



Comisión  
Nacional  
de Energía

# **INFORME TÉCNICO SOBRE LOS HECHOS OCURRIDOS EN EL INCIDENTE ACAECIDO EL 23 DE JULIO DE 2007 A LAS 10 horas 53 minutos QUE AFECTÓ AL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE BARCELONA**

4 de octubre de 2007

1	OBJETO .....	2
2	ANTECEDENTES .....	2
3	ANÁLISIS TÉCNICO DEL INCIDENTE .....	5
3.1	Información disponible .....	6
3.2	Descripción del incidente .....	7
3.3	Incidentes anteriores en la red de 220 kV .....	10
3.4	Aspectos a considerar en el análisis del incidente .....	13
3.4.1	Situación administrativa de las instalaciones .....	13
3.4.2	Estado previo de carga de las instalaciones de 220 kV afectadas. ....	14
3.4.3	Rotura y caída del conductor de la línea de 110 kV Can Jardí-Collblanc 4 .....	14
3.4.4	Actuación de las protecciones .....	17
3.4.5	Origen del incendio en la S.E. Maragall .....	19
3.5	Posibilidad de transferencia de carga entre subestaciones .....	29
3.6	Mercado afectado.....	31
3.7	Visión global del incidente.....	33
4	CONCLUSIONES.....	36

# **INFORME TÉCNICO SOBRE LA DESCRIPCIÓN DE HECHOS OCURRIDOS EN EL INCIDENTE ACAECIDO EL 23 DE JULIO DE 2007 A LAS 10 horas 53 minutos QUE AFECTÓ AL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE BARCELONA**

En el ejercicio de las funciones referidas en el apartado Tercero.1 de la Disposición Adicional Undécima de la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, y de conformidad con el Real Decreto 1339/1999, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Comisión Nacional de Energía, el Consejo de Administración de la Comisión Nacional de Energía, en su sesión del día 4 de octubre de 2007, ha acordado emitir el siguiente

## **INFORME**

### **1 OBJETO**

El presente informe tiene por objeto analizar los hechos y las causas que provocaron el incidente en el suministro eléctrico de Barcelona acaecido el día 23 de julio de 2007 a las 10 horas 53 minutos.

El análisis ha sido realizado a partir de la información remitida por las empresas REE y ENDESA en el transcurso de la instrucción de este expediente y la remitida por la Generalitat de Catalunya a solicitud de esta Comisión.

### **2 ANTECEDENTES**

Con fecha 24 de julio de 2007 ha tenido entrada en el registro de la Comisión Nacional de Energía (CNE) oficio de fecha 23 de julio de 2007 de la Secretaría General de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, solicitando, al amparo de las funciones primera y décima de las atribuidas a esta Comisión en el apartado Tercero.1 de la Disposición Adicional Undécima de la Ley 34/1998, del Sector de Hidrocarburos, la apertura de un expediente informativo sobre el incidente acaecido a las 10:53 h del día 23 de julio de 2007, que ha afectado al suministro eléctrico de Barcelona, así como **la**

determinación de los sujetos a los que se les imputa las posibles responsabilidades que de ello se pudieran derivar **(ANEXO 1)**.

Con fecha 25 de julio de 2007 la CNE ha remitido sendos escritos a Endesa Distribución Eléctrica, S.A.U. (ENDESA) y Red Eléctrica de España, S.A. (REE), por los que se les comunica el acuerdo del Consejo de Administración de la CNE, de esa misma fecha, de apertura de expediente informativo y se les solicita la remisión de una serie de información sobre el citado incidente **(ANEXO 2)**. Dicha solicitud de información a ambas partes es ampliada mediante sendos escritos de fecha 1 de agosto de 2007 **(ANEXO 3)**.

En relación a los escritos de la CNE de fechas 25 de julio y 1 de agosto de 2007, REE mediante escrito de fecha 2 de agosto de 2007, solicita una prórroga para la remisión de la información solicitada **(ANEXO 4)**.

Con fecha 3 de agosto de 2007 ha tenido entrada en el registro de la CNE oficio de la Secretaría de Economía de la Generalitat de Catalunya, por el que solicita de la CNE la oportuna información sobre actuaciones que la CNE realice, así como la documentación, datos y elementos de juicio que pudiera recabar y recibir de los interesados o de terceros en relación con el incidente. **(ANEXO 5)**.

La información solicitada por la CNE ha sido remitida por ENDESA mediante escritos de fechas 3, 7 y 22 de agosto de 2007 **(ANEXOS 6, 7 y 8)**.

Con fechas 7 y 8 de agosto de 2007 han tenido entrada en el registro de la CNE escritos de REE adjuntando la información que se les había solicitado **(ANEXOS 9 y 10)**.

Con fecha 23 de agosto de 2007 la CNE ha remitido a REE y ENDESA sendos escritos por los que les solicita información adicional sobre el incidente acaecido en Barcelona el 23 de julio de 2007 **(ANEXO 11)**.

Con fecha 3 de septiembre de 2007 ENDESA ha remitido a la CNE la información solicitada **(ANEXO 12)**.

Por su parte, con fechas 5 de septiembre de 2007 REE ha remitido a la CNE la información solicitada **(ANEXO 13)**.

Con fecha 11 de septiembre de 2007 la CNE ha remitido escrito a la Generalitat de Catalunya por el que se solicita toda la información, documentación y datos de los que dispusiera en relación con el incidente del 23 de julio de 2007 **(ANEXO 14)**.

Con fecha 11 de septiembre de 2007 la CNE ha remitido sendos escritos a REE y ENDESA indicando que en la tramitación del expediente las empresas únicamente pueden atenerse a datos e informaciones de carácter técnico junto con sus oportunas fundamentaciones, y no a consideraciones sobre presunciones o posibles imputaciones de responsabilidad. Asimismo la CNE les solicita prudencia en sus actuaciones **(ANEXO 15)**.

Mediante escrito de fecha 10 de septiembre de 2007, ENDESA solicita a la CNE el acceso a la información relativa a los registros oscilográficos de las subestaciones de 220 kV propiedad de REE obrantes en el expediente informativo sobre el incidente de Barcelona del 23 de julio de 2007 **(ANEXO 16)**.

Con fecha 13 de septiembre de 2007 ha tenido entrada en el registro de esta Comisión escrito de D. Ignasi Faura i Ventosa, representante de los Consumidores Domésticos en el Consejo Consultivo de Electricidad, por el que expresa la preocupación de los consumidores en relación con el incidente de Barcelona **(ANEXO 17)**.

En esa misma fecha de 13 de septiembre de 2007 ha tenido entrada en el registro de la CNE escrito de ENDESA por el cual adjunta un documento que presenta un análisis de la hipótesis posible sobre el origen del incendio en la subestación de Maragall **(ANEXO 18)**.

Con fecha 14 de septiembre de 2007 la Generalitat de Catalunya remite a la CNE informes del Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento del Ayuntamiento de Barcelona de fechas 17 y 31 de agosto de 2007 **(ANEXO 19)**.

Asimismo y con esa misma fecha de 14 de septiembre de 2007, la Generalitat remite a la CNE Informe del Laboratori General d'Assaigs Investigacions (LGA) de la Generalitat de Catalunya en contestación a la solicitud realizada por la CNE mediante escrito de fecha 11 de septiembre de 2007 **(ANEXO 20)**.

Con fecha 18 de septiembre de 2007 la Generalitat de Catalunya remite a la CNE, como continuación a la petición realizada el 11 de septiembre de 2007, informe en relación al incendio en la subestación Maragall el día 23 de julio de 2007 elaborado por el Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento del Ayuntamiento de Barcelona **(ANEXO 21)**.

Con fecha 18 de septiembre de 2007 la CNE ha remitido sendos escritos a REE y ENDESA por los que se pone de manifiesto a las partes interesadas la apertura del Trámite de Audiencia del expediente informativo iniciado por la CNE en relación al incidente del 23 de julio de 2007, por un periodo de 5 días **(ANEXO 22)**.

Con fecha 24 de septiembre de 2007 ha tenido entrada en el registro de la CNE escrito de alegaciones de ENDESA, adjuntado un total de 5 documentos **(ANEXO 23)**.

Con fecha 25 de septiembre de 2007 ha tenido entrada en el registro de la CNE escrito de alegaciones de REE, remitido por correo certificado por procedimiento administrativo de fecha 24 de septiembre de 2007, adjuntando un total de 12 documentos **(ANEXO 24)**.

### **3 ANÁLISIS TÉCNICO DEL INCIDENTE**

El 23 de julio de 2007, a las 10 h 53 min, ocurrió un grave incidente en el sistema eléctrico de alta tensión (110 y 220 kV) del área metropolitana de Barcelona. Se produjo la afectación temporal de varias subestaciones transformadoras que alimentan la red de distribución y se originaron graves daños en una de ellas –subestación Maragall 220/MT-, que quedó sin posibilidad de alimentación desde la red de 220 kV. La repercusión a los usuarios fue considerable en extensión y en duración. La situación de la red en la zona afectada a la fecha de emisión del presente informe sigue siendo precaria, y se prevé que

los trabajos de reparación necesarios para recuperar la total normalidad tendrán una duración de varios meses.

