

SEGUNDA PARTE

VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES DE FUNCIONAMIENTO DEL DMQ

La capacidad de transmisión de la vulnerabilidad de ciertas porciones del espacio metropolitano al conjunto del territorio es mayor allí donde la vulnerabilidad espacial es elevada, donde son numerosos los elementos esenciales para el funcionamiento del Distrito, pero también donde tales elementos son vulnerables. Por ello, después de los cruces espaciales que permitieron una primera lectura de la vulnerabilidad del DMQ y del contexto de vulnerabilidad espacial de los elementos esenciales, se debe estudiar específicamente la vulnerabilidad de los elementos esenciales en sí.

El análisis de la vulnerabilidad de elementos esenciales de funcionamiento va a proporcionar una segunda lectura de la vulnerabilidad del DMQ. Los tres primeros capítulos están dedicados a las redes: la vulnerabilidad del sistema eléctrico es tratada en el capítulo 5, la del sistema de abastecimiento de agua potable en el capítulo 6 y la de la movilidad en el capítulo 7. Basándose en una encuesta en 333 empresas, en el capítulo 8 se analiza la vulnerabilidad de la economía quiteña y, finalmente, el capítulo 9 examina las diferentes formas de vulnerabilidad de la población del DMQ.

1. Un sistema frágil y «fragilizador»

El abastecimiento de energía eléctrica es vital para una ciudad y, al mismo tiempo, las redes eléctricas son en sí extremadamente frágiles, vulnerables, y ello independientemente de toda intervención de un fenómeno exterior, tal como un terremoto o una erupción volcánica. Así, tales redes tornan vulnerable el funcionamiento de las ciudades como lo muestran numerosos ejemplos recientes.

El año 2003 fue particularmente fecundo en grandes apagones que afectaron a muchos países, en especial a algunos de alto nivel de vida. El 3 de febrero toda Argelia se encontró en la oscuridad debido a un daño en la principal central eléctrica. El 29 de agosto una avería de la red de electricidad al Sur de Londres provocó un verdadero caos en los transportes públicos. El 23 de septiembre 4 millones de

personas se vieron privadas de energía eléctrica en la región fronteriza entre Suecia y Dinamarca. Una semana más tarde, el 28 de septiembre, en toda Italia se perdió el control del abastecimiento eléctrico durante varias horas. Más espectacular todavía, el 14 de agosto el Noreste de los Estados Unidos y gran parte del Canadá fueron afectados por la falla eléctrica más importante experimentada en América: 50 millones de personas fueron víctimas de ello durante cerca de 30 horas, se decretó el estado de emergencia en varios estados y se paralizaron la mayor parte de actividades.

Si bien 2003 puede ser considerado como uno de los años más reveladores de la vulnerabilidad de los sistemas eléctricos, no constituye una excepción. La historia de los grandes daños eléctricos es larga, pudiéndose citar en especial los que afectaron a los Estados Unidos y a varias de sus grandes ciudades

en 1977, 1996, 2001 y particularmente el 9 de noviembre de 1965 cuando 8 estados de la costa este y 30 millones de personas estuvieron sumidas en la oscuridad durante 14 horas. Muchos otros países y ciudades experimentaron gigantescas averías: Francia (1978 y 1999), Egipto (1990), Grecia (1993), Canadá (1998), Filipinas (1998, 2000), India (2001), etc.

El Ecuador no ha sido la excepción durante estos últimos años, habiendo sufrido también graves problemas ligados al abastecimiento y a la distribución de energía eléctrica. Si bien fueron de menor magnitud que los evocados, perturbaron durante meses el funcionamiento urbano con consecuencias importantes sobre todo en la economía del país. Se pueden señalar los innumerables racionamientos de energía que se produjeron en el periodo 1991-1997 y particularmente en 1995. Esta crisis energética que amenazó con reproducirse en 2001 y 2003 está ligada a la vez a los periodos de estiaje (aproximadamente entre octubre y marzo) que afectan a las centrales hidroeléctricas, en especial a la de Paute, y a los retrasos de los Planes Nacionales de Electrificación desde inicios de los años 1980 (Guerrero, 2001). El 1 de marzo de 2003 una falla en el sistema de transmisión eléctrica que abastece al Sur de Colombia tuvo repercusiones en el Ecuador. Gran parte del sistema eléctrico ecuatoriano colapsó y una importante superficie del país (la Costa especialmente) estuvo privada de energía eléctrica durante algunas horas. En febrero de 2001 la caída de un árbol sobre la línea de alta tensión de la EEQ que bordea al Pichincha originó el desabastecimiento de

