



Observatori
de
l'Ebre

laSalle

Universitat Ramon Llull

CeTEC
Centre de
Tecnologia
Electrònica i
Comunicacions

Evaluación de Corrientes Inducidas Geomagnéticamente (GICs) en Transformadores AT/AT de Cataluña

J. Miquel Torta, Lluís Serrano

Observatori de l'Ebre. CSIC – URL

jmtorta@obsebre.es, <http://www.obsebre.es>

- Como consecuencia de la ley de Faraday, asociadas a las variaciones en el tiempo del campo magnético **se induce un campo eléctrico en la superficie de la Tierra**. Este campo eléctrico actúa como una fuente de voltaje a través de las redes.

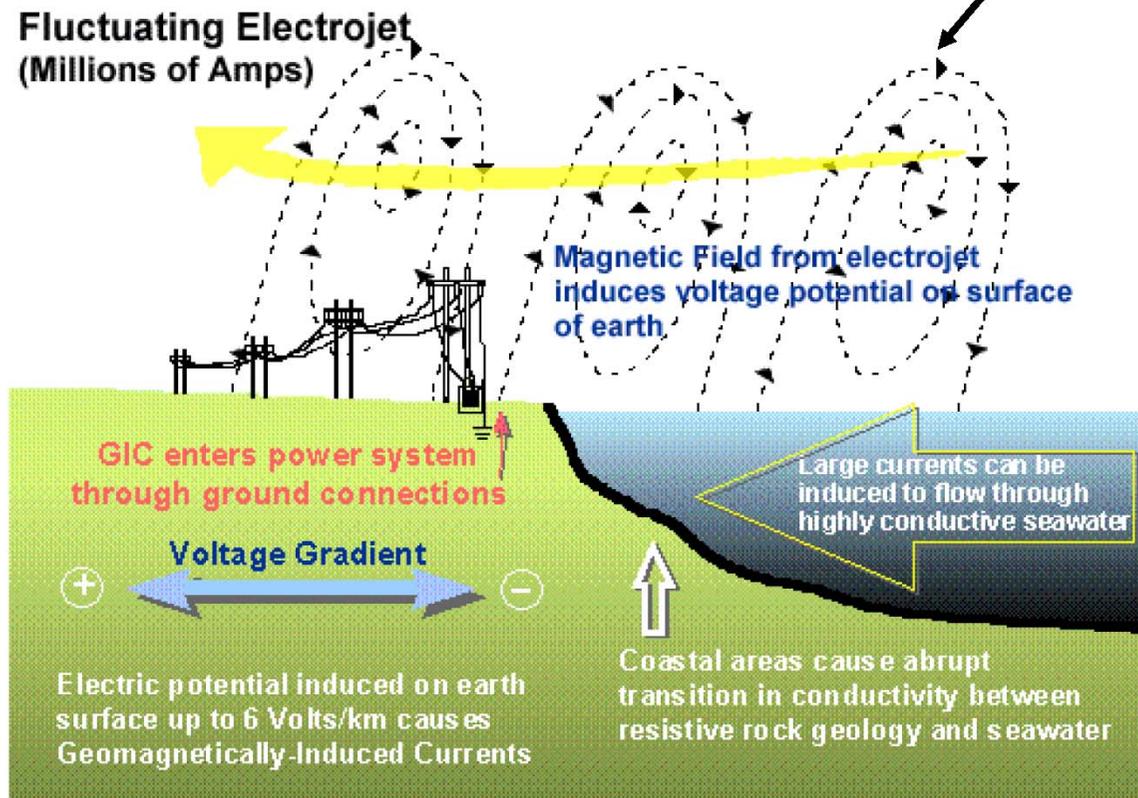
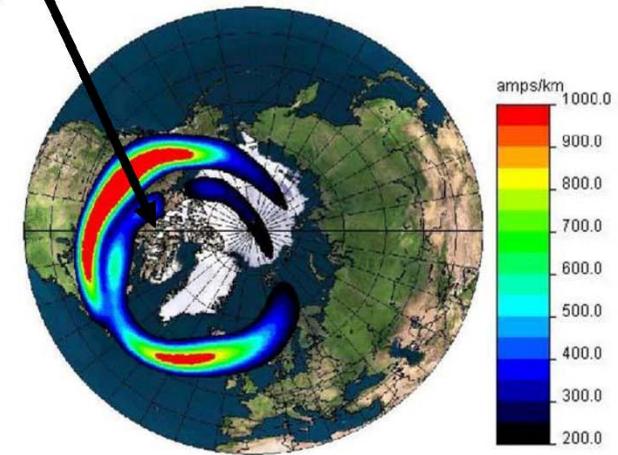
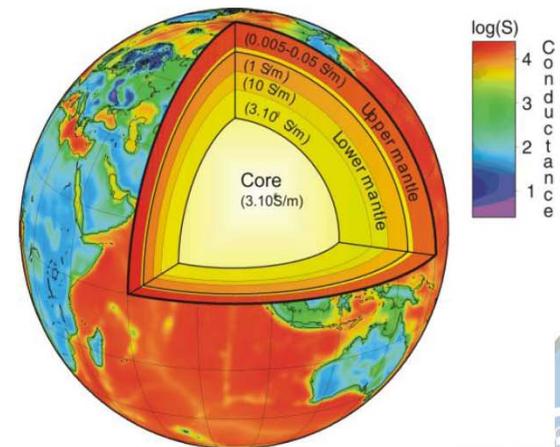


Figure: John Kappenman (Metatech)

Electrojets



3D Conducting Earth



After Vozar *et al.*
AGU-EOS, 2006



Transformer failures in regions incorrectly considered to have low GIC-risk

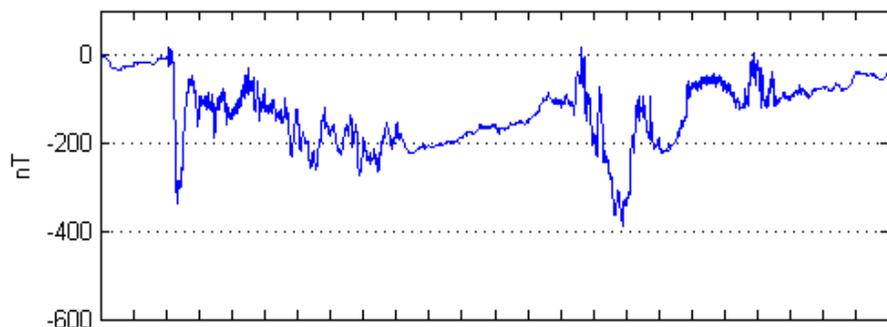
C. T Gaunt, G. Coetzee



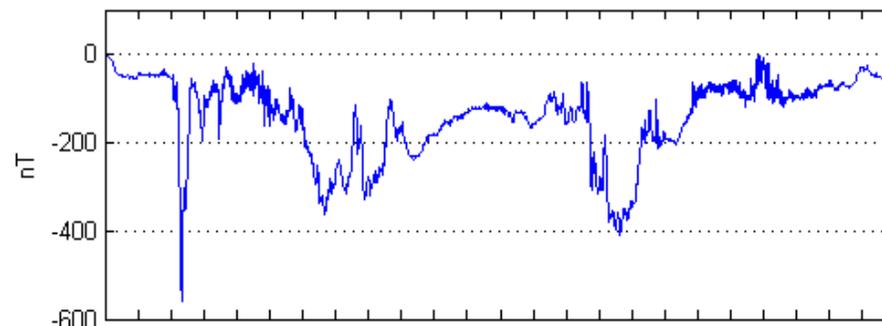
Fallo en un transformador de 700MVA en una central eléctrica sudafricana después de la tormenta de *Halloween* de octubre de 2003. Extraída de *Thomson et al.*, (2010).



