

APLICACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Propuesta del programa S-GeMS para el análisis estadístico espacial de fallas en alimentadores soterrados de 13,8 kV

Proposed S-GeMS program for statistical analysis of failure space of 13.8 kV underground feeders

Boris Alba - Valle
José Ángel Martínez - Barbado

Recibido: Octubre del 2010
Aprobado: Noviembre del 2010

Resumen / Abstract

Actualmente, el sistema soterrado de Ciudad de La Habana, carece de herramientas gráficas de trabajo con las cuales poder visualizar zonas con alta incidencia de fallas en alimentadores de 13,8 kV y que permitan tomar decisiones ciertas en cuanto a los tramos de alimentadores a reparar o sustituir por su deterioro. En este trabajo se propone el uso de los programas S-GeMS (Stanford Geostatistical Modeling Software) y Autocad como herramientas para el análisis estadístico espacial de la cantidad de fallas. Se realiza, en lo fundamental, el estudio de toda la documentación referente a las aplicaciones del programa S-GeMS y la Base de Datos de la cantidad de fallas del 2007 al 2009, de los alimentadores de 13,8 kV perteneciente a la Unidad Empresarial Básica (UEB) Soterrada. Finalmente se muestran, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos con su aplicación al determinarse la dirección preferencial de distribución de la cantidad de fallas.

Palabras clave: programa, análisis estadístico espacial, cantidad de fallas, alimentadores soterrados de 13,8 kV.

Nowadays, the Havana City underground system, lacks of graphical working tools which not only allow to visualize high faults incidence areas in 13,8 kV feeders but also make good decisions in reference to the feeder sections to be repaired or substituted due to their impairment. The use of S-GeMS (Stanford Geostatistical Modeling Software) and Autocad programs as tools for the spatial statistic analysis of faults quantity is proposed in this article. The study of the whole documentation related to the S-GeMS program applications is carried out as well as the Underground Management Basic Unit (UEB) 13,8 kV feeders faults quantity database from 2007 to 2009. Finally, the results after determining the faults quantity distribution preferential address with the program application are shown, as an example.

Key words: program, spatial statistic analysis, faults quantity, 13,8 kV underground feeders.

INTRODUCCIÓN

El programa S-GeMS se basa en la geoestadística, o sea, el estudio estadístico espacial de fenómenos físicos, o como se define en el documento especializado [1] "Aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales".

La ciencia de la geoestadística ha encontrado disímiles aplicaciones en la minería, meteorología, agricultura, climatología, entre otros [1].

En este sentido, se busca implementar esta ciencia, con el uso del programa S-GeMS, referente al estudio espacial de la distribución de la cantidad de fallas en alimentadores de media tensión 13,8 kV del sistema soterrado de Ciudad de La Habana.

Basado en el manual de uso del programa [2-3] se propone un procedimiento a seguir por los usuarios, de forma tal que simplifique el proceso del análisis a desarrollar.

Siguiendo este procedimiento se incorpora la información de la base de datos obteniéndose una distribución espacial de la cantidad de fallas contenidas en una zona previamente seleccionada con la ayuda del programa Autocad.

Posteriormente, se pueden realizar análisis estadísticos univariados, bivariados y de continuidad espacial [1]. La investigación se enfoca fundamentalmente en esta última variante por ser el aporte fundamental del programa.

Con el estudio de la continuidad espacial de la cantidad de fallas se puede observar el comportamiento en el espacio de cada indicador de la base de datos o sus combinaciones, que a los efectos del programa se le llama *propiedad*.

El análisis realizado a modo de ejemplo parte, única y exclusivamente, de la información de la Base de Datos de alimentadores de 13,8 kV creada y suministrada por el Departamento Técnico de la UEB Soterrada [4]. De ella sólo se tomaron, como muestra, los años del 2007 al 2009 por su representatividad en cuanto a información y actualidad, obteniéndose un total de 700 fallas.

Como el programa realiza el análisis sobre un área determinada se decide escoger la zona que ocupan los alimentadores de la Red Este y Oeste incluyendo otros que, aunque no pertenecen a estas redes, si se encuentran en esa región.