gran parte de la capital ecuatoriana durante más de dos horas. Más grave aún fue el evento del 25 de junio de 2003 vinculado a la falla de un relé diferencial en la subestación Transelectric Santa Rosa. Durante varias horas no solamente una gran parte del DMQ fue afectada sino también varios sectores de las provincias de Pichincha, Imbabura y Carchi. Otros cortes de energía más o menos prolongados se produjeron con la caída de ceniza del volcán Guagua Pichincha en 1999 y sobre todo de El Reventador en noviembre de 2002, afectando a una gran parte del DMQ, particularmente al Norte y al Sur de Quito y a los valles. Fue necesaria más de una semana para reestablecer todo el sistema de servicio eléctrico.

Todos estos ejemplos ilustran la gran vulnerabilidad de los sistemas eléctricos. Las causas de los daños son múltiples, en ocasiones están ligadas a eventos externos al sistema: sequías (Ecuador), caída de ceniza (Quito), caída de árboles (Quito), sismos (un millón de personas privadas de energía eléctrica en enero de 1995 debido al sismo de Kobé en el Japón), tempestades (Francia, 1999), etc. Sin embargo, muy a menudo, son las propias debilidades del sistema las que los originan o multiplican los efectos de los fenómenos exteriores. Las debilidades que aparezcan más frecuentemente al analizar los ejemplos presentados son la antigüedad de las redes y de sus elementos esenciales, su inadecuación a la evolución de la demanda, un mantenimiento deficiente, dependencias demasiado marcadas (caso de países como Italia o el Ecuador donde parte del abastecimiento de energía eléctrica depende de otros

países), carencias humanas e institucionales, ineficacia de políticas nacionales y locales de manejo, etc. Además, las fuentes posibles de disfuncionamiento son numerosas debido, por una parte, a la gran extensión geográfica de las redes eléctricas (Coste, 1988) y, por otra, a la lógica misma de los sistemas que, en el caso del sistema eléctrico, ofrece su más clara expresión: de cada elemento (sobre todo cuando su papel es esencial) depende el funcionamiento de todo el conjunto. Un desperfecto de uno de esos elementos origina a menudo el fenómeno llamado «castillo de naipes» (o el efecto «domino»). Por ejemplo, una línea de alta tensión que experimenta una sobrecarga, sea cual fuere la razón, se coloca automáticamente fuera de tensión y la energía eléctrica, que no puede ser almacenada, es desviada hacia otras líneas. Esto puede provocar nuevas sobrecargas y por tanto nuevas puestas fuera de tensión y, en fin de cuentas, el colapso de la red, como una pila de piezas de dominó. Es, simplificando, lo que se produjo en 2003 en Italia, en Suecia y Dinamarca, en los Estados Unidos y el Canadá. Redes demasiado conexas¹ que solidarizan todo un espacio son consideradas vulnerables pues tienen un gran potencial de difusión de los desperfectos; en cambio, y es lo que hace falta a muchas redes eléctricas, una importante conectividad, que implica posibilidades de relaciones alternativas, es un medio para reducir la vulnerabilidad (Blancher, 1998).

Pero los efectos no se quedan allí y si un sistema eléctrico es muy frágil, es al mismo tiempo «fragilizado», e incluso agresivo², frente a los demás sistemas,

comenzando por las otras redes: de carreteras (dependencia de la electricidad de los sistemas de semáforos tricolor, del trolebús), de agua (por ejemplo estaciones de bombeo que inciden en los tanques y pozos en los barrios situados en altura), de telecomunicaciones (necesidad de energía eléctrica para las centrales telefónicas o para el funcionamiento de antenas de transmisión), etc. Los efectos se propagan también a otros elementos esenciales del funcionamiento del sistema urbano (hospitales, establecimientos escolares, empresas, instituciones. .) pudiendo acarrear graves problemas de orden económico, social y político.

En Quito (y de manera general en el Ecuador), las debilidades de los sistemas eléctricos son reveladoras de vulnerabilidades latentes, y el aumento y la diversificación de las necesidades de energía eléctrica van probablemente a exacerbar tales debilidades, pudiendo provocar verdaderas catástrofes bajo el efecto de deficiencias propias del sistema de abastecimiento o de fenómenos externos, sean estos de origen natural o antrópico. Estas debilidades, manifiestas o potenciales, justifican el análisis de la vulnerabilidad del sistema eléctrico del DMQ presentado a continuación.

¹ La conexidad de una red indica si es posible, a partir de cualquier nodo, alcanzar a los demás. La conectividad, en cambio, permite evaluar las posibilidades alternativas de llegar a los diferentes nodos (Plassard, 1992).