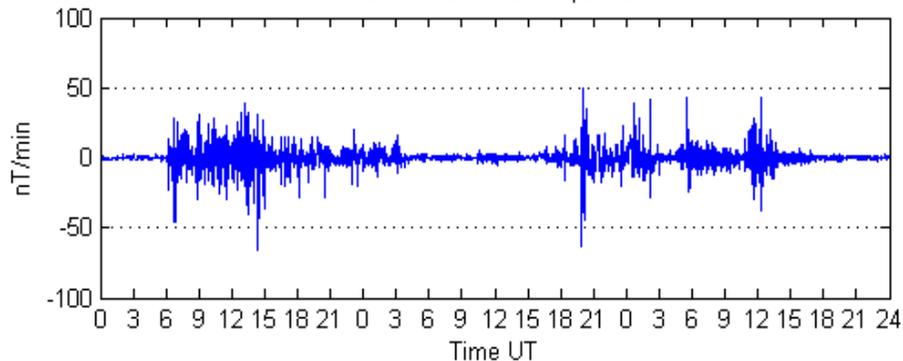
HER delta H oct 29-31, 2003



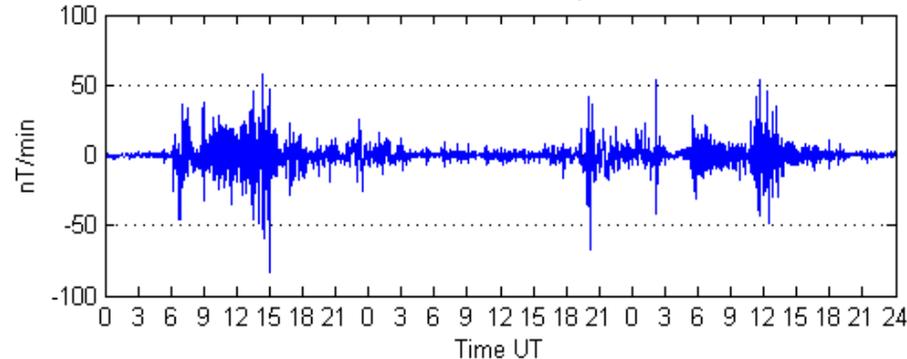
EBR delta H oct 29-31, 2003



HER dH/dt oct 29-31, 2003

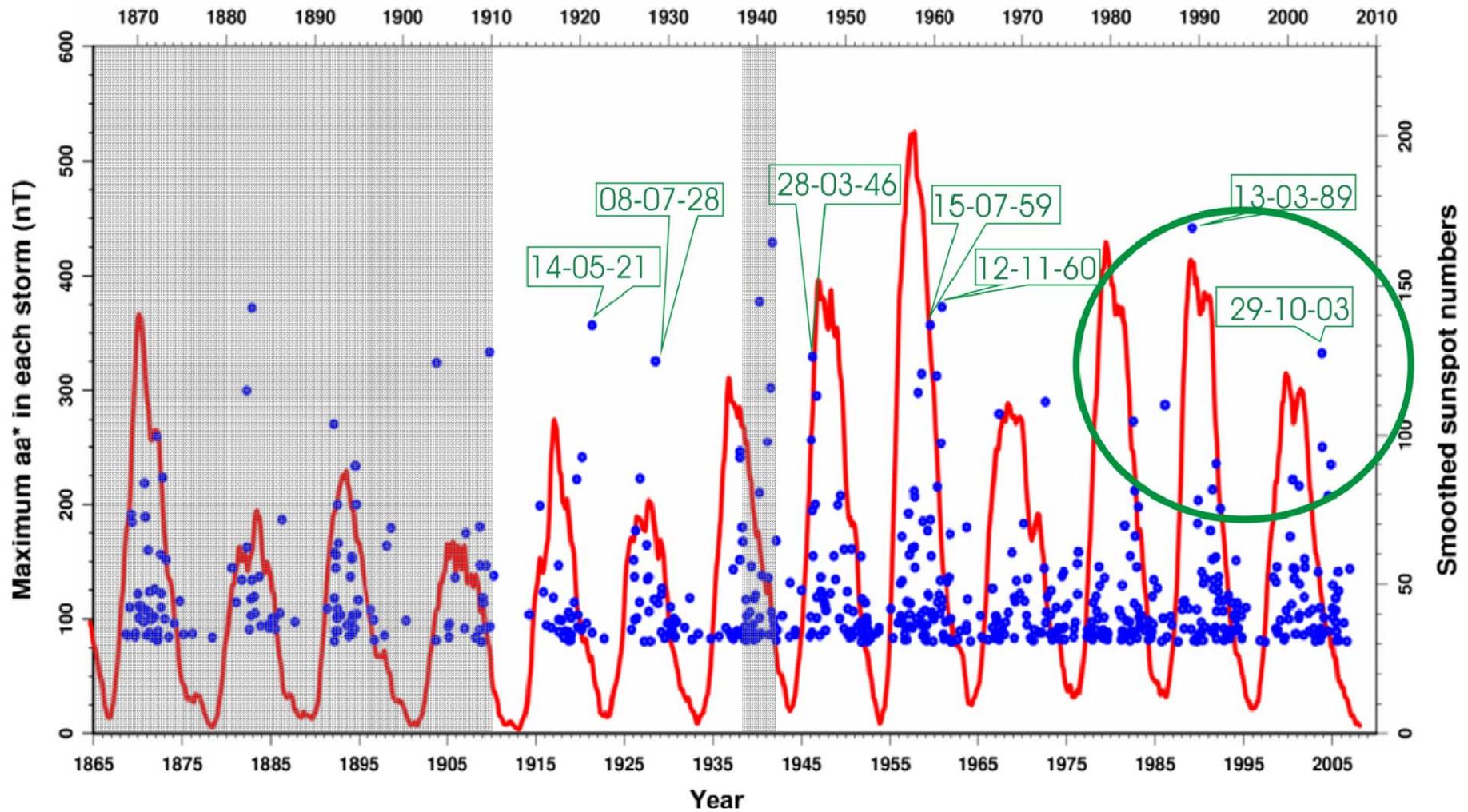


EBR dH/dt oct 29-31, 2003



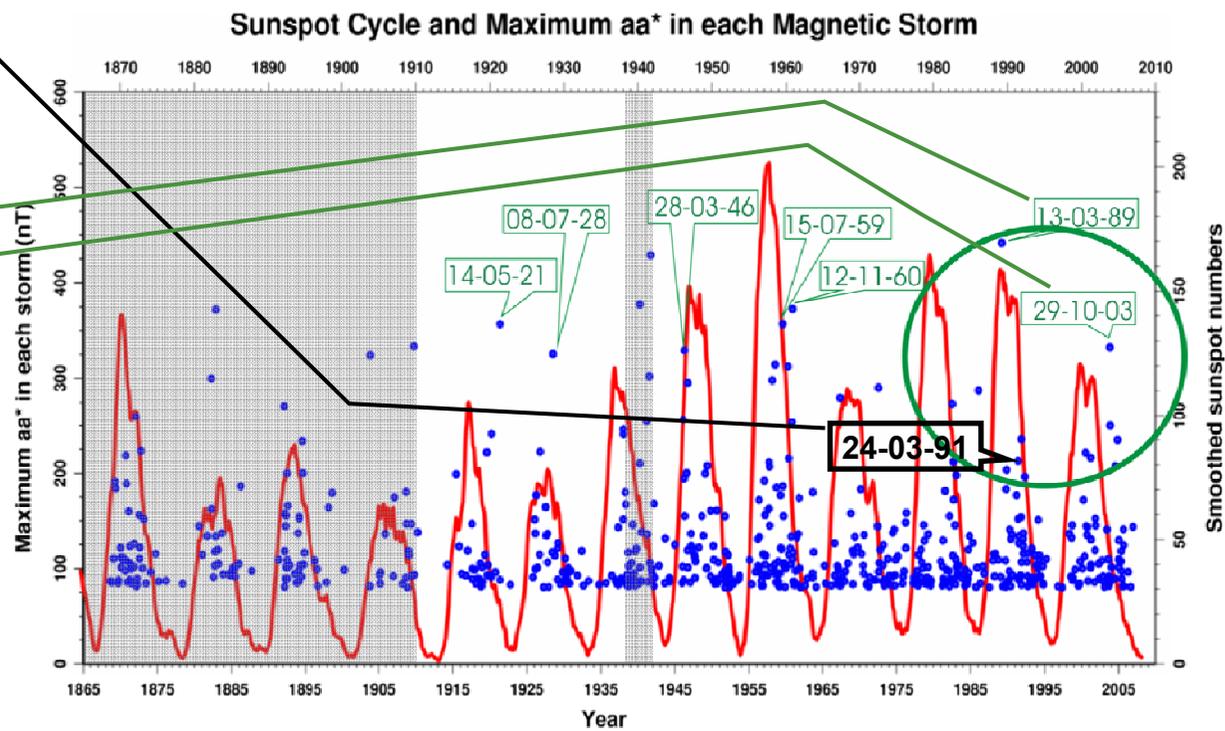
Variación del campo geomagnético (componente horizontal - ΔH , en nT) y su derivada (en nT/min) correspondientes a las *Halloween storms* (29-31 octubre 2003) en el Observatorio de Hermanus (HER), Sudáfrica, y en el Observatorio del Ebro (EBR)

Sunspot Cycle and Maximum aa* in each Magnetic Storm

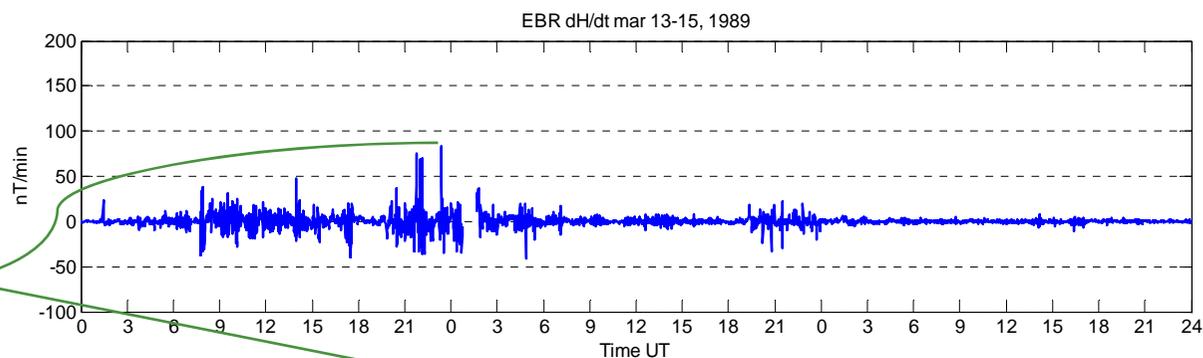
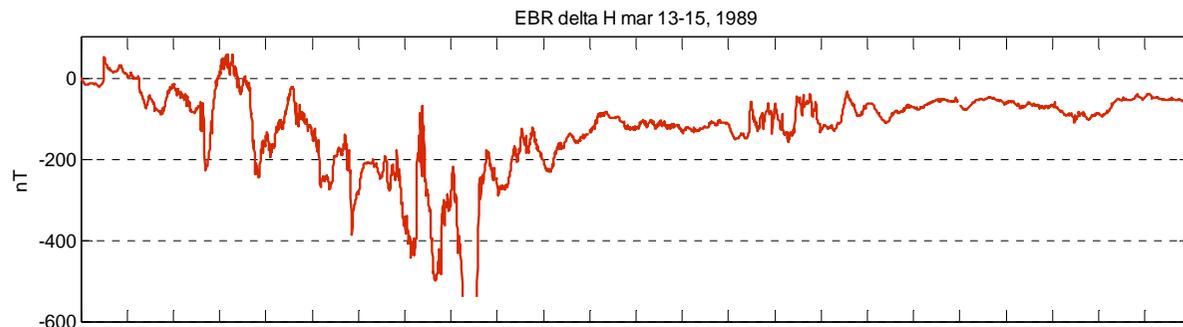


Las grandes tormentas geomagnéticas desde 1868 identificadas por el índice geomagnético aa*. Superpuesto en rojo se presenta la evolución del número mensual suavizado de manchas solares. Se ha utilizado un umbral de 80 nT para identificar las mayores tormentas. Gris: períodos sin datos en EBR. Adap. de *Thomson et al.* (2010).

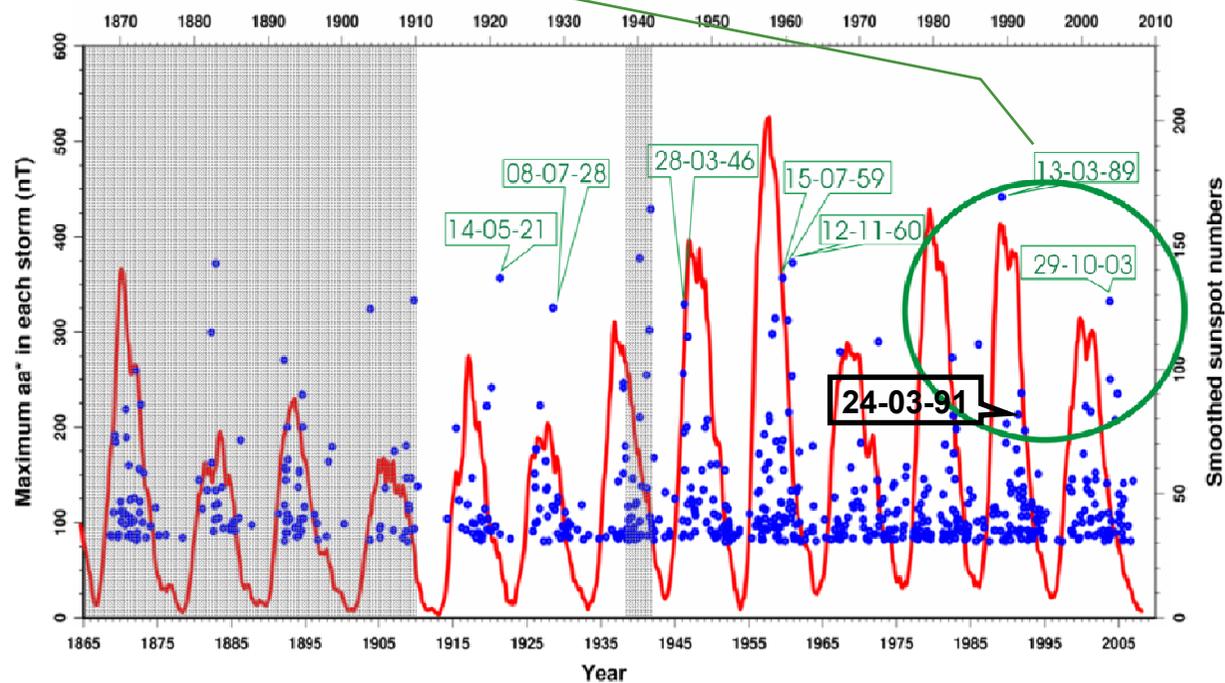
Rank	Date	Peak aa (nT)	Peak dB_H/dt (nT/min)
1	24 Mar 1991	363	177
2	14 May 1921	680	135
3	15 Jul 2000	440	112
4	13 Jul 1982	497	110
5	13 Mar 1989	715	92
6	29 Oct 2003	715	83
7	26 Jul 2004	228	82
8	31 Mar 2001	284	72
9	28 Mar 1946	656	70
10	24 Nov 2001	445	69
11	06 Nov 2001	306	64
12	05 Jun 1991	363	64
13	13 Nov 1960	568	55
14	09 Nov 2004	363	55
15	08 Nov 1991	578	50
16	08 Jul 1928	656	50



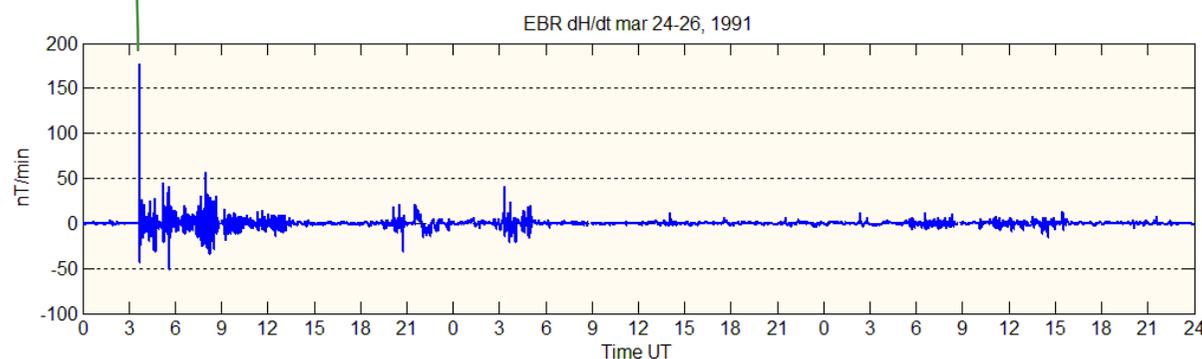
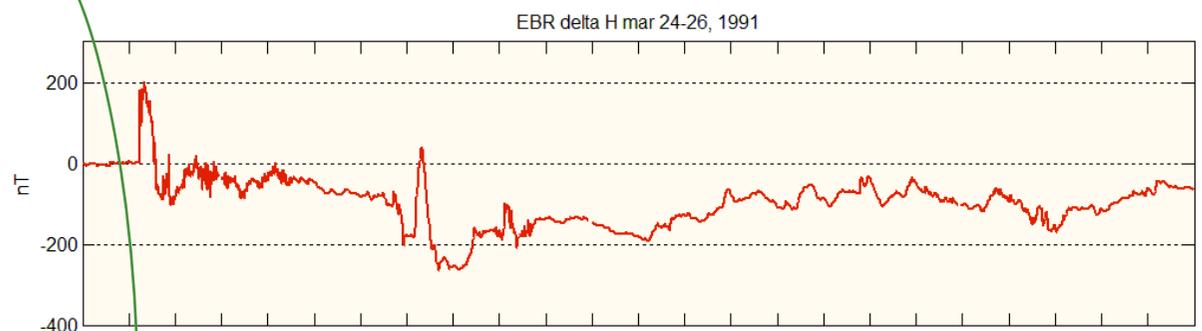
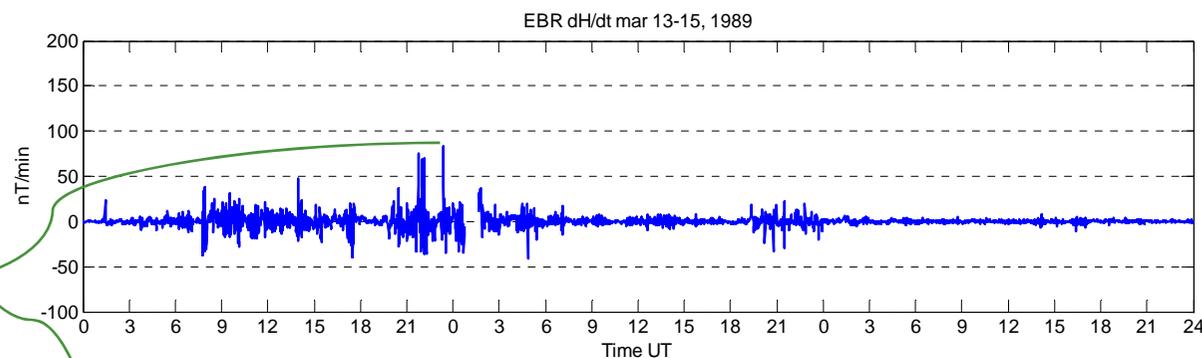
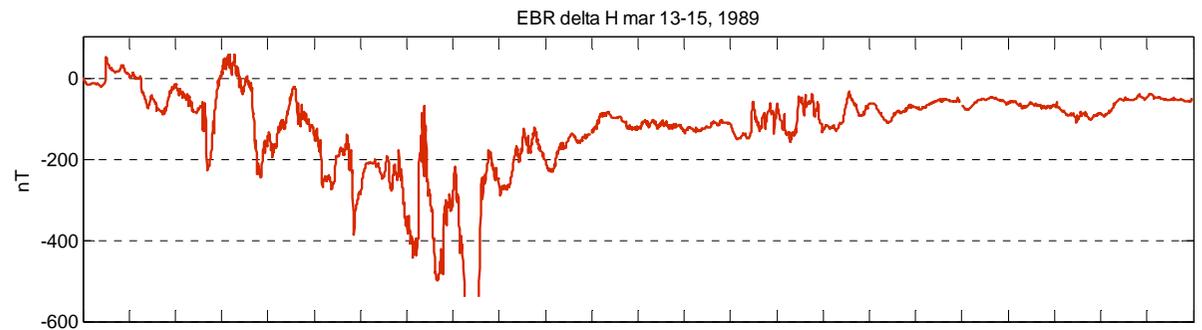
Rank	Date	Peak aa (nT)	Peak dB_H/dt (nT/min)
1	24 Mar 1991	363	177
2	14 May 1921	680	135
3	15 Jul 2000	440	112
4	13 Jul 1982	497	110
5	13 Mar 1989	715	92
6	29 Oct 2003	715	83
7	26 Jul 2004	228	82
8	31 Mar 2001	284	72
9	28 Mar 1946	656	70
10	24 Nov 2001	445	69
11	06 Nov 2001	306	64
12	05 Jun 1991	363	64
13	13 Nov 1960	568	55
14	09 Nov 2004	363	55
15	08 Nov 1991	578	50
16	08 Jul 1928	656	50



