

Importancia de la conductividad del terreno y del estado de la red en la modelización de las corrientes inducidas geomagnéticamente (GICs)

J. Miquel Torta

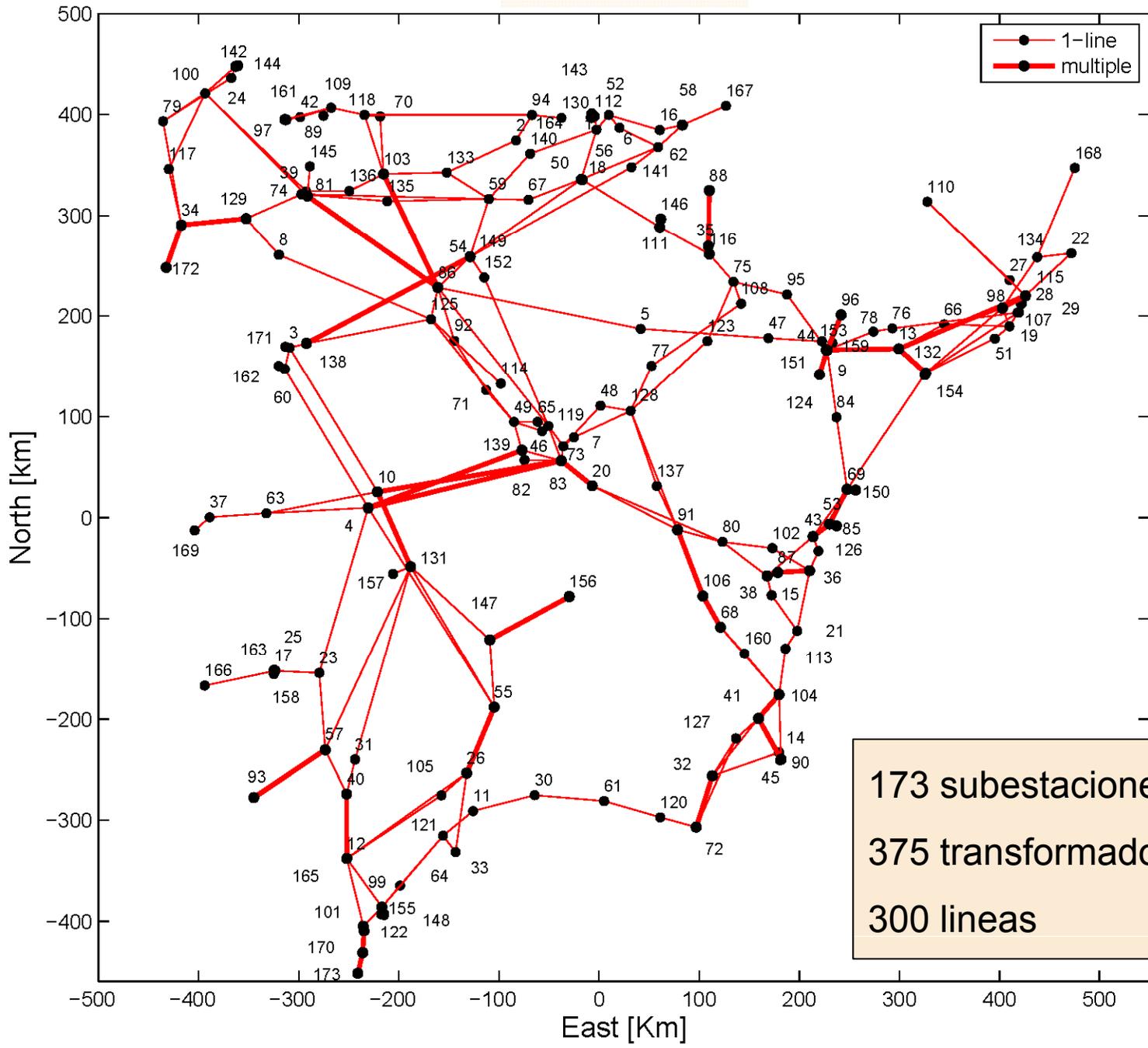
Observatorio del Ebro, CSIC – URL

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

Proyecto cofinanciado por:



400 kV network



Un problema a resolver en dos pasos:

1) Obtención del campo geoelectrico a partir de los cambios en el campo geomagnético (Ley de Faraday):

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\left(\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{d\mathbf{B}}{dt} \right)$$

Es un problema puramente geofísico, independiente del sistema tecnológico

2) Cálculo de las GICs debidas a un campo geoelectrico en un sistema conductor cuya topología y resistencias son conocidas. Es un problema ingenieril

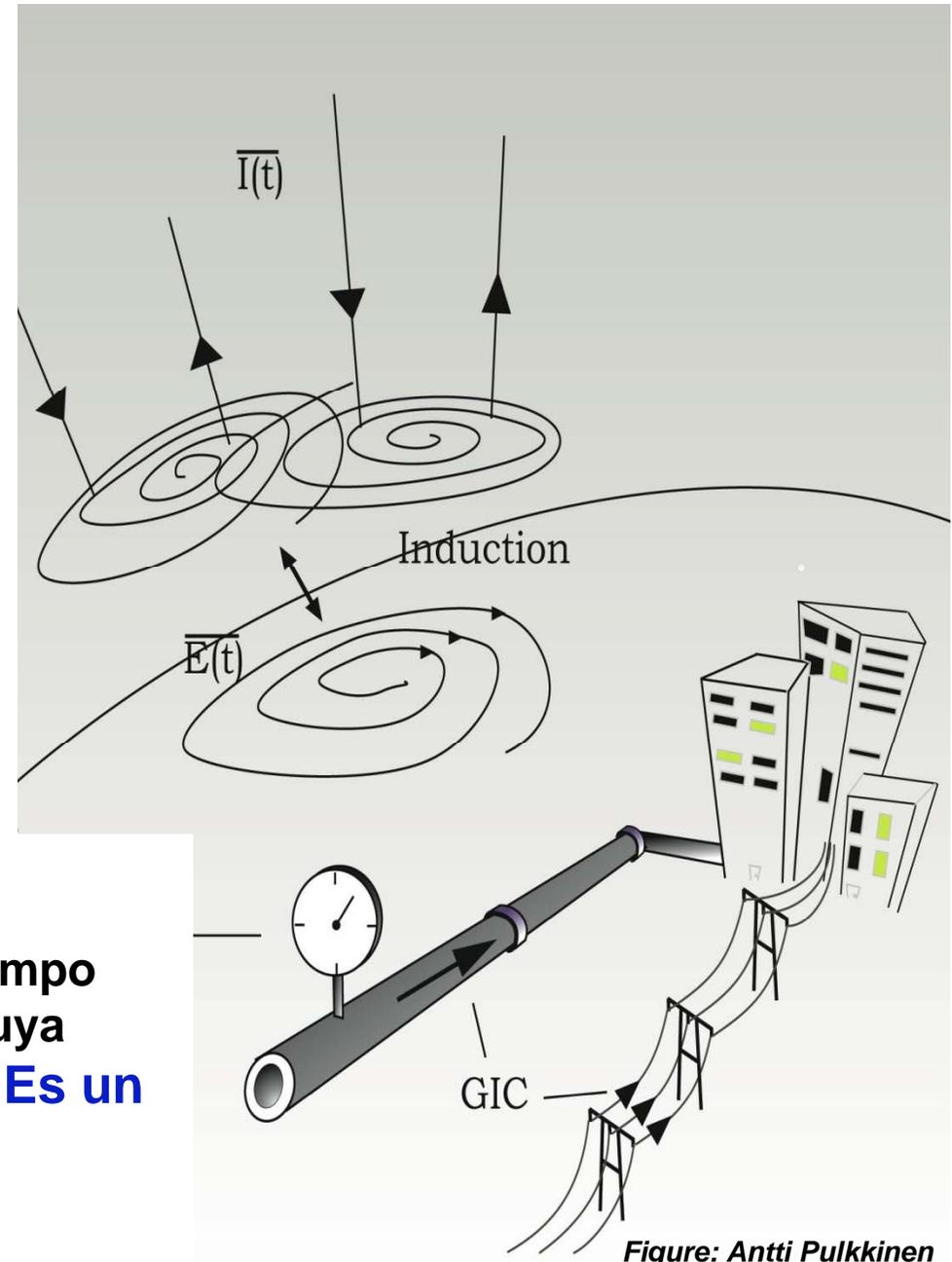


Figure: Antti Pulkkinen

Obtención del campo geoelectrico

- No suele medirse directamente

- Asumiendo una onda plana:

- Los campos eléctricos y magnéticos son horizontales y espacialmente constantes en la superficie de la Tierra.

- Si la Tierra es uniforme:

$$E_{x,y}(t) = \pm \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_0\sigma}} \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{t-t'}} \frac{dB_{y,x}(t')}{dt'} dt'$$

- El campo eléctrico está afectado por los valores pasados de la variación del campo magnético.

- La integral se puede obtener de forma numérica:

$$E(t_n) = \frac{2}{\sqrt{\pi\mu_0\sigma\Delta}} (R_{n-1} - R_n - \sqrt{m}b_{n-m})$$

donde: $b_n = B_n - B_{n-1}$ $R_n = \sum_{i=n-m+1}^n b_i \sqrt{n-i+1}$

Δ = intervalo de muestreo m = tiempo de integración

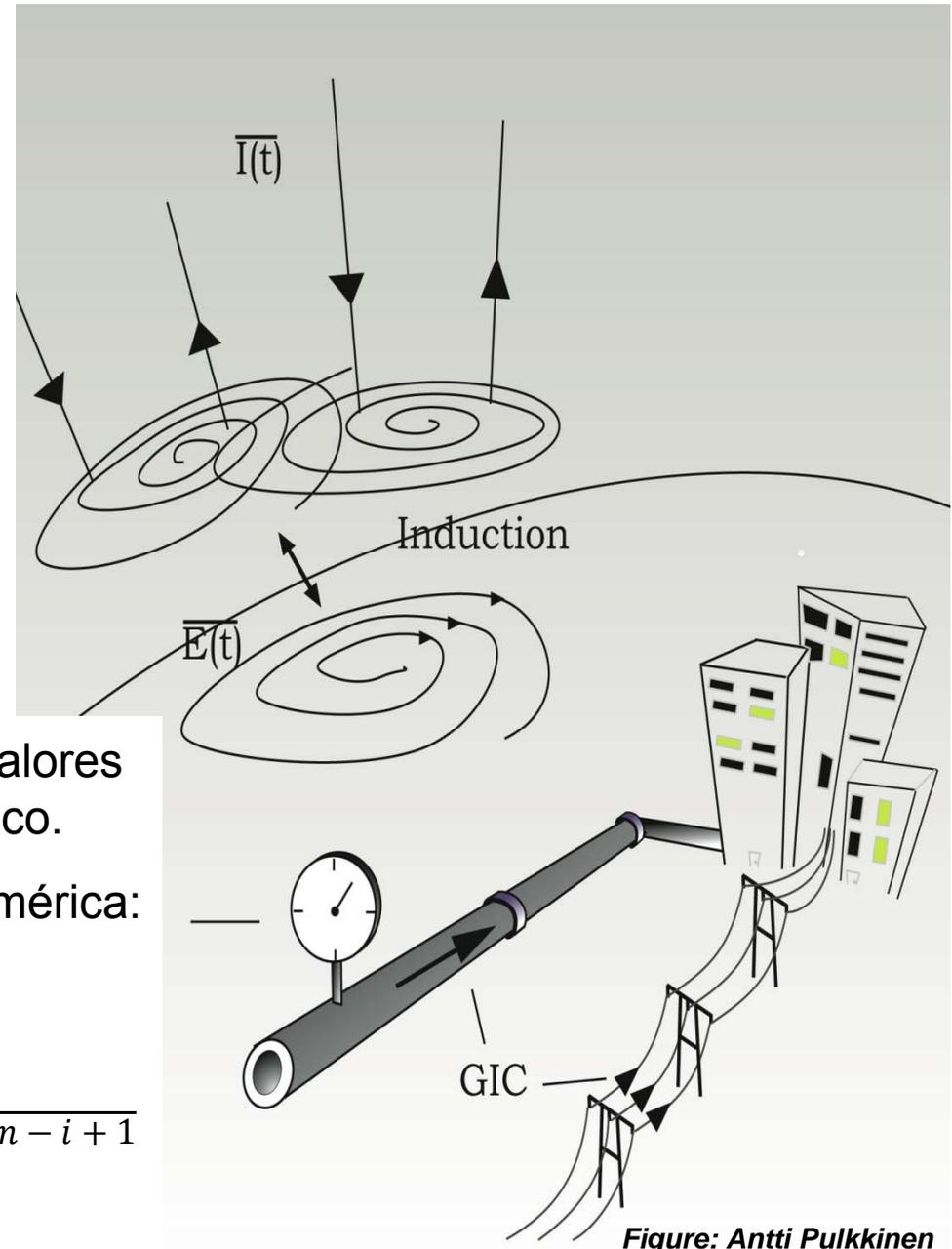
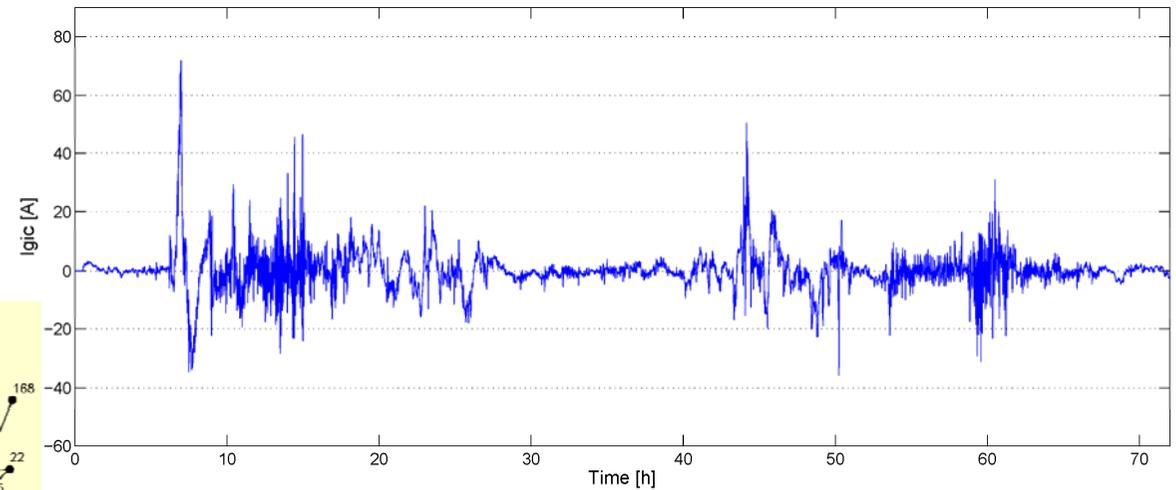