² según la expresión de Lucien Coste (1998).

2. Los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ

El análisis de la vulnerabilidad del sistema eléctrico se apoya en la identificación previa de sus elementos esenciales de funcionamiento. Estos presentan diferencias importantes en relación con aquellos identificados y analizados en el primer volumen (D'Ercole y Metzger, 2002). Una subestación (Pomasqui Transelectric) y nuevas líneas de alta tensión —Transelectric 230 kV (Pomasqui/Santa Rosa) y EEQ 138 kV (Pomasqui Transelectric/Pomasqui EEQ)— entraron en funcionamiento en 2003 dando al conjunto del sistema una lógica sensiblemente diferente. En términos de vulnerabilidad, la reciente extensión de la red tiende, como se verá más adelante, a reducir la vulnerabilidad del DMQ en relación con su sistema eléctrico. Además, se realizaron otras modificaciones: una localización precisa de las líneas de alta tensión Transelectric que abastecen a las subestaciones Santa Rosa y La Vicentina y una distinción entre las subestaciones Transelectric y EEQ de Santa Rosa, Pomasqui y La Vicentina.

El mapa 5-1 es por tanto la versión actualizada del mapa 9-5 del primer libro, elaborado siguiendo la misma lógica. La línea Transelectric Colombia/Pomasqui y Pomasqui/Santa Rosa (230 kV), al igual que la subestación Transelectric Pomasqui, se suman a la subestación Transelectric Santa Rosa y la línea Totoras/Santa Rosa (230 kV) en el grupo de elementos de primer nivel. En efecto, con la energía eléctrica traída desde Colombia, la alternativa que

constituyen estos elementos de la red frente al papel casi exclusivo que desempeñaba la subestación Santa Rosa les da una importancia mayor en el abastecimiento de energía eléctrica del DMQ.

El mapa 5-2, elaborado a partir de los datos actualizados de la red eléctrica, representa los elementos de mayor importancia del sistema eléctrico del DMQ. Siguiendo la lógica del primer libro, como elementos esenciales del sistema se conservaron los tres primeros niveles de la jerarquía presentada en el mapa 5-1. El radio de acción de los 36 elementos escogidos cubre espacios que corresponden por lo menos a varias parroquias urbanas o suburbanas³. Además de los elementos de primer nivel indicados antes, se trata.

- del Anillo Interconectado de Quito (138 kV), del anillo secundario articulado a partir del anterior (46 kV), y de las diferentes subestaciones (seccionamiento y/o distribución) que se ubican en su trazado;
- de las líneas de transmisión Mulaló/La Vicentina, Santo Domingo/Santa Rosa y Pomasqui Transelectric/Pomasqui EEQ;
- de la central de generación de energía Cumbayá.

³ El nivel 1 corresponde a los elementos que atañen a todo el Distrito, el nivel 2 a sectores extensos de la ciudad y del Distrito (por ejemplo el Norte de Quito, los valles orientales), el nivel 3 a elementos que tienen impacto en varias parroquias urbanas y suburbanas, el nivel 4 a un barrio o una porción de parroquia, y el nivel 5 a una o varias manzanas.

3. Vulnerabilidad intrínseca de los elementos mayores del sistema eléctrico

El análisis de las diferentes formas de vulnerabilidad de los 36 elementos, considerados esenciales para el abastecimiento de energía eléctrica del DMQ, fue realizado en el marco de una colaboración entre investigadores del IRD e ingenieros y técnicos de la EEQ y de Transelectric. Inicialmente se pone énfasis en la vulnerabilidad intrínseca, o, en otros términos, en las debilidades que pudieron observarse en cada elemento y que son capaces de ocasionar disfuncionamientos más o menos graves en el sistema eléctrico y de hecho en el Distrito.

La evaluación de la vulnerabilidad intrínseca se basa en tres criterios:

- las debilidades de los componentes indispensables para el funcionamiento de cada tipo de elemento. Para cada tipo se escoge un conjunto de componentes clave. Es así como en el caso de las subestaciones, por ejemplo, se consideraron los transformadores, los disyuntores, los relés, los seccionadores, los aisladores y las baterías, piezas indispensables para su funcionamiento. Al revelarse esenciales los tres primeros se les atribuyó un peso mayor en el análisis de vulnerabilidad. Se adoptó el mismo procedimiento en el caso de las líneas y la central Cumbayá (véase el cuadro 5-1). En el caso de cada uno de los componentes, los ingenieros y técnicos de las empresas eléctricas emitieron su criterio en cuanto a las

deficiencias que presentan o que pueden presentar (situación al primer semestre de 2003), siendo estas de diverso orden: antigüedad del componente y problemas de funcionamiento, riesgos de sobrecarga de una línea o un conector, desestabilización de postes eléctricos instalados en terrenos de fuerte pendiente, componentes instalados recientemente y aún no considerados confiables, etc.;