Sunspot Cycle and Maximum aa* in each Magnetic Storm



Rank	Date	Peak aa (nT)	Peak dB_H/dt (nT/min)
1	24 Mar 1991	363	177
2	14 May 1921	680	135
3	15 Jul 2000	440	112
4	13 Jul 1982	497	110
5	13 Mar 1989	715	92
6	29 Oct 2003	715	83
7	26 Jul 2004	228	82
8	31 Mar 2001	284	72
9	28 Mar 1946	656	70
10	24 Nov 2001	445	69
11	06 Nov 2001	306	64
12	05 Jun 1991	363	64
13	13 Nov 1960	568	55
14	09 Nov 2004	363	55
15	08 Nov 1991	578	50
16	08 Jul 1928	656	50



Northern Hemisphere Regions at Risk from Future Storms

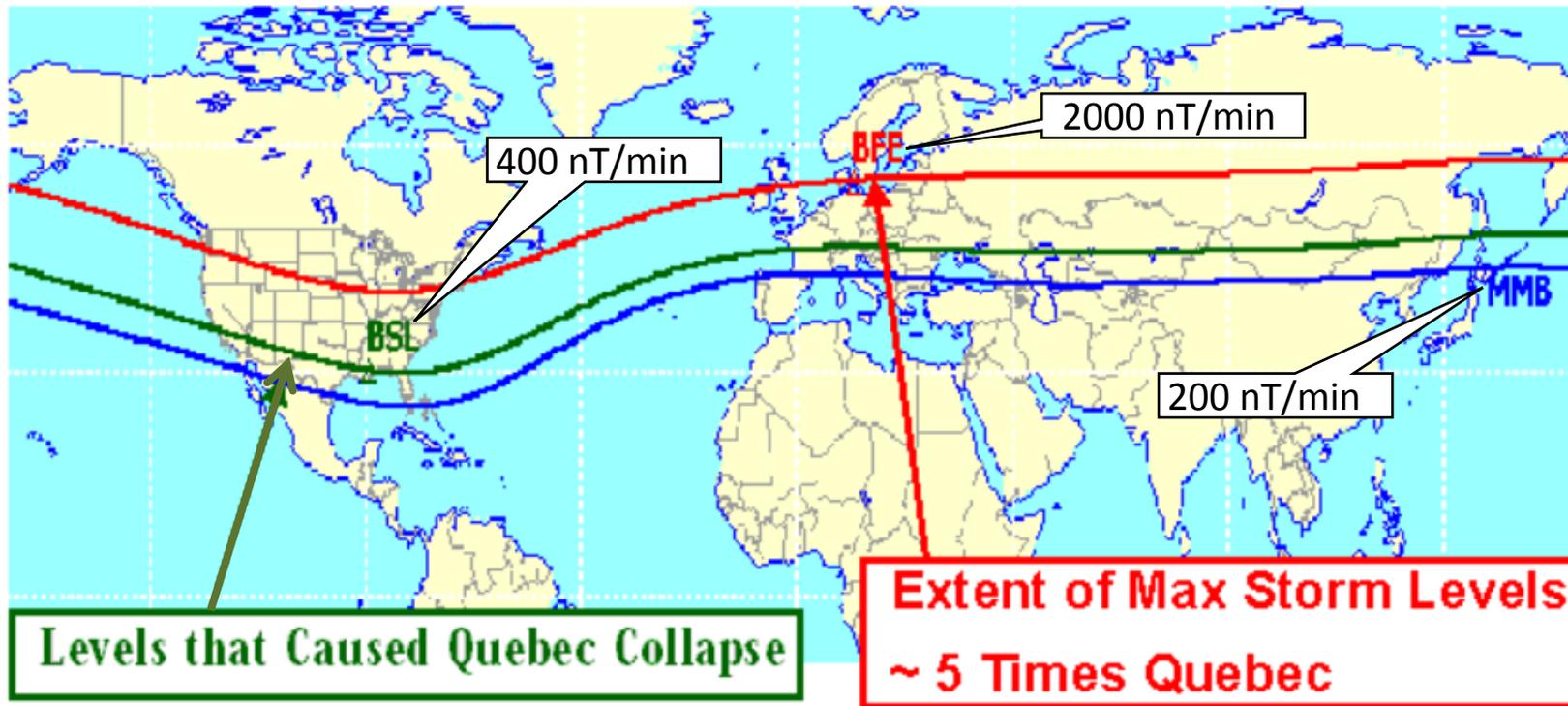
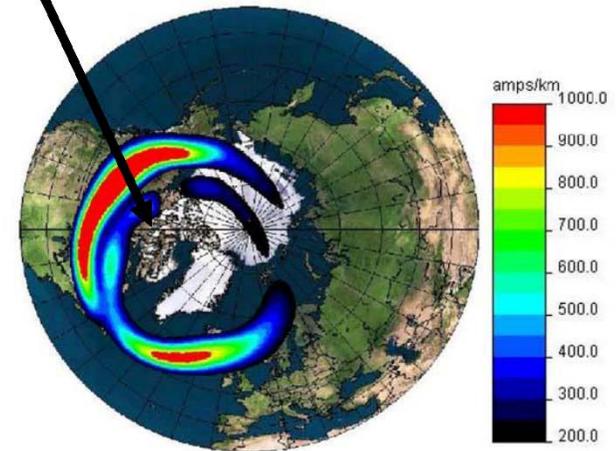


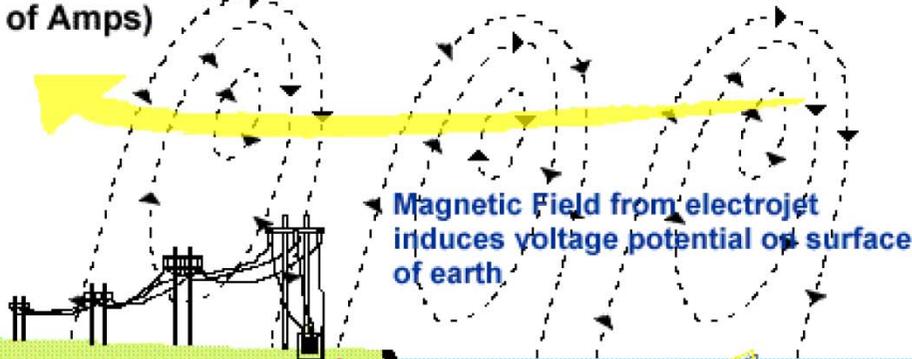
Figure 1: Exposed Regions of the Northern Hemisphere. The footprints of a superstorm can be extensive, the above diagram shows the regions of the Northern Hemisphere that can be exposed to intense storm activity such as the Great Geomagnetic Storm of March 1989. For perspective, the level of storm severity that precipitated the Hydro Quebec collapse was observed at locations as far south as those depicted by the green contour line, which would encompass most of North America and Europe (as shown in green). Much stronger intensities were observed at more northerly locations (as outlined in red), these intensities are approximately 5 times more severe than the levels that triggered the Hydro Quebec collapse. Levels of one-half the intensity of those that triggered the Hydro Quebec collapse have also shown to be capable of causing power reliability problems, which for this storm extended to even lower latitudes (as shown in blue).

- El campo geoelectrico no solamente se ve afectado por las corrientes ionosféricas variables en el espacio y en el tiempo, sino que depende también de la **conductividad del suelo**. Y, a su vez, las corrientes inducidas en los neutros de los **transformadores** dependen de la **topología de la red** y de las **características de los mismos**.

Electrojets



Fluctuating Electrojet
(Millions of Amps)



GIC enters power system through ground connections

Voltage Gradient

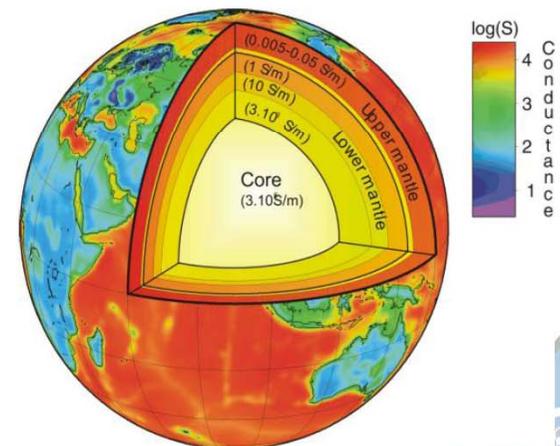


Electric potential induced on earth surface up to 6 Volts/km causes Geomagnetically-Induced Currents

Large currents can be induced to flow through highly conductive seawater

Coastal areas cause abrupt transition in conductivity between resistive rock geology and seawater

3D Conducting Earth



Modelización de las GICs

- **Geofísica**

- Determinación de las componentes del campo geoelectrico (suposición de onda plana y conductividad uniforme*):

$$E_{x,y}(t) = \pm \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_0\sigma}} \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{t-u}} \frac{dB_{y,x}(u)}{dt} du$$

* $\sigma = 10^{-3}$ S/m

- **Ingeniería Eléctrica**

- Cálculo del flujo de las GICs en la red eléctrica
 - Modelo del circuito en CC.

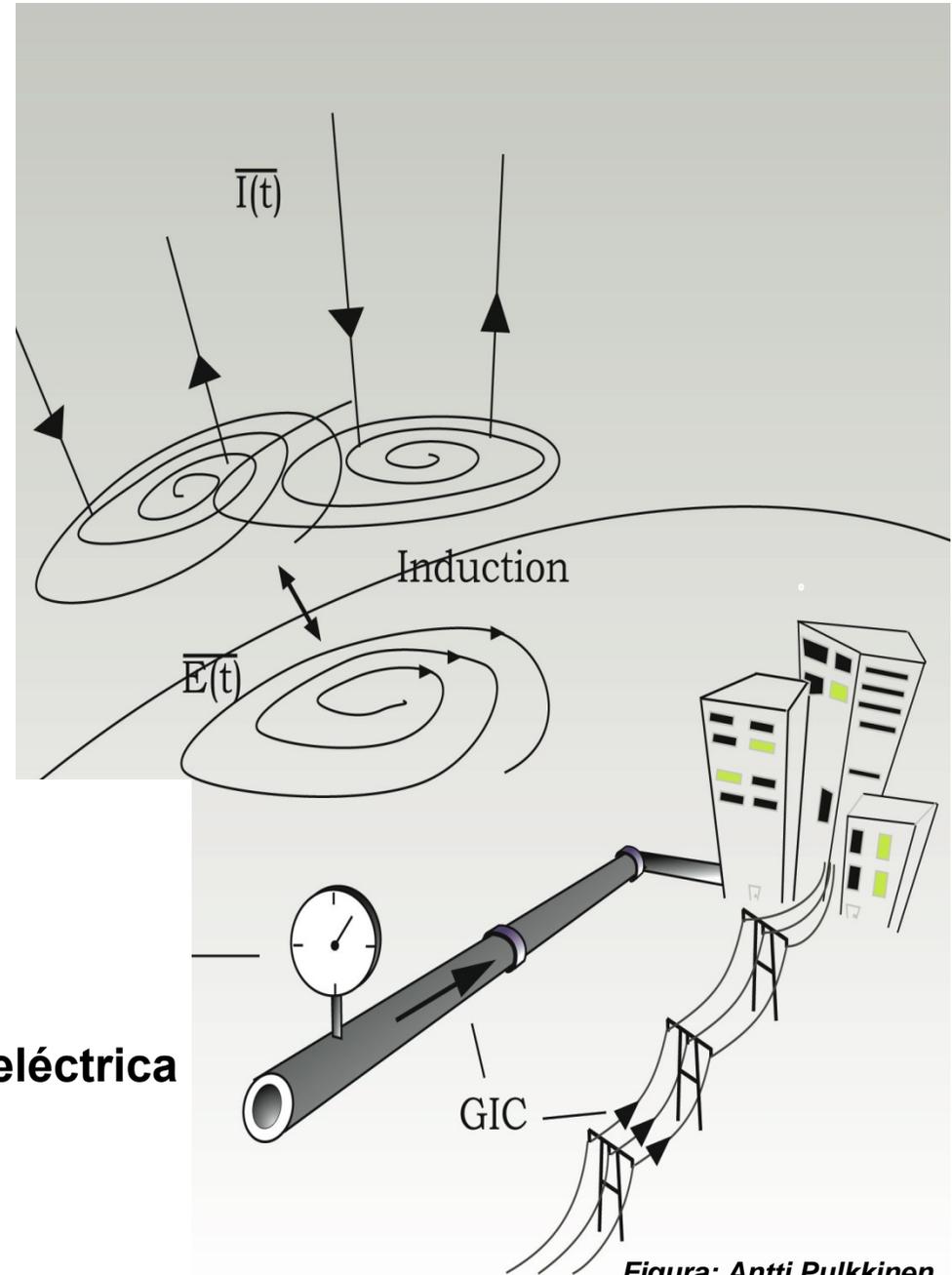
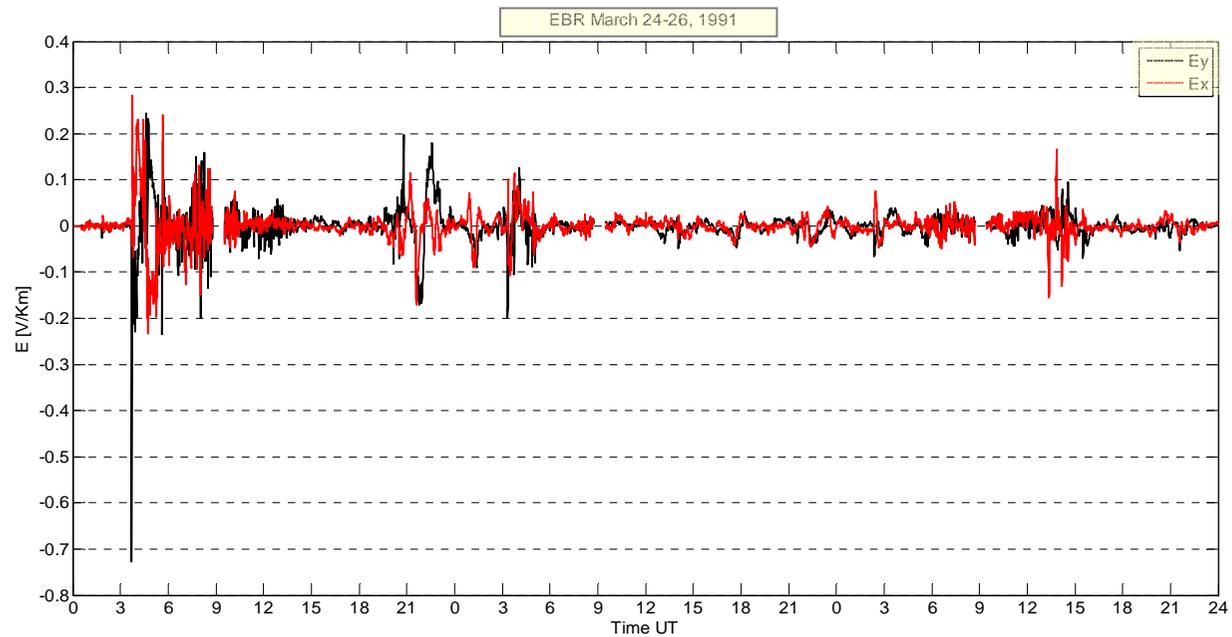
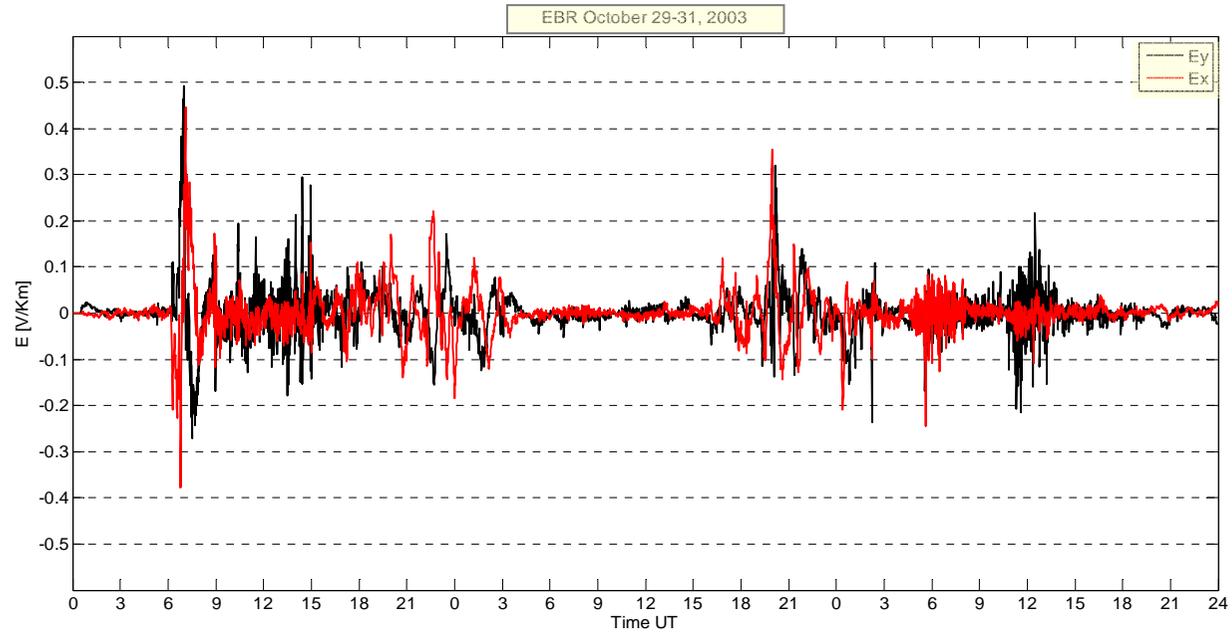