Figure: Antti Pulkkinen

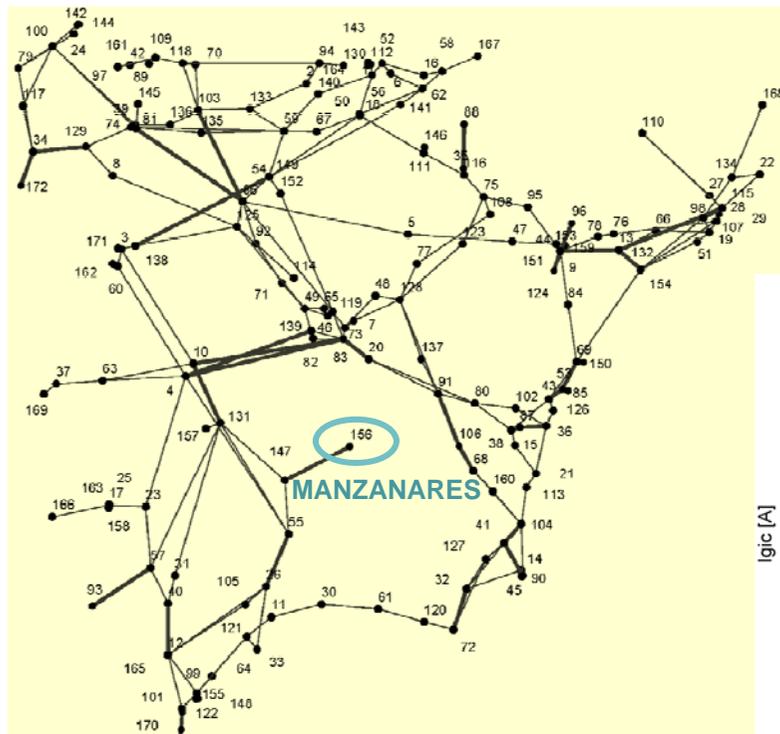
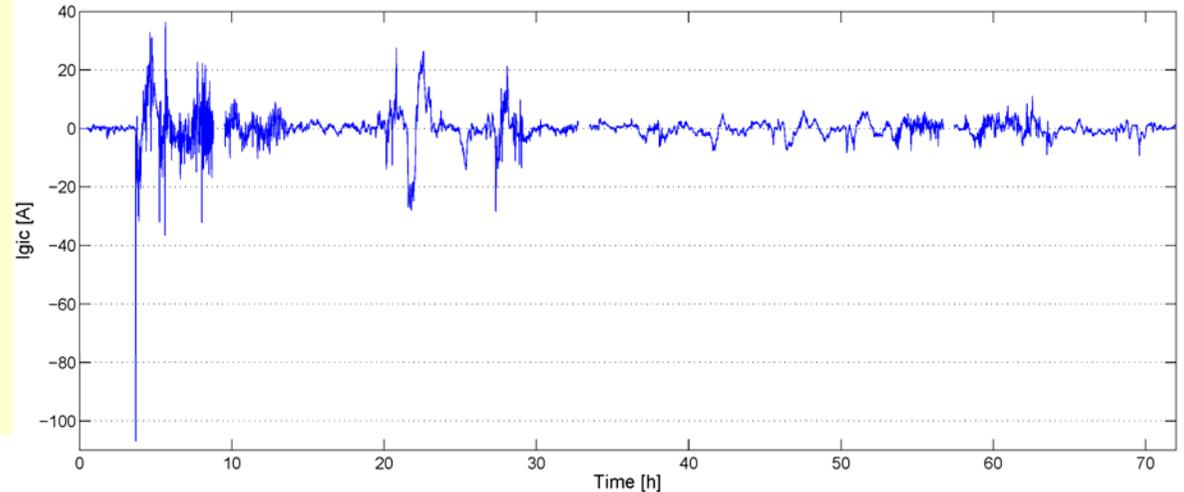
PREDICCIÓN DE LAS GIC'S EN LOS NODOS/ TRANSFORMADORES DE LA RED

29-31 Octubre 2003 (Halloween)

GIC-MANZANARES 29-10-2003

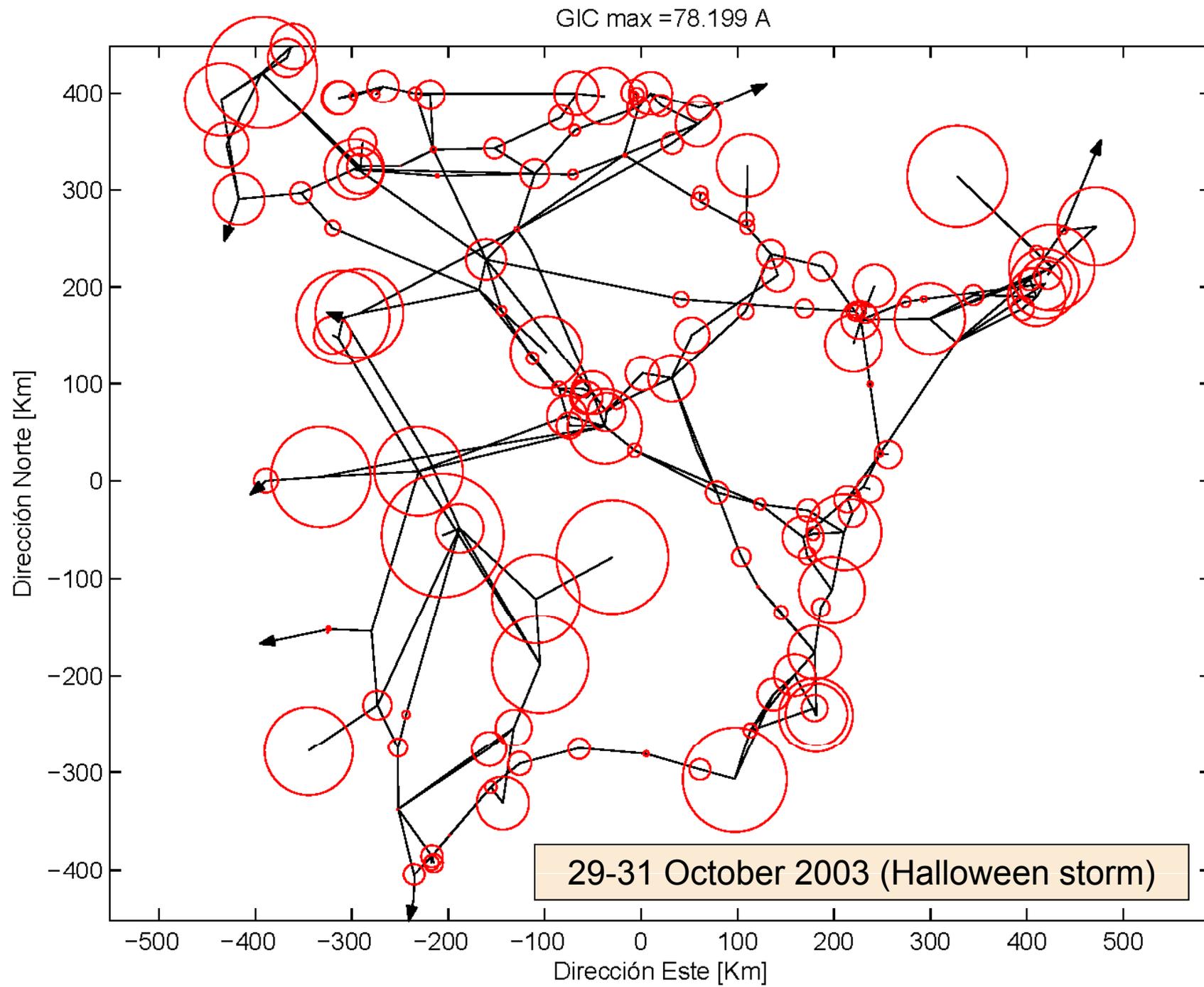


GIC-MANZANARES 24-03-1991



24-26 Marzo 1991 (comienzo más abrupto)

Según la configuración actual de la red y con todos los elementos funcionando, y $\sigma = 10^{-3}$ S/m



FULL PAPER

Open Access

Assessing the hazard from geomagnetically induced currents to the entire high-voltage power network in Spain

Joan Miquel Torta^{1*}, Santiago Marsal¹ and Marta Quintana²

Abstract

After the good results obtained from an assessment of geomagnetically induced currents (GICs) in a relatively small subset of the Spanish power transmission network, we now present the first attempt to assess vulnerability across the entire Spanish system. At this stage, we have only included the power grid at the voltage level of 400 kV, which contains 173 substations along with their corresponding single or multiple transformers and almost 300 transmission lines; this type of analysis could be extended to include the 220-kV grid, and even the 110-kV lines, if more detailed information becomes available. The geoelectric field that drives the GICs can be derived with the assumption of plane wave geomagnetic variations and a homogeneous or layered conductivity structure. To assess the maximum expected GICs in each transformer as a consequence of extreme geomagnetic storms, a post-event analysis of data from the Ebre Geomagnetic Observatory (EBR) during the 2003 Halloween storm was performed, although other episodes coincident with very abrupt storm onsets, which have proven to be more hazardous at these mid-latitudes, were analyzed as well. Preferred geomagnetic/geoelectric field directions in which the maximum GICs occur are automatically given from the grid model. In addition, EBR digital geomagnetic data were used to infer statistical occurrence probability values and derive the GIC risk at 100-year or 200-year return period.

