de hierro, o de magnetita en la superficie terrestre, que contribuyen fuertemente a la declinación magnética.

##### 4.4.1.2. Magnetización remanente en las rocas

El campo magnético terrestre (también llamado campo geomagnético), es el campo magnético que se extiende desde el núcleo interno de la Tierra hasta el límite en el que se encuentra con el viento solar; sin embargo, cambia con el tiempo porque se genera por el movimiento de aleaciones de hierro fundido en el núcleo externo de la Tierra. Las rocas sedimentarias (areniscas) y en las rocas basálticas que contienen óxidos de hierro guardan la dirección del campo magnético denominado magnetización remanente [13], o remanencia que también magnetiza la corteza terrestre que es la base de la magneto estratigrafía.

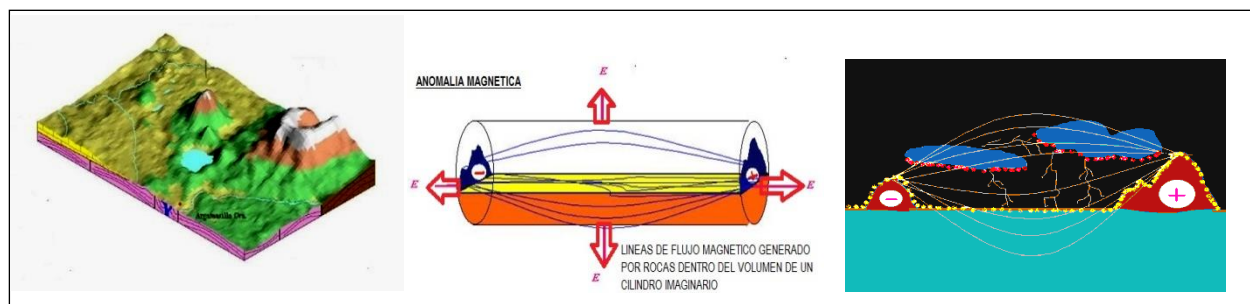


Figura 4: Remanencia magnética en rocas de montañas

##### 4.4.1.3 Las fuerza de magnéticas en las nubes tormentosas

Por otro lado, sabemos que si consideramos a unas cargas en movimiento, ya sea de forma individual o colectivas (corrientes eléctricas) estas son capaces de crear un campo magnético en su entorno. Sin embargo consideremos ahora el desplazamiento de unas nubes de tormenta. Dentro de éstas existen cargas positivas y negativas que crean campos eléctricos enormes, no obstante, sabemos por la ecuación de la fuerza magnética " $F_m$ " es igual a la carga en movimiento " $q$ " que multiplicada por su velocidad " $v$ " en un campo magnético " $B$ " y multiplicado por el ángulo formado entre " $B$ " y la dirección " $v$ " de la velocidad de la carga. En este caso, las líneas de campo magnético serán tenidas en cuenta a *las líneas de variaciones del*