Figura: Antti Pulkkinen

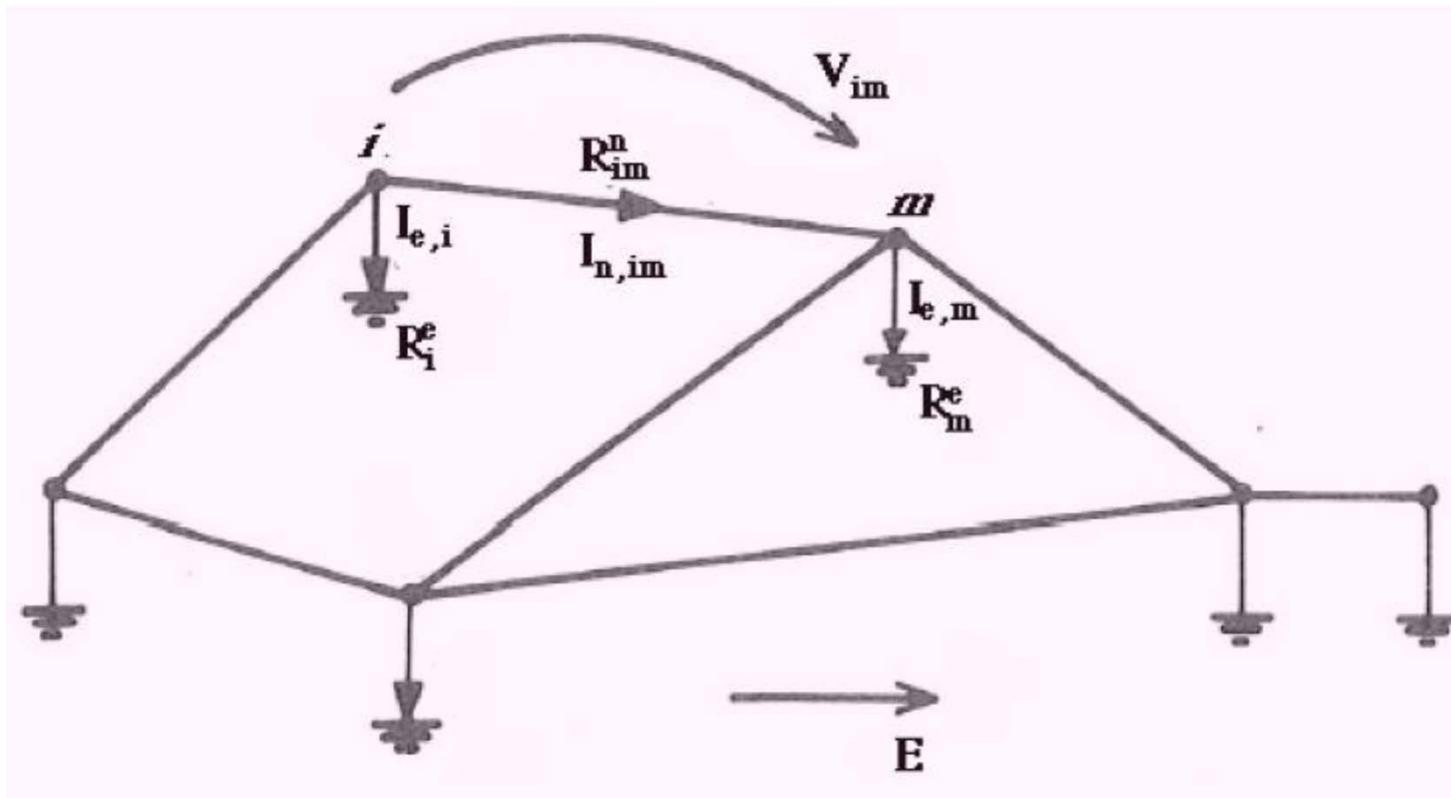
Componentes Este (E_y) y Norte (E_x) del campo geoelectrico



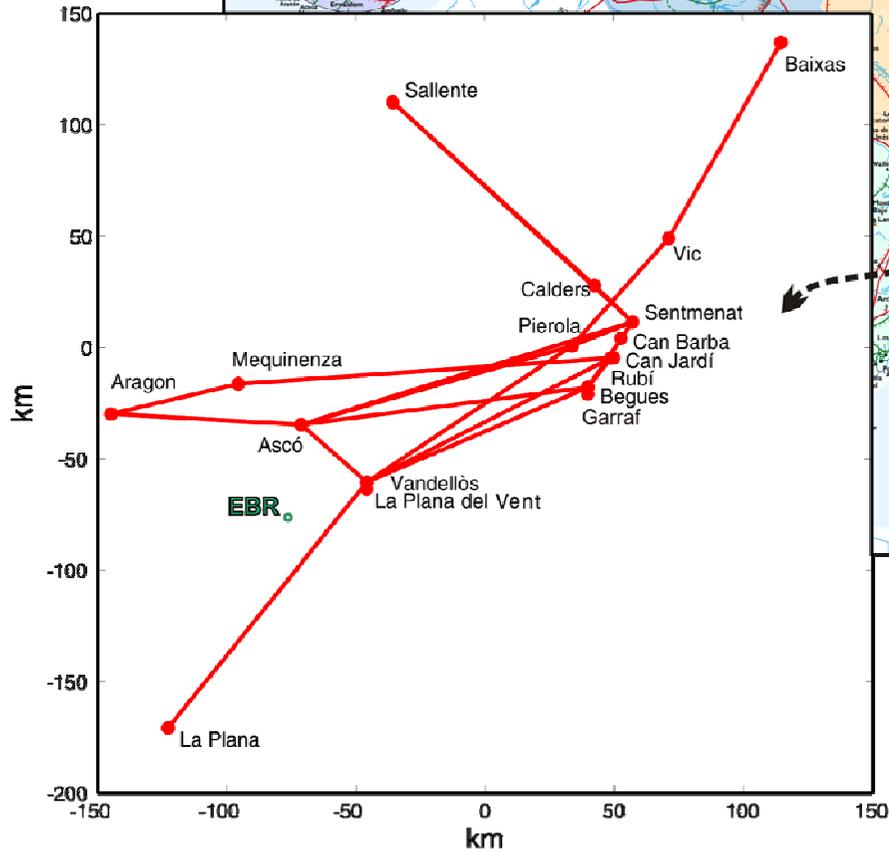
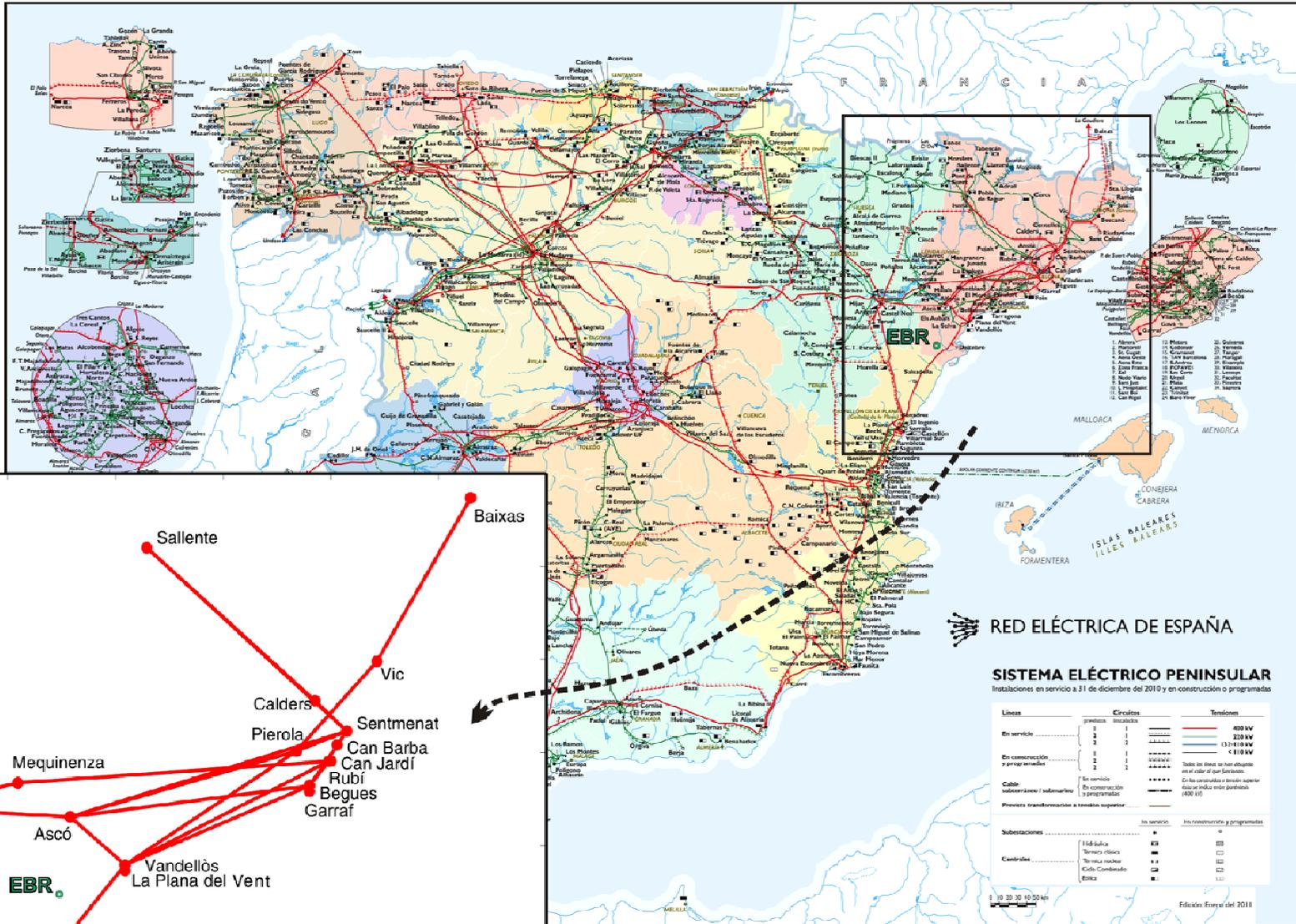
Modelización de la Red Eléctrica:

Cálculo de las corrientes (CC.) que circulan a tierra en cada nodo por aplicación de las leyes de Kirchhoff →

Formulación matricial



Lehtinen & Pirjola, 1985



Datos utilizados para calcular las matrices de admitancia de la red y de impedancia a tierra para el cálculo de las GIC:

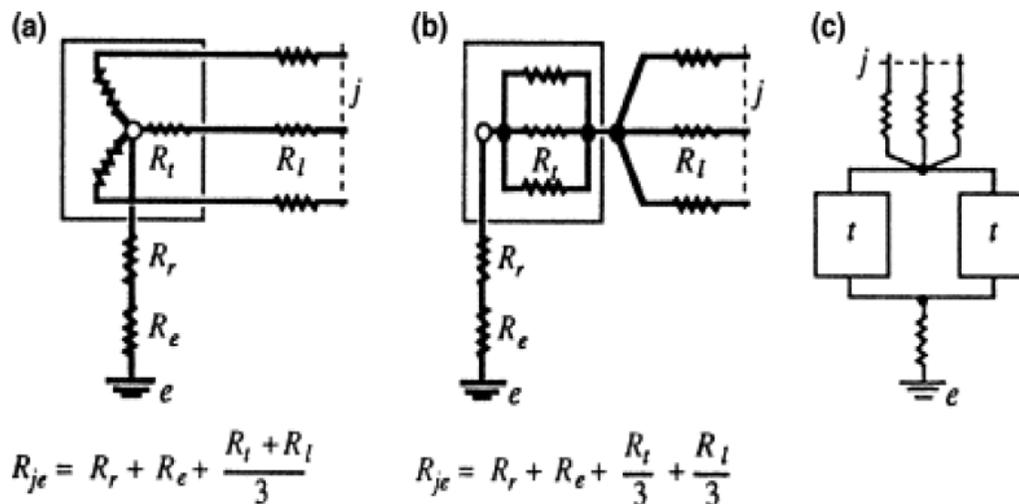
- Posiciones geográficas de cada subestación y conexiones

- Resistencias de las líneas

Resistencia de la línea, longitud, núm. de conductores/fase y núm. de líneas

- Resistencias de cada subestación

Suma de las resistencias de los transformadores con todas las fases en paralelo y resistencias de las reactancias.