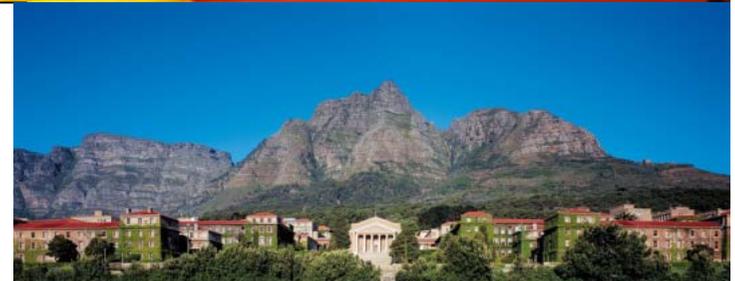
ASSESSING THE HAZARD FROM GICs TO THE SPANISH ENTIRE HIGH- VOLTAGE POWER NETWORK

J.M.Torta¹, S. Marsal¹, M. Quintana²

¹Ebro Observatory, Spain

²Red Eléctrica de España, Spain

**Workshop on GICs in Power Systems
with emphasis on mid- and low-latitude regions.
University of Cape Town, South Africa
1-2 April 2014**



Geomagnetically Induced Currents in Power Networks at Different Latitudes

**Risto Pirjola^{1,2}, Chunming Liu³, Lianguang Liu³,
Yunlong Li³, Magnus Wik⁴**

¹Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

²Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, Canada

³North China Electric Power University, Beijing, China

⁴NeuroSpace, Lund, Sweden

GIC Workshop, Cape Town, South Africa

April 1-2, 2014

Québec blackout -- March 13, 1989

- ✓ **The disturbance started at 2:45 am Local Time.**
- ✓ **Within about 1.5 minutes the entire network collapsed.**
- ✓ **After 9 hours 17 % of the load was still out of service.**
- ✓ **Six million people without electricity for several hours**
- ✓ **Costs to Hydro-Québec:**
 - *Damage to equipment: 6.5 million CAD*
 - *Total: 13.2 million CAD*
- ✓ **All direct and indirect costs: 6 billion CAD (?)**

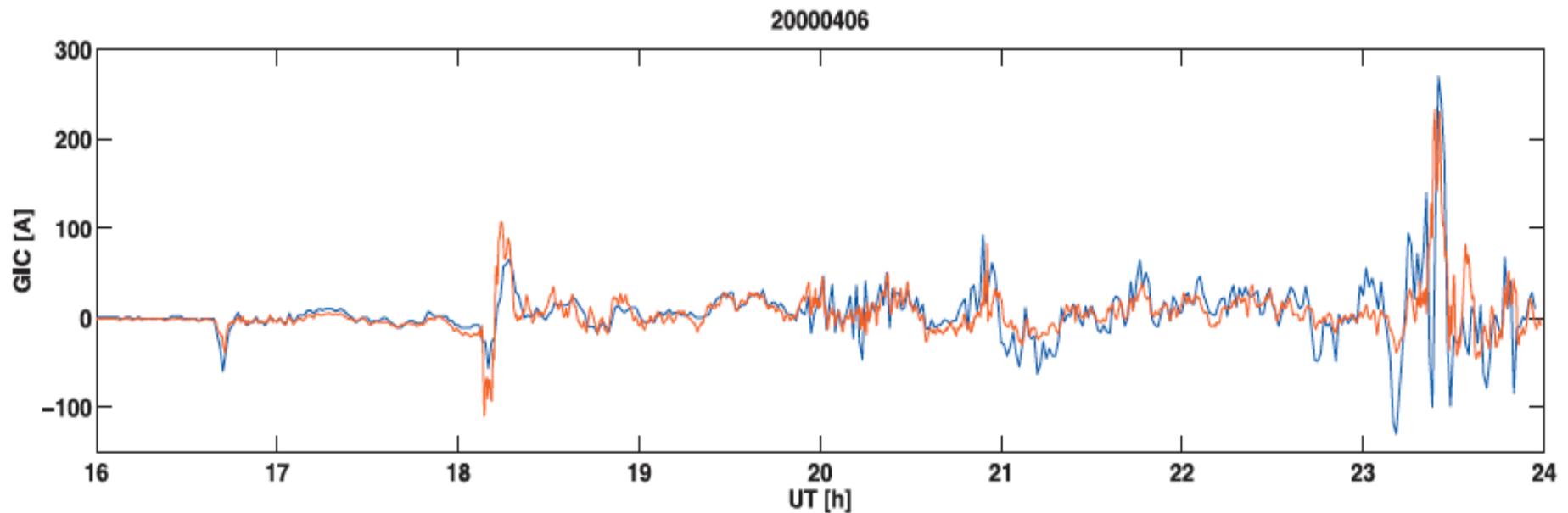
Malmö blackout -- October 30, 2003

- ✓ **Power system blackout in the city of Malmö, southern Sweden, at 20:07 UT**
- ✓ **About 50000 customers without electricity for 20-50 minutes**

“World-record” GIC in a Swedish 400 kV neutral on April 6, 2000

(almost) 300 A, i.e. 100 A per phase

Blue = Measured, Red = Modelled



From R. Pirjola (Cape Town Wksp, 2014)

Las GICs vienen determinados por dos factores:

1) El campo geoelectrico en la superficie de la Tierra

- *afectado por las condiciones físicas en el espacio*
- *campos geoelectricos mayores en latitudes altas*
- *campos geoelectricos mayores en áreas con una resistividad alta (baja conductividad)*

$$E_{x,y}(t) = \pm \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_0\sigma}} \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{t-t'}} \frac{dB_{y,x}(t')}{dt'} dt'$$

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

2) Configuración y resistencias de la red

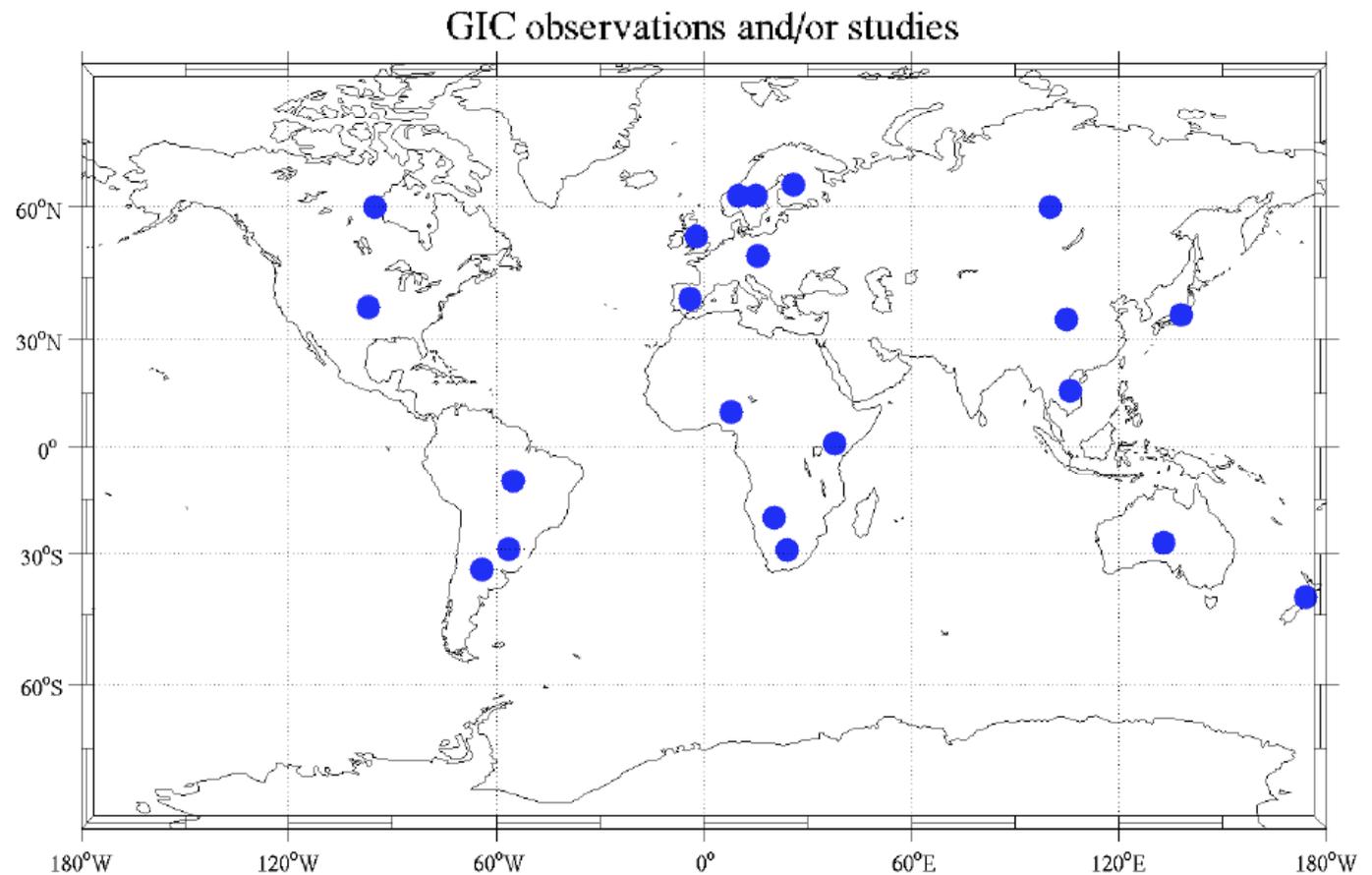
- *GIC mayores en líneas más largas*
- *GIC mayores en líneas con baja resistencia (alto voltaje)*

$$Y_{ij} = \begin{cases} \frac{-1}{R_{ij}}, & i \neq j \\ \sum_{k \neq i} \frac{1}{R_{ik}}, & i = j \end{cases}, \quad Z_{ij} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ R_i^e, & i = j \end{cases}, \quad J_i = \sum_{j \neq i} \frac{V_{ij}}{R_{ij}}$$
$$V_{ij} = \int_{L_{ij}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

➡ Pueden ser también un problema en latitudes medias-bajas

Countries with GIC observations and/or research (not necessarily with GIC problems)

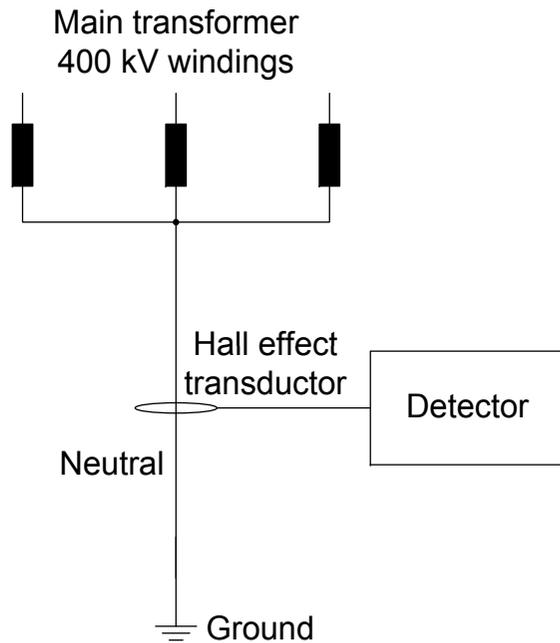
- Argentina
- Australia
- Brazil
- Canada
- China
- Czech Republic
- Finland
- Japan
- Kenya
- Namibia
- New Zealand
- Nigeria
- Norway
- Russia
- South Africa
- Spain
- Sweden
- United Kingdom
- Uruguay
- USA
- Vietnam
- ...



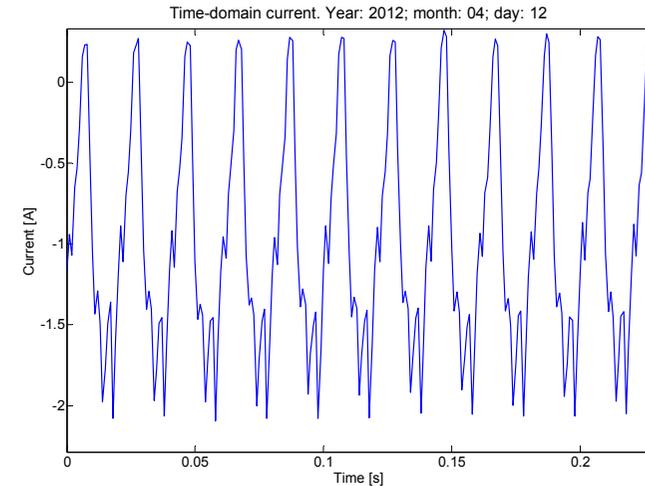
From R. Pirjola (Cape Town Wksp, 2014)

Monitorización de las GICs

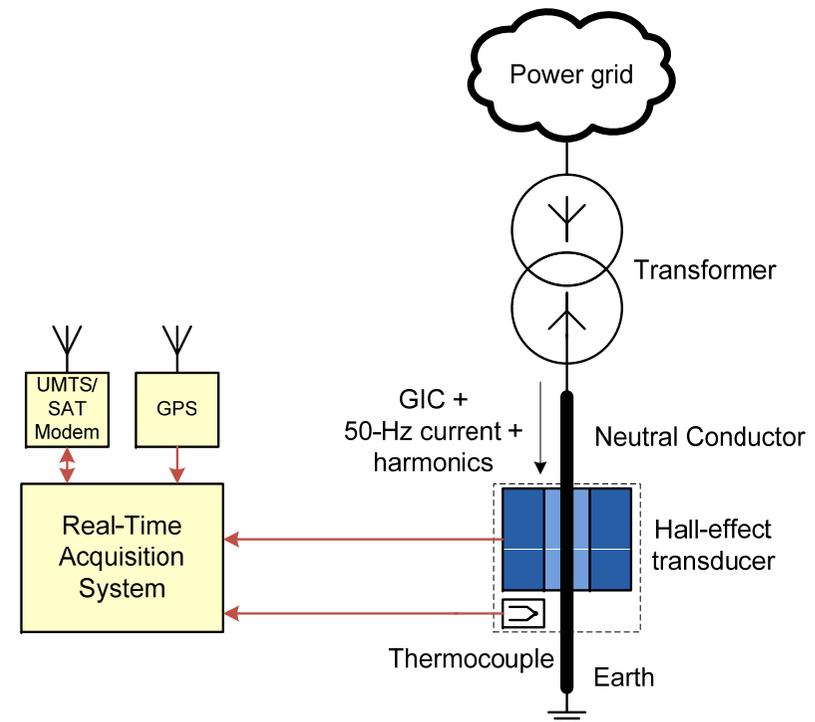
- Sistema basado en un transductor de efecto Hall.