Teniendo en cuenta lo anterior, y que en la Base de Datos no se declaran correctamente algunos indicadores de las fallas [4], se redujo la muestra, del total, a 256.

Entre los municipios aludidos en esta región se encuentran, fundamentalmente, Habana Vieja y Centro Habana. Es de resaltar que la mayor parte de las fallas muestreadas pertenecen a los alimentadores de Tallapiedra, subestación que es la que más problemas tiene actualmente [5].

El programa muestra una barra de colores que representa la cantidad de fallas ocurridas en una misma dirección o área, lo que da una idea de la concentración o repetitividad de estas.

PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL PROGRAMA S-GeMS

Durante el desarrollo del proceso se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Crear un sistema de ejes de coordenadas X y Y en el espacio. Puede ser elaborado en Autocad sobre un plano de Ciudad de La Habana lo más actualizado posible, tomando un punto de referencia, o utilizar cualquier otra variante que sea factible que abarque todas las zonas por las que se distribuyen los alimentadores del sistema soterrado en su cuadrante positivo.
2. Crear, a partir del eje de coordenadas convenido, un documento con la ubicación de todas las direcciones en las que hubo fallas, pudiendo ser la misma Base de Datos.
3. Crear un documento en formato de Documento de texto (*.txt.) con el siguiente formato [3]:

Título

Número de propiedades que hay en la Base de Datos incluyendo la de coordenadas.

Coordenada X

Coordenada Y

Las siguientes líneas contienen los nombres de las propiedades (un nombre de propiedad por cada una).

Cada una de las líneas restantes contienen los valores de cada propiedad (n valores por línea) separados por espacios o tabulaciones. El orden de las propiedades es el que se ha seguido cuando fueron dados sus nombres.

Se entenderá por propiedades las características de las fallas que se quieran analizar. Por ejemplo: fallas producto de la humedad, en cables, empalmes, entre otros. Cada valor declarado hace referencia a una dirección determinada (coordenada X y Y), y a una propiedad, así que básicamente se describen las características de esa propiedad en el espacio.

4. Rellenar el documento de texto con coordenadas de zonas o direcciones equidistantes entre si, de forma tal, que llene todo el espacio que se va a analizar con los valores de las propiedades en cero. Este paso cumple el objetivo de mejorar el análisis del programa.
5. Obtener los parámetros del Variograma correspondiente a cada propiedad. Este paso es fundamental para el estudio de la continuidad espacial que se realizará posteriormente.
6. Realizar el Krigado Ordinario. En este paso se muestran las zonas con una alta influencia de la propiedad analizada.
7. Llevar la imagen resultante al Autocad superponiéndola en la zona analizada del plano para que coincidan.
8. Analizar la información obtenida.

APLICACIÓN DEL PROGRAMA S-GeMS EN FALLAS DE ALIMENTADORES DE 13,8 kV

Un análisis previo de la base de datos muestra que en el año 2007 alguno de los indicadores seleccionados no se encontraban correctamente declarados. Este problema no apareció en los años posteriores. No obstante, los totales sobre los que se basa el análisis realizado variaron, teniendo en cuenta este problema.

Primeramente se creó un eje de coordenadas, en el programa Autocad, de dos dimensiones (X y Y) situado sobre un plano de Ciudad de La Habana, actualizado de forma tal que las direcciones de fallas a analizar se concentren en el primer cuadrante, con el objetivo de que todas las coordenadas tengan signos positivos (Paso 1).

Luego, basado en las coordenadas de las fallas y las características de estas (indicadores), relacionados en la base de datos (paso 2), se procede a crear el documento con formato txt. (Paso 3). En el Anexo 1 se muestra parcialmente, por su extensión, como queda conformado este documento de texto luego de realizado el cuarto paso para este primer ejemplo.

Una vez cargado el documento confeccionado en el programa S-GEMS si se lleva el resultado obtenido con la propiedad *cantidad de fallas* al plano de Autocad obtenemos la Figura 1 donde se pueden observar 145 fallas localizadas espacialmente y la repetitividad de estas llegando a completar las 256 muestreadas, en la zona de Ciudad de La Habana que abarca la Red Este y Oeste.