### **3.1 Información disponible**

A petición de la CNE, las empresas REE y ENDESA han facilitado información sobre los siguientes puntos:

- Esquemas y datos técnicos de la red de 220 kV y de todas las instalaciones implicadas en el incidente.
- Datos sobre las situaciones administrativa y reglamentaria de las instalaciones.
- Descripción detallada del primer suceso.
- Descripción detallada de la sucesión de eventos desencadenados en el conjunto de la red de AT de la zona.
- Para cada una de las subestaciones afectadas:
  - Dotación de protecciones.
  - Descripción de los sistemas de alimentación auxiliar para protecciones y maniobra.
  - Dotación, situación y características de los elementos limitadores de sobretensiones.
  - Relación de sucesos.
  - Registros de datos cronológicos y oscilográficos.
- Origen del incidente y descripción detallada de la sucesión de eventos desencadenados en la red.
- Posibles causas del mismo.
- Estado de conexiones de la red de 220 kV en la zona metropolitana inmediatamente antes del incidente.
- Relación de elementos averiados durante el incidente eléctrico y descripción de los daños.
- Relación de elementos averiados con posterioridad al incidente eléctrico por incendio u otras causas.
- Niveles de carga en los elementos de la red de 220 kV de la zona durante los 60 minutos anteriores al incidente.

- Alarmas registradas de la red de 220 kV de la zona durante los 60 minutos anteriores al incidente.

Al respecto, REE y ENDESA han facilitado toda la información solicitada y han aportado datos complementarios.

### ***3.2 Descripción del incidente***

A las 10 horas 53 minutos 10 segundos del día 23 de julio de 2007, y en un intervalo de aproximadamente cuatro segundos, se produjeron dos sucesos en el eje Collblanc-Badalona, de la red de 220 kV del área de la ciudad de Barcelona, constituido por una línea subterránea (cable) de 220 kV que, partiendo de Collblanc, pasa por Urgell y Maragall antes de llegar a Badalona. En cada uno de estos cuatro emplazamientos hay una subestación de REE. La línea Collblanc-Badalona está dividida, por lo tanto, en tres tramos: Collblanc-Urgell, Urgell-Maragall y Maragall-Badalona.

El primer suceso consistió en que un conductor de la línea de 110 kV, propiedad de ENDESA, que tiene su origen en la subestación Can Jardí y que termina en la subestación Collblanc, se rompe, interrumpiéndose el paso de la corriente que circulaba por él, y cae sobre el parque de 220 kV, propiedad de REE, de la subestación Collblanc. El conductor desprendido, con tensión desde el origen de la línea a la que pertenece, entra en contacto con la estructura metálica de soporte del embarrado de 220 kV de Collblanc, produciéndose la desconexión de la línea en su extremo de Can Jardí. Posteriormente, en la caída del conductor de 110 kV, ya sin tensión, se produce el impacto secuencial con el juego de barras nº1 y el juego de barras nº2 y con la línea de 220kV que une Collblanc con Urgell. La línea de 110 kV sobrevolaba una esquina del parque de 220 kV de la subestación de Collblanc. ENDESA aporta las autorizaciones pertinentes y las reglamentarias actas de revisión, incluyendo inspecciones de termografía. La posición de la línea respecto del parque de 220 kV era conocida y tácitamente aceptada por todas las partes.

El segundo suceso consistió en que la subestación Maragall ardió. La total coincidencia del final del suceso de la subestación Collblanc con el incendio de la subestación



Maragall, y el hecho de estar ambas subestaciones intercaladas en la línea subterránea Collblanc-Badalona, obliga a investigar las conexiones lógicas entre ambos sucesos y a considerarlos como el desarrollo de un mismo incidente.

Las subestaciones situadas en los extremos de este eje (Collblanc y Badalona) son de tecnología convencional, están construidas a la intemperie y, al lado de los terminales del cable subterráneo, existen pararrayos autoválvula para limitar sobretensiones fase-tierra en el circuito 220 kV. Las subestaciones intermedias (Urgell y Maragall) son de tecnología GIS y no tienen pararrayos autoválvula.

En los cables unipolares de líneas subterráneas de gran potencia, como es el caso de la línea Collblanc-Urgell-Maragall-Badalona, se adopta una disposición de los circuitos de pantallas orientada a suprimir la circulación de corriente por las pantallas durante el régimen de funcionamiento normal. Esta disposición está basada en el fraccionamiento y transposición de las pantallas (cross bonding). En el diseño de esta configuración, es necesario controlar las sobretensiones impulsivas que pueden aparecer para lo que se instalan descargadores de tensión en las cajas de conexión y cruzamiento.

En condiciones normales estos descargadores, que son de óxido de zinc, no emiten ruidos ni humos; sin embargo, cuando son destruidos porque se produce un régimen de funcionamiento para el que no están diseñados, pueden aparecer tanto los ruidos como los humos. La inutilización de los descargadores termina siendo un deterioro oculto de la línea y, sin embargo, no impide que ésta siga funcionando, con aparente normalidad, en situación ordinaria.

En la secuencia de los hechos principales pueden identificarse siete instantes. Los dos primeros suceden en la red de 110 kV de ENDESA, por lo que se sitúan de acuerdo con la cronología registrada por esta empresa. A partir del tercer instante, los hechos implican a la red de 220 kV, y se sitúan de acuerdo con la cronología registrada por REE. En la secuencia que se describe a continuación, todas las referencias temporales quedan finalmente expresadas con relación a la cronología de REE.

Pueden resumirse los hechos como sigue:

- En la S.E. Collblanc se desprende un conductor de la línea de 110 kV Can Jardí-Collblanc 4 propiedad de ENDESA y cae sobre el parque de 220 kV propiedad de REE. El desprendimiento, la caída y los contactos sucesivos de este conductor pueden marcarse por los siguientes seis primeros instantes:
  1. 10 h 53 min 11,295 s. El conductor se rompe, interrumpiéndose la corriente que circulaba por él.
  2. 10 h 53 min 12,195 s. El conductor desprendido, con tensión desde el origen de la línea en Can Jardí, entra en contacto con la estructura metálica de soporte del embarrado de 220 kV de Collblanc. Por actuación de las protecciones se produce la desconexión de la línea en su extremo de Can Jardí.
  3. 10 h 53 min 12,255 s. El conductor, manteniendo contacto con la estructura, continúa moviéndose y entra en contacto con uno de los dos sectores de barras a 220 kV (sector 1). Por actuación de las protecciones se produce la desconexión de los interruptores correspondientes a este sector, perdiéndose la carga de la S.E. Collblanc alimentada desde este sector 1 de barras.
  4. 10 h 53 min 12,335 s. El movimiento del conductor continúa y establece contacto entre la estructura y el sector 2 de barras a 220 kV. Por actuación de las protecciones se produce la desconexión de los interruptores correspondientes a este sector, perdiéndose la carga de la S.E. Collblanc alimentada desde este sector 2 de barras.
  5. 10 h 53 min 15,715 s. Este instante puede considerarse como el comienzo de la segunda etapa del incidente. El conductor, finalmente, entra en contacto con el terminal de una de las fases del cable a 220 kV Collblanc-Urgell, primer tramo de la línea subterránea Collblanc-Urgell-Maragall-Badalona. Por actuación de las protecciones se produce la desconexión de este tramo en su extremo de S.E. Urgell.
  6. 10 h 53 min 15,905 s. En este instante, muy próximo al instante 5, las protecciones del tramo Maragall-Badalona dan indicación de avería en ese tramo y ordenan su desconexión en ambos extremos, perdiéndose la carga de las S.S.E.E. Urgell y Maragall.

- Con posterioridad, al cabo de unos 12 segundos:
  7. 10 h 53 min 27,485 s. Se detecta incendio en la S.E. Maragall. Se constata posteriormente la destrucción total de la instalación GIS de 220 kV y de los extremos de los cables Maragall-Urgell y Maragall-Badalona en la S.E. Maragall. Adicionalmente, han aparecido averiadas varias cajas de conexión y cruzamiento de pantallas de los cables de 220 kV, al menos una de las cuales se deterioró o destruyó antes de que se produjera el incidente eléctrico del 23 de julio de 2007.

### **3.3 Incidentes anteriores en la red de 220 kV**

En la red de transporte de la zona catalana, y en especial en el área metropolitana de Barcelona, se han registrado numerosas incidencias que han sido resueltas en su mayoría sin repercusiones para los usuarios. En particular se destacan hasta cinco incidentes acaecidos en la madrugada del propio día 23 de julio de 2007.

A continuación se relacionan, conforme a la información remitida por REE, las instalaciones afectadas por los incidentes acaecidos desde el 5 de junio de 2007 en la red de transporte de Cataluña hasta la mañana del incidente de COLLBLANC 220 kV y Maragall 220 kV. Una descripción detallada de dicho incidente se encuentra indicada en el anexo 13 de este informe.

- 05/06/2007. Cable 220 kV Collblanc – Urgell.
- 14/06/2007. Subestación Collblanc, parques 220 kV y 110 kV.
- 27/06/2007. Cables 220 kV Badalona –Maragall y Collblanc – Urgel.
- 07/07/2007. Línea 220 kV Foix – Mas Figueres.
- 13/07/2007. Línea 220 kV Can Jardí –Foix
- 16/07/2007.