- Se monitorizan también los 50 Hz y sus armónicos para evaluar el grado de saturación de los transformadores.



- Los datos de corriente y temperatura se digitalizan y guardan a través de un sistema de adquisición en tiempo real. La comunicación con el exterior se realiza a través de la red de 3G o por vía satélite.





Neutro

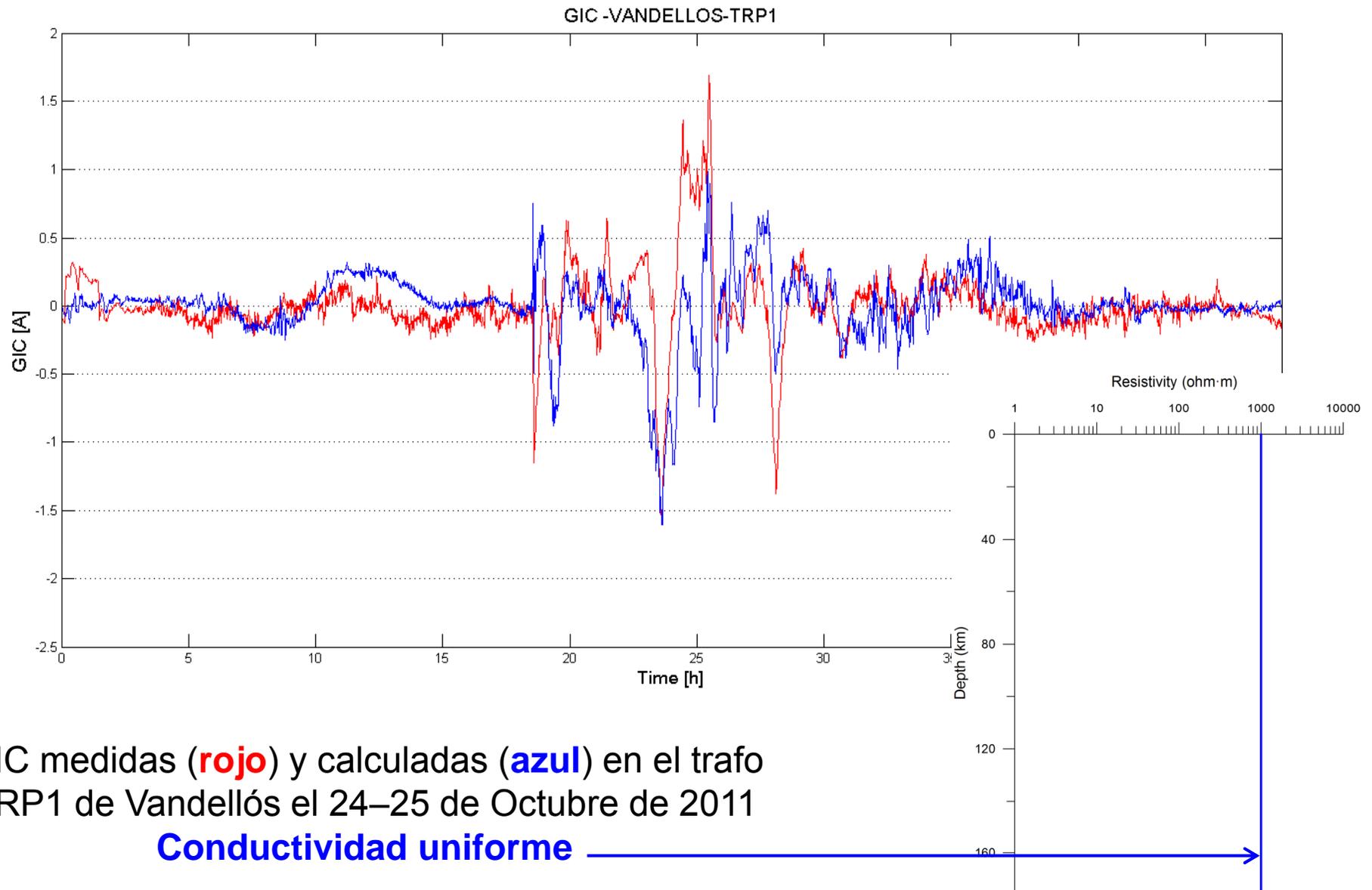


Sistema de medida



Sensores de medición

Validación del modelo con medidas reales



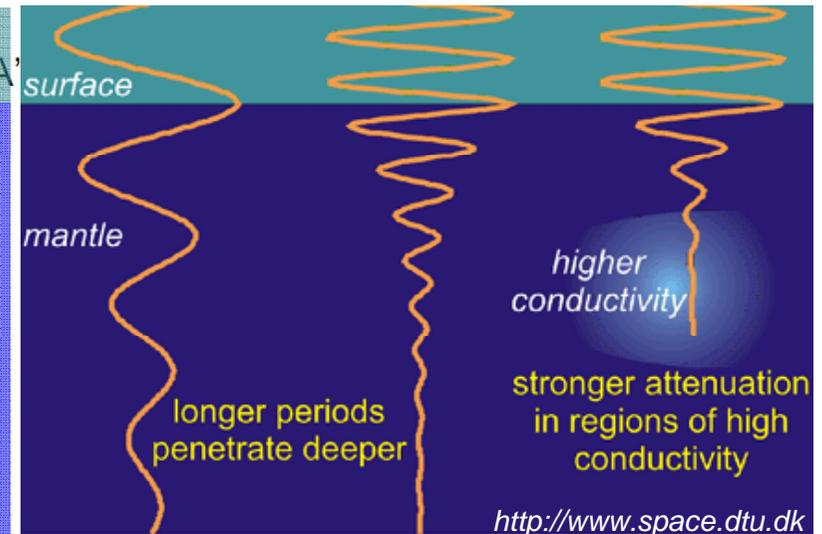
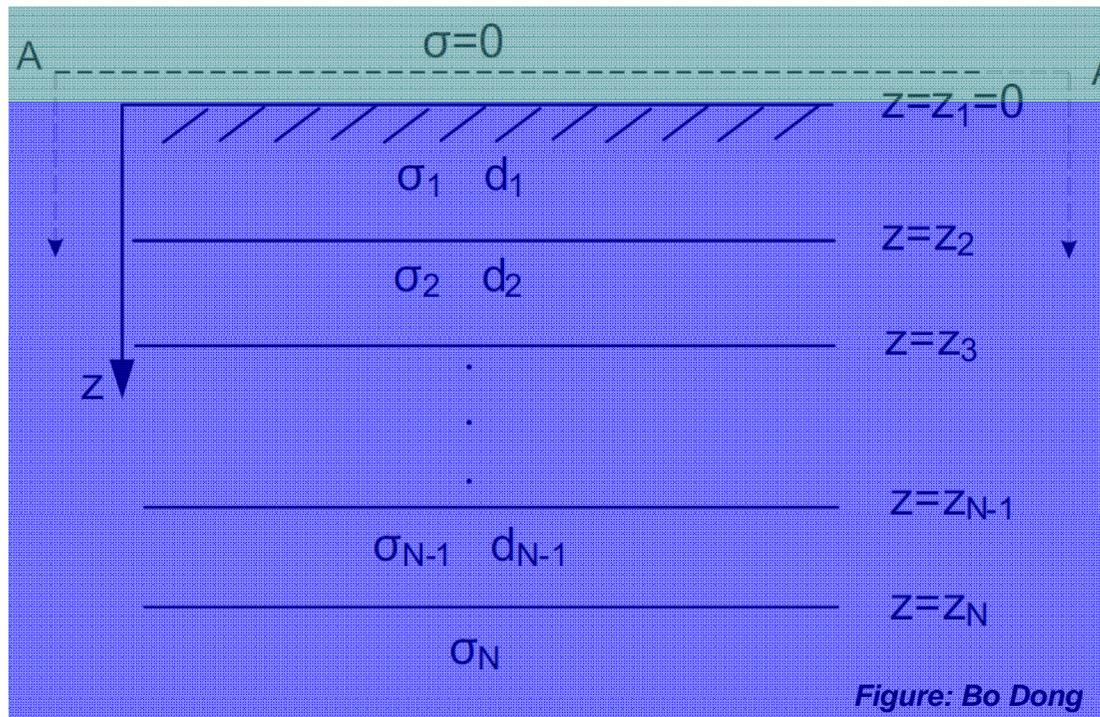
GIC medidas (**rojo**) y calculadas (**azul**) en el trafo TRP1 de Vandellós el 24–25 de Octubre de 2011

Conductividad uniforme

Tierra no uniforme: modelo 1D conductividad-profundidad

$$E_{x,y}(\omega) = \pm \frac{Z(\omega) B_{y,x}(\omega)}{\mu_0}$$

$Z(\omega)$ Impedancia de superficie

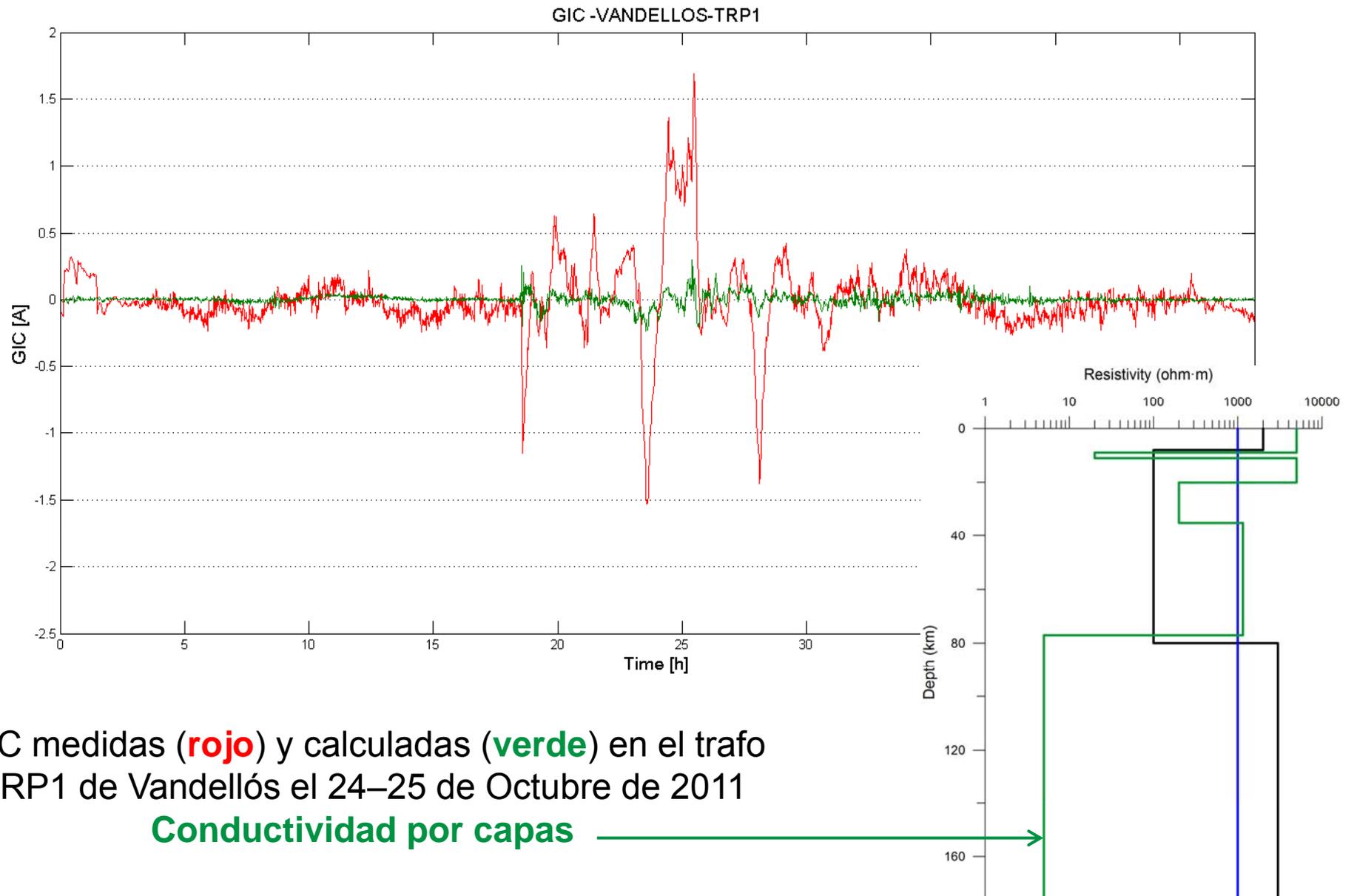


Skin depth $p(\omega) = \frac{Z(\omega)}{i\omega\mu_0}$

$$Z_N = \frac{i\omega\mu_0}{\gamma_N} \coth \left(\gamma_N d_N + \coth^{-1} \left(\frac{\gamma_N}{i\omega\mu_0} Z_{N+1} \right) \right)$$