En dicha figura se aprecia también que las direcciones con más fallas son:

- Prado y San José (8)
- Antón Recio y Vives (8)
- Calos III y Oquendo (7)
- Escobar y Reina (7)
- Egido y Luz (6)
- Espada y Pocito (6)



Fig. 1. Fallas concentradas en la zona este y oeste del sistema soterrado de Ciudad de La Habana.

Aunque sólo se muestra la propiedad *cantidad de fallas*, este mismo análisis se puede extender a las demás que se declaran en el documento de texto como: las direcciones con más fallas por humedad, las direcciones con más fallas en empalmes o en cables, entre otros.

A pesar de que este análisis se puede realizar a priori observando detenidamente la base de datos, este programa aporta una serie de bondades como: el análisis del sentido de direccionamiento de las zonas con mayor concentración de fallas, como se muestra más adelante; estudio de correlaciones como la localización de las fallas en tres dimensiones (X, Y, Z) con la accidentalidad del terreno o en dos dimensiones (X, Y) con la densidad de circulación de los medios automotores.

En el caso de las correlaciones, la primera permite establecer la influencia de los recorridos de escurrimientos de las lluvias y zonas de inundaciones sobre las estadísticas de fallas, y en el segundo caso, la incidencia de las vibraciones o esfuerzos mecánicos. Lo anterior, aunque no se aborda en este trabajo, constituye potenciales estudios a realizar.

ZONAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN DE FALLAS DEL 2007 AL 2009

Para realizar el análisis del sentido de direccionamiento de estas zonas se debe seguir los pasos cinco y seis del procedimiento propuesto teniendo en cuenta:

- Propiedad a analizar.
- Cantidad de parejas de puntos muestreados en el terreno con una separación X entre ellos.
- Distancia X tomada como la más repetitiva entre los puntos muestreados
- Rango de seguridad con que se toma la distancia X.
- Ancho de banda que abarque toda el área de análisis.
- Tolerancia (ángulo direccional del análisis a partir del eje Y en sentido horario). Se escoge 90 para análisis omni-direccionales.
- Rango máximo, medio y mínimo de la elipsoide que abarque toda el área muestreada.

Una vez cuantificadas estas variables se procede a determinar los parámetros del Variograma, para posteriormente fijarlos en el análisis de Krigado Ordinario.

Para el ejemplo de la figura 2 se tomaron los siguientes valores de cada variable mencionada respectivamente: cantidad de fallas, 13, 150, 50, 10 000, 90 (omni-direccional) y 10 000 para máximo, medio y mínimo obteniéndose los siguientes valores del Variograma:

- Efecto Pepita: 0
- Contribución: 2,5
- Tipo de distribución: Exponencial
- Rangos máximo, medio y mínimo: 500

Los parámetros del Variograma varían en función de las características de la propiedad a analizar. No obstante, se puede extender el procedimiento para el análisis de otras que estén previamente declaradas en el documento txt. introducido al programa. El significado de cada uno de los parámetros del Variograma viene ampliamente explicado en la bibliografía consultada [1-2].

En las figuras de la 2 a la 12 se pueden observar las zonas con mayor concentración de fallas de la red este y oeste del sistema soterrado de Ciudad de La Habana teniendo en cuenta sus características, o sea, fallas según: la distribución anual, en cables o empalmes, tipo de aislamiento y producto de la humedad.

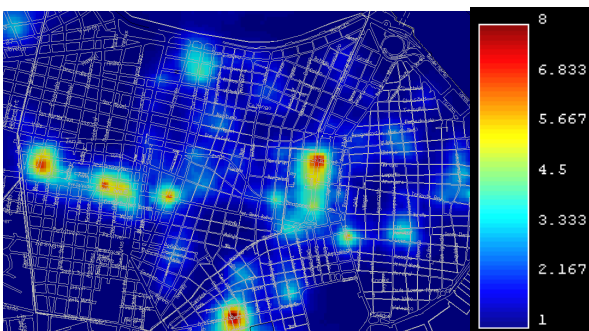


Fig.2. Zonas con mayor concentración de fallas del 2007 al 2009.