*magnetismo terrestre o declinaciones magnéticas* ubicadas en el mapa del *Modelo de Campo Magnético Mundial* corroboradas dentro de la región denominada de *Anomalía Magnética del Atlántico Sur* que casualmente se halla dentro del área de investigación. La ecuación anterior nos dice que si la carga albergada dentro de una nube de tormenta que es positiva o negativa, estas se encuentran en movimiento relativo debido al desplazamiento de la nube. Consideramos que la nube ingresa dentro de ciertas regiones de líneas de campo magnético terrestre en el cual estas se mueven en la misma dirección de las líneas magnéticas entonces la fuerza magnética “ $F_m$ ” actuando sobre la carga es cero. Sin embargo si las nubes ingresan dentro de estas líneas de campo magnético de manera perpendicular la magnitud de la fuerza magnética “ $F_m$ ” es máxima. Para encontrar la dirección de la “ $F_m$ ” actuando en la carga “ $q$ ” se utiliza la regla de la mano derecha. La fuerza magnética hace cambiar la trayectoria de la carga “ $q$ ” dentro del campo magnético que dobla su trayectoria y lo hace atraer hacia su centro doblando su trayectoria aún más, actuando así una fuerza magnética centrípeta constante en cada punto de su trayectoria dentro de la región anómala de campo magnético considerado, en donde se producen trayectorias en espiral o circular en la región en estudio. Se deduce que la carga “ $q$ ” en esa región de campo magnético *permanece retenida*, así como la energía de la carga permanece constante y por lo tanto su velocidad. Entonces en una nube de tormenta conteniendo cargas positivas y negativas estas son retenidas en una misma dirección en donde aparecen las líneas de campo magnético y por ende fuerzas magnéticas diferentes actuando sobre cada carga en particular, formando trayectorias en espiral o circular en direcciones contrarias. Así podemos dar una explicación de los pasillos longitudinales de tormentas severas y sobre la aparición de rayas de vientos violentos y mayores frecuencias de caídas descargas eléctricas sobre ciertas áreas observadas de manera estadística en donde la variabilidad de esas tormentas se vuelve más caótica e intensa.

#### 4.5 El Pasillo de Tormenta Severa sobre el Sistema de Transmisión de 500 kV

Por otro lado es observada en las muestras, a otro tipo magnetización terrestre. Las rocas que forman parte de los cerros dentro de la orografía paraguaya, en gran parte de esta región son rocas basálticas que contienen gran cantidad de óxidos de hierro que durante miles de años guardan y registran la dirección de un campo magnético denominado como de *magnetización remanente*. Las líneas de campo magnético que se generan en dos montañas actúan como si fuesen un dipolo magnético, uno positivo y otro negativo imantadas remanentemente por el flujo del campo magnético principal y/o secundarios de la tierra, en cuya dirección y trayecto también son entretenidas y alineadas en las nubes tormentosas que definimos con anterioridad. Así en las muestras satelitales se las ubican con esta dirección y alineadas a partir de la ciudad de *Posadas (Argentina), Encarnación, Cap. Miranda, Trinidad, Hohenau, Obligado, Cap. Meza, Pirapo, Cordillera de San Rafael, Cordillera del Ybyturu, Tavai, Abai, San Juan de Nepomuceno, Gral. Garay, Ñumi, Villarrica, Yataity, Mbocayaty, Valenzuela, Piribebuy, Caacupé, Areguá, Luque, Aeropuerto de Asunción, Mariano R Alonso, Subestación Villa Hayes y Líneas de Transmisión en el Bajo Chaco, Río Pilcomayo, finalizando en la Cordillera de los Andes*. No obstante como habíamos dicho, este pasillo en particular se halla generada por rocas basálticas magnetizadas desde hace millones de años entre dos montañas, como si fuesen dipolos magnéticos las que fueron magnetizadas por las desviaciones del campo magnético principal, activando desviaciones de las líneas de campo magnético que muchas veces se encuentran a escasos km de distancia, debidas a las pulsaciones magnéticas desde el núcleo magnético terrestre.