$$\gamma_N = \sqrt{i\omega\mu_0\sigma_n}$$

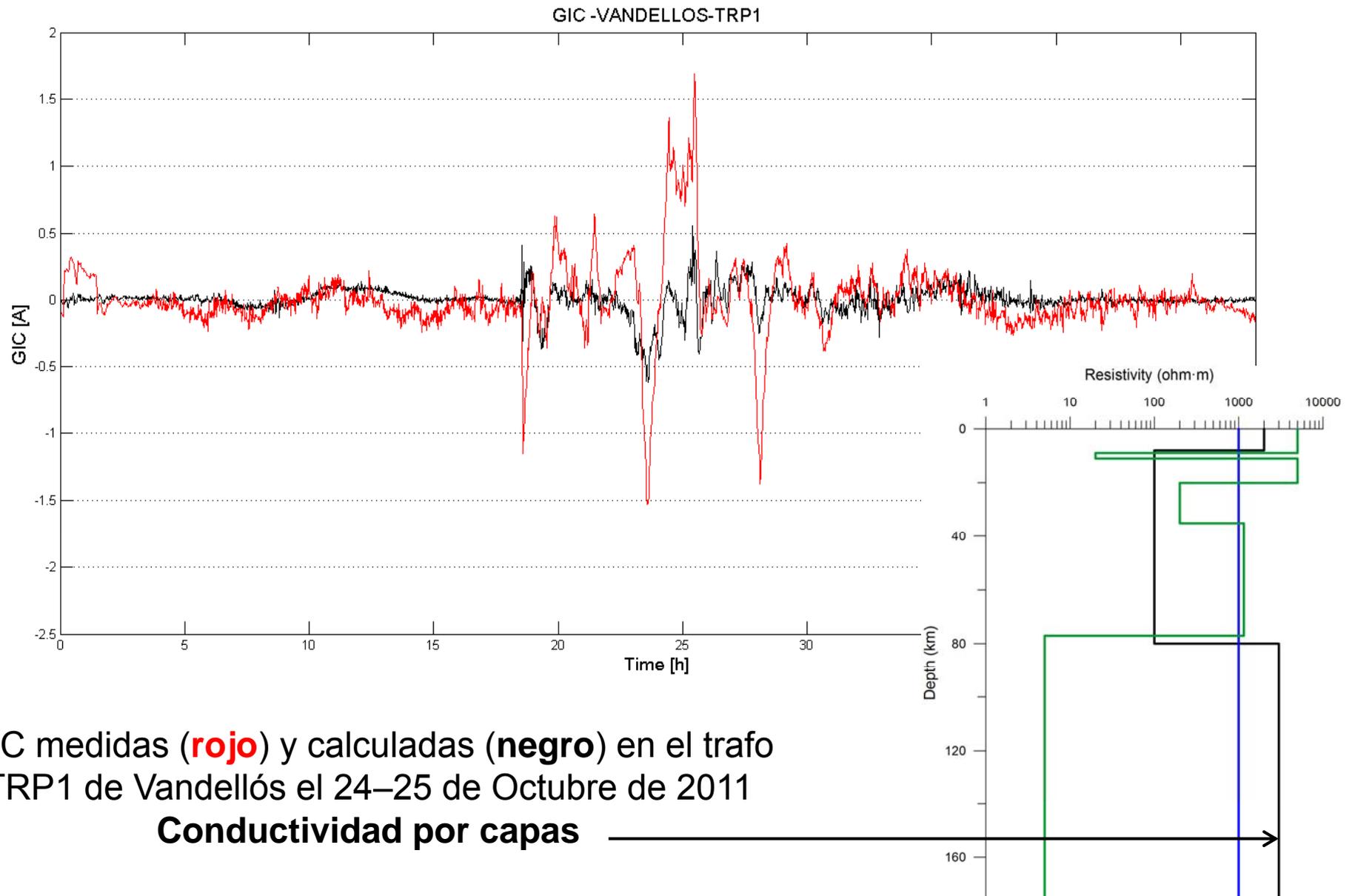
Validación del modelo con medidas reales

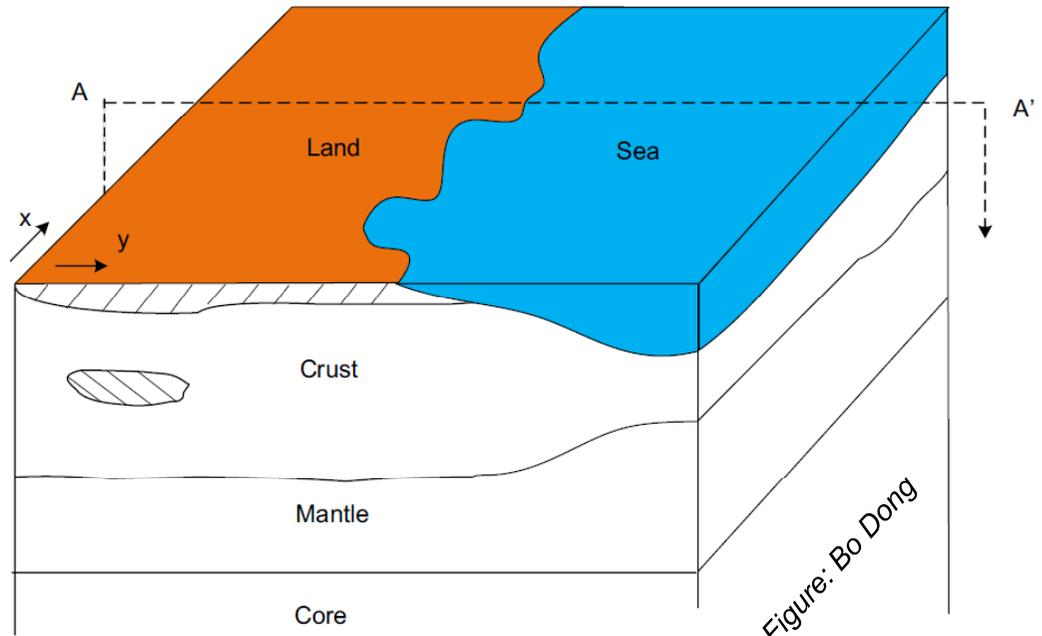
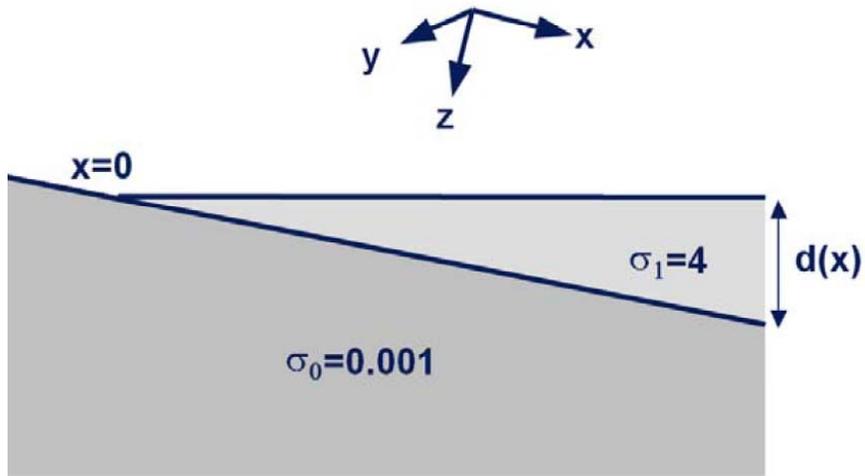


GIC medidas (**rojo**) y calculadas (**verde**) en el trafo TRP1 de Vandellós el 24–25 de Octubre de 2011

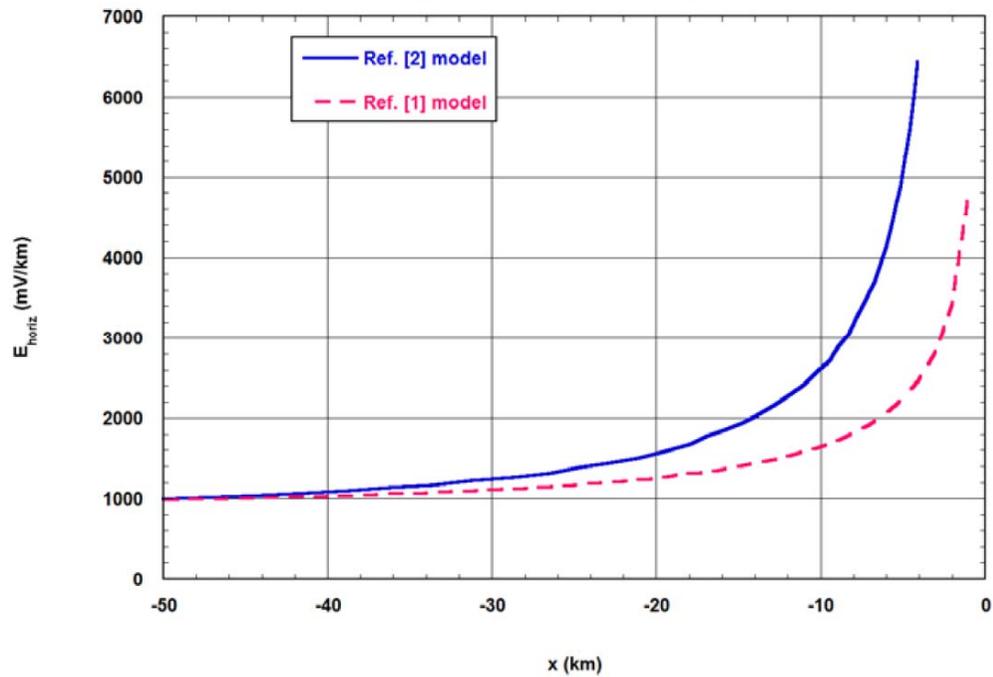
Conductividad por capas

Validación del modelo con medidas reales



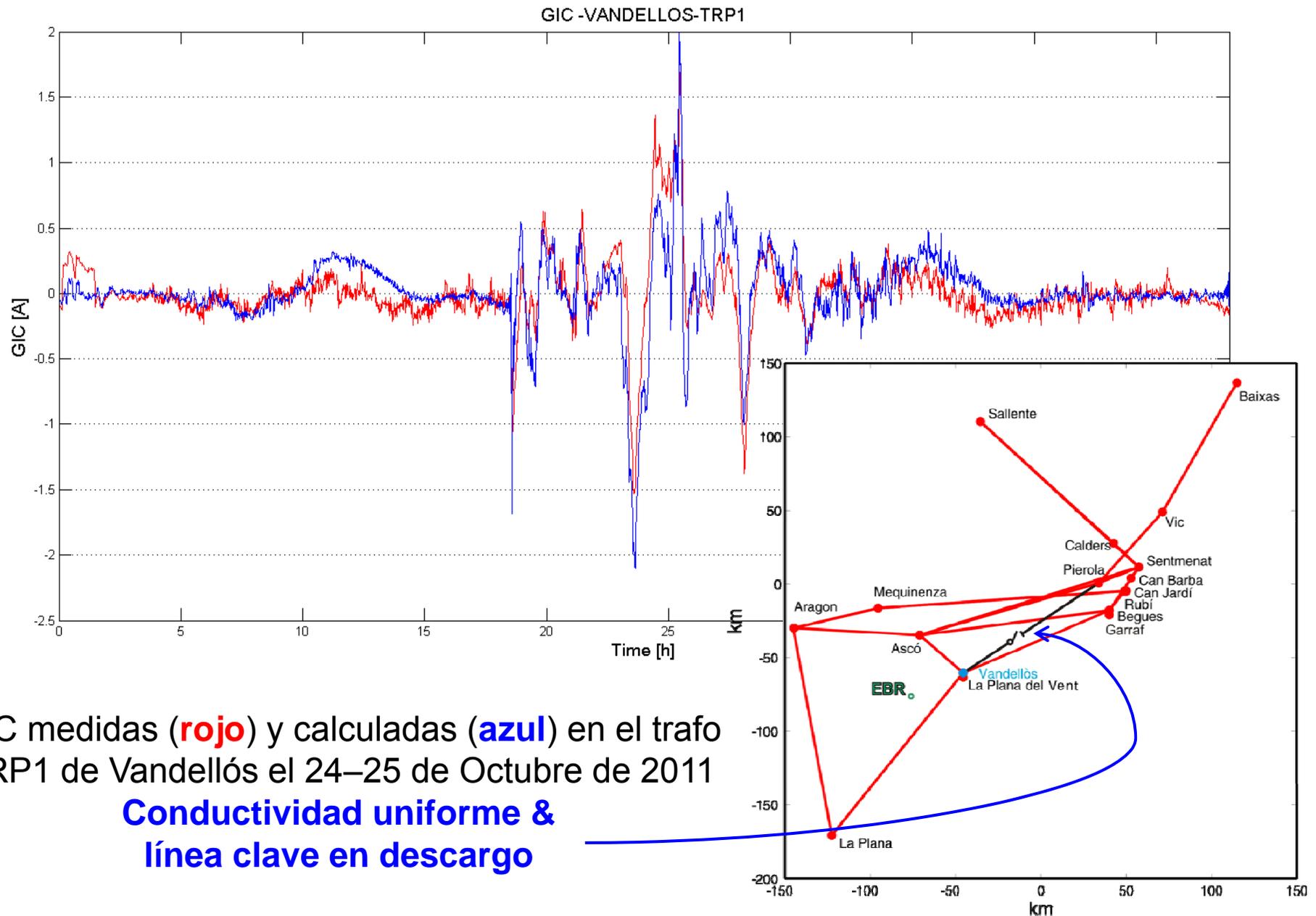


Comparison of Models for Edge Effect



From J.L. Gilbert (2014)