➤ Líneas 220 kV

- Badalona – San Andreu,
  - Can Jardí – Collblanc 2,
  - Besos – Trinitat
  - San Andreu – San Fost.
- 
- 17/07/2007.
    - Líneas 200 kV:
      - Rubí – Viladecans
      - Canyet – Can Jardí
      - Rubí – T Celsa-S. Just.
      - Rubí – Can Jardí 1
      - Rubí – Can Jardí 2
      - Rubí – Santa Coloma 1
      - Rubí – Santa Coloma 2
      - Rubí - Abrera
      - Begues – Collblanc 2
      - Can Jardí – Collblanc 1
      - Begues- Collblanc
  
    - Autotransformadores
      - AT– 7 400/220 kV Rubí
      - AT - 8 400/220 kV Rubí
  
    - Cable a 220 kV Badalona – Maragall
  
  - 18/07/2007.
    - Líneas 220 kV
      - Collblanc Can Jardí 1 y 2
      - Canyet – Can Jardí
  
    - Cables 220 kV
      - Badalona-Maragall.
  
    - Transformadores
      - AT – 6 220/110 kV Maragall
      - AT – 2 220/110 kV Maragall
  
  - 19/07/2007. Línea 220 kV Sant Andreu – San Cugat – Can Jardí
  
  - 20/07/2007. Línea 220 kV Sant Andreu – San Fost

- 21/07/2007. Línea 220 kV Besós – Trinitat
  
- 23/07/2007.
  - 2:09h
    - Subestación 220 kV Besós Posición Badalona y Can Jardí Posición Collblanc 2
    - Línea 220 kV Collbalnc-Can Jardí 1
  
  - 02:28h
    - Subestación 220 kV Besós: Posición Badalona y Can Jardí Posición Collblanc 2
    - Línea 220 kV Collbalnc – Can Jardí 1
  
  - 02:40h
    - Línea 220 kV Collblanc – Can Jardí 1
    - Subestación 220 kV Badalona Posición del cable Maragall
  
  - 04:53h
    - Línea 220 kV Rubi – Viladecans y Sant Just – Viladecans
  
  - 05:00h
    - Línea 220 kV Sant Just - Viladecans

ENDESA sugiere que las sobreintensidades transitorias aparecidas en la línea de 110 kV Can Jardí-Collblanc 4, como repercusión de los sucesos acaecidos en la red de 220 kV, pueden haber influido en la rotura del conductor de 110 kV en S.E. Collblanc. REE ha aportado cálculos en los que se demuestra que la contribución térmica ha sido reducida y que las intensidades han estado muy por debajo de las correspondientes a cortocircuitos en la propia red de 110 kV y que, lógicamente, la línea debería soportar sin daño, siempre y cuando la línea estuviera en estado adecuado.

Por lo que más adelante se expone, los incidentes previos en la red de 220 kV han podido influir en el estado operativo de la línea subterránea de 220 kV Collblanc-Urgell-Maragall-Badalona en lo referente a su circuito de pantallas.

### **3.4 Aspectos a considerar en el análisis del incidente**

A la vista de los sucesos primeramente acaecidos, y de la posterior evolución y resultados del incidente, se considera necesario tratar las siguientes cuestiones:

- 1) Situación administrativa de las instalaciones.
- 2) Estado de carga previo de las instalaciones de 220 kV afectadas.
- 3) Causas de la rotura y caída del conductor de la línea de 110 kV sobre el embarrado de 220 kV en la S.E. Collblanc.
- 4) Comportamiento de las protecciones.
- 5) Origen del incendio en la S.E. Maragall.

#### **3.4.1 Situación administrativa de las instalaciones**

La inspección del mantenimiento de las líneas aéreas de alta tensión en Cataluña son competencia exclusiva de la Generalitat, de acuerdo con *el Decret 328/2001, de 4 de diciembre*, que establece que las líneas de alta tensión deben ser revisadas, como mínimo, una vez cada tres años (*revisión periódica reglamentaria*). ENDESA aporta documentación relativa a que la revisión de la línea 110 kV Can Jardí-Collblanc se ha realizado con frecuencia superior a la establecida legalmente, siendo la última revisión periódica reglamentaria el 23 de marzo de 2007.

De todas las líneas e instalaciones implicadas en el incidente se dispone de documentos que certifican su situación legal, tanto de la puesta en marcha como de las ampliaciones sucesivas.

Sin perjuicio de lo que, en relación con el cumplimiento del Decreto 328/2001, de 4 de diciembre de 2001, al respecto pueda dictaminar la Generalitat de Catalunya, se dispone para todas ellas de los últimos boletines de revisión periódica, en los que se acredita su aptitud para el servicio de acuerdo con la reglamentación vigente.

### **3.4.2 Estado previo de carga de las instalaciones de 220 kV afectadas.**

Con anterioridad al incidente, el estado de carga de los componentes principales del sistema de transporte era el siguiente:

- Conjunto del sistema de 220 y 400 kV de la zona catalana:
  - Durante los 60 minutos anteriores: 88,5%
  - En el minuto anterior (10 h 52 min): 85,1%
- Autotransformadores 400/220 kV de la zona catalana:
  - Durante los 60 minutos anteriores: 73,4%
  - En el minuto anterior (10 h 52 min): 70,1%
- Cables subterráneos de 220 kV de Barcelona:
  - Durante los 60 minutos anteriores: 60,7%
  - En el minuto anterior (10 h 52 min): 59,6%

No se detectan, pues, situaciones de sobrecarga en los elementos del sistema de 220 kV de la zona.

### **3.4.3 Rotura y caída del conductor de la línea de 110 kV Can Jardí-Collblanc 4**

Tal y como se ha indicado anteriormente, y sin perjuicio de lo que al respecto pueda dictaminar la Generalitat de Catalunya, la situación legal de la línea es correcta. Dispone de las autorizaciones pertinentes y de las actas de revisión reglamentarias, incluyendo inspecciones de termografía.

El conductor de la línea es de aluminio-acero de 280 mm<sup>2</sup> de sección total (Hawk). En este tipo de conductores la resistencia mecánica está principalmente confiada a la sección de acero interior, y la conducción de la corriente exclusivamente a los hilos de aluminio cableados sobre ella. Su sujeción al aislador de amarre se realizaba por medio de una grapa de compresión. En la disposición adoptada, la unión grapa-conductor debía soportar la circulación de la corriente de la línea en todas las condiciones y, además, toda la tensión mecánica del conductor hasta su resistencia plena a la tracción.

Los resultados del exhaustivo estudio sobre el cable efectuado por el laboratorio oficial LGAI pueden interpretarse como indicativos de que en el interior de la grapa se había originado un proceso de degradación del contacto eléctrico entre ella y los hilos conductores, con la aparición de puntos calientes y distribución irregular de la corriente entre los hilos. Aun con irregularidades importantes, las diferencias de potencial que inicialmente pueden aparecer en el interior de la grapa son muy pequeñas, y la potencia transformada en calor reducida. Sin embargo, la progresión de este proceso fue degradando la conducción eléctrica y transfiriendo parte de la corriente a los hilos de acero, con el resultado de una creciente elevación de la temperatura de la grapa y de la parte del conductor cercano a ella. Una vez iniciadas, las situaciones de este tipo, basadas en el deterioro de contactos, son siempre degenerativas, por lo que está asegurada, aunque en un plazo indeterminado, la rotura del conductor bajo la tensión mecánica que permanentemente soporta. Ésta se produjo finalmente por fluencia térmica<sup>1</sup> de los hilos de acero del cable, que son los que garantizaban su resistencia mecánica. Otras irregularidades puntuales observadas en puntos exteriores del cable podrían originar pequeñas alteraciones locales de la temperatura, pero, mientras no impliquen problemas de contacto entre hilos, que dejarían señales visibles, no se consideran capaces de iniciar y mantener un proceso degenerativo.

Del análisis realizado por el LGAI pueden deducirse como probables causas iniciales la corrosión y/o una confección defectuosa, y se descartan otras posibilidades tales como la fatiga mecánica o una descarga atmosférica directa en el punto donde se ha producido la rotura.

Una situación como la descrita no da manifestaciones visibles con anterioridad al fallo final. La única forma de detectar anticipadamente la existencia de un proceso de degradación en el interior de la grapa es la inspección termográfica. La línea de 110 kV Can Jardí-Collblanc ha sido sometida a varias termografías, todas ellas antes del 23 de julio, habiéndose realizado la última el 5 de marzo de 2007.

---

<sup>1</sup> Fluencia: deformación lenta que experimenta un material sólido si se somete a cargas mecánicas y a temperaturas elevadas durante largo tiempo (Diccionario Español de la Energía)



En cuanto a la posible influencia de sobreintensidades transitorias en el cable con ocasión de disturbios en la red de 220 kV deben hacerse algunas precisiones. En primer lugar, las intensidades de duración breve, del orden de unos pocos segundos, no son comparables a las permanentes en cuanto a la elevación de temperatura que originan. Para las primeras el calentamiento puede considerarse adiabático<sup>2</sup>, y por ello la elevación de temperatura depende de la capacidad calorífica del conductor, y no de la disipación del calor al entorno. Por el contrario, el régimen permanente estabiliza la temperatura en el punto de equilibrio entre producción y disipación del calor, y en esto no tiene influencia la capacidad calorífica. El cable Hawk, por ejemplo, necesita una intensidad de 22,2 kA para pasar de 25°C a 75°C en 0,5 segundos, mientras que en régimen permanente una intensidad de 670 A lo lleva a 75°C con una temperatura ambiente de 25°C y una velocidad del aire de 0,6 m/s. Una intensidad diez veces mayor que la asignada para este cable (6,7 kA) durante 0,5 segundos produciría una elevación de temperatura de sólo 4 ó 5°C. Así, pues, el grado de sobreintensidad con relación a la intensidad asignada para el funcionamiento continuo no es significativo para intensidades transitorias breves.