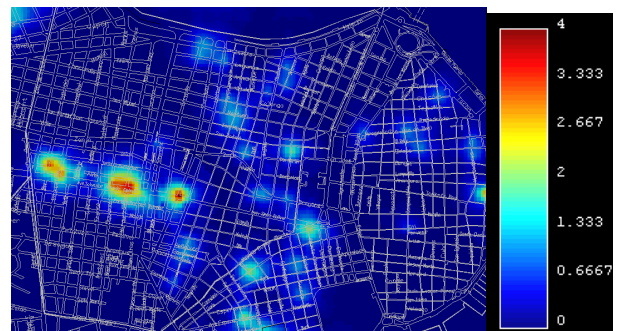


Fig. 3. Zonas con mayor concentración de fallas en el año 2007.

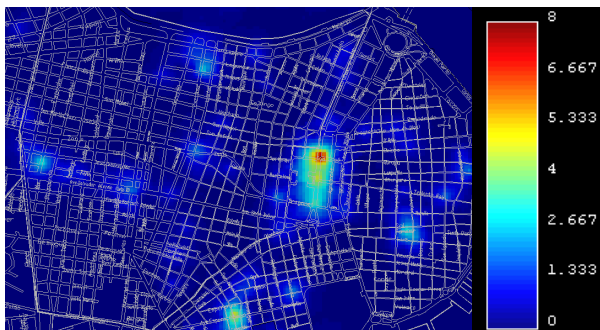


Fig. 4. Zonas con mayor concentración de fallas en el año 2008.

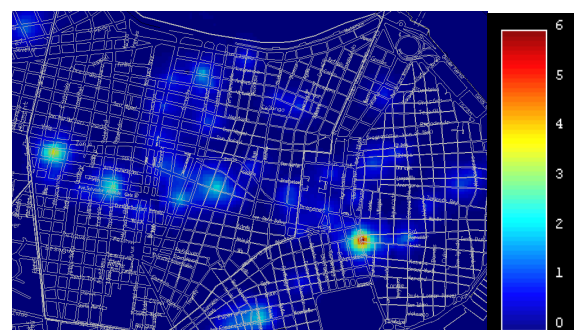


Fig. 5. Zonas con mayor concentración de fallas en el año 2009.

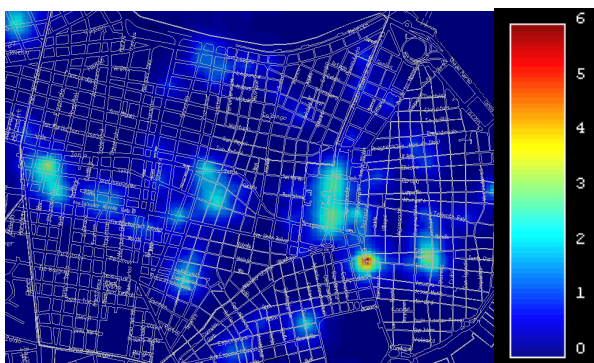


Fig.6. Zonas con mayor concentración de fallas en cables.

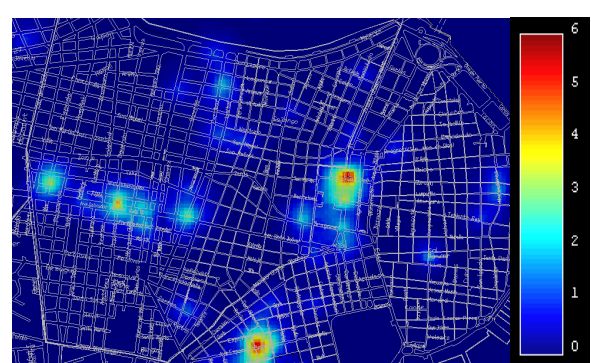


Fig. 7. Zonas con mayor concentración de fallas en empalmes.

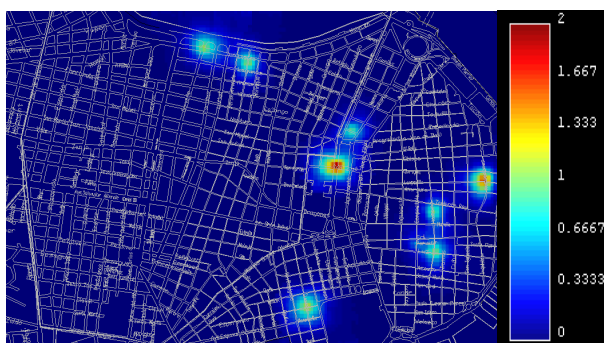


Fig. 8. Zonas con mayor concentración de fallas en cables o empalmes de EPR.