199

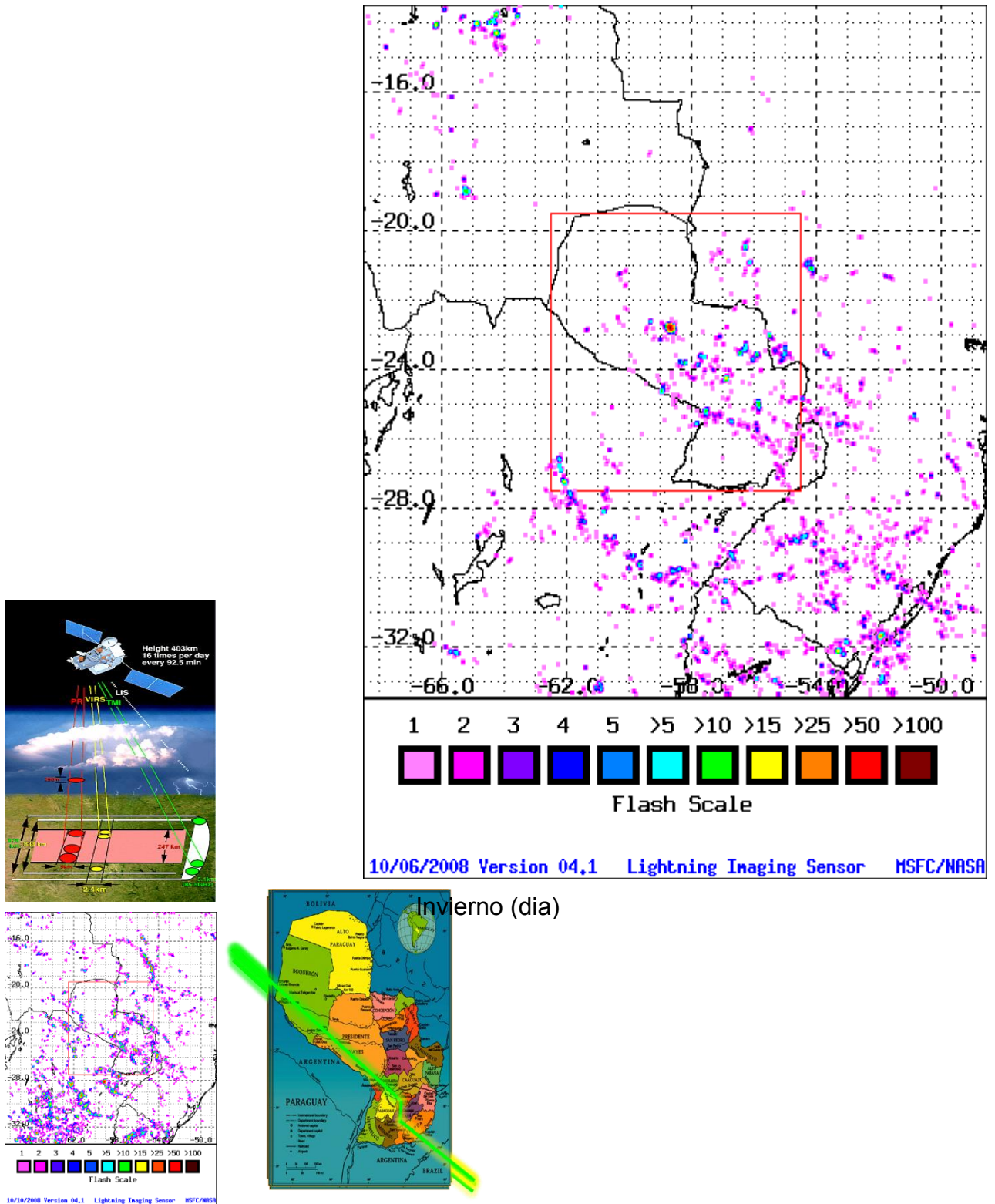


Figura 5: Muestras de descarga atmosférica satelital e identificación del pasillo de tormenta