- la frecuencia de los problemas de todo orden que presentan las subestaciones, las líneas y la central. Las informaciones se basan en la experiencia de los ingenieros y técnicos durante estos últimos años y permiten distinguir los elementos que habitualmente no plantean problemas o muy pocos, aquellos que lo hacen a veces y aquellos que lo hacen con bastante frecuencia;
- la antigüedad del elemento considerado. Pese a que ciertos elementos, aunque antiguos, no causan actualmente problemas particulares, se consideró que la antigüedad constituye también un factor de vulnerabilidad. Más allá de los componentes esenciales de funcionamiento de un elemento dado, que por cierto pueden haber sido reemplazados, muchos otros, por su desgaste o por su antigüedad, son capaces de fraglizar toda la estructura

Cada uno de estos criterios obtuvo un valor cuya suma permitió establecer 5 niveles de vulnerabilidad intrínseca (véase el cuadro 5-1, que presenta la metodología y los resultados). Los resultados permitieron

Cuadro 5-1 - Vulnerabilidad intrínseca del sistema eléctrico del DMQ (metodología de evaluación)

	Transformador	Disyuntor	Relés	Seccionador	Baterías	Asiadores	Valor vulnerabilidad elementos	Valor experiencia antigüedad	Valor total	Nivel de vulnerabilidad
Subestaciones Transelectric	Santa Rosa						2	2	6	4
	Pomasqui						7	0	7	5
	La Vicentina						2	0	4	3
	Santa Rosa						2	1	5	4
	La Vicentina						2	1	5	4
Subestaciones EEQ	Selva Alegre						0	2	3	3
	Pomasqui						2	0	2	2
	SE 19						2	0	3	3
	Norte						0	0	3	3
	Epicachima						2	0	4	3
	San Rafael						4	0	6	4
	Eugenio Espejo						0	0	0	1
SE 18						0	0	0	1	
Sur						0	0	3	3	

	Torres o postes	Líneas	Conectores	Asiadores	Cable de pararrayos	Valor vulnerabilidad elementos	Valor experiencia antigüedad	Valor total	Nivel de vulnerabilidad
Líneas Transelectric	Santa Rosa Trans / La Vicentina Trans 138					2	1	5	4
	Mulaló / La Vicentina Trans 138					2	1	5	4
	Pomasqui Trans / Santa Rosa Trans 230					5	0	5	4
	Totoras / Santa Rosa Trans 230					0	0	1	2
	Santo Domingo / Santa Rosa Trans 230					1	2	5	4
	Colombia / Pomasqui 230					2	0	2	2
	Santa Rosa EEQ / Eugenio Espejo					0	1	1	2
	Eugenio Espejo / Selva Alegre					2	2	5	4
	Selva Alegre / SE19					0	2	3	3
	SE19 / Pomasqui EEQ					0	0	0	1
Líneas EEQ 138 Kv	Pomasqui / SE18					0	0	0	1
	Pomasqui Trans / Pomasqui EEQ					4	2	6	4
	Norte / La Vicentina EEQ					2	2	7	5
	Selva Alegre / Norte					0	2	5	4
	Líneas que bordean el aeropuerto					4	1	7	5
Líneas EEQ 46 Kv	Selva Alegre / SE19 Inter					0	1	3	3
	Epicachima / Selva Alegre					2	1	5	4
	Sur / La Vicentina EEQ					2	1	5	4
	Epicachima / Sur					2	1	5	4
	Santa Rosa EEQ / Epicachima					3	1	6	4
Santa Rosa EEQ / San Rafael					1	1	4	3	

	Líneas de captación	Reservorio	Tanque de presión	Tuberías de presión	Turbinas	Valor vulnerabilidad elementos	Valor experiencia antigüedad	Valor total	Nivel de vulnerabilidad
Central Cumbayá						0	0	4	3
	Generador	Cables de transmisión	Transformador						

La vulnerabilidad intrínseca corresponde a la suma de las vulnerabilidades de los componentes indispensables para el funcionamiento de cada elemento esencial del sistema eléctrico, la experiencia de los técnicos en lo que se refiere a los problemas planteados por cada elemento en el pasado y la antigüedad del elemento (fecha de creación). En gris, los componentes de los diferentes elementos considerados como los más importantes para su funcionamiento (en la valoración de la vulnerabilidad, su peso es doble en relación con los demás componentes). Aparecen en color naranja los componentes donde se destacaron problemas