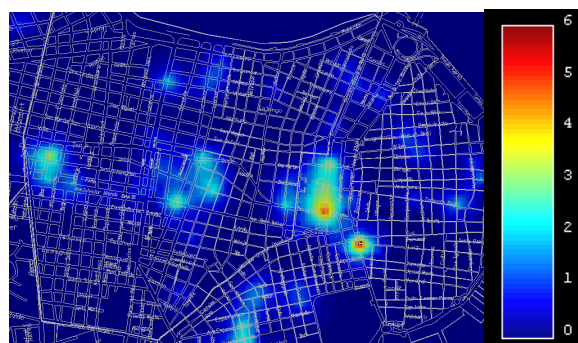


Fig. 9. Zonas con mayor concentración de fallas en cables o empalmes de PILC.

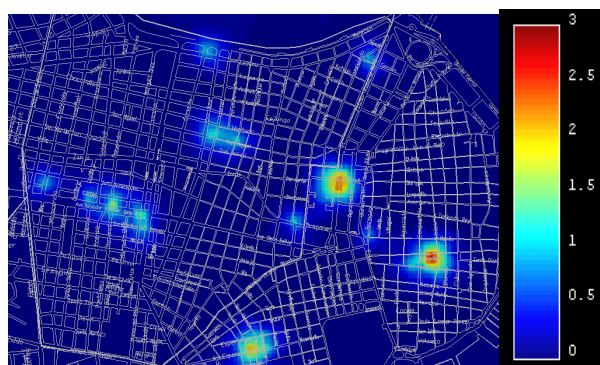


Fig.10. Zonas con mayor concentración de fallas en cables o empalmes de XLPE.

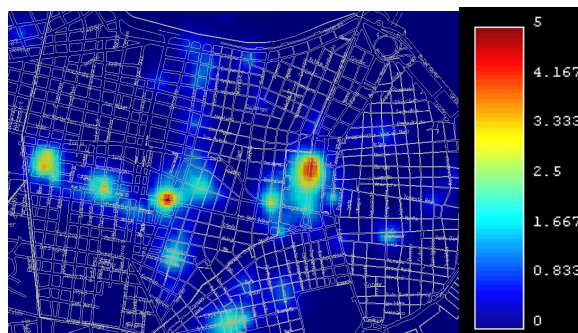


Fig. 11. Zonas con mayor concentración de fallas por humedad.

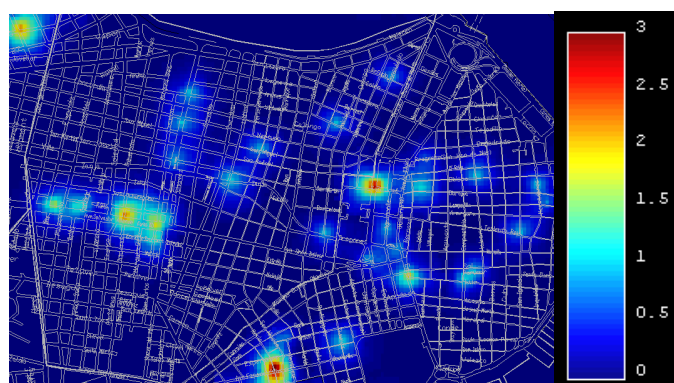


Fig. 12. Zonas con mayor concentración de fallas por aislamiento defectuoso.

Las conclusiones acerca de las imágenes mostradas son claras; las zonas en rojo son las más críticas según la escala de colores y en las azules oscuras no hubo averías.

Si se realiza un análisis detallado de las figuras anteriores con sus escalas se puede observar que la mayor cantidad de las fallas se concentra fundamentalmente alrededor de:

- Avenida Carlos III hasta principio de la calle Reina (Año 2007).
- Prado entre Reina y San Rafael (Año 2008).
- Antón Recio y Vives (Del 2007 al 2009).
- Luz y Egido (Año 2009).