En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, si una intensidad transitoria relativamente moderada da lugar a un aumento importante de la temperatura del conductor, es porque existe un defecto en el propio conductor o en su contacto con otra pieza a la que debe transferir la corriente. En ausencia de defecto, la temperatura de la grapa no debe ser superior a la del conductor en cualquier otro punto, tanto para el régimen permanente como para el transitorio, y el paso de corrientes de cortocircuito hasta del valor admisible en el proyecto no inicia ningún proceso de deterioro del contacto. En cambio, si ya hay un problema de contacto, sobreintensidades moderadas, o incluso intensidades inferiores a la asignada, pueden acelerar la evolución de la avería, pero sólo por la existencia del defecto previo.

---

<sup>2</sup> En termodinámica se designa un proceso adiabático a aquél en el cual el sistema (generalmente un fluido que realiza un trabajo) no intercambia calor con su entorno

Por las consideraciones anteriores, no se suponen causantes del proceso de rotura del cable las intensidades y sobreintensidades que han circulado por él, si el cable hubiera estado en condiciones adecuadas.

Adicionalmente a las causas de la rotura del conductor, se quiere destacar que las circunstancias de la posición de la línea de 110 kV respecto al parque de 220 kV – sobrevuelo- eran conocidas y tácitamente aceptadas por todas las partes. La superposición del circuito implicado sobre el embarrado de 220 kV era evitable, al existir espacio libre en el pórtico de sujeción. Esta situación ha sido corregida con posterioridad a la ocurrencia del incidente.

#### **3.4.4 Actuación de las protecciones**

Con los datos disponibles, y dentro de la interpretación de los hechos que se expone en este informe, los sistemas de protecciones de las cinco subestaciones implicadas (Can Jardí de ENDESA; Collblanc, Urgell, Maragall y Badalona de REE) han funcionado correctamente, en el sentido de que han actuado con la rapidez, selectividad y coordinación previstas, con dos excepciones aún no explicadas que se indican en los puntos 3 y 4.

1. En la S.E. Can Jardí se produjo la desconexión de la línea Collblanc 4 de 110 kV en un tiempo de 60 ms por actuación de la protección de distancia en el instante 2 (descrito en el apartado 3.2)
2. En la S.E. Collblanc la protección diferencial de barras de 220 kV actuó en 59 ms desconectando el sector 1 de barras en el instante 3, y en 62 ms el sector 2 de barras en el instante 4.
3. En la S.E. Urgell actuó en 140 ms la protección de distancia para desconectar el tramo Collblanc-Urgell en el instante 5. No actuó la protección diferencial longitudinal del cable.
4. En las S.S.E.E. Maragall y Badalona, la protección diferencial longitudinal del cable de 220 kV entre ambas ordenó la apertura de los interruptores de ambos extremos en 40 ms en el instante 6. Esta actuación no está respaldada por el registro

oscilográfico en la S.E. Badalona de la corriente en la línea Badalona-Maragall, por lo que es posible que fuera intempestiva.

**5.** No se produjeron reconexiones innecesarias.

Quedan, pues, por explicar las actuaciones de dos protecciones diferenciales longitudinales:

- La falta de actuación de la protección diferencial del cable Collblanc-Urgell, si bien el retraso por esta causa, estimado en unos 80 ms, no parece haber tenido influencia en los resultados del incidente.
- La actuación de la protección diferencial del tramo Badalona-Maragall. Esta desconexión, posiblemente innecesaria, no tuvo influencia en el desarrollo del incidente, puesto que el incendio que siguió también la habría provocado. REE sugiere como posible causa de esta actuación inadecuada la saturación de los transformadores de corriente, si bien las características de éstos (1200 A, 5P30, 50 VA) no parecen insuficientes para un funcionamiento correcto con una falta de 22,5 kA. No obstante, consta en el expediente que, con posterioridad al incidente, REE ha procedido a la sustitución de esta protección diferencial.

No obstante lo anterior, con la información aportada sobre los incidentes ocurridos en la red de 220 kV de la zona, se ha puesto de manifiesto la actuación intempestiva, en varias ocasiones, de la protección diferencial longitudinal de la línea Badalona-Maragall con anterioridad al incidente. De hecho, en el último de los incidentes acaecidos en la madrugada del propio día 23 de julio de 2007, el tramo "Badalona-Maragall" quedó indisponible por actuación de dicha protección, no siendo hasta las 5:00 h cuando el operador decidió energizar el cable. Así mismo, de acuerdo con la información obrante, se constata que, con anterioridad al incidente, las protecciones de toda esa zona actuaron, en ocasiones, fuera de los tiempos previstos (actuación de los relés de distancia en segunda zona cuando lo previsto, según diseño, sería la actuación en primera zona), lo que conlleva a que los tiempos de despeje de las faltas fueron superiores a los estrictamente precisos.

### ***3.4.5 Origen del incendio en la S.E. Maragall***

#### ***3.4.5.1 Hipótesis sobre el origen del incendio***

Tras un incendio como el ocurrido en la S.E. Maragall es difícil exponer y probar cualquier explicación de lo sucedido. Muchas de las posibles evidencias probablemente han desaparecido en el siniestro o en los posteriores trabajos de reposición del servicio y reparación de los daños. No es imposible, sin embargo, detectar en las instalaciones afectadas, y en las que funcionalmente se relacionan con ellas, circunstancias que pueden haber contribuido a la aparición o a la evolución de los sucesos destructivos.

Está fuera de toda duda que el aceite aislante contenido en el cable actuó de combustible, y tuvo que salir de él, puesto que los depósitos acumuladores quedaron intactos. En esta línea de razonamiento, las hipótesis posibles sobre la causa del incendio deben explicar la simultaneidad del vertido del aceite y la presencia de un foco térmico de elevada temperatura muy cercano a, o coincidente con, el orificio de salida. Con estas premisas, pueden analizarse las cuatro hipótesis que se enuncian a continuación y se analizan posteriormente.

##### ***3.4.5.1.1 Explosión de una cámara de interruptor en el equipo GIS***

En esta hipótesis, la sobreintensidad y/o la sobretensión de maniobra producidas por la falta en Collblanc, posiblemente combinadas con una actuación indebida de las protecciones de la línea Maragall-Urgell y un defecto en el interruptor de esta línea, habrían provocado la explosión de la cámara, la rotura del cable en su entrada al GIS y el incendio del aceite vertido.

##### ***3.4.5.1.2 Avería en uno de los cables de media tensión***

A una distancia de dos metros, aproximadamente, de los cables de 220 kV transcurre horizontalmente un grupo de cables unipolares de 11 kV correspondientes a varios alimentadores de la red de MT. En esta hipótesis, el fallo de uno de ellos, con perforación dieléctrica entre conductor interno y pantalla, tendría que haber producido un fuego, un arco, o la proyección de material incandescente, que alcanzara al cable de 220 kV y perforara su cubierta y su pantalla de plomo.

#### **3.4.5.1.3 Fallo del aislamiento principal del cable de 220 kV**

La eliminación del defecto por apertura del interruptor de la línea Collblanc en la S.E. Urgell provocó, como sucede siempre en estas operaciones, una sobretensión de maniobra en el nivel de 220 kV que se propagó desde Urgell hacia Badalona pasando por la S.E. Maragall. Esta hipótesis propone el fallo del dieléctrico principal del cable en un punto con aislamiento debilitado, precisamente el punto donde se sitúa el comienzo del incendio. Se produciría la explosión del cable en ese punto y un intenso arco que inflamaría el aceite a su salida.

#### **3.4.5.1.4 Fallo del aislamiento externo del cable de 220 kV**

En uno de los puntos de sujeción del cable o de un conducto de aceite al mismo a una de las piezas que lo soportan se habría producido, como efecto del proceso transitorio de aparición y/o eliminación de la falta en Collblanc, una perforación de la cubierta aislante o del tubo. Esto habría permitido, en combinación con otras circunstancias, el establecimiento de un arco de gran intensidad entre la pantalla de plomo del cable y el herraje de sujeción conectado a tierra, o entre el conducto de aceite y tierra. El arco produciría inmediatamente una perforación y los consiguientes derramamiento e ignición del aceite.

#### **3.4.5.2 Análisis de las diferentes hipótesis**

Como paso previo a la consideración detallada de cada una de las hipótesis enunciadas, se describen a continuación las circunstancias comprobadas en las que se produjo el incidente en la S.E. Collblanc y su repercusión en la S.E. Maragall.

En los instantes anteriores al contacto del conductor caído con el terminal de una fase del cable de 220 kV Collblanc-Urgell en la S.E. Collblanc (segunda etapa del incidente), los tres tramos de la línea estaban en tensión, mantenida desde la S.E. Badalona, y se encontraba abierto el interruptor de la línea en la S.E. Collblanc.