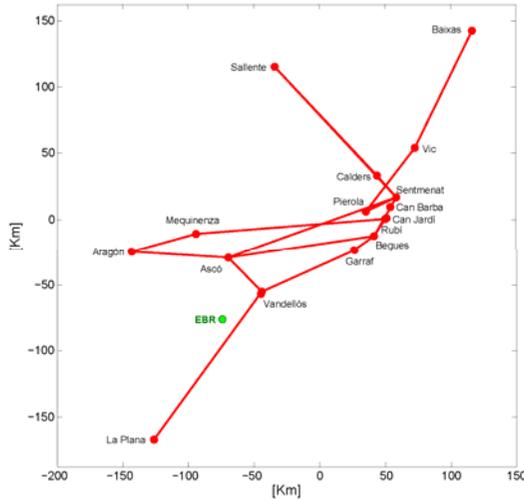


Posibles configuraciones de transformadores

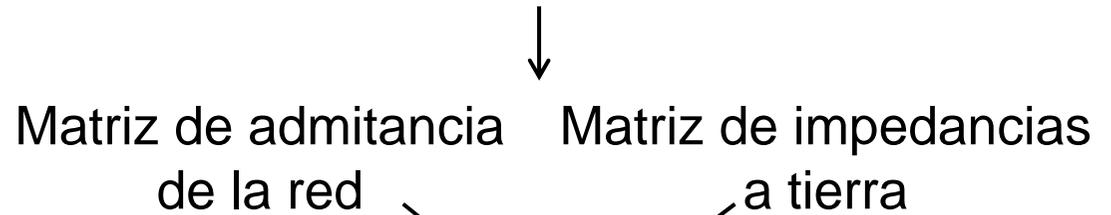


Transformador en la subestación de Vandellòs

Modelización de las GICs



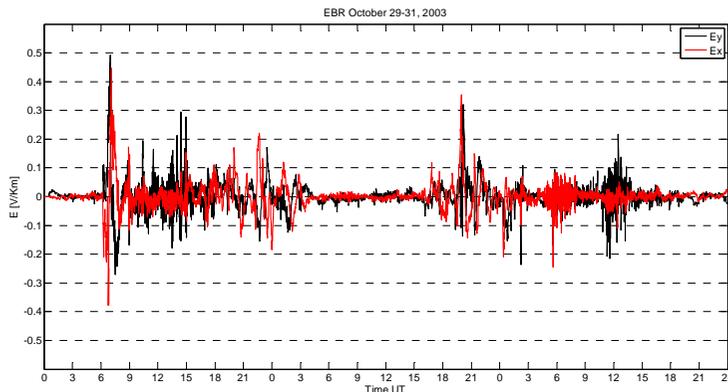
Modelo de la red eléctrica



$$\text{GIC} \rightarrow \mathbf{I} = (\mathbf{1} + \mathbf{YZ})^{-1} \mathbf{J}$$

↑
Fuente

Campo eléctrico a partir de los magnetogramas del Observatorio del Ebro



Combinación de los apartados de Geofísica y de Ingeniería Eléctrica:

1) CALCULO DE LAS GIC's EN CADA NODO

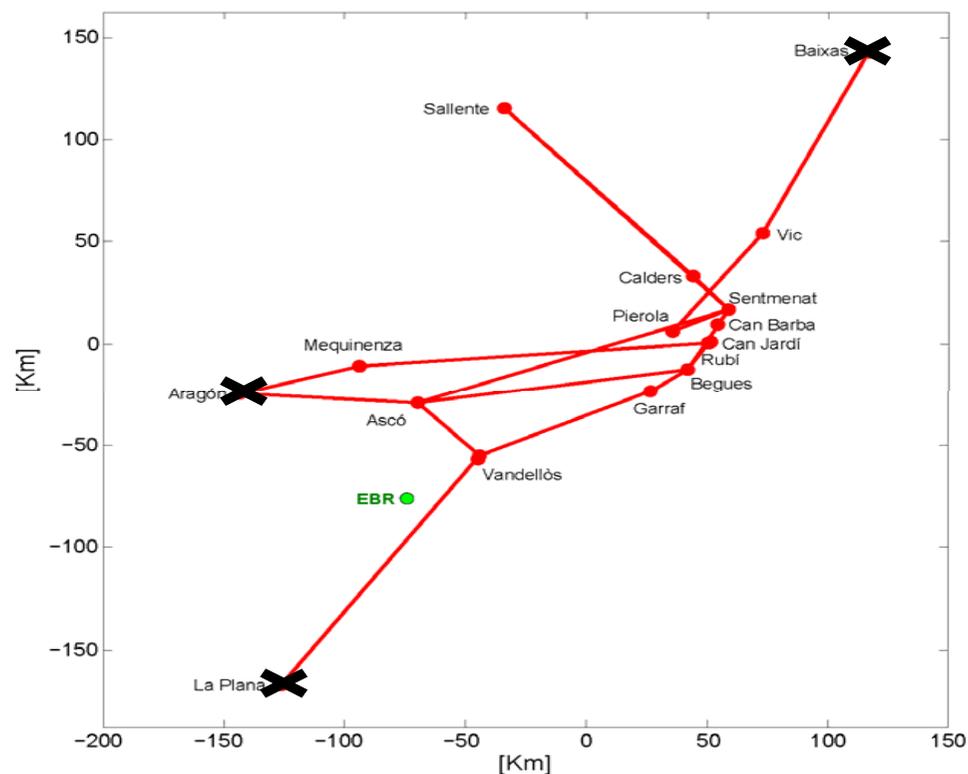
Una vez el campo eléctrico asociado a las variaciones geomagnéticas es conocido y los elementos de las matrices de impedancia de la red resueltos, el cálculo de las GIC's es directo:

$$I_{GIC}(t) = aE_x(t) + bE_y(t)$$

donde **a** y **b** son parámetros constantes [A Km / V] para cada nodo que dependen de la geometría y de las resistencias de la red. Se obtienen mediante la aplicación de campos de 1 V / Km en las direcciones N y E, respectivamente.

Station	a	b
ASCÓ	2.87	-81.14
BEGUES	-9.07	59.57
CALDERS	12.46	26.22
CAN BARBA	-16.62	51.81
CAN JARDÍ	12.80	44.85
GARRAF	-11.29	26.02
MEQUINENZA	6.86	-26.76
PIEROLA	-45.60	-22.79
PLANA DEL VENT	-31.78	4.54
RUBÍ	19.33	64.96
SALLENTE	83.90	-63.63
SENTMENAT	9.52	102.88
VANDELLÒS	-25.57	7.14
VIC	-8.45	2.22

Constantes válidas para finales de octubre de 2011



En los nodos frontera hay incertidumbre por la omisión del circuito adyacente, y por tanto debemos obviar el cálculo de las GICs en los mismos

Station	<i>a</i>	<i>b</i>
ASCÓ	2.87	-81.14
BEGUES	-9.07	59.57
CALDERS	12.46	26.22
CAN BARBA	-16.62	51.81
CAN JARDÍ	12.80	44.85
GARRAF	-11.29	26.02
MEQUINENZA	6.86	-26.76
PIEROLA	-45.60	-22.79
PLANA DEL VENT	-31.78	4.54
RUBÍ	19.33	64.96
SALLENTE	83.90	-63.63
SENTMENAT	9.52	102.88
VANDELLÒS	-25.57	7.14
VIC	-8.45	2.22

Constantes válidas para finales de octubre de 2011

2) CALCULO DE LAS GIC's EN CADA TRANSFORMADOR

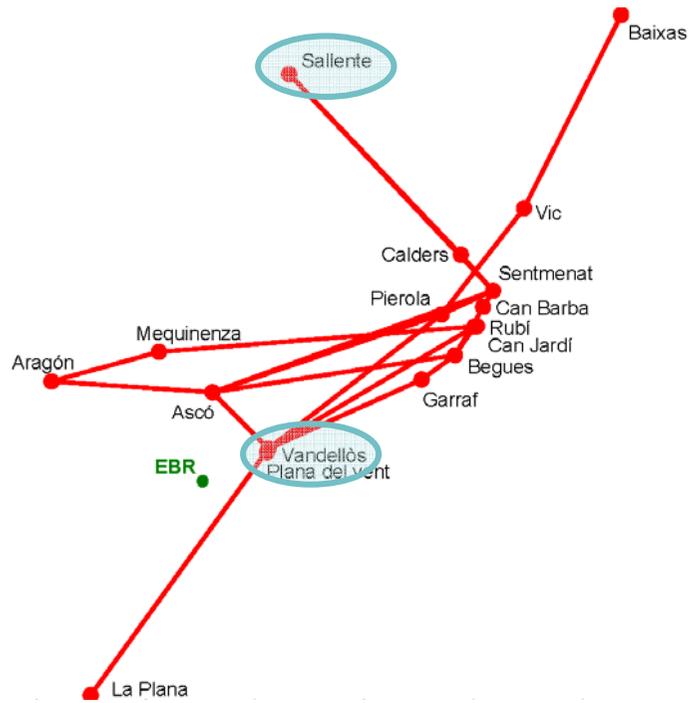
La corriente total que fluye en el nodo se comparte entre sus neutros. Las constantes a_T y b_T se derivan de las constantes a y b utilizando el divisor de corriente correspondiente:

$$I_{GIC}(t) = a_T E_x(t) + b_T E_y(t)$$

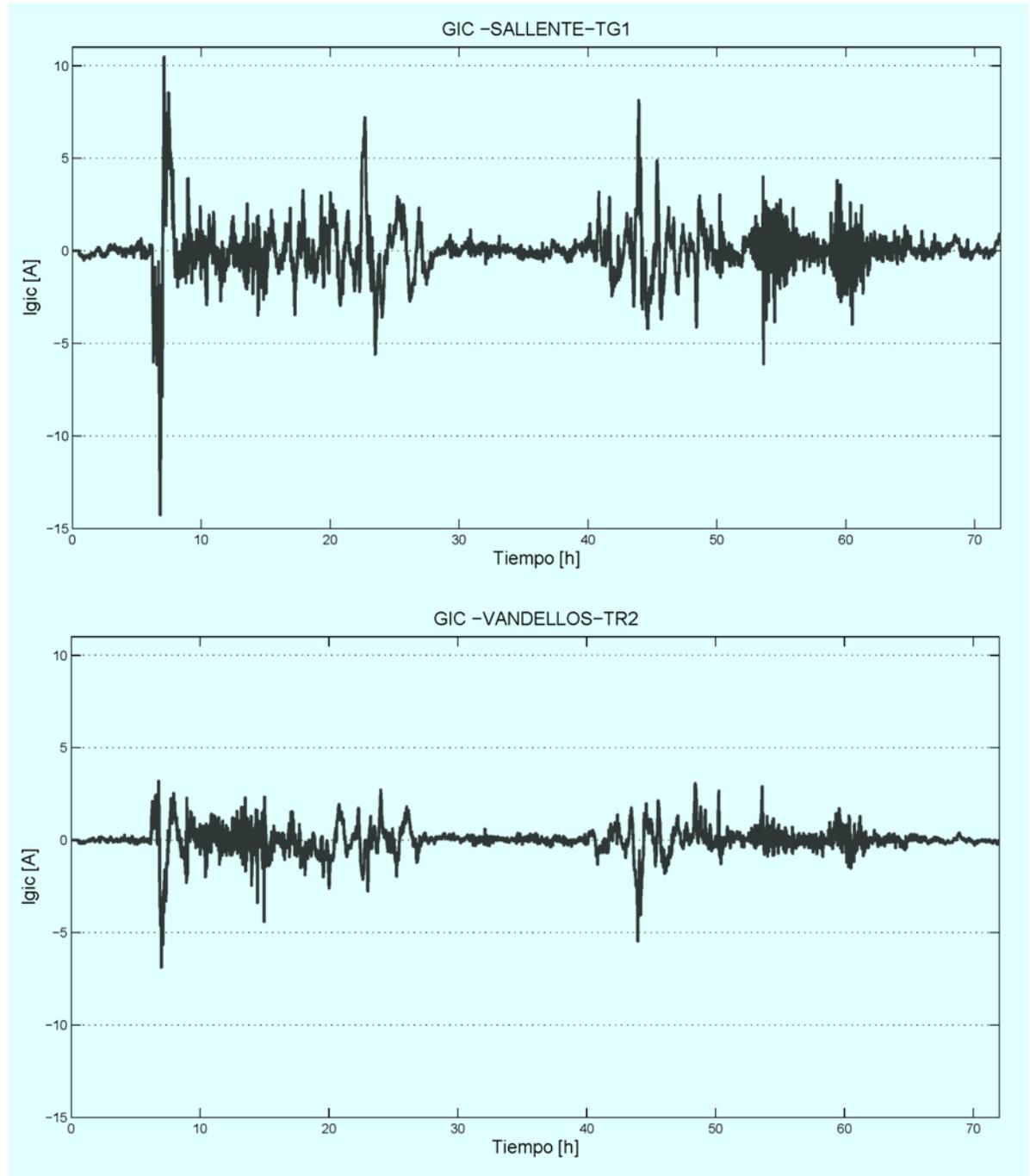
Las GICs dependen de la longitud y de la geometría de las líneas que confluyen en ese nodo con respecto a la dirección del campo incidente y, a su vez, del número y resistencias de los transformadores.