Experiencia global técnicos

DIAGNOSTICO	VALOR
Sin problemas	0
Algunos problemas	1
Problemas frecuentes	2

Antigüedad del elemento

AÑO DE CREACIÓN	VALOR
1991 y siguientes	0
1981-1990	1
1971-1980	2
1961-1970	3
1951-1960	4

VALOR TOTAL VULNERABILIDAD INTRINSECA	NIVEL DE VULNERABILIDAD
0	1
1-2	2
3-4	3
5-6	4
7 y más	5

elaborar el mapa de vulnerabilidad intrínseca de los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ (mapa 5-3). Hay que puntualizar que estos resultados corresponden a la situación observada durante el primer semestre de 2003, pero esto no se refiere tanto a los dos últimos criterios sino específicamente al primero. En efecto, ciertos problemas identificados a nivel de los componentes pudieron resolverse después de la realización de este estudio, mientras otros han podido aparecer, lo cual justifica una actualización regular de los trabajos como los presentados en este libro.

El mapa y los datos muestran claramente que, por sus características propias, muchos elementos esenciales para el funcionamiento del sistema del Distrito son vulnerables. Es el caso de las subestaciones Trans-eletric y en especial de las subestaciones Santa Rosa y Pomasqui que garantizan una parte esencial del abastecimiento de energía eléctrica del Distrito. En Santa Rosa uno de los problemas mayores está ligado a los defectos de un relé diferencial que originó el gran apagón del 25 de junio de 2003 y cuyas causas no se conocían cuando se realizó la evaluación en el marco del presente trabajo. La estación Pomasqui, que entró en funcionamiento a inicios de 2003, no operaba al 100% al momento del estudio y se encontraba en período de prueba: se necesita al menos un año de funcionamiento antes de poder asegurar su confiabilidad. Varias otras subestaciones no están a salvo de fallas mayores (subestaciones EEQ Santa Rosa, La Vicentina y San Rafael cuyos disyuntores presentan puntos débiles ligados en especial a su antigüedad) Las líneas

eléctricas son globalmente vulnerables, debido ya sea a una confiabilidad aún no probada (línea Pomasqui/Santa Rosa), a potenciales sobrecargas ligadas a configuraciones simples, o, en otros términos, que comportan un solo circuito (líneas Trans-eletric Santa Rosa/La Vicentina y Mulaló/La Vicentina así como varias líneas 46 kV de la EEQ) o a postes cuya implantación es inestable debido a pendientes muy fuertes (línea Eugenio Espejo/Selva Alegre 138 kV). La antigüedad de conjunto de las instalaciones tiende igualmente a reducir la confiabilidad de ciertos elementos esenciales, lo que es el caso de subestaciones EEQ (Sur y Norte, construidas en 1968), de líneas EEQ (Norte/La Vicentina y Selva Alegre/Norte que datan de 1970) y sobre todo de la central Cumbayá, en funcionamiento desde 1958.

La vulnerabilidad intrínseca de los elementos esenciales del sistema eléctrico muestra claramente que pueden surgir perturbaciones o interrupciones del sistema mismo sin intervención de factores externos. Sin embargo, se evidenciaron otras formas de vulnerabilidad del sistema que constituyen otros tantos riesgos para el funcionamiento del Distrito

4. Las demás formas de vulnerabilidad del sistema eléctrico

Además de la vulnerabilidad intrínseca, se analizaron otras formas de vulnerabilidad:

- las vulnerabilidades ligadas a la exposición a amenazas no generadas por el sistema eléctrico

en sí y la susceptibilidad de los elementos esenciales de sufrir daños;

- la dependencia de sistemas exteriores;
- la existencia o la ausencia de alternativas de funcionamiento;
- la capacidad de control de los elementos del sistema;
- la preparación previa a las situaciones de crisis.

Se cartografió cada forma de vulnerabilidad: los mapas 5-4 (A-F) ofrecen la visión sinóptica correspondiente. Más adelante se expone la metodología utilizada para evaluar las diferentes formas de vulnerabilidad.