En el momento del contacto, las protecciones de la S.E. Urgell detectaron el defecto y lo eliminaron abriendo el interruptor de la línea Collblanc en la S.E. Urgell. La intensidad máxima de defecto fue, según REE, de 37,7 kA (valor de cresta), correspondiente a un valor eficaz de 22,5 kA teniendo en cuenta la componente unidireccional. Ambos valores fueron registrados por la protección de distancia de la línea Maragall en la S.E. Badalona. Inmediatamente después de la apertura del interruptor de S.E. Urgell, la protección diferencial longitudinal del tramo Maragall-Badalona en S.E. Maragall indicó falta a tierra en ese tramo y ordenó la apertura de los interruptores de sus dos extremos. Se registró también arranque de la protección de distancia de la línea Badalona en la S.E. Maragall, y no se registró actuación de la protección diferencial del cable Maragall-Urgell. A partir de ese momento dejó de haber tensión de 220 kV en las S.S.E.E. Maragall y Urgell.

El registro oscilográfico en Badalona de la corriente en la línea a S.E. Maragall descarta, sin embargo, la aparición de una falta como la indicada. No se detecta intensidad de cortocircuito en la línea tras la apertura del interruptor de Urgell y consiguiente reaparición de la tensión normal. El registro indica, eso sí, la desaparición de esa tensión tres ciclos después, causada por la intervención de la protección diferencial, que en estas circunstancias puede calificarse de no explicada o incorrecta. Por otra parte, el aceite vertido en el incendio procede exclusivamente de los cables del tramo Urgell-Maragall. No habiéndose detectado actuación de la protección diferencial longitudinal de ese tramo, es muy improbable que haya aparecido una falta en él. A los pocos segundos de estas actuaciones se produjo la aparición de alarma de incendio en la S.E. Maragall.

De todo ello se han deducido las cuatro hipótesis ya enunciadas de perforación de la pantalla de plomo de alguno de los cables.

#### ***3.4.5.2.1 Hipótesis de explosión de una cámara del GIS***

Durante el tiempo que duró la falta en Collblanc (140 ms) circuló una intensidad de 22,5 kA (valor eficaz) por toda la línea, desde Badalona hasta Collblanc, notablemente inferior a los 31,5 kA que tiene asignados como límite admisible. En este tiempo no le correspondía abrir a ninguno de los dos interruptores de la S.E. Maragall por los que circuló esta corriente, como así sucedió. Si en esta situación se supone que uno de esos

interruptores estalló, ello tendría que ser debido a un fallo en el contacto entre sus electrodos fijo y móvil. En este supuesto, se produciría fusión y vaporización de material, y se establecería un arco entre ellos que, inmediatamente evolucionaría a arco entre fase y envolvente metálica. El arco debilitaría y haría estallar esta envolvente y, como efecto, se produciría también la destrucción del terminal adjunto del cable de 220 kV y el incendio de su aceite.

Esta hipótesis no es aceptable por varias razones: Un fallo de este tipo es altamente improbable, dada la calidad del equipo y la experiencia con instalaciones semejantes; la protección diferencial del tramo Urgell-Maragall no detectó defecto en su zona; no hubo falta en el nivel de 220 kV diferente de la de Collblanc, como se ha constatado por las indicaciones ya expuestas de la oscilografía; no hubo señalización inmediata de pérdida de presión en el GIS, y no se han encontrado indicios de explosión por arco interno.

Por todo ello este supuesto se considera sumamente improbable.

#### ***3.4.5.2.2 Hipótesis de avería en uno de los cables de media tensión***

No se registró la actuación de ninguna protección de líneas de 11 ó 25 kV en los minutos anteriores al incidente. Coincidiendo con él, apareció indicación de defecto en dos líneas de 11 kV dotadas de protección diferencial longitudinal (Gracia 1 y 2), pero sin indicación por parte de las protecciones de sobreintensidad de fase y de neutro, por lo que no llegó a producirse su desconexión. Estas líneas, por otra parte, transcurrían lejos de los cables de 220 kV afectados.

Por otra parte, aunque hubiera ocurrido un fallo en uno de los cables de 11 kV situados a corta distancia (de 1,5 a 2 m) de los de 220 kV, es difícil imaginar la simultaneidad de sucesos tales como la aparición de la falta en Collblanc, la de la falta a 11 kV en Maragall y la apertura de un orificio en el cable de 220 kV por efecto del arco o de la proyección de material incandescente. Todo esto debería haber ocurrido en un tiempo muy breve, del orden de 0,1 segundos. Debe tenerse en cuenta que la intensidad de falta a tierra en la red de 11 kV está limitada por debajo de 1 kA, por lo que los efectos explosivos no son suficientes para causar a 1,5 m la destrucción que se indica. Si la falta hubiera

evolucionado a polifásica se habrían puesto en juego intensidades del orden de 1 kA en el nivel de 220 kV, y ello habría quedado registrado en el oscilograma de S.E. Badalona de la corriente en la línea, cosa que no ocurrió.

Se descarta también esta hipótesis por su muy baja probabilidad y, por ello, se ha desestimado avanzar en esta línea de investigación, que requeriría la obtención de información adicional de otras posibles incidencias que hayan podido ocurrir en la red de distribución, pero que se consideran independientes del incidente acaecido en la subestación de Maragall.

#### ***3.4.5.2.3 Hipótesis de fallo del aislamiento principal del cable de 220 kV***

La apertura de una corriente de defecto en un sistema de potencia va siempre acompañada de la producción de una sobretensión de maniobra que se propaga desde el interruptor hacia el interior del sistema de AT, siguiendo los condicionamientos impuestos por las características de la red. En esta hipótesis, la sobretensión habría sido suficientemente amplia para hacer fallar un punto débil del cable Urgell-Maragall o del Maragall-Badalona en la S.E. Maragall, estando situado este punto cerca de donde actualmente se supone que comenzó el incendio. El fallo del aislamiento habría producido con seguridad la rotura del cable, el vertido de aceite y su incendio.

Los registros oscilográficos descartan la existencia de una corriente de falta en el nivel de 220 kV posterior a la eliminación del defecto en Collblanc mediante el interruptor de la S.E. Urgell. No obstante, para valorar este supuesto por sí mismo, prescindiendo de las indicaciones de actuación de las protecciones, se han calculado las características de esta sobretensión y su relación con el nivel de aislamiento de la red. Para la amplitud que llegaría a presentarse en Maragall resulta un valor cercano a 400 kV, suponiendo que el proceso de extinción fuera normal, sin producción de recebados en el interruptor. Por otra parte, la posibilidad de estos recebados depende de la velocidad de crecimiento de la tensión de restablecimiento, y ésta resulta ser del orden de 0,6 kV/ $\mu$ s. Ambos valores son moderados, puesto que podría considerarse admisible una sobretensión de maniobra del orden de hasta 750 kV y, por otro lado, la especificación del interruptor admite hasta 2 kV/ $\mu$ s para la tensión de restablecimiento.



Por todo ello esta hipótesis puede considerarse muy improbable.

#### ***3.4.5.2.4 Hipótesis de fallo del aislamiento externo del cable de 220 kV***

Para analizar esta hipótesis es necesario hacer primero algunas consideraciones sobre el circuito de pantallas del cable Urgell-Maragall y la red de tierra del sistema de 220 kV, íntimamente relacionados. Por ello, a continuación se describe resumidamente el funcionamiento de estos sistemas en lo que pueda tener influencia sobre el transcurso del incidente.

##### ***a) Descripción del circuito de pantallas del cable Collblanc-Urgell-Maragall-Badalona***

Se expone aquí el planteamiento general de los criterios de conexión de las pantallas, entre sí y a tierra, de los cables unipolares en líneas subterráneas de gran potencia, así como la situación concreta de la línea estudiada. Como es usual en este tipo de líneas, en la línea Collblanc-Badalona se han adoptado los medios para suprimir la circulación de corriente por las pantallas durante el régimen de funcionamiento normal. Esto se logra fraccionando en tramos las pantallas y conectando estos tramos de forma que no sean rígidas a la vez las uniones a tierra de sus dos extremos y/o que se neutralicen entre sí las tensiones inducidas en las diversas secciones. En esta línea se ha empleado un sistema mixto de puesta a tierra en punto único (single point) y de transposición de pantallas (cross bonding). Las conexiones entre tramos de pantalla y a tierra se realizan en cajas de empalmes (de unión y de cruzamiento).

Al adoptar este recurso deben resolverse dos problemas de tensiones transitorias elevadas, que aparecen entre bordes de pantalla próximos entre sí (en un mismo empalme) y entre pantallas y tierra. El primero ocurre con ocasión de la circulación de sobretensiones impulsivas en el circuito principal (de 220 kV) de la línea, que genera a su vez tensiones impulsivas en el circuito de pantallas. El segundo se presenta cuando circulan por la línea principal corrientes de cortocircuito, situación en la que pueden

aparecer tensiones de frecuencia industrial de varios kV en los puntos citados. Para controlar las sobretensiones impulsivas, que podrían ser muy elevadas si no se tomaran precauciones, se instalan en las cajas de conexión y de cruzamiento descargadores de sobretensión entre pantallas y tierra, o entre pantallas (descargadores en estrella o en triángulo). Los descargadores deben soportar las tensiones de frecuencia industrial sin conducir, y deben recortar las tensiones impulsivas a valores aceptables. De esta manera se asegura que el aislamiento entre pantallas y tierra, así como el aislamiento entre pantallas en los empalmes de cruzamiento y en los terminales con pantallas aisladas, no sufrirá solicitaciones excesivas. Con la tecnología disponible desde hace más de 25 años, estos descargadores son de óxidos metálicos y carecen de explosores, por lo que su actuación no debe originar ninguna manifestación de ruido, luz, calor o humo, salvo que se produzca su destrucción. En instalaciones anteriores podrían encontrarse explosores, en los cuales una descarga momentánea sí produciría ruido, pero no destrucción cuando se opera dentro de los valores de proyecto de la instalación.