Station	Number of trafos	Transformer	a	b	a_T	b_T
ASCÓ	3	TG1	2.87	-81.14	1.22	-34.51
		TG2			1.22	-34.51
		TR3			0.43	-12.12
BEGUES	2	ATR3	-9.07	59.57	-4.53	29.78
		ATR4			-4.53	29.78
CALDEERS	1	TR1	12.46	26.22	12.46	26.22
CAN BARBA	2	TR6	-16.62	51.81	-8.31	25.91
		TR7			-8.31	25.91
CAN JARDÍ	1	ATR4	12.80	44.85	12.80	44.85
GARRAF	1	TR1	-11.29	26.02	-11.29	26.02
MEQUINENZA	1	ATR2	6.86	-26.76	6.86	-26.76
PIEROLA	2	TR1	-45.60	-22.79	-22.61	-11.30
		ATR4			-22.99	-11.49
PLANA DEL VENT	2	TG1	-31.78	4.54	-15.89	2.27
		TG2			-15.89	2.27
RUBÍ	2	ATR7	19.33	64.96	10.20	34.29
		ATR8			9.13	30.67
SALLENTE	4	TG1	83.90	-63.63	21.54	-16.34
		TG2			21.20	-16.08
		TG3			20.63	-15.65
		TG4			20.52	-15.57
SENTMENAT	3	ATR2	9.52	102.88	3.12	33.72
		ATR3			3.34	36.07
		ATR4			3.06	33.09
VANDELLÒS	3	TR1	-25.57	7.14	-5.76	1.61
		TR2			-6.92	1.93
		TG1			-12.89	3.60
VIC	4	ATR1	-8.45	2.22	-1.01	0.27
		ATR2			-1.25	0.33
		ATR3			-1.25	0.33
		ATR4			-4.95	1.30

Predicción de las GIC's en transformadores de la red

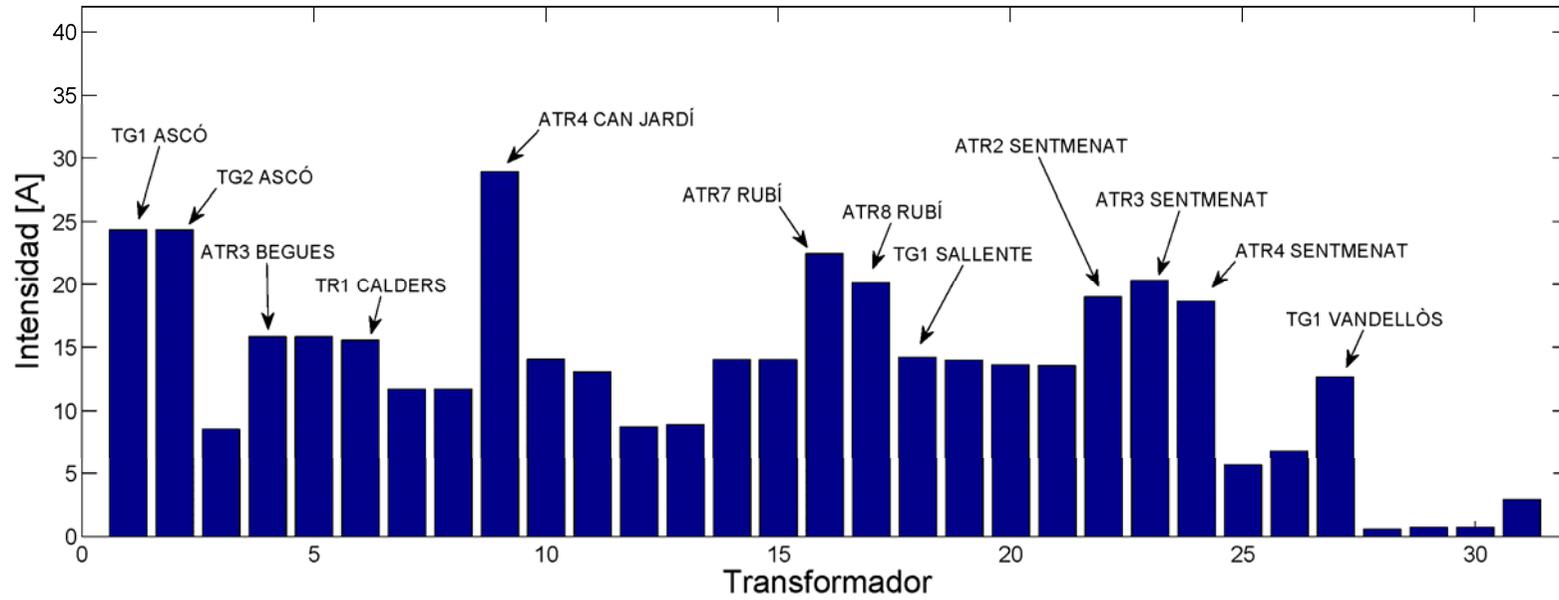


29-31 de octubre de 2003
(Halloween storm)



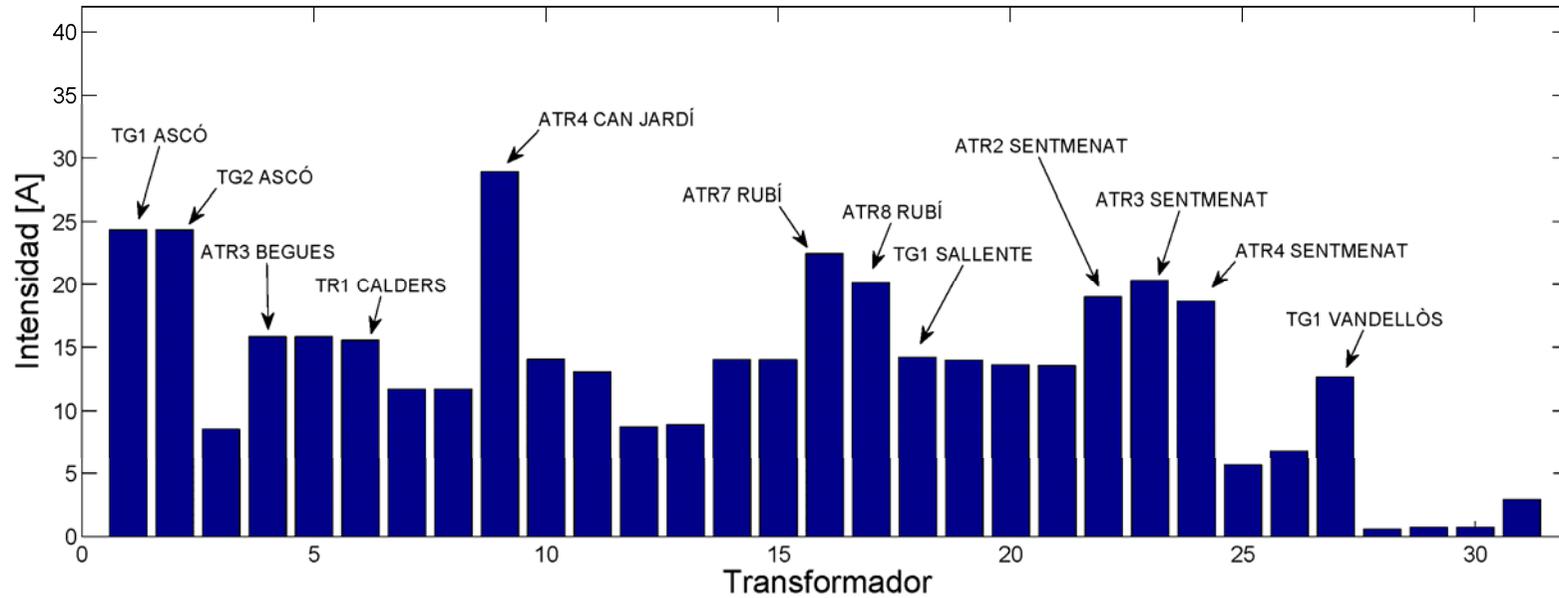
Según la configuración actual de la red y con todos los elementos funcionando