Validación del modelo con medidas reales



GIC medidas (**rojo**) y calculadas (**azul**) en el trafa TRP1 de Vandellós el 24–25 de Octubre de 2011

Conductividad uniforme & línea clave en descargo

Monitorización de las GICs

Mesón do Vento

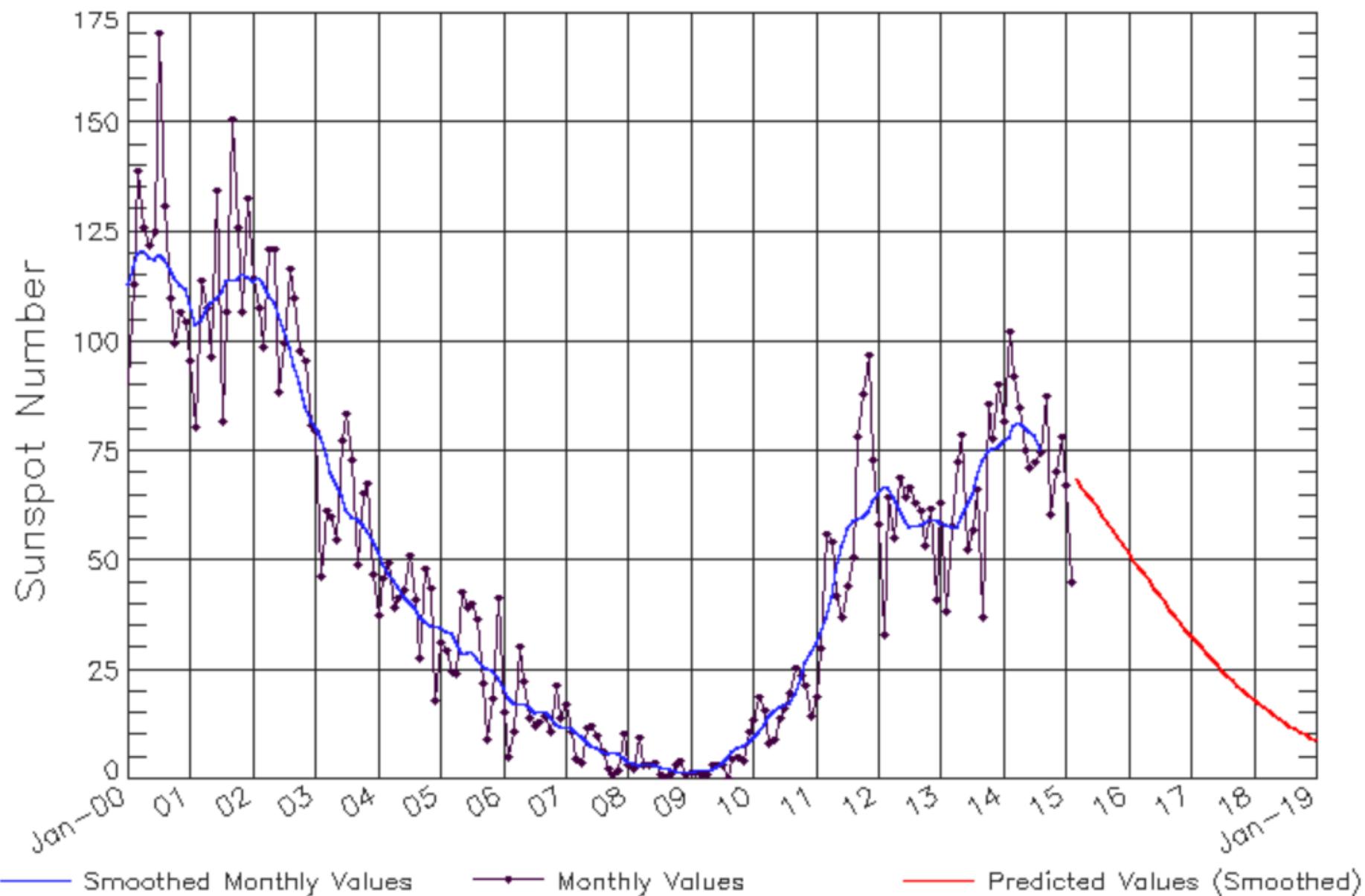
Fuendetodos

Manzanares



ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression

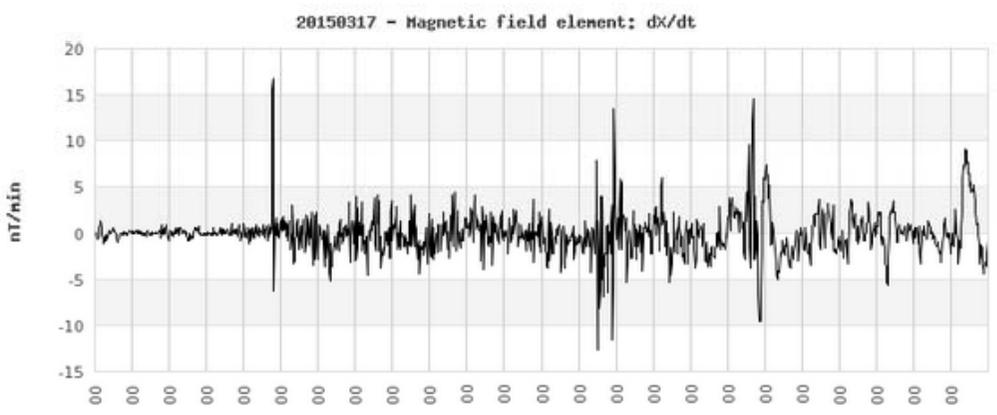
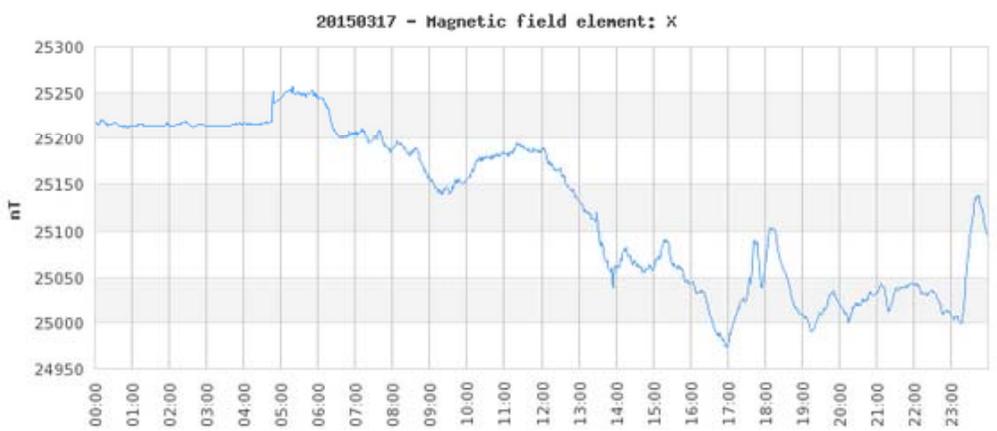
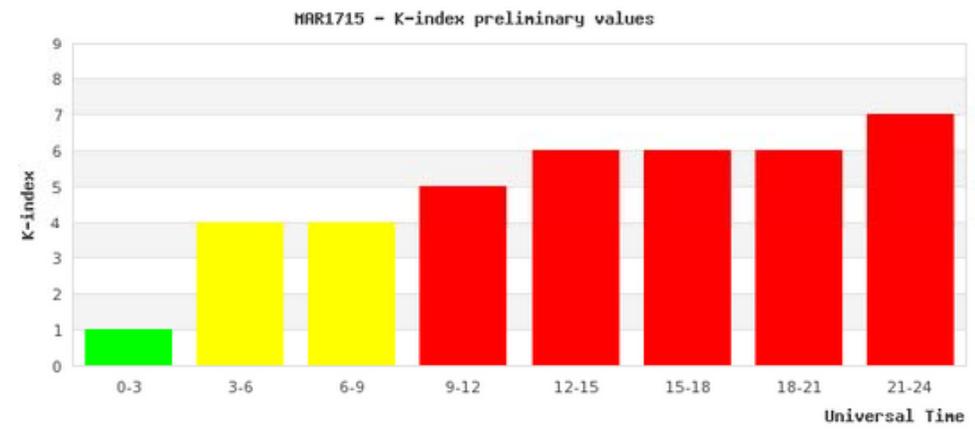
Observed data through Feb 2015



- Fotos solares
- Boletines
- GEOMAGNETISMO
- Instrumentos y metodología
- Variaciones
- Magnetogramas**
- Catálogos de datos
- Boletines
- IONOSFERA
- Instrumentos y metodología
- Registros Digisonda
- Ionogramas revisados
- Variabilidad día a día
- Catálogos de datos
- Boletines
- METEOROLOGÍA
- Instrumentos y metodología
- Datos meteorológicos
- Datos climáticos
- Efemérides
- Boletines
- OBSERVACIÓN EN LA ANTÁRTIDA
- Porqué, desde cuando y cómo

17/03/2015 

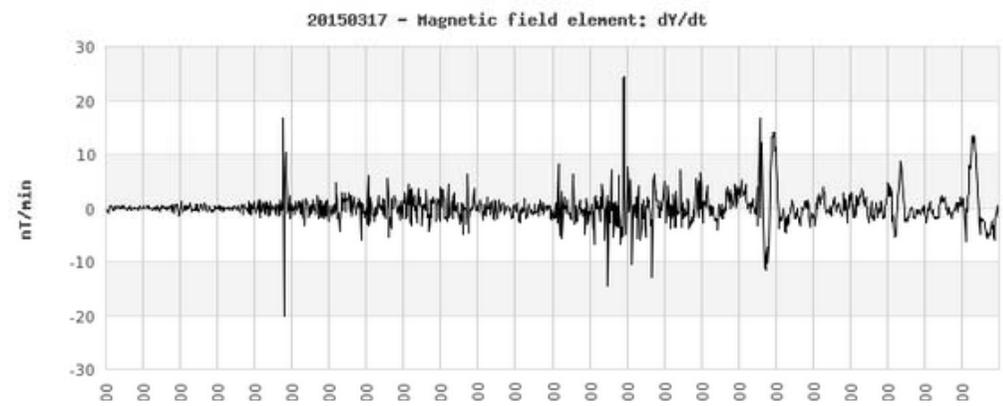
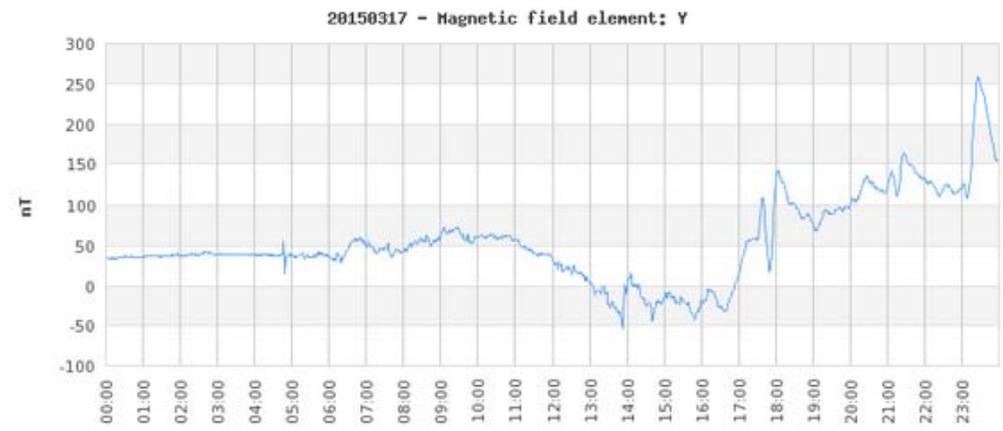
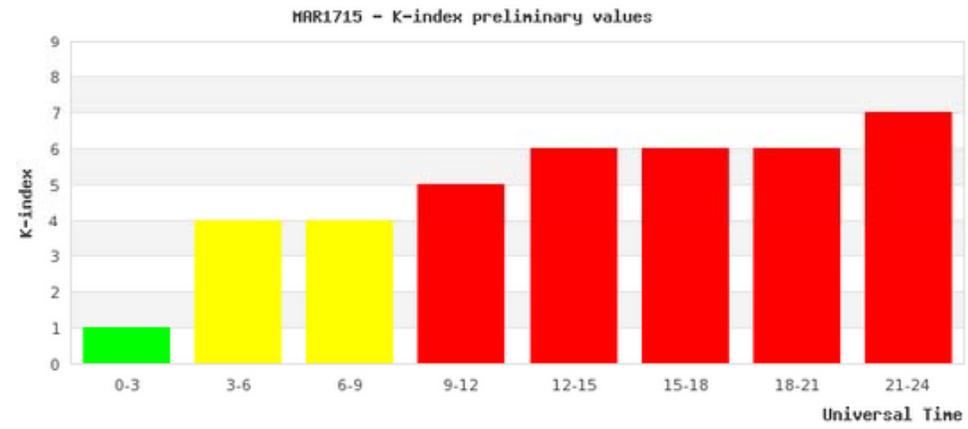
VARIACIONES Σ : 17/Mar/2015