Exposición a las amenazas y susceptibilidad de daños

El mapa 5-4B fue elaborado a partir de la representación de los espacios susceptibles de daños debidos a diferentes amenazas analizadas en la primera parte de este libro: aluviones, inundaciones, deslizamientos de terreno, sismos, erupciones volcánicas⁴, almacenamiento y transporte de productos peligrosos. El mapa 5-5 superpone los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ y el mapa de inestabilidad del suelo. Este ejemplo permite observar, pese a los límites inherentes a la escala del análisis, que la mayoría de los elementos esenciales del sistema eléctrico, en especial las líneas, son susceptibles de daño debido a este tipo de amenaza. De la misma forma, la superposición de los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ a los demás mapas de amenazas permitió

clasificar esos elementos según el grado de peligro y atribuirles un valor de exposición⁵. En una segunda fase, se tomó en cuenta la susceptibilidad de daño por la amenaza considerada. En efecto, la exposición a una amenaza no significa necesariamente daños: por ejemplo, las líneas eléctricas de alta tensión no son susceptibles de daño por las inundaciones de las que se tiene conocimiento en Quito. Así, para cada amenaza, se modificó el valor de exposición a fin de tomar en cuenta no solamente la exposición a los fenómenos sino también el impacto posible de ellos⁶.

⁴ Se hizo una distinción entre la caída de ceniza que puede cubrir todo el territorio urbano y los demás fenómenos vinculados a las erupciones, más fácilmente localizables, como los flujos piroclásticos o los lahares.

⁵ Valor 0 cuando el elemento no está expuesto o lo está muy poco a la amenaza (al menos en el estado actual de los conocimientos que proporcionan los mapas correspondientes, véase el capítulo 3); valor 1 cuando el elemento se sitúa en una zona con peligro relativamente alto; valor 3 cuando el elemento está ubicado en una zona con alto peligro. En el caso de las líneas se consideró la peor situación incluso si esta atañe apenas a una parte de su trazado. En efecto, la interrupción de una línea en un punto la afecta por entero.

⁶ El valor de susceptibilidad de daño es idéntico al de exposición cuando el elemento analizado es susceptible de daño por una amenaza dada. Este valor se reduce a 0 cuando el elemento no es susceptible de daño. Toma el valor 1 si el peligro es elevado en el sector donde se encuentra el elemento incluso cuando este es poco susceptible de daño o no lo es desde nuestro punto de vista.

La suma de estos valores desemboca en una clasificación de conjunto de los elementos esenciales en función de su susceptibilidad de daño frente a amenazas de origen natural o antrópico (cuadro 5-2). Los resultados aparecen en el mapa 5-4B.

Este mapa indica que, salvo ciertas excepciones, los elementos lineales son en conjunto más susceptibles de sufrir daños por las amenazas consideradas. Su extensión los lleva, en efecto, a atravesar zonas sometidas a una o varias amenazas. Entre las líneas eléctricas más expuestas figura la línea Transelectric 230 kV Pomasquí/Santa Rosa que atraviesa terrenos a menudo inestables, sensibles a los sismos, susceptibles de ser afectados por lahares producto de una erupción del Guagua Pichincha. Está igualmente expuesta a la caída de ceniza y cruza el polducto al Suroeste de la ciudad de Quito. Otras líneas esenciales presentan condiciones un tanto menos desfavorables, como la línea Transelectric 138 kV Santa Rosa/Pomasquí o gran parte de las líneas EEQ 138 kV que unen igualmente Santa Rosa a Pomasquí. Entre las líneas más vulnerables figuran también varias líneas EEQ 46 kV⁷, expuestas en diversos grados a todas las amenazas. Los elementos puntuales están globalmente menos expuestos pero ciertas subestaciones alcanzan niveles elevados de vulnerabilidad como las EEQ Epicláchima y SE/19 que acumulan cada una 4 y 5 amenazas respectivamente. Las demás subestaciones están expuestas a menos fenómenos pero a veces de manera preocupante como la subestación San Rafael situada en un sector de gran exposición a los lahares potenciales del volcán Cotopaxi. Un punto positivo

es la relativamente poca exposición de las principales subestaciones Transelectric y EEQ.

Dependencia de sistemas exteriores

Se estudiaron 3 formas de dependencia de sistemas exteriores: la dependencia de productos químicos (productos para el tratamiento del agua de la central Cumbayá, aceite mineral para los transformadores de las subestaciones), la dependencia de sistemas de telecomunicación que permiten en especial identificar y resolver ciertas averías o disfuncionamientos (teléfono convencional, radio, sistema Scada, sistema PLC), la dependencia del agua (caso de la central eléctrica de Cumbayá). El funcionamiento o la disponibilidad de los elementos provenientes de sistemas exteriores garantizan el buen funcionamiento del sistema eléctrico. En caso de fallas, se podrían registrar consecuencias más o menos graves a nivel del Distrito.