## 5. EVALUACIÓN DEL RIESGO SOBRE EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 500 KV ANALIZADO

Aunque todos los riesgos pueden ser evaluados y reducidos si se emplean los suficientes recursos (hombres, tiempo de dedicación, material, etc.), éstos son siempre limitados. El *Nivel de Riesgo (NR)* queda clasificado por la *Norma española de Seguridad NTP 330* [14] como en función del *Nivel de Probabilidad (NP)* y del *Nivel de Consecuencias (NC)*. Dentro de esta Norma el nivel de consecuencia es obtenido de la *Tabla de Consecuencias*, y obtenemos un Nivel del tipo **GRAVE**, debido al incidente registrado en la Subestación Villa Hayes, que fue ocasionado por una Tormenta Severa donde predominaron ráfagas de vientos violentos que causaron el fuera de servicio del Sistema de Trasmisión de 500 kV. Este tipo de evento es calificado en el Nivel de Consecuencias con un puntaje de 25 puntos. Sobre el *Nivel de Probabilidad (NP)* la norma califica con un puntaje de 18 puntos y corresponde a una calificación de **ALTA PROBABILIDAD**, ya que la exposición ante esta amenaza es observada de manera frecuente en periodos estivales y la materialización del riesgo es posible y puede ocurrir varias veces en el ciclo de vida útil de los equipos instalados. Así la Norma de Seguridad española **NTP 330** con estos dos valores nos da un **Nivel de Riesgo de Nivel II** que nos indican que a los Sistemas de Transmisión en el Bajo Chaco, son necesarios corregir o de mejorar sus medidas de mitigación ante este fenómeno climatológico, aunque estas se manifiesten en tiempos cortos o moderados.

## 7. CONCLUSIÓN

Con este trabajo se logra mapear la trayectoria de los Pasillos de Tormentas Severas en territorio paraguayo, en el cual se observa que afectan a parte del Sistema de Transmisión de 500 kV, así como otras instalaciones eléctricas del SIN. Este trabajo se focalizó al Sistema de Transmisión en 500 kV atendiendo que es la tercera obra de infraestructura más importante del país, después de las hidroeléctricas de ITAIPU y Yacyretá. En esta investigación se aportaron datos de 17 años de muestreos de descargas atmosféricas y desde la base de datos del Satélite Meteorológico TRMM, en donde se muestra que la cantidad de descargas atmosféricas en esta zona de Sudamérica es un buen indicador de formación en la severidad de las tormentas. Según la evaluación de los riesgos basados en las Normas de Seguridad NTC-OHSAS 18001 y la Norma española NTP 330 se puede afirmar que el nivel de riesgo que incide en el Sistema de Transmisión de 500 kV del Paraguay en la zona del Bajo Chaco es de **Nivel de Riesgo II**, por lo tanto llevando en consideración las Normas mencionadas se hace necesario alertar y dar a conocer la presencia de este fenómeno natural, considerando que afecta a instalaciones eléctricas muy importantes del SIN paraguayo, así como para tener en cuenta futuras ubicaciones de Sistemas de Transmisión de energía eléctrica y reforzar sus sistemas de seguridad antes vientos y descargas atmosféricas atribuibles a Tormentas Severas.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Administración Nacional de Electricidad ANDE // <http://www.ande.gov.py>
- [2] Eco regiones del Paraguay // <http://www.paraguayconvention.org.py>
- [3] Sistema de Transmisión en 500 kV del Paraguay.// Libro Itaipú Binacional.
- [4] Cambio climático 2014 -**Impactos, adaptación y vulnerabilidad** // [http:// www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- [5] IEC 60826:2003-10 Design Criteria of Overhead Transmission Lines - third edition
- [6] OHSAS 18001:2007 Sistema de Gestión en Seguridad y Salud Ocupacional – Requisitos
- [7] Guía de Prácticas Climatológicas OMM No100 Edición 2011 Organización Meteorológica Mundial (OMM) CH-1211 Ginebra 2, Suiza/[www.wmo.int](http://www.wmo.int)
- [8] Lightning & Atmospheric Electricity Research // <http://thunder.msfc.nasa.gov>
- [9] Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM // <http://thunder.msfc.nasa.gov>
- [10] Campo Magnético Terrestre // <https://es.m.wikipedia.org>
- [11] Modelo de Campo Magnético Mundial // <http://www.noaa.gov>
- [12] Anomalía Magnética del Atlántico Sur // <http://www.noaa.gov>
- [13] Magnetismo Remanente - Wikipedia //<https://es.m.wikipedia.org>
- [14] NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente/ Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales/año 2011