La tensión de frecuencia industrial que aparece en bornes de los descargadores de pantalla durante los cortocircuitos en la red de 220 kV es proporcional a la intensidad de las corrientes en los conductores principales (de 220 kV). Si se llega a superar en los descargadores la tensión de 50 Hz que son capaces de soportar sin conducir, se destruyen, y esto puede suceder si por la línea circulan corrientes de cortocircuito más intensas que las previstas. A partir de ese momento, pueden generar calor incluso en situación normal, con el peligro de quemar la caja, encender los materiales combustibles que pueda haber en las proximidades e, incluso, interrumpir la continuidad del circuito de pantallas o la de su conexión a tierra.

La avería o destrucción de una caja de conexión o de cruzamiento del circuito de pantallas no origina de manera inmediata una avería del aislamiento principal (fase-tierra) en la línea, aunque debe repararse lo más pronto posible. En el caso presente se han encontrado varias cajas destruidas, con conexiones interrumpidas o con descargadores desconectados. Como se expondrá a continuación, ello ha podido tener una participación importante en el incidente en la red de 220 kV.

## ***b) Análisis de la hipótesis de fallo del aislamiento externo del cable de 220 kV***

El último tramo de pantallas del cable Urgell-Maragall (de EN9 a EN10), de unos 290 m y contiguo a la S.E. Maragall, está conectado a tierra siguiendo un esquema de punto único (single point), y por ello desconectado del resto de tramos de pantallas, para los que se ha adoptado el esquema de transposición (cross-bonding). Un conductor de continuidad recorre todo el trayecto de esta línea, enlazando los sistemas de tierra general de las dos subestaciones y dando conexión a tierra a todas las cajas de conexión de pantallas de la línea. El punto de conexión a tierra está situado en la propia subestación, en la caja de conexión EN10.

Si la instalación estuviera realmente en las condiciones de diseño descritas, la línea debería soportar el paso de intensidades de cortocircuito de cualquier tipo (monofásico o polifásico, en la propia línea o externo) de hasta 31,5 kA, sin provocar actuación ni afectación de ninguno de los descargadores de toda la línea Collblanc-Badalona. Las tensiones de 50 Hz inducidas en el circuito de pantallas en tales situaciones serían inferiores al umbral de conducción de los descargadores, que no están previstos para soportar la conducción de corrientes de esa frecuencia y que quedarían destruidos si esto llegara a ocurrir.

Los hechos observados indican que en la línea Urgell-Maragall las cosas no suceden de esta manera. Por el contrario, con anterioridad al incidente y durante su transcurso, con el paso de intensidades mucho menores del valor asignado de cortocircuito, se han destruido descargadores en varias cajas de conexión de pantallas. Concretamente, la intensidad de 22,5 kA aparecida en la línea durante la última falta debería haber generado en los descargadores de la caja EN9 (en paseo Maragall) tensiones de 50 Hz no superiores a 2,8 kV, según el cálculo de REE. Siendo la máxima tensión eficaz que deben soportar durante 1 segundo (TOV) de 4,5 kV, los descargadores deberían haber permanecido íntegros y al margen del proceso. Por el contrario, han explotado durante la falta, en presencia de los operarios que estaban preparados para su sustitución, lo que significa que se habían averiado con intensidades aún menores, o quizá por otras causas que más adelante se sugieren.

Puede suponerse, a la vista del comportamiento de la línea antes de, y durante el cortocircuito final, que en la red de tierra y/o en el circuito de pantallas existían discontinuidades no previstas que dejaban de garantizar la equipotencialidad de algunos elementos. Por ejemplo: si la tierra de la caja EN9 hubiera estado unida con seguridad al punto de puesta a tierra de la terna de pantallas en la S.E. Maragall, habría sido imposible la aparición en esa caja de tensiones superiores a 2,8 kV, contrariamente a lo observado. Esto sugiere la posibilidad de una o más interrupciones ocultas del conductor de continuidad o de algún elemento de la conexión a tierra de las pantallas en la S.E. Maragall.

Puesto que han sido varias las cajas averiadas durante el incidente y con anterioridad a él, se pone de manifiesto que existen problemas de continuidad en los circuitos de pantallas y tierra. En las operaciones de mantenimiento preventivo de estos circuitos descritas por REE no figura la comprobación de su continuidad y aislamiento.

Otra consecuencia de una interrupción en los circuitos de tierra es la posibilidad, remota pero no totalmente improbable, de quedar “flotante” el conjunto de las tres pantallas del tramo final (de EN9 a EN10). Esta situación sería muy grave, puesto que existe un fuerte acoplamiento capacitivo entre los conductores principales y las pantallas de este tramo, y con ocasión de la aparición de tensión homopolar en el sistema de 220 kV como consecuencia de una falta a tierra no muy lejana, podría elevar el potencial de las pantallas respecto a tierra a valores del orden de 20 ó 30 kV. No se puede afirmar que esto haya ocurrido realmente, pero explicaría la repercusión sobre la caja EN9 del incidente ocurrido en la madrugada del día 23 en la línea Collblanc-Can Jardí 1, aparentemente simultáneos. Este incidente no pudo originar intensidades importantes en la línea Urgell-Maragall, pero sí un desplazamiento de tensión de las pantallas suficiente para provocar la avería de los descargadores si se hubiera dado la situación de desconexión de las pantallas en su “punto único” de conexión a tierra.

Por otra parte, en las inspecciones termográficas en la S.E. Maragall (salida Badalona) se aprecian puntos calientes en algunas bridas y elementos de sujeción por los que no

debería pasar corriente en régimen normal. No son temperaturas alarmantes, pero delatan la circulación indebida de corrientes que deberían estar derivadas por conexiones intencionadas, y la posible existencia de puntos de contacto defectuoso, previsto o imprevisto. Estos registros no corresponden al cable Maragall-Urgell, sino al cable Maragall-Badalona, pero son indicativos de anomalías en el sistema de tierra de la subestación, íntimamente relacionado con el circuito de pantallas de ambos cables.

También REE, en revisiones termográficas por ella misma encargadas, conocía de la existencia de *puntos calientes* en las posiciones Collblanc y Maragall de la subestación Urgell y que tales puntos habían sido catalogados por el Laboratorio de Termografía como *vigilar la evolución del punto caliente*.

En esta hipótesis se hace la siguiente proposición: Por anomalía en algún punto de sujeción, combinada con la interrupción de alguna conexión de las que intervienen en la puesta a tierra de la pantalla, habría quedado formada una espira (circuito) que incluiría la pantalla, la puesta a tierra en la caja EN9 a través de los descargadores en mal estado, y un contacto imperfecto o indebido de la pantalla de plomo del cable o de uno de los tubos de unión de éste a los depósitos de aceite con una pieza de sujeción conectada a tierra. Al aparecer con el cortocircuito una tensión inducida de 2,8 kV en esta espira, habría circulado una corriente de varios kA por el punto de contacto con la pantalla o con el tubo, produciéndose inmediatamente su perforación, el derrame del aceite y su ignición.

Aunque a este supuesto no se le puedan aportar evidencias, tampoco se puede, a diferencia de las hipótesis anteriores, descartarlo por razones de oscilografía, cronología de eventos o incompatibilidad con otros sucesos del incidente. Ciertamente, si todo hubiera estado en perfectas condiciones, este proceso habría sido imposible, pero hay suficientes indicios para suponer que la integridad de los circuitos de pantallas y tierra estaba afectada por alguna interrupción desconocida.

A mayor abundamiento, de acuerdo con los informes periciales aportados, se considera prácticamente seguro que el incendio se inició en la semiplanta por donde discurren tanto los cables de 220 kV, propiedad de REE, como los de 11 kV, propiedad de ENDESA. Así mismo, de acuerdo con los datos disponibles, el incendio fue simultáneo, o

inmediatamente posterior, a la apertura del interruptor de la línea Collblanc en la S.E. Urgell y a las explosiones que se observaron en la caja de conexión de pantallas en el Paseo Maragall. Descartado, como se ha visto anteriormente, que el incendio fuese provocado por la avería de alguno de los cables de 11 kV, cabe concluir, como única hipótesis verosímil para explicar todo lo acontecido, que se produjo el fallo del aislamiento de uno de los cables de la línea Urgell-Maragall, con el consiguiente vertido e ignición del aceite contenido en el mismo. El fuego inicial afectó a los cables de dicha línea, provocando así la aportación de su aceite al incendio. El calor pudo debilitar la resistencia de los elementos GIS y provocar su explosión.

De esta hipótesis, expuesta como una posibilidad, debe deducirse la necesidad de profundizar en el estudio y control de los circuitos de tierra y pantallas de esta línea en su totalidad, puesto que situaciones como la existente inmediatamente antes del incidente son incompatibles con la explotación segura de la línea.