Los principales problemas que afectan estas zonas se relacionan a continuación:

- Avenida Carlos III hasta principio de la calle Reina: por humedad en cables y empalmes con aislamiento de PILC (papel impregnado en aceite y con cubierta de plomo) y de XLPE (polietileno reticulado).
- Prado entre Reina y San Rafael: producto de la humedad en empalmes con aislamiento de PILC.
- Antón Recio y Vives: por problemas en el aislamiento de empalmes realizados en cables de PILC y XLPE.
- Luz y Egido: problemas de aislamiento en cables con aislamiento de PILC.

Las dos primeras zonas mencionadas coinciden con avenidas que tienen una alta circulación del transporte que pudiera estar provocando junto con las altas temperaturas existentes, a corto o largo plazo, deterioro mecánico en la cubierta exterior de los alimentadores permitiendo el paso de la humedad que finalmente conllevaría a la falla del aislamiento; sobre todo si el soporte de los cables no es el adecuado.

Este deterioro mecánico se evidenciará fundamentalmente en los alimentadores más rígidos y antiguos (cables con aislamiento de PILC) y en los empalmes por ser el componente más sensible del alimentador, aún más si existe una mala confección de estos últimos.

Llama la atención que en la figura 8 los cables y empalmes con aislamiento tipo EPR (goma de etileno propileno) tienden a fallar pocas veces con respecto a los demás y cuando lo hacen ocurre en áreas cercanas a la bahía de La Habana (zonas bajas) o lugares con un alto índice de fallas por humedad (posibles depresiones del terreno) como la intersección de Prado y San Rafael.

También es posible realizar un análisis del comportamiento de las fallas en un alimentador en específico en toda su trayectoria aplicando la misma metodología propuesta con el programa, logrando de esta manera un resultado más específico.

ZONAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN DE FALLAS DEL ALIMENTADOR VEDADO 8 DEL 2007 AL 2009

En este caso se escoge el alimentador de 13,8 kV denominado Vedado 8 debido a su alto índice de fallas, con el objetivo de mostrar que el área seleccionada para el análisis puede variar en dependencia de las necesidades requeridas.

En las figuras de la 13 a la 19 se pueden observar las zonas con mayor concentración de fallas del alimentador Vedado 8 perteneciente al sistema soterrado de Ciudad de La Habana teniendo en cuenta sus características, o sea, fallas según: la distribución anual, en cables o empalmes, tipo de aislamiento y producto de la humedad.

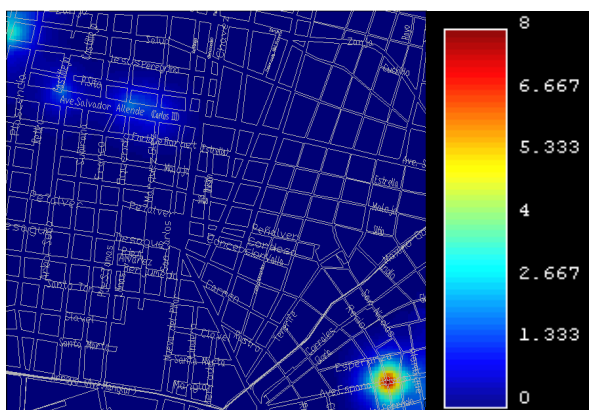


Fig.13. Zonas con mayor concentración de fallas en el 2007 al 2009.



Fig. 14. Zonas con mayor concentración de fallas en el año 2007.

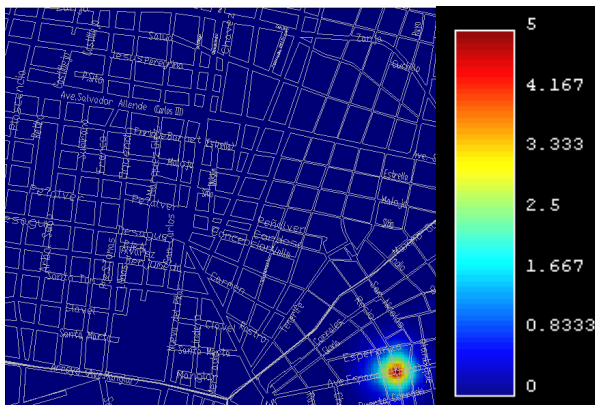


Fig. 15. Zona con mayor concentración de fallas en el año 2008.