- Fotos solares
- Boletines
- GEOMAGNETISMO
- Instrumentos y metodología
- Variaciones
- Magnetogramas**
- Catálogos de datos
- Boletines
- IONOSFERA
- Instrumentos y metodología
- Registros Digisonda
- Ionogramas revisados
- Variabilidad día a día
- Catálogos de datos
- Boletines
- METEOROLOGÍA
- Instrumentos y metodología
- Datos meteorológicos

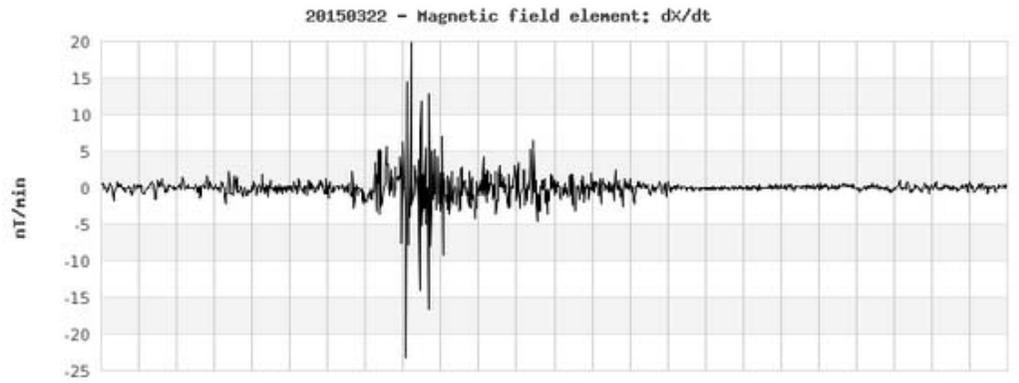
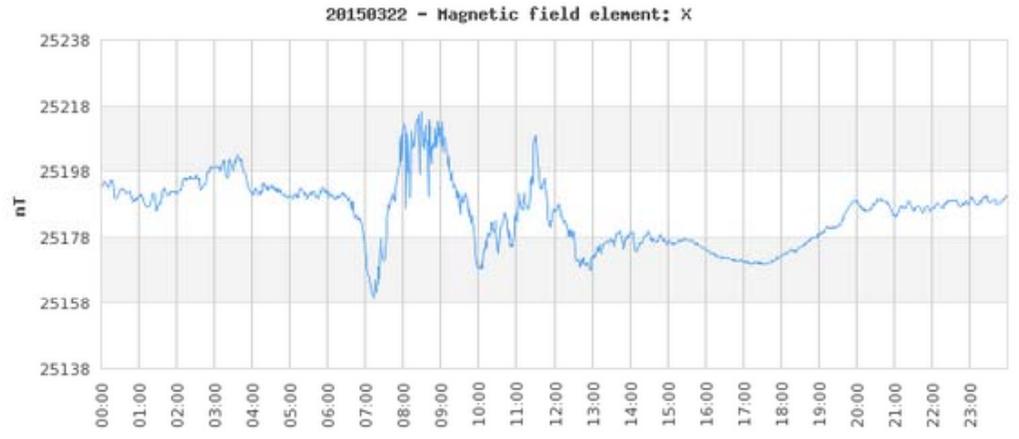
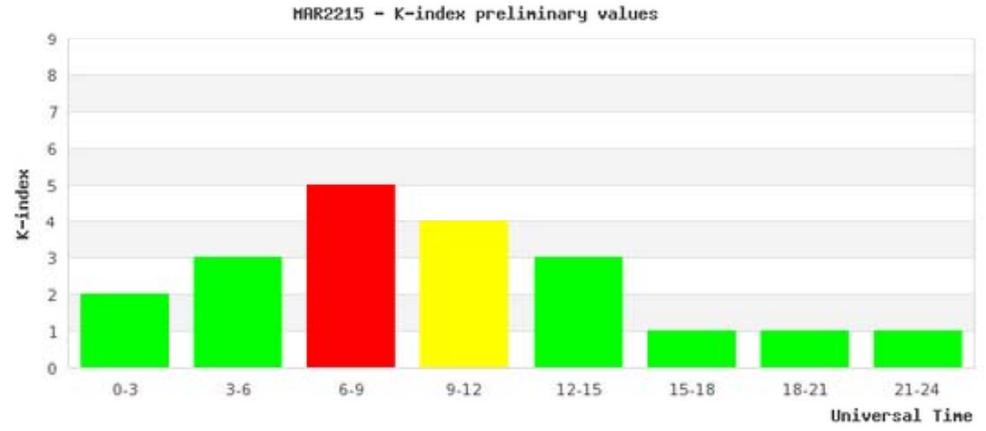
17/03/2015 

VARIACIONES Σ : 17/Mar/2015

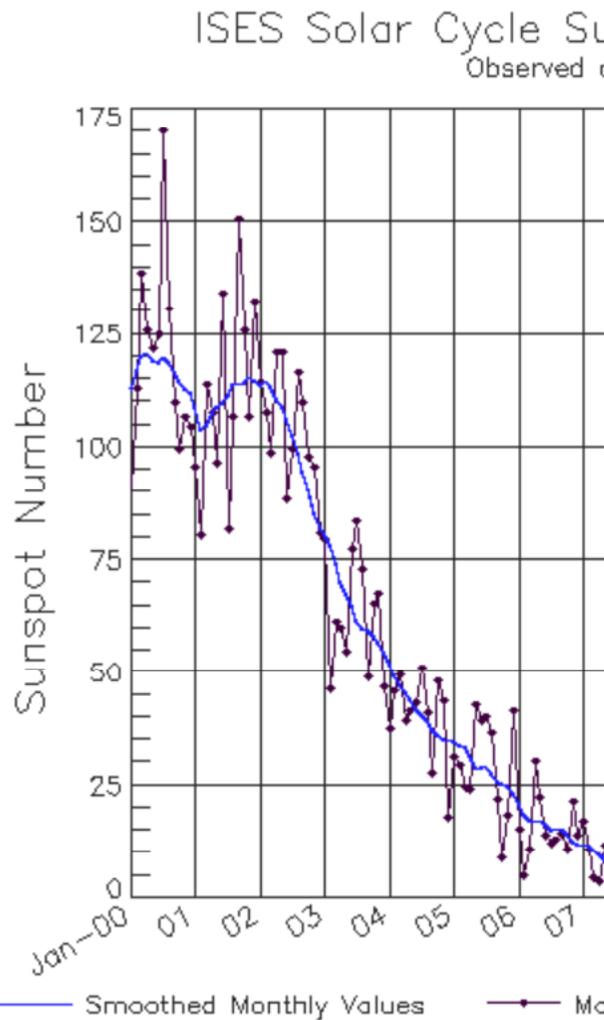


- Fotos solares
- Boletines
- GEOMAGNETISMO**
- Instrumentos y metodología
- Variaciones
- Magnetogramas**
- Catálogos de datos
- Boletines
- IONOSFERA
- Instrumentos y metodología
- Registros Digisonda
- Ionogramas revisados
- Variabilidad día a día
- Catálogos de datos
- Boletines
- METEOROLOGÍA
- Instrumentos y metodología
- Datos meteorológicos
- Datos climáticos
- Efemérides
- Boletines
- OBSERVACIÓN EN LA ANTÁRTIDA
- Porqué, desde cuando y cómo