Intensidades máximas en cada transformador durante el 29-31 de Octubre de 2003

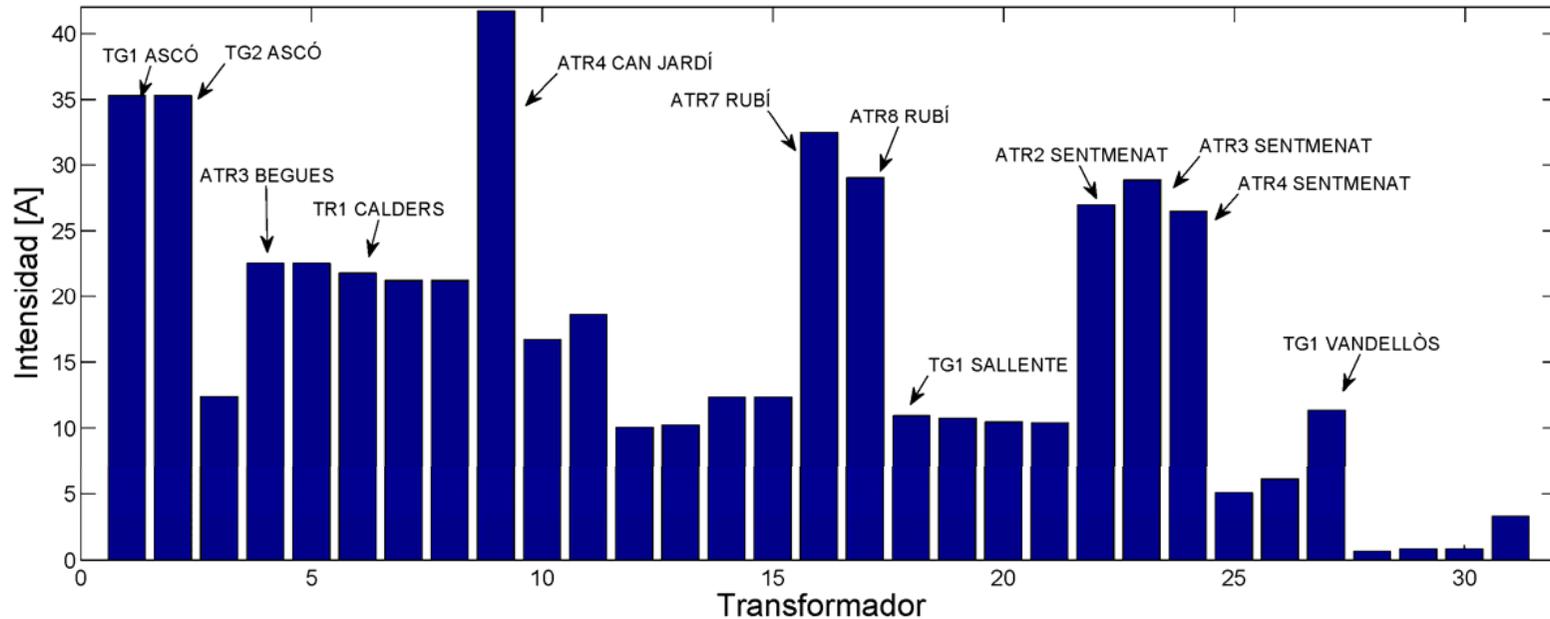


Según la configuración actual de la red y con todos los elementos funcionando

Intensidades máximas en cada transformador durante el 29-31 de Octubre de 2003

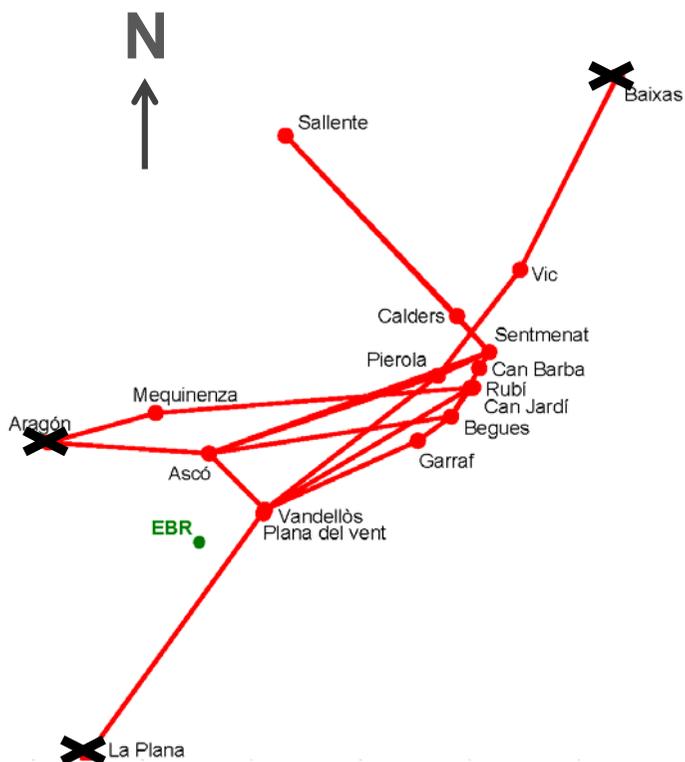


Intensidades máximas en cada transformador durante el 24-26 de marzo de 1991



Según la configuración actual de la red y con todos los elementos funcionando

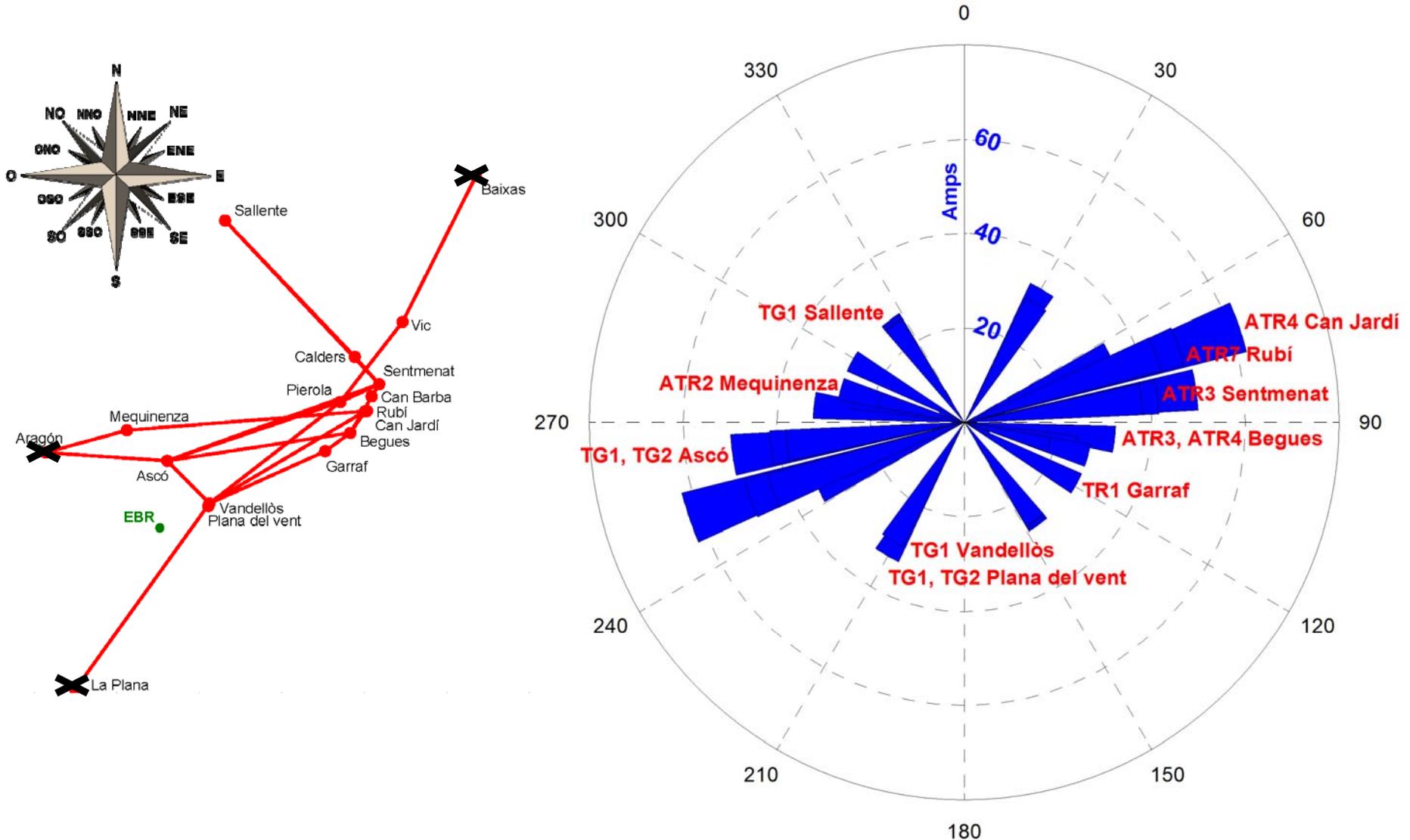
Análisis de vulnerabilidad de la red



Subestación	Transformador	a_T	b_T
CAN JARDÍ	ATR4	20,1	58,7
RUBÍ	ATR7	16,2	45,7
RUBÍ	ATR8	14,5	40,8
SENTMENAT	ATR2	5,0	38,6
SENTMENAT	ATR3	5,3	41,2
SENTMENAT	ATR4	4,9	37,8
ASCÓ	TG1	-7,1	-49,4
ASCÓ	TG2	-7,1	-49,4

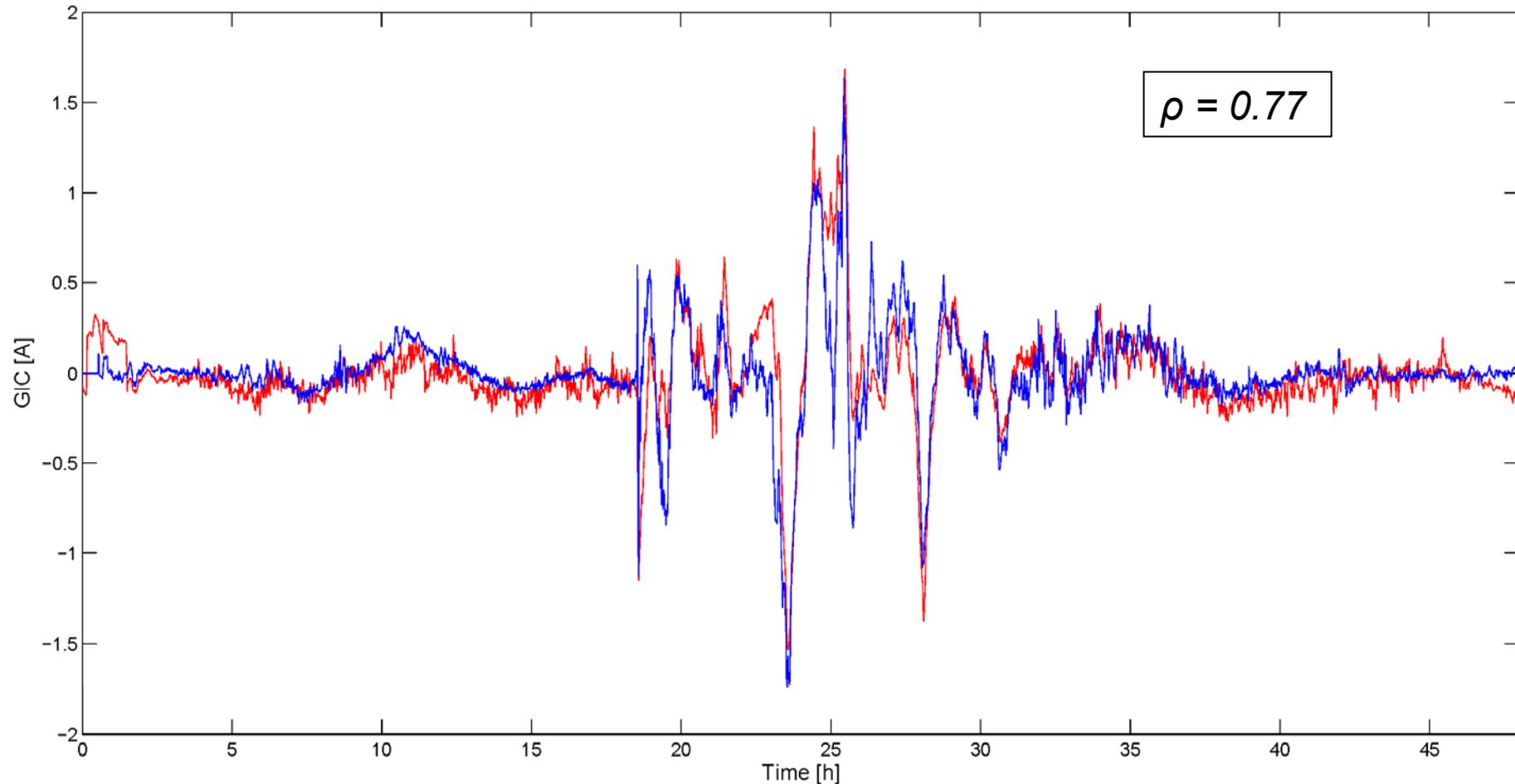
Transformadores más susceptibles a las GICs según la magnitud de sus constantes de red

Análisis de vulnerabilidad de la red



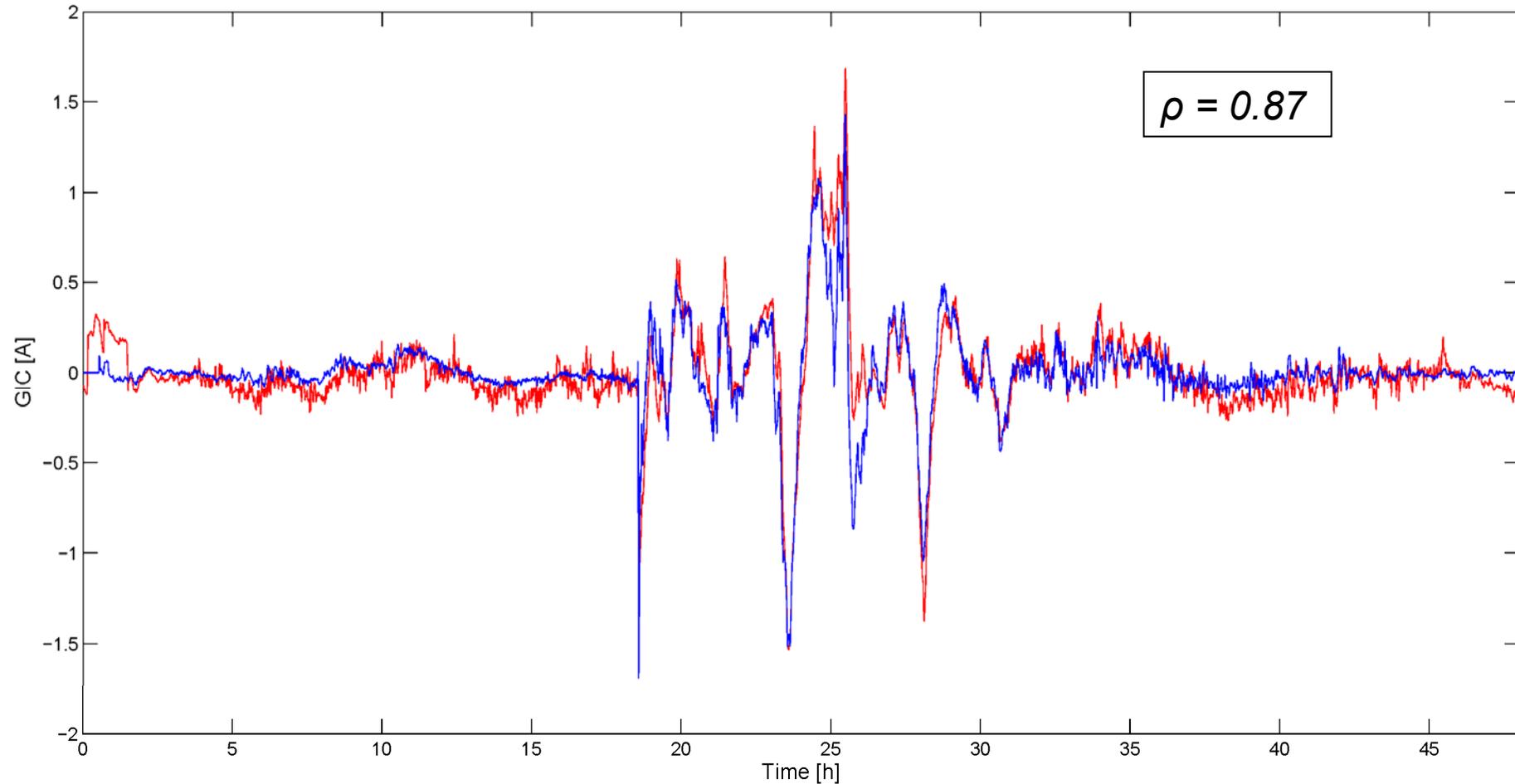
Direcciones del campo geoelectrico en las que se obtiene la GIC máxima en cada uno de los transformadores aplicando un campo eléctrico de un 1 V/Km. La longitud de los barras es proporcional a la magnitud de la GIC

Validación del modelo con medidas reales



GICs medidas (rojo) y calculadas según nuestro modelo (azul) en el transformador TR1 de Vandellòs para el evento del 24-25 de octubre de 2011. Se asumió un valor uniforme de la conductividad de la Tierra de 10^{-4} S/m.

Validación del modelo con medidas reales



GICs medidas (rojo) y calculadas según nuestro modelo -usando constantes empíricas- (azul) en el transformador TR1 de Vandellòs para el evento del 24-25 de octubre de 2011. Se asumió un valor uniforme de la conductividad de la Tierra de 10^{-4} S/m.