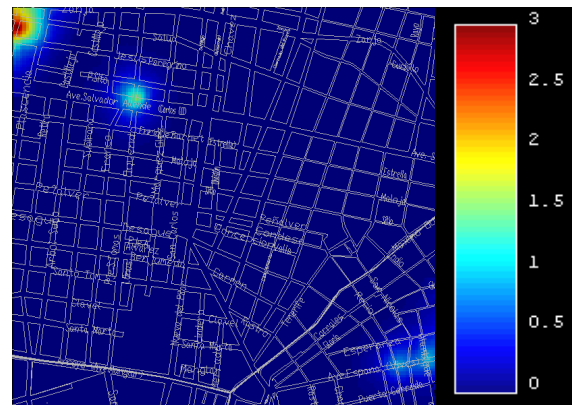


Fig.16. Zonas con mayor concentración de fallas en el año 2009.

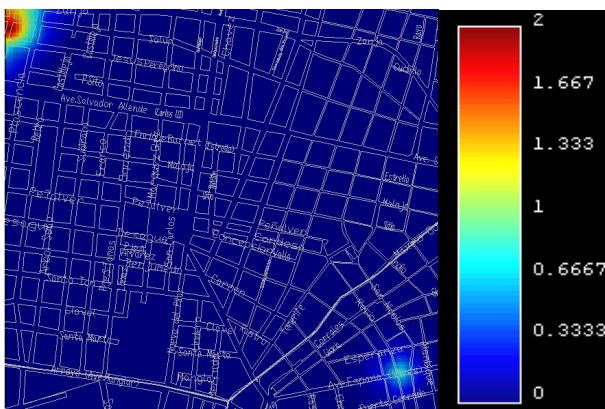


Fig.17. Zonas con mayor concentración de fallas por cables.

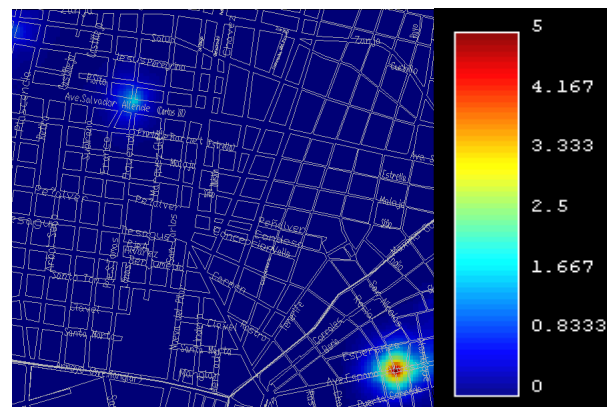


Fig.18. Zonas con mayor concentración de fallas por empalmes.

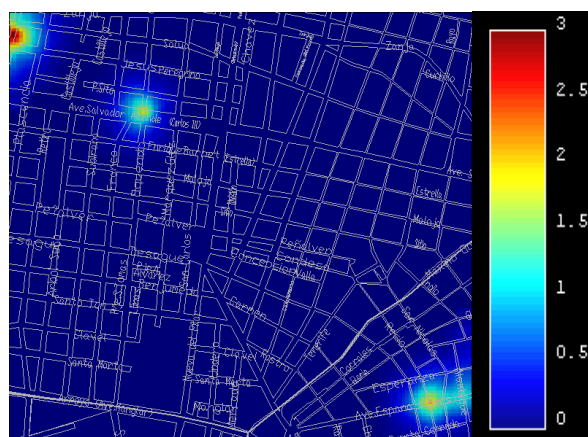


Fig. 19. Zonas con mayor concentración de fallas por humedad.

Analizando detalladamente las figuras anteriores con sus escalas se puede observar que la mayor cantidad de las fallas en este alimentador se concentra fundamentalmente alrededor de:

- Avenida Carlos III (Año 2007 y 2009).
- Antón Recio y Vives (Acumulado de 2007 y 2008).