VARIACIONES : 22/Mar/2015

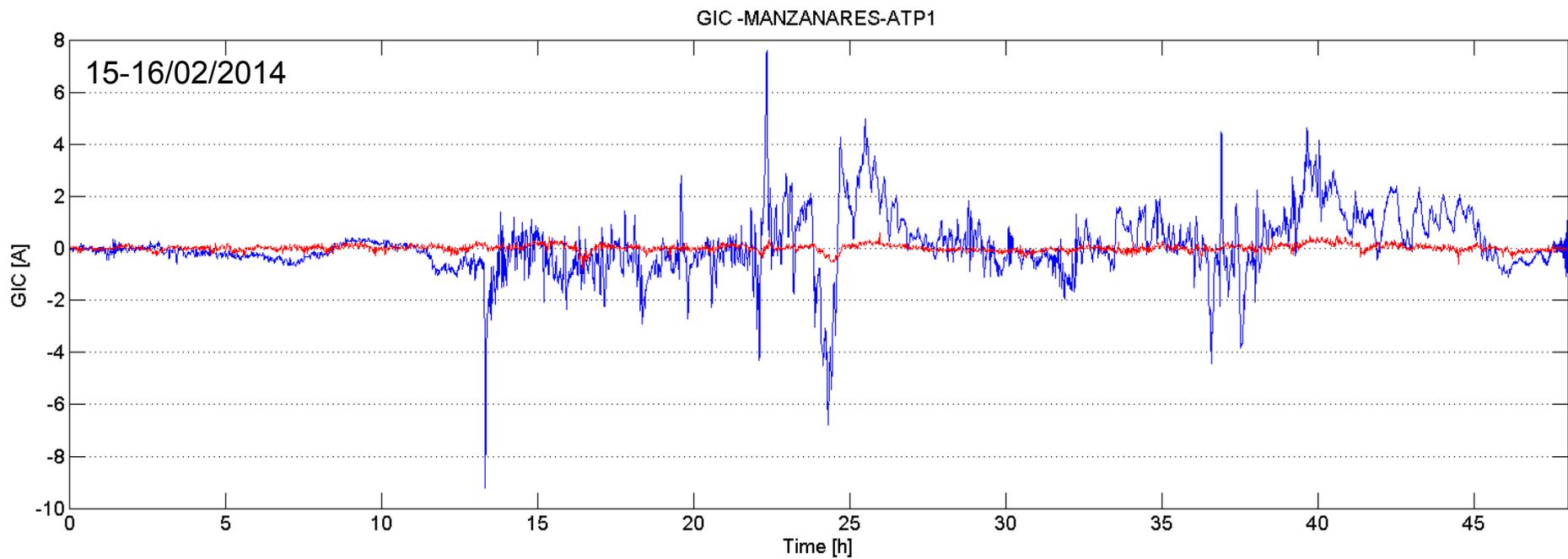


Eventos significativos desde Octubre de 2013

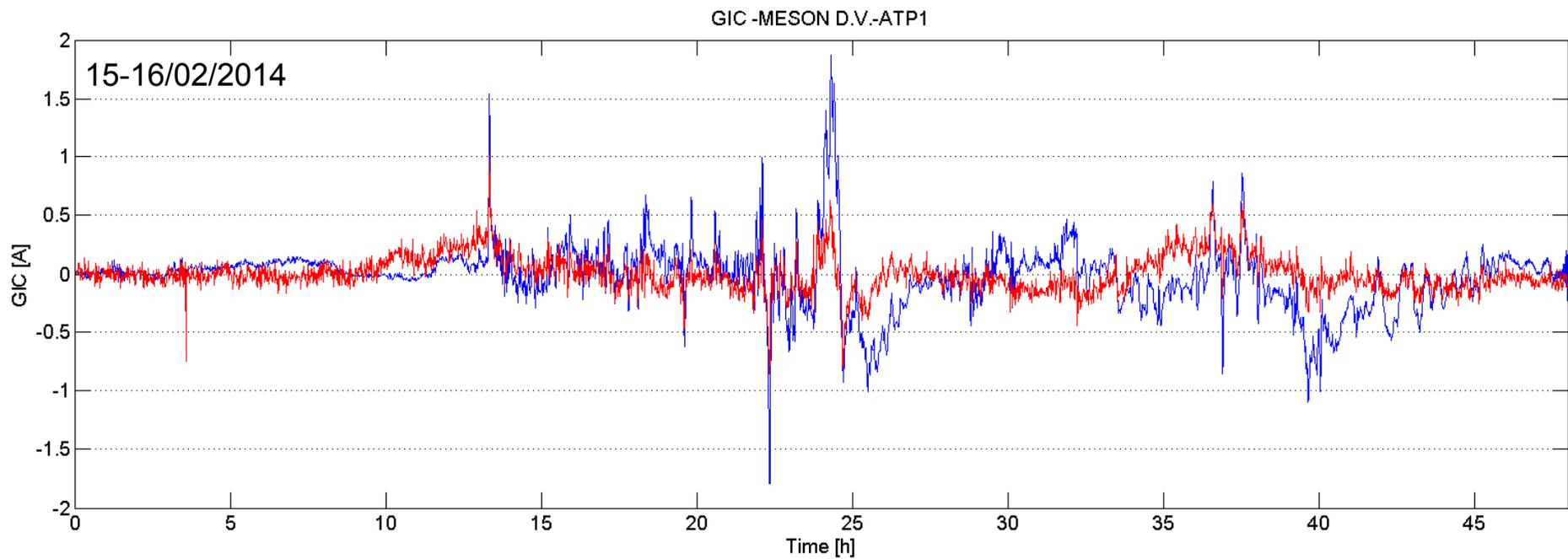


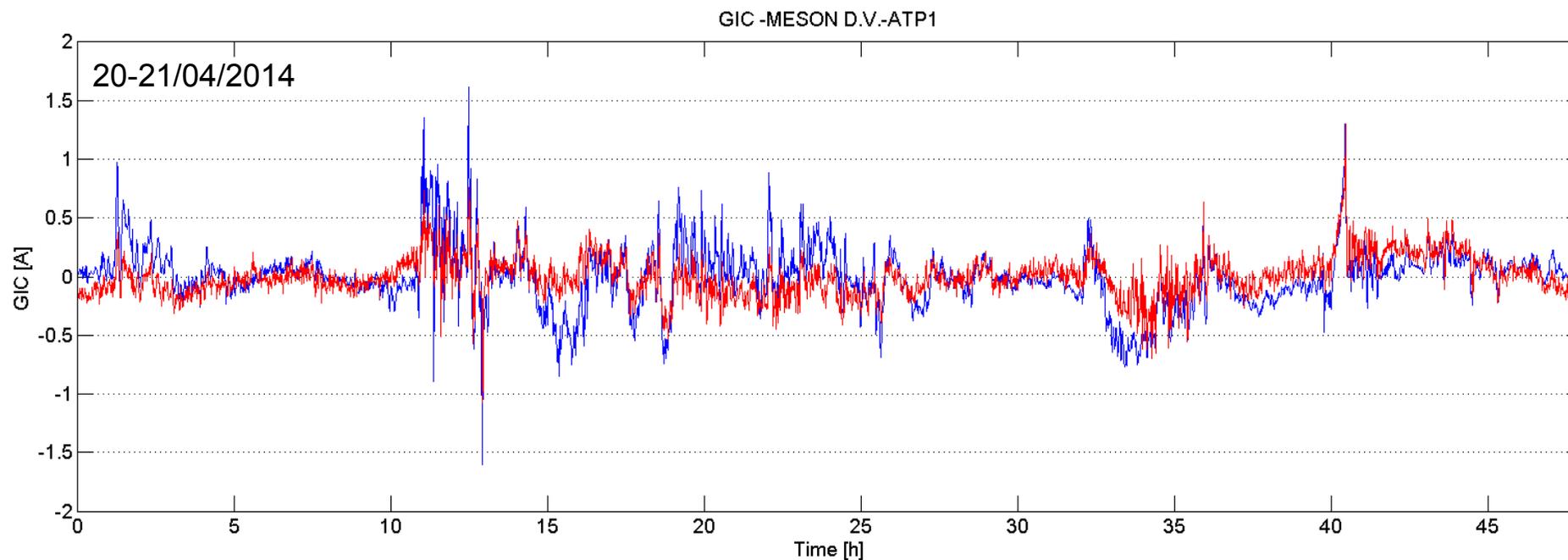
Evento	Fecha	máx dX [nT/min]	máx dY [nT/min]	máx Ey [V/Km]	máx Ex [V/Km]
1	2-3/10/2013	16.61	26.14	0.09	0.11
2	8-10/10/2013	21.62	12.70	0.11	0.07
3	15-16/02/2014	10.15	10.30	0.05	0.05
4	27-28/02/2014	7.73	10.19	0.04	0.05
5	20-21/04/2014	9.60	10.90	0.05	0.06
6	17-18/03/2015	16.70	24.30	0.16	0.09
7	22/03/2015	23.10	16.70	0.07	0.06

Evento	Fecha	máx dX [nT/min]	máx dY [nT/min]	máx Ey [V/Km]	máx Ex [V/Km]
-	24/3/1991	177	73	0.7	0.3

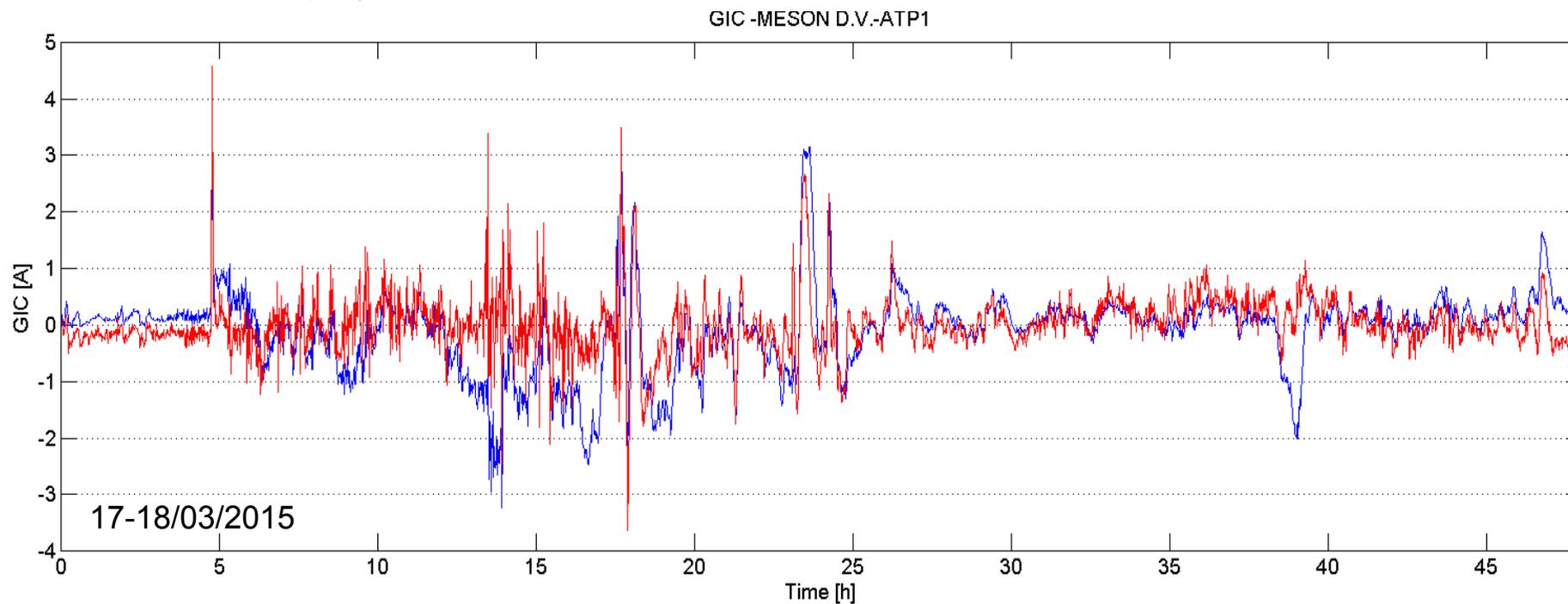


GIC medidas (**rojo**) y calculadas (**azul**)

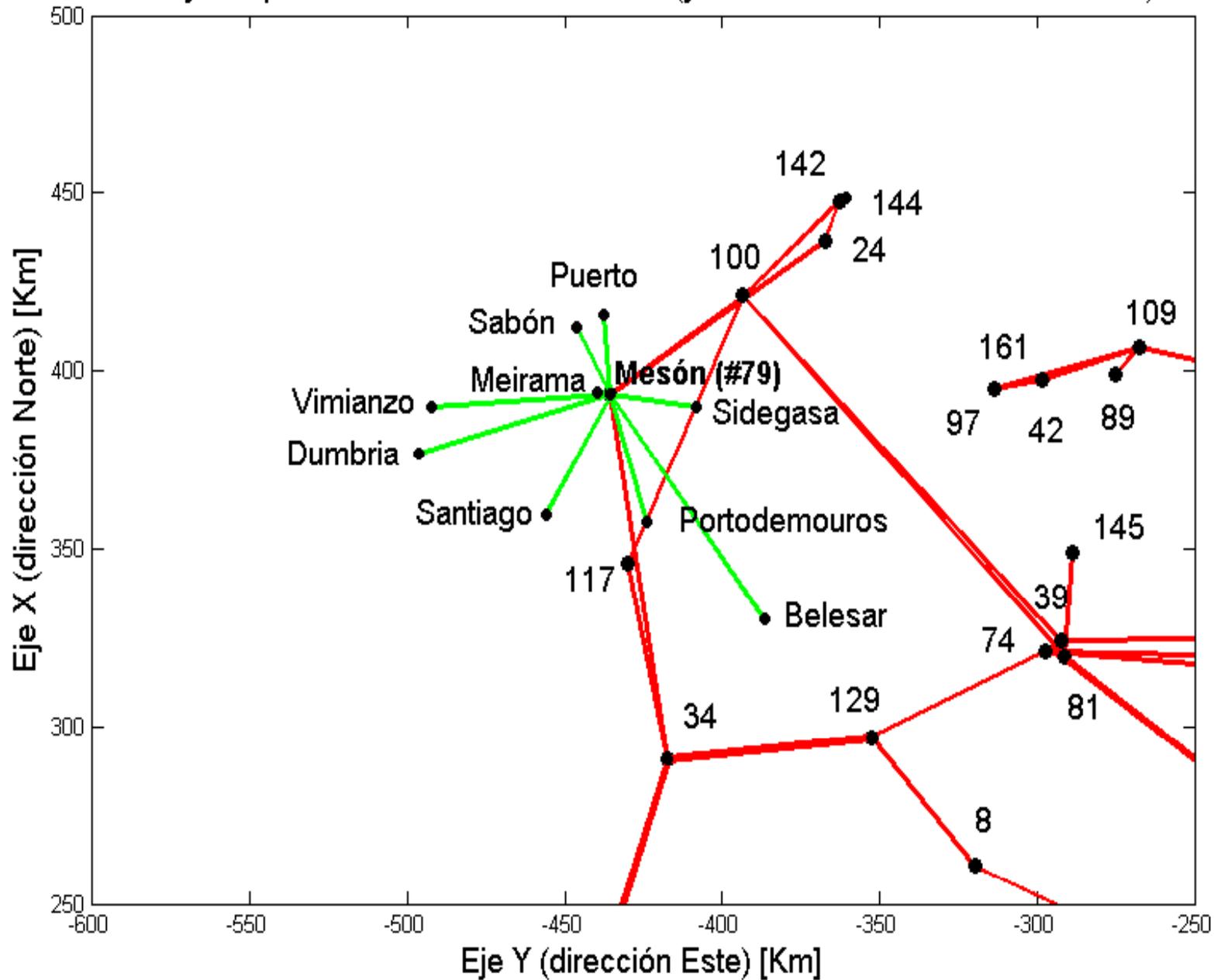




GIC medidas (**rojo**) y calculadas (**azul**)



Dibujo esquemático de la red de 400 kV (y 220 kV alrededor de Mesón D.V.)





CONCLUSIONES

- El estudio ha proporcionando mucha información para:
 - análisis **vulnerabilidad** red electr. frente **amenaza** por GICs
 - establecimiento relación **nivel actividad** geomagnética-**riesgo**
- Deben seguirse **monitorizando** las **GICs** en determinados transformadores y **perfeccionando** el **modelo**
- Para mejorar el modelo desarrollado deben tenerse en cuenta las líneas y los transformadores de **220 KV** (y quizá también los de 110 kV), y tener en cuenta el perfil y contrastes laterales de **conductividad** de la tierra
- Tan importante como la modelización del efecto de la costa es la obtención de los **parámetros** detallados de la **red** en el preciso momento de la tormenta geomagnética

¡Gracias por la atención!