En las cajas del circuito de pantallas, dotadas de descargadores de ZnO, si están correctamente dimensionadas, instaladas y mantenidas no deben producirse ruidos, desprendimiento de gases o humos, ni otro tipo de manifestaciones externas, aun en el caso de circulación por la línea de la máxima corriente de cortocircuito prevista, en este caso de 31,5 kA. Sin embargo, después del incidente se han encontrado destruidas, en todos los tramos del cable a 220 kV Collblanc-Badalona, varias cajas de conexión y/o cruzamiento de pantallas, que han sido reparadas o reemplazadas por otras nuevas.

Posiblemente la situación producida en este incidente haya sido la peor en la historia de la línea Collblanc-Badalona, lo que significa que el deterioro previo del circuito de pantallas se ha producido con intensidades notablemente inferiores a la proyectada como admisible para la línea.

### ***3.5 Posibilidad de transferencia de carga entre subestaciones***

La carga alimentada por la S.E. Maragall en los momentos inmediatamente anteriores al incidente era de unos 200 MVA, aproximadamente. Los sucesos ya descritos y el incendio que siguió dejaron a la S.E. Maragall sin posibilidad de alimentación a 220 kV. Una vez

normalizada la alimentación en AT de las demás subestaciones, se pudo absorber un 32% de aquella carga a través de la red de distribución a 11 y 25 kV. El resto, la mayor parte, quedó pendiente de la habilitación de los medios extraordinarios que a continuación se fueron poniendo en servicio, tales como la instalación de grupos generadores y el tendido de cables alimentadores desde las subestaciones más próximas.

La posibilidad de socorro total a través de la red de Media Tensión a una subestación en la que ha quedado indisponible algún equipo imprescindible para poder disponer de tensión, debe estudiarse, si se considera necesaria, en la fase de planeamiento y desarrollo de la red de media tensión. En este aspecto, la red de Media Tensión de Barcelona es especialmente complicada por varias razones. En primer lugar, por el hecho de haber dos tensiones, 11 y 25 kV. En segundo lugar, por estar muy extendida en el centro urbano (la zona de S.E. Maragall, por ejemplo) la tensión de 11 kV, que resulta de valor reducido y de alcance limitado para las densidades de carga de las zonas atendidas. Y en tercer lugar, porque la estructura de esas redes refleja todavía la historia no muy lejana de los tiempos en que tres empresas distribuidoras establecían sus redes de Media Tensión con escasa o nula coordinación.

Como el incidente ha demostrado, actualmente, y al menos en lo que se refiere a la S.E. Maragall, esa posibilidad de socorro total no existe, y la garantía de continuidad del servicio está supeditada a la garantía de alimentación a la tensión superior.

En este punto, independientemente de que la normativa vigente no alcanza a concretar los niveles de desarrollo que debe tener la red de distribución ante la falta de alimentación desde la red de transporte, es de suponer que ENDESA era consciente de que sus redes de distribución no estaban preparadas para suplir el fallo completo de la subestación Maragall, y hubiera sido deseable haber dispuesto de un mayor nivel de desarrollo de las redes de distribución de la zona con objeto de prever dicha contingencia. No obstante lo anterior, y tal y como esta Comisión tuvo ocasión de manifestar con motivo del informe 2/2007 sobre la propuesta del Procedimiento de Operación 13.2 "*Coordinación de los planes de desarrollo de la red de transporte y de las redes de distribución*", todavía no aprobado, para garantizar el suministro a los usuarios, no cabe simplemente imponer a

las redes de distribución unos requisitos sino que lo que realmente se precisa es un desarrollo coordinado de ambas redes, de modo que, ante un fallo en la red de transporte, el suministro pueda ser garantizado, de una manera razonable (maniobras, medios auxiliares, etc), a través de las redes de distribución.

### **3.6 Mercado afectado**

La primera etapa del incidente se corresponde con la caída del conductor de 110 kV sobre el parque de 220 kV de la subestación Collblanc. La segunda etapa del incidente, que se produce transcurrido más de 3 segundos, provoca la pérdida por incendio de la subestación Maragall. Los dos sucesos tienen una incidencia cuantitativa (por puntos de suministro y por tiempo de interrupción del servicio) en el mercado de Cataluña (Barcelona y área metropolitana) muy distinta.

A las 10:53 horas del día 23 de julio de 2007, el incidente (entendido como los dos sucesos anteriormente definidos) afectó a las redes de transporte y distribución, que alimentan parte de la ciudad de Barcelona y áreas limítrofes, dejando sin suministro a 323.337 clientes.

Las subestaciones afectadas fueron siete, de las cuales cinco (Collblanc (parque de 110 kV), Hostafrancs, Les Corts, Mata y Sants) son subestaciones de distribución 110/11 kV propiedad de ENDESA, y las otras (Collblanc (parque de 220 kV), Urgell y Maragall) son subestaciones, propiedad de REE, conectadas a la red de transporte 220 kV que transforman a distribución de 25 y 11 kV.

Atendiendo a esta diferenciación, la afectación en número de clientes, según el nivel de tensión, y en potencia instalada es la que se indica a continuación

NIVEL DE TENSIÓN	CLIENTES	POTENCIA (kVA)
110 kV	151.441	775.693
220 kV	171.896	595.527
<b>TOTAL</b>	<b>323.337</b>	<b>1.371.220</b>



En cuanto a los municipios afectados, el reparto en cuanto al número de clientes y potencias instaladas es el siguiente:

POBLACIÓN	CLIENTES	POTENCIA (kVA)
Barcelona	268.613	1.236.603
Hospitalet de Llobregat	49.988	113.843
Esplugues de Llobregat	5.736	20.775
<b>TOTAL</b>	<b>323.337</b>	<b>1.371.220</b>

La energía no suministrada total durante el incidente asciende a 10.747 MWh.

En cuanto a la secuencia de recuperación de los suministros afectados, la siguiente tabla recoge las etapas más significativas del proceso de reposición, que tuvo una duración total hasta la recuperación plena de los clientes afectados de más de 58 horas.

ETAPA (Día y Hora)	CLIENTES SIN SUMINISTRO	POTENCIA (kVA)
23/07 10:53 horas	323.337	1.371.220
23/07 12:41 horas	133.370	484.239
23/07 20:17 horas	110.103	362.275
24/07 03:10 horas	82.301	215.583
24/07 08:45 horas	77.553	200.535
24/07 16:52 horas	51.572	138.458
24/07 20:24 horas	46.118	119.183
25/07 08:06 horas	10.214	27.424
25/07 14:00 horas (1)	20.769	53.051
25/07 08:06 horas	0	0

(1) El crecimiento de la demanda en las horas centrales del día provocó que la afectación se incrementara respecto a la etapa anterior.

Conforme al detalle de la descripción de las etapas anteriores, incluido en el anexo 6 de este informe, la recuperación del mercado abastecido por las subestaciones de 110 kV propiedad de ENDESA, se produjo a las 12:41 del día 23 de julio, quedando todavía sin

suministro 133.370 clientes, a los que se debía atender desde las subestaciones alimentadas a 220 kV (subestaciones Urgell y Maragall).

Las consecuencias derivadas y asociadas únicamente a la rotura y caída del conductor de 110 kV sobre el parque de 220 kV de Collblanc, en el supuesto de que no se hubiera producido el incendio de la subestación de Maragall, ni la actuación, posiblemente intempestiva, de la protección diferencial longitudinal en el tramo Badalona-Maragall, habrían sido la afectación al mercado suministrado desde la subestación de Collblanc, que según información de Endesa es del orden de 40.000 clientes. Según la cronología de las etapas de reposición, dicho mercado fue repuesto transcurrido un tiempo de 1 hora y 48 minutos desde el inicio del incidente.

A continuación se resume el número de clientes afectados asociados a cada uno de los sucesos del incidente, así como el tiempo de reposición máximo asociado:

SUCESO	CLIENTES AFECTADOS	TIEMPO MÁXIMO DE REPOSICIÓN
Caída del conductor	40.000	1 hora 40 minutos
Pérdida de Maragall	Resto	58 horas

### **3.7 Visión global del incidente**

En el presente informe se ha presentado una interpretación de los hechos basada en la información disponible hasta el momento. La aparición de nuevos datos, en particular los referentes al análisis final del conductor de 110 kV que originó el inicio del incidente y, en su caso, los correspondientes a las instalaciones de 220 kv afectadas, podrá ratificar o corregir la visión que aquí se presenta. Esta visión puede resumirse como sigue:

- La rotura de un conductor de una línea de 110 kV ha originado su caída sobre una instalación de 220 kV y ha dado lugar en la red de esta tensión a un incidente eléctrico en dos etapas. Según el laboratorio oficial LGAI, la causa de la rotura puede haber sido un contacto eléctrico degradado entre el conductor y la grapa,

posiblemente iniciado por corrosión y/o una confección defectuosa, con el resultado final de fluencia térmica y rotura.