Las características de estas fallas en estas dos direcciones se corresponden con las mencionadas en el acápite anterior.

CONCLUSIONES

La aplicación de este programa geoestadístico ha permitido identificar direcciones y zonas con altos índices de fallas, las cuales al quedar asociadas estadísticamente, indican una dirección preferencial de ocurrencia de las mismas. En consecuencia, constituye una herramienta valiosa que complementa los requerimientos necesarios para la toma de decisiones, al orientar y establecer prioridades a la hora de abordar los planes de mantenimiento e inversiones.

REFERENCIAS

- [1] CASSIRAGA, Eduardo. *Geoestadística* [CD-ROM]. Valencia: [consulta: 19 de junio de 2009].
- [2] REMY, Nicolás. *Geostatistical Earth Modelling Software: User's Manual* [en línea]. EUA: may 2004, [consulta: 19 de junio de 2009]. Disponible en Web: <http://pangea.stanford.edu/~nremy/GEMS/>.
- [3] CASSIRAGA, Eduardo. *S-GeMS Stanford Geostatistical Modelling Software* [Material gráfico proyectable]. Valencia: DIHMA, 2009.
- [4] TORREZ RUÍZ, Lázaro. Fallos en cables primarios [disquette]. La Habana: Miriam Plana, publicación: enero de 2002, revisión: julio de 2010, [consulta: diciembre de 2010].
- [5] ALBA VALLE, Boris. "Identificación de las principales causas de fallas en los alimentadores de 13,8 kV del sistema soterrado de Ciudad de La Habana". En: Memorias del XVII Forum de Ciencia y Técnica de la Empresa Eléctrica de La Habana, 15 de julio de 2010.

AUTORES

Boris Alba Valle

Ingeniero Electricista, Facultad de Eléctrica, Instituto Superior José Antonio Echeverría, Cujae La Habana, Cuba.

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

José Ángel Martínez Barbado

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas Facultad de Eléctrica, Instituto Superior José Antonio Echeverría Cujae, La Habana, Cuba.

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

ANEXO

Conformación del documento de texto (txt.) con fallas reportadas del 2007 al 2009 en alimentadores de 13,8 kV del sistema soterrado de Ciudad de La Habana.

Continuación

Fallas alimentadores 13,8 kV 2007 – 2009

13	21162	21520	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Eje X	21142	22172	2	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0
Eje Y	21363	22394	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cantidad de fallas	20583	21539	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cantidad de fallas por humedad	20754	22611	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Cantidad de fallas por aislamiento defectuoso	20997	22427	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
Cantidad de fallas en cables	19975	22374	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cantidad de fallas en empalmes	20034	22281	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cantidad de fallas en aislamientos de PILC	20095	22651	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Cantidad de fallas en aislamientos de XLPE	20006	22205	2	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
Cantidad de fallas en aislamientos de EPR	19631	21170	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Cantidad de fallas en el 2007	19689	21349	2	2	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0
Cantidad de fallas en el 2008	19722	21443	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Cantidad de fallas en el 2009	19747	21514	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
20725	21749	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0		
20423	21314	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
21487	21834	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
21075	22040	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20510	21518	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
20400	22033	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
20368	21722	4	3	0	1	2	2	1	0	1	2	1		
20361	21501	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
20381	21873	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	
20375	21815	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	
19870	22561	3	1	1	1	2	1	0	0	0	3	0		
19812	22571	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
20355	22473	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
20180	21009	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	
20175	21038	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	
20190	20957	2	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	2	
20167	21085	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	
20159	21122	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	
20210	20796	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
20205	20882	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
20110	20824	3	1	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	
20088	20939	8	2	0	1	5	2	2	0	2	5	1		
18995	21704	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19013	21826	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	
21732	21908	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
19512	22125	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	
19515	22089	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
19595	22529	2	1	0	1	1	2	0	0	0	1	1		
19552	22355	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
19450	21686	2	2	0	1	1	0	1	0	1	0	1		
19457	21728	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
20812	22508	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0		
21161	21452	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
21161	21479	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0		
21161	21491	4	4	0	1	3	0	1	1	0	1	3		
	20452	21467	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0