El mapa 5-4C indica que la central Cumbayá, que acumula las tres formas de dependencia analizadas, es la más vulnerable en este campo. Vienen luego las subestaciones que presentan dos formas de dependencia (sistemas de telecomunicación y productos para los transformadores). Las líneas son las menos vulnerables en la medida en que no dependen sino de los sistemas de telecomunicaciones.

⁷ Selva Alegre/SE 19, Selva Alegre/Norte, Epicláchima/Selva Alegre, que bordean el aeropuerto (véase el cuadro 5-2).

Cuadro 5-2: Valoración de la exposición a amenazas y de la susceptibilidad de daños de los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ

Elementos esenciales del sistema eléctrico	Nombre	Valor total exposición*	Valor total susceptibilidad de daño*	Nivel de vulnerabilidad
Subestación EEQ	Santa Rosa	4	4	2
Subestación EEQ	La Vicentina	4	4	2
Subestación EEQ	Selva Alegre	4	4	2
Subestación EEQ	Norte	4	4	2
Subestación EEQ	Eugenio Espejo	4	4	2
Subestación Transelectric	Santa Rosa	4	4	2
Subestación Transelectric	Pomasqui	4	4	2
Subestación Transelectric	La Vicentina	4	4	2
Central Cumbayá	Central Cumbayá	5	5	3
Subestación EEQ	Pomasqui	5	5	3
Subestación EEQ	Sur	5	5	3
Línea EEQ 46 Kv	Sur / La Vicentina	6	6	3
Subestación EEQ	San Rafael	6	6	3
Línea EEQ 46 Kv	Norte / La Vicentina	7	7	3
Subestación EEQ	SE 18	7	7	3
Línea EEQ 46 Kv	Epicachima / Sur	8	7	3
Línea Transelectric 230 Kv	Totoras / Santa Rosa	8	7	3
Línea Transelectric 230 Kv	Santo Domingo / Santa Rosa	8	7	3
Línea Transelectric 230 Kv	Colombia / Pomasqui	9	7	3
Línea EEQ 138 Kv	Selva Alegre / SE19	10	7	3
Línea EEQ 138 Kv	Pomasqui Transelectric / Pomasqui EEQ	8	8	4
Línea EEQ 138 Kv	Santa Rosa / Eugenio Espejo	9	9	4
Línea EEQ 46 Kv	Santa Rosa / San Rafael	9	9	4
Subestación EEQ	Epicachima	9	9	4
Línea EEQ 138 kv	Pomasqui / SE18	10	9	4
Línea Transelectric 138 kv	Mulaló / La Vicentina	10	9	4
Subestación EEQ	SE 19	10	10	4
Línea EEQ 138 Kv	Eugenio Espejo / Selva Alegre	12	10	4
Línea EEQ 138 Kv	der SE19 / Pomasqui	12	10	4
Línea EEQ 46 Kv	Santa Rosa / Epicachima	11	11	5
Línea Transelectric 138 Kv	Santa Rosa / Vicentina	11	11	5
Línea Transelectric 230 Kv	Pomasqui / Santa Rosa	14	12	5
Línea EEQ 46 Kv	Selva Alegre / SE19 Inter	14	13	5
Línea EEQ 46 Kv	Selva Alegre / Norte	16	15	5
Línea EEQ 46 Kv	Epicachima / Selva Alegre	16	15	5
Línea EEQ 46 Kv	Líneas que bordean el aeropuerto	18	15	5

* El valor máximo teórico es 20 (máximo de 3 para cada amenaza salvo en el caso de la caída de cenizas en que se atribuyó un valor de 2 a todos los elementos)

Capacidad de control

Para evaluar la capacidad o, por el contrario, las dificultades de control de los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ, se sumaron tres valores atribuidos a cada uno de esos elementos. Se trata, por una parte, de un valor de accesibilidad física, o en otros términos de la posibilidad material de acceder a los elementos tomando las vías de comunicación disponibles. Así, se consideraron: la situación más o menos alejada del elemento en relación con los sectores centrales de la ciudad de Quito, las alternativas posibles para acceder al elemento, la calidad de las vías de comunicación. Se trata luego de un valor ligado al personal presente en el lugar, capaz de intervenir rápidamente en caso de problema: existencia de tal personal, tiempo de presencia (desde las visitas esporádicas hasta la presencia permanente) y la calidad del personal (calificado, no calificado). Un tercer valor corresponde a la capacidad de vigilancia (televigilancia) y de acción a distancia (maniobra a distancia)⁸. En este campo preciso las subestaciones Transelectric son de lejos las mejor equipadas, con sistemas modernos⁹, mientras que las subestaciones EEQ y el conjunto de líneas no cuentan con dispositivo alguno o tal dispositivo es muy parcial¹⁰.