- Desde un punto de vista legal y reglamentario, y sin perjuicio de lo que al respecto finalmente dictamine la Generalitat de Catalunya, la situación previa de la línea a 110 kV en relación con el parque de 220 kV era correcta, si bien podía haberse modificado con anterioridad para disminuir la probabilidad de caída del conductor sobre las barras de 220 kV.
- Las protecciones de la red frente a cortocircuitos han funcionado en conjunto correctamente, confinando la zona afectada a la estrictamente necesaria, teniendo en cuenta la estructura de la red. Debe investigarse con detalle la actuación de dos protecciones diferenciales longitudinales (Collblanc-Urgell y Maragall-Badalona).
- El estado de los circuitos de pantallas y de tierra, puesto de manifiesto con anterioridad y durante el incidente, con numerosas averías reparadas con anterioridad y otras pendientes de reparación, permite considerar como hipótesis más probable que se haya formado una espira comprendiendo la pantalla del cable con falta, su conexión a tierra en el extremo alejado de la subestación a través de los descargadores averiados (cruzados) y un punto de contacto (imperfecto) de la pantalla o de uno de los tubos de conexión a los depósitos con tierra.
- El paso de la corriente de 22,5 kA por una fase ha producido una tensión inducida de unos 2,8 kV en dicha espira que, a su vez, puede haber provocado la circulación por ella de una intensidad de entre 5 y 10 kA. En tal caso, en el punto de contacto de la pantalla o un conducto con tierra se habría producido una perforación y la inevitable la salida del aceite, encendiéndose éste al contacto con el arco establecido. También debe considerarse la posibilidad de que se hubiera creado una situación de potencial flotante muy peligrosa que, a su vez, habría podido preparar el camino de cierre de la espira formada por este tramo y sus retornos a tierra. El comienzo de estas deficiencias previas al incidente no ha podido ser determinado. Esta es una hipótesis de trabajo que conduce a investigar a fondo el estado real de la red de tierra de la S.E. Maragall y del circuito de pantallas de la línea Maragall-Urgell, extensivo a la totalidad del circuito Collblanc-Badalona.

- Por tratarse de cables con aislamiento de papel y aceite fluido a una cierta presión, por el punto de la avería, ya sea en el propio cable o en uno de los conductos a los depósitos, se ha vertido aceite encendido hasta el agotamiento del volumen almacenado en los depósitos de expansión y reserva (pulmones).
- El incendio ha inutilizado totalmente la instalación blindada (GIS) de 220 kV en la S.E. Maragall. Ante esta destrucción, en el incidente no ha influido el hecho de que al nudo Maragall actualmente sólo concurren dos líneas (subestación en red no mallada, según la terminología).
- Desde la red de media tensión sólo ha sido posible asumir la alimentación del 32% de la potencia anteriormente servida por la S.E. Maragall. La reposición del servicio a la totalidad de los usuarios ha requerido el tendido urgente de líneas alimentadoras desde las subestaciones más cercanas, y la instalación de 155 grupos generadores móviles.
- La primera etapa del incidente (rotura del conductor y caída sobre el embarrado de 220 kV de S.E. Collblanc) se ha resuelto en un tiempo breve y ha tenido consecuencias limitadas, afectando solamente al área de distribución atendida desde esa subestación durante corto tiempo, justo el necesario para retirar el conductor caído, revisar y reparar los deterioros producidos en los puntos de contacto, y reponer las conexiones normales.
- La segunda etapa (contacto del conductor caído con el terminal del cable Collblanc-Urgell, y sucesos siguientes) ha originado una falta a 220 kV que ha sido alimentada exclusivamente por la línea Badalona-Collblanc. La corriente de cortocircuito ha sido muy intensa (22,5 kA), posiblemente la más elevada que ha circulado por la línea en toda su longitud desde su puesta en servicio.
- Una situación previa incorrecta del circuito de pantallas de esa línea, ha podido originar en él, al paso de la corriente de cortocircuito, una falta que, a su vez, haya producido el incendio y consiguiente destrucción de la instalación de 220 kV en la S.E. Maragall, con el resultado de indisponibilidad de potencia para la transformación a media tensión.
- En la madrugada del 23 de julio algún descargador, con los que están equipadas las cajas de cross-bonding del cable de 220 kV de Urgell-Maragall, queda destruido.

Una prueba de la destrucción de algún descargador de estas cajas es la coincidencia en el tiempo de unos disparos en 220 kV y la llamada a la guardia urbana de Barcelona comunicando explosiones y salidas de humo de la trampilla correspondiente a una de estas cajas en las proximidades de la subestación de Maragall.

- La destrucción de estos descargadores del cable Urgell-Maragall en el extremo Maragall no impidió que el cable pudiera seguir funcionando con aparente normalidad, a pesar de tener deterioros ocultos que podían existir desde horas, incluso días, antes del incendio de la subestación de Maragall y que se pusieron de manifiesto en la segunda etapa del incidente.

#### **4 CONCLUSIONES**

**PRIMERA.-** La rotura de un tramo del conductor de la línea aérea a 110 kV Can Jardí-Collblanc 4, propiedad de ENDESA, justo al lado de la grapa de compresión que, a través de la cadena de aisladores, lo viene a sujetar al apoyo, y su posterior caída sobre el parque a la intemperie de 220 kV de la subestación Collblanc, propiedad de REE, constituye el primer suceso del incidente acaecido en el suministro eléctrico a la zona de Barcelona y zonas adyacentes el día 23 de julio de 2007 a las 10 horas 53 minutos.

**SEGUNDA.-** Los análisis efectuados por el laboratorio oficial LGAI del conductor caído sobre el parque de 220 kV de la subestación Collblanc señalan que el contacto entre el conductor y la grapa que sujeta el conductor al apoyo ha sufrido un proceso progresivo de degradación y, en consecuencia, un aumento de la temperatura de trabajo, que ha llegado a producir fluencia del material y debilitación de su resistencia hasta la rotura del mismo. La corrosión y/o una confección defectuosa, han sido las probables causas detectadas por el LGAI. Entiende esta Comisión que dicho proceso degenerativo podría haber sido observado en las revisiones por mantenimiento del citado cable.

**TERCERA.-** Ha quedado constatado que el vuelo de la línea aérea a 110 kV Can Jardí-Collblanc 4, propiedad de ENDESA, sobre el parque de 220 kV de la subestación Collblanc, propiedad de REE, era perfectamente evitable. La disposición adoptada por ENDESA después de lo ocurrido en el incidente del 23 de julio de 2007, al haber repuesto

el cable caído en una posición de sujeción al apoyo diferente a la inicial, de forma que la vertical de dicho cable ya no incide directamente sobre elementos del parque de 220 kV, demuestra este hecho. En este punto cabe señalar, por consiguiente, que ENDESA, disponiendo de posibilidades para ello, no minoró en su momento el riesgo de tal caída de los conductores. También interesa destacar que el actual propietario del parque de 220 kV de la subestación Collblanc, es decir REE, no manifestó en su momento la necesidad de evitar tal sobrevuelo. Dicho de otro modo, ambas sociedades, ENDESA y REE, pudiendo haberlo hecho, no han reducido el riesgo de la caída de los conductores de la línea aérea a 110 kV Can Jardí-Collblanc 4 sobre el parque de 220 kV de la subestación Collblanc.

**CUARTA.-** La actuación en el incidente del sistema de protecciones asociado al eje de 220 kV Collblanc-Badalona puede valorarse, en términos generales, como correcta, en el sentido de que han actuado con la rapidez, selectividad y coordinación previstas. No obstante ha quedado constatado que al menos han actuado incorrectamente dos de las protecciones asociadas a dicho eje: 1) la protección diferencial del tramo Collblanc-Urgell, que no actuó; 2) la actuación de la protección diferencial del tramo Badalona-Maragall, que actuó sin que aparentemente hubiese falta en dicho tramo. Esta última desconexión, posiblemente innecesaria, no tuvo influencia en el desarrollo del incidente, puesto que el incendio que siguió también la habría provocado. Consta que esta última protección ha sido posteriormente sustituida por REE.

**QUINTA.-** Entiende esta Comisión que el incendio de la subestación Maragall es atribuible a los defectos previos existentes en el tramo del cable de 220 kV Urgell-Maragall, propiedad de REE, que estando latentes se pusieron de manifiesto con la falta producida por la caída de la línea de 110 kV sobre el parque de 220 kV de Collblanc. De acuerdo con el análisis realizado, la única hipótesis verosímil para explicar el desenlace acaecido, es el fallo del aislamiento pantalla-tierra de dicho cable (cubierta externa) provocado a raíz de la última de las faltas que ha soportado dicho cable y motivado por los defectos preexistentes en el sistema de conexiones a tierra de las pantallas de dicho cable. Conforme a dicha hipótesis, la perforación de la cubierta de la pantalla o del aislamiento de sujeción del conducto de aceite, originó el paso de corriente a través de un arco eléctrico entre un punto de la pantalla o del conducto y un elemento de sujeción al

potencial de tierra, seguido de la fusión y del vertido e incendio del aceite contenido en dicho cable. Sin perjuicio de lo que pueda dictaminar al respecto la Generalitat de Catalunya, entiende esta Comisión que lo acontecido en la subestación Maragall hubiese sido perfectamente evitable si el referido cable de 220 kV hubiese estado en las adecuadas condiciones.

**SEXTA.-** Las infraestructuras eléctricas de la red de transporte y distribución, preexistentes antes del incidente, no estaban diseñadas para permitir una rápida recuperación del suministro. Prueba de ello es la importante cantidad de cables de distribución que ha sido necesario conectar al sistema, junto con la utilización de hasta 155 grupos electrógenos, para la recuperación total de los suministros afectados. Esta situación ha provocado que la recuperación total del suministro eléctrico a los miles de usuarios afectados, pese a los esfuerzos realizados, se haya realizado en tiempos inadmisibles.