CONCLUSIONES

- **El análisis forense ha revelado que el mayor rango de variación del campo geomagnético en el Observatorio del Ebro alcanzó 177 nT/min.**
- **Este límite empírico superior es mucho menor que las intensidades que han provocado impactos en redes eléctricas en regiones de latitudes más altas (“Quebec” fue de 479 nT/min), aunque han sido observados impactos con niveles < 100 nT/min.**
- **El modelo retrospectivo predice campos eléctricos del orden de 0.7 V/m y corrientes de más de 40 A en los neutros de determinados transformadores.**
- **La correlación entre los resultados del modelo y las GICs medidas desde otoño de 2011 es satisfactoria.**

PASO SIGUIENTE: ESTADÍSTICA DE VALORES EXTREMOS

SPACE WEATHER, VOL. 9, S10001, doi:10.1029/2011SW000696, 2011

Quantifying extreme behavior in geomagnetic activity

Alan W. P. Thomson,¹ Ewan B. Dawson,¹ and Sarah J. Reay¹

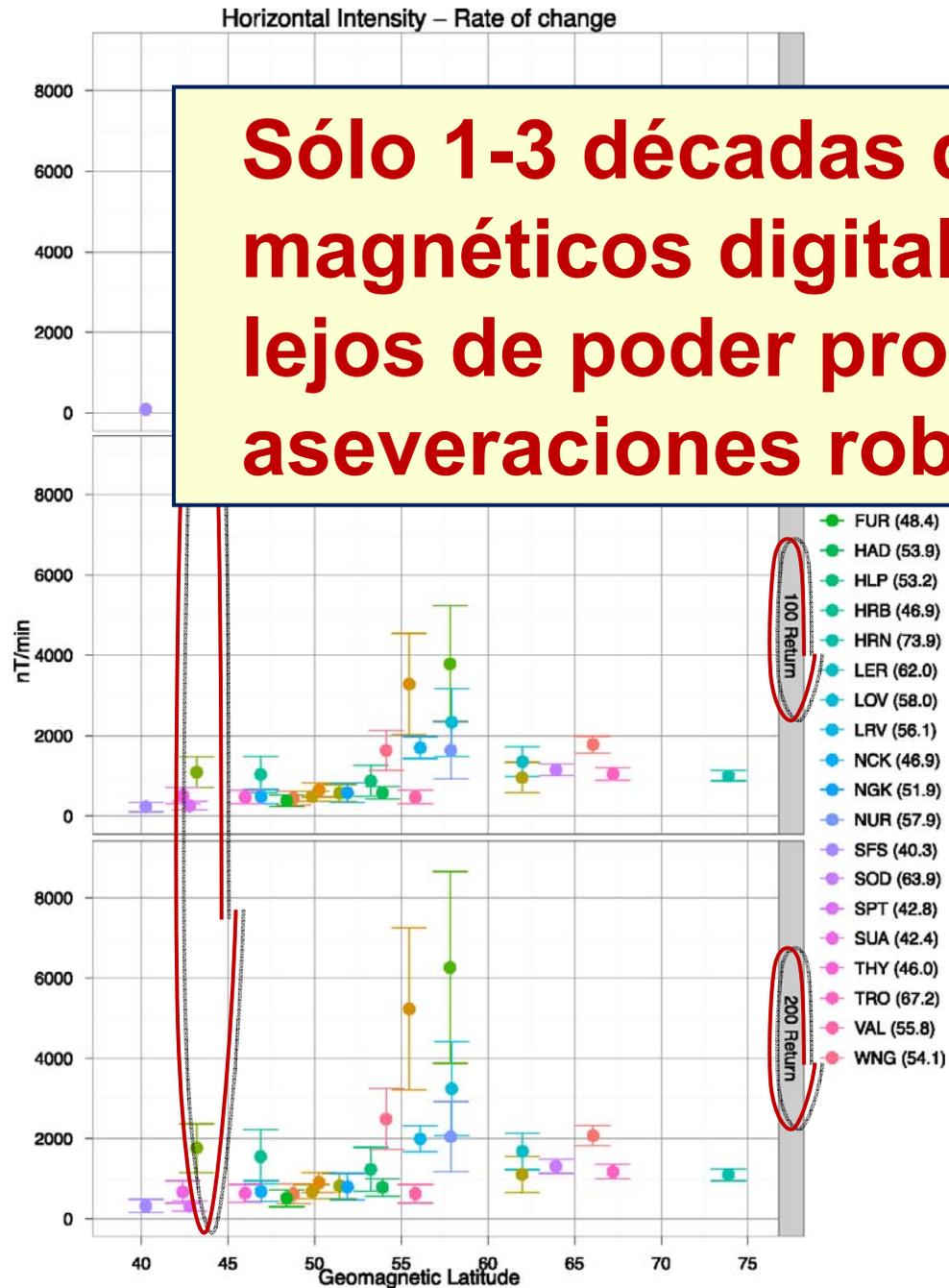
SPACE WEATHER, VOL. 10, S02012, doi:10.1029/2011SW000734, 2012

On the probability of occurrence of extreme space weather events

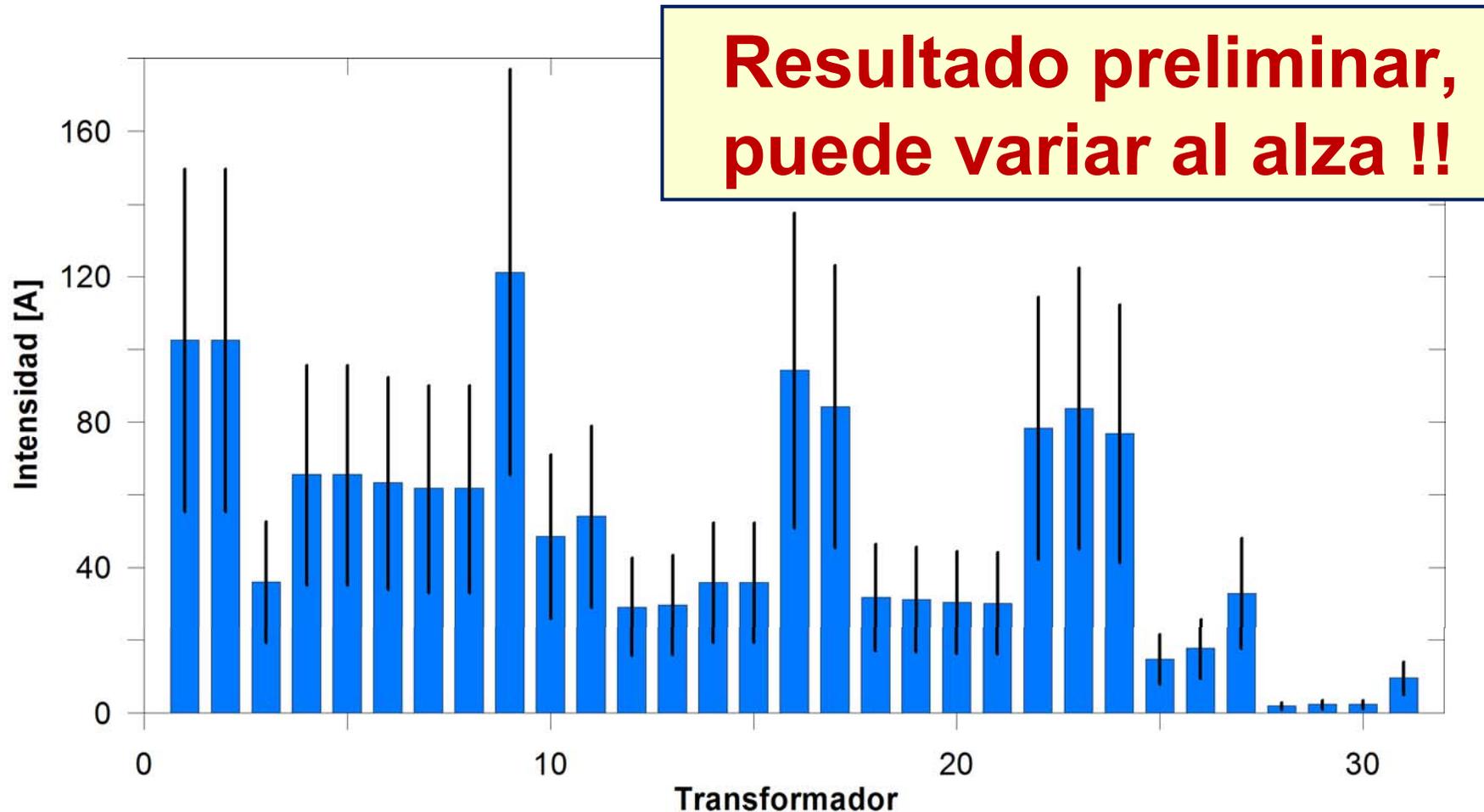
Pete Riley¹

Received 16 September 2011; revised 18 November 2011; accepted 22 December 2011; published 23 February 2012.

[1] By virtue of their rarity, extreme space weather events, such as the Carrington event of 1859, are difficult to study, their rates of occurrence are difficult to estimate, and prediction of a specific future event is virtually impossible. Additionally, events may be extreme relative to one parameter but normal relative to others. In this study, we analyze several measures of the severity of space weather events



Valor máximo observado de la derivada de la intensidad horizontal del campo magnético y los valores que podrían ser observados cada 100 o 200 años, en función de la latitud geomagnética del Observatorio, con indicación de los límites de confianza al 95%. De Thomson et al. (2011).



GICs que se registrarían en cada uno de los transformadores en el caso de que realmente se produjera los valores extremos en el periodo de retorno de 100 años en el Observatorio del Ebro, con indicación de los límites de confianza al 95%. A partir de nuestro modelo de red y de los resultados de *Thomson et al.* (2012) para nuestras latitudes, y asumiendo que el evento fuese de carácter impulsivo según el Norte geomagnético.

Subscribe

Journal Details

Home

AGU Journals

Article Resources

PIP PDF

E-mail Abstract

Permissions

SHARE

Join AGU

Paper in Press

SPACE WEATHER, doi:10.1029/2012SW000793

Geomagnetically Induced Currents in a Power Grid of northeastern Spain

Key Points

- A prediction of GICs on a power grid in northeastern Spain has been developed
- The agreement between modeled and measured GICs is satisfactory
- The work constitutes the first modeling effort of GIC in Southern Europe

Authors:

Joan Miquel Torta

Lluís Serrano

Joan R Regué

Albert M Sánchez

Elionor Roldán

Using the geomagnetic records of Ebro geomagnetic observatory and taking the plane wave assumption for the external current source and a homogeneous Earth conductivity, a prediction of the effects of the geomagnetic activity on the Catalanian (northeastern Spain) power transmission system has been developed. Although the area is located at mid-latitudes, determination of the geoelectric field on the occasion of the largest geomagnetic storms during the last solar cycles indicates amplitudes which are higher than those recorded in Southern Africa, where some transformer failures on large transmission systems have been reported. A DC network model of the grid has been constructed and the geomagnetically induced current (GIC) flow in the power network has been estimated. For such estimation, the electric field at the grid is a region of interest. In addition, GICs vary between 0.1 and 1.0 A, and neutralizing the power grid, so that the accuracy of the model can be assessed. Although the agreement is quite satisfactory, results indicate that better knowledge of the ground conductivity structure is needed. This represents the first attempt to study and measure GICs in Southern European power grids, a region considered to have low GIC-risk up to the present.

Received 26 March 2012; accepted 21 April 2012.

Citation: Torta, J. M., L. Serrano, J. R. Regué, A. M. Sánchez, and E. Roldán (2012), Geomagnetically Induced Currents in a Power Grid of northeastern Spain, *Space Weather*, doi:10.1029/2012SW000793, in press.

Journal Services

E-Alert Sign-Up

RSS Feeds

Cited By

Reference Tools

Contact AGU

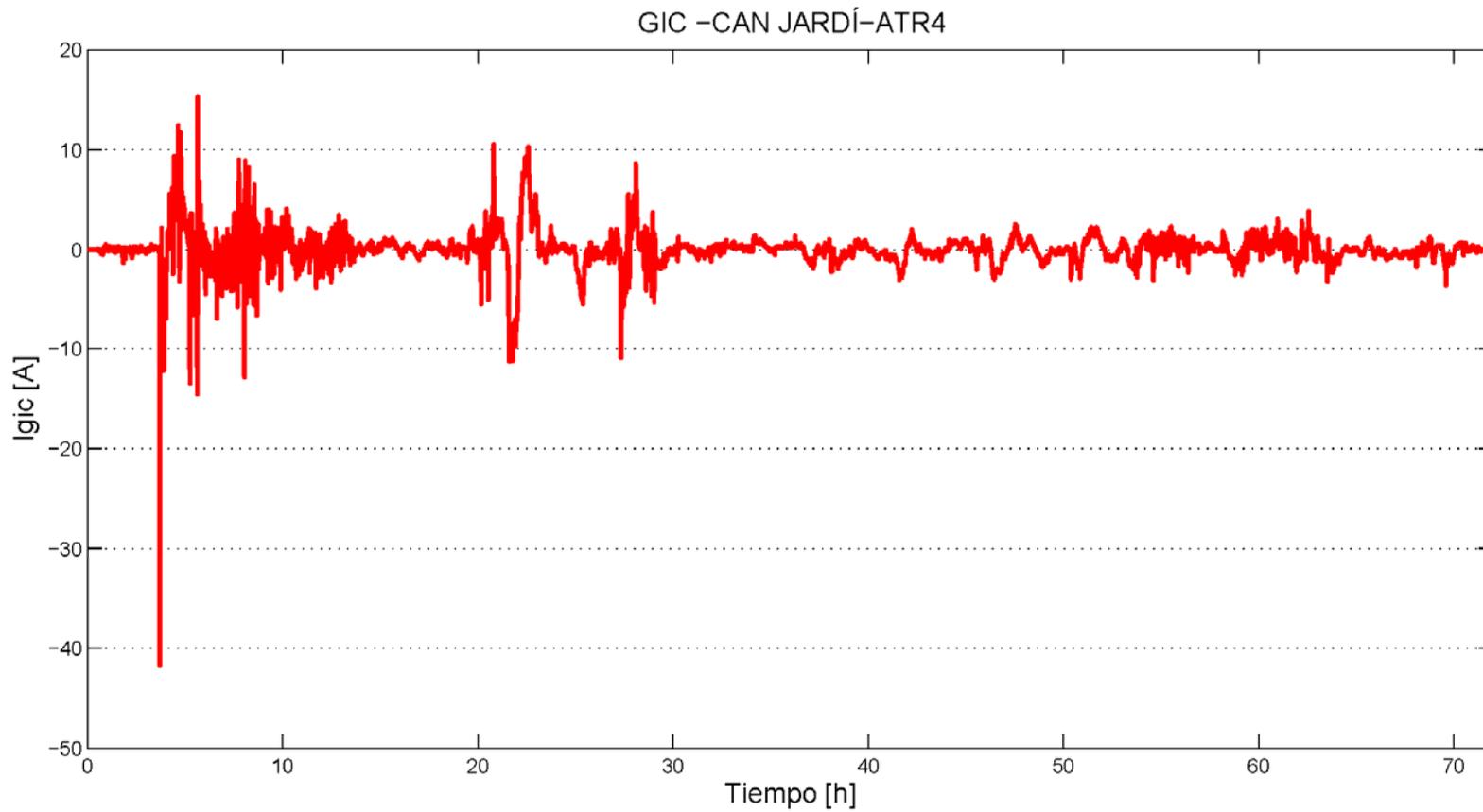
Keywords

- GIC
- Power Grids
- Spain

Index Terms

- 7904 - Geomagnetically induced currents
- 7914 - Engineering for hazard mitigation
- 7934 - Impacts on technological systems
- 7954 - Magnetic storms

¡Gracias por la atención!



24-26 de marzo de 1991

Según la configuración actual de la red y con todos los elementos funcionando