Teniendo en cuenta los tres valores escogidos para la evaluación de la capacidad de control, el mapa 5-4D indica claramente que las líneas son más vulnerables en este campo que los elementos puntuales (subestaciones o central). Esta situación es lógica en la medida en que las líneas, en especial aquellas de

alto voltaje, están a menudo alejadas y son difícilmente accesibles, en ellas hace falta personal permanente y los sistemas de televigilancia son inexistentes o limitados. Entre esas líneas, las de la EEQ 138 kV que unen Santa Rosa a la SE 19 parecen las más vulnerables. En lo que respecta a los elementos puntuales, registran la menor vulnerabilidad las subestaciones Transelectric y la subestación EEQ La Vicentina, compensando esta última las debilidades observadas en materia de televigilancia por una

-
- ⁸ En este campo es interesante anotar que lo que aquí se considera como una ventaja (televigilancia) es por otro lado considerado un inconveniente en cuanto se razona en términos de dependencia frente a sistemas exteriores. Por ello era útil identificar otras formas de control (accesibilidad física y apoyo en el personal presente en el lugar)
- ⁹ En Santa Rosa y La Vicentina existe un centro de operaciones que funciona con un sistema *spider* lo que permite vigilar y controlar disyuntores y la energía que ingresa a los transformadores. En Pomasqui, el centro de operaciones funciona con un sistema *minuscada*, más moderno que el sistema *spider*. Además de las funciones este último, el sistema *minuscada* permite la construcción de bases de datos sobre el funcionamiento de la subestación, a las cuales se puede acceder desde Transelectric y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)
- ¹⁰ Televigilancia remota para los relés en el caso de las líneas Transelectric o televigilancia mediante sistema *scada* a nivel de primarios en el caso de algunas subestaciones EEQ.

accesibilidad física mucho mejor que la de las subestaciones Transelectric. Las demás subestaciones presentan un grado intermedio de vulnerabilidad siempre ligada a la inexistencia o insuficiencia de televigilancia, a lo que se suman problemas de accesibilidad física (San Rafael, Selva Alegre, Santa Rosa o Pomasquí) o problemas vinculados a la ausencia en el lugar de personal calificado permanente¹¹.

Preparación previa para el manejo de crisis

Como se vio a propósito de las diferentes formas de vulnerabilidad analizadas hasta ahora, las causas posibles de crisis en el sistema eléctrico y consecuentemente en el DMQ, son numerosas. Si bien es posible disminuir esa vulnerabilidad, muy difícilmente se puede pensar en suprimirla totalmente. La preparación previa para el manejo de crisis constituye entonces una manera de reducir la vulnerabilidad del conjunto del sistema eléctrico y las debilidades existentes en este campo son otros tantos factores de vulnerabilidad.

Se escogieron varias variables: existencia y tipo de plan de manejo de crisis, preparación del personal, realización de simulacros, experiencia de situaciones de crisis, autonomía en energía, comunicación con los organismos de crisis, medios de comunica-

ción. Como en el caso de las anteriores formas de vulnerabilidad, a cada elemento esencial se atribuyó un valor para cada variable. La suma de esos valores permitió una clasificación de los elementos representada en el mapa 5-4E. La explicación de las variables utilizadas y los resultados aparecen en los cuadros 5-3a y 5-3b.

Como lo indica el mapa 5-4E, el grado de preparación para el manejo de crisis es globalmente bajo para el conjunto de elementos del sistema. Las situaciones más preocupantes conciernen a todas las líneas eléctricas así como a varias subestaciones, en particular la de Pomasquí Transelectric que, pese al papel esencial que le corresponde, a la vez como centro importante para el abastecimiento de electricidad para el DMQ y como apoyo a la subestación Santa Rosa, presenta importantes carencias en esta materia. Únicamente la central Cumbayá parece ofrecer condiciones si no óptimas, al menos aceptables para enfrentar una situación de crisis.

Alternativas de funcionamiento

Frente a las diversas formas de vulnerabilidad de los elementos esenciales del sistema eléctrico del DMQ, cabe preguntarse lógicamente si, en caso de destrucción o falla mayor de esos elementos, existen alternativas para su funcionamiento. En otras palabras, se trata de saber en qué medida la función desempeñada por un elemento esencial puede ser cumplida total o parcialmente por otros elementos del sistema, sean estos esenciales o secundarios. La reflexión conjunta

¹¹ En subestaciones como la SE 18, SE 19, Eugenio Espejo, Epiclachima o Norte, el personal calificado está presente en promedio una vez por semana.