

**Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Tucumán**



**Titulo: *"ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD DE LOS  
CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE FRECUENCIA  
INDUSTRIAL EN EL SISTEMA DE TRANSMISION EN  
ALTA TENSION DEL NOROESTE ARGENTINO, EN  
FUNCION DE LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO"***

**Tesista: Esp. Ing. Angel Fabián Rivadeneira Lichardi  
Director de Tesis: Dr. Ing. Ricardo Diaz**

**Año 2013**

# Resumen (Abstract)

---

En los últimos años se ha investigado sobre los campos electromagnéticos generados por equipos y líneas eléctricas y sus efectos sobre la salud de las personas y el medio ambiente. ***En este trabajo se presentan los resultados de mediciones de campos eléctricos y magnéticos, realizados durante varios años en las proximidades de las estaciones transformadoras y líneas eléctricas de alta tensión en del NOA<sup>1</sup>***, y la evaluación de los niveles de campos magnéticos en el ambiente con el crecimiento del sistema de transmisión de energía eléctrica. Se analiza el crecimiento de la potencia transmitida, la expansión de las instalaciones y su relación con los valores de campos EM de frecuencia industrial alrededor de las instalaciones.

Los campos electromagnéticos han estado presentes en forma natural desde el inicio de la humanidad, manifestándose en forma de campo eléctrico atmosférico y campo magnético terrestre, estas eran la única manera a las que una persona podía estar expuesta a ellos, pero con el avance de la tecnología y la aparición de la electricidad en todos los ámbitos de nuestra vida, se han generado campos eléctricos y magnéticos de una forma distinta a la derivada de la naturaleza, envolviendo a las comunidades en un nuevo ambiente. Las nuevas tecnologías que utilizan campos electromagnéticos (CEM) ofrecen a la humanidad inmensos beneficios. Además de emplearse en la transmisión de la energía eléctrica, telecomunicaciones, equipos industriales y médicos, electrodomésticos, además de tener muchas otras y muy diversas aplicaciones.

**La presencia de las líneas de alta tensión y estaciones transformadoras de transporte y distribución eléctrica en zonas urbanas y rurales, han hecho que surjan cuestionamientos y preocupaciones sobre los riesgos e impactos ambientales, y de aquellos que puedan afectar a las personas y seres vivos por la emisión de los campos electromagnéticos**, especialmente los campos magnéticos de baja frecuencia (50/60 Hz), utilizados tanto en la industria como en el hogar.

Para que las distintas empresas que prestan servicios de energía eléctrica puedan atender de una manera adecuada estas inquietudes, fue necesario que se realicen las respectivas mediciones de los niveles de campos electromagnéticos existentes en sus sistemas y puedan ser comparados con los niveles recomendados como de máxima exposición por las organizaciones mundiales, niveles que corresponden a valores inocuos.

Algunos de los estudios mostraron, que la exposición a los CEM, podría producir efectos adversos para la salud, como ser cáncer y generar cambios en el comportamiento de las personas. Aunque hasta el presente no se ha demostrado, que la exposición a los CEM de baja intensidad (50 Hz) provoque estos efectos, los científicos trabajan para lograr un consenso al respecto y por establecer normas de seguridad adecuadas.

***La responsabilidad de desarrollar y promover los estándares de seguridad ha recaído fundamentalmente en las organizaciones y agencias especializadas reconocidas***

---

<sup>1</sup> NOA Noroeste Argentino

***internacionalmente; sin embargo las autoridades nacionales (Argentina) también han participado en forma activa conjuntamente con las universidades dando lugar a normativas nacionales como: la Ley 19.587/72, Dto. 351/79 y Res. 295/03 (SRT), Res. 555/01 ENRE.***

Para controlar y prevenir el impacto ambiental, que generan los CEM en el ambiente, ya que el emplazamiento de una Estación Transformadora o el tendido de un electroducto impactan en el medio donde se encuentran, el Ente Regulador de la Energía Eléctrica (ENRE) de la Nación, ha fijado a través de resoluciones de carácter obligatoria los valores límites de exposición y además sumó que se deben realizar *Estudios de Impactos Ambientales Y Sociales* (EIA's) y programas de gestión ambiental (PGA) que respondan a los EIA's en todas las obras nuevas que se deban realizar, también estandarizó la periodicidad en las mediciones de los denominados parámetros ambientales: Campo Eléctrico, Campo Magnético, Ruido Audible y Radio Interferencia.

Es por ello que este trabajo se circunscribió a la ***“Evaluación de los Campos Electromagnéticos de Frecuencia Industrial del Sistema de Transmisión en Alta Tensión del Noroeste Argentino, en función de la Evolución del Sistema”***, buscando comparar y analizar las mediciones, evaluar los niveles de campos electromagnéticos y sus normas aplicables, y concluir si el impacto de estos campos en el medio ambiente aumenta o no conforme crece la demanda de energía eléctrica en el NOA Argentino.

**Palabras claves:** Campos electromagnéticos, Estaciones Transformadoras eléctricas, Líneas eléctricas de 132 kV, exposición.

---

# La Tesis está estructurada de la siguiente manera

---

- En el Capítulo 1 se revisa el marco teórico y los conceptos básicos de los campos electromagnéticos sus efectos mediatos e inmediatos.
  - En el Capítulo 2 se presenta y analiza el marco normativo y legal existente en argentina y el de otros países, comparándolos para lograr un encuadre en el contexto mundial.
  - En el Capítulo 3 se analiza los métodos de medición de los campos electromagnéticos, el instrumental, sus características y la manera de medir de acuerdo a las normativas Nacionales vigentes.
  - En el Capítulo 4 se plantea la hipótesis *“Son Compatibles con el Ambiente los Campos Electromagnéticos de Baja Frecuencia del Sistema de Transmisión en Alta Tensión (NOA), en función de la Evolución del Sistema Eléctrico”*.
  - En el Capítulo 5 se presenta y analiza las mediciones realizadas por la Universidad Nacional de Tucumán y de La Plata y su compatibilidad con el ambiente.
  - En el Capítulo 6 se realiza una comparación de los valores de CE y CM medidos y el análisis de las corrientes electricas. Además se grafica el crecimiento de LAT y ET en el NOA en kilómetros y la influencia de las líneas de 500 kV en la redistribución de la carga.
  - Capitulo 7 Conclusiones.
  - En el Anexo I se presentan las influencias de la Tierra en el análisis de los efectos de los CM creados por una línea eléctrica aérea, el cálculo y su estudio.
  - En el Anexo II se presentan las Estaciones Transformadoras de TRANSNOA SA.
  - En el Anexo III se presenta el mapa geográfico de TRANSNOA SA en el NOA.
  - El Anexo IV se muestran las tablas proporcionadas por TRANSNOA SA de los máximos de Potencia y Energía desde el año 1997.
  - En el Anexo V se presenta la Bibliografía consultadas y las referencias.
-

# Índice de Contenidos

Resumen (Abstract) .....	1
Palabras claves: Campos electromagnéticos, Estaciones Transformadoras eléctricas, Líneas eléctricas de 132 kV, exposición. ....	2
La Tesis está estructurada de la siguiente manera .....	3
Índice de Figuras .....	7
Índice de Tablas .....	8
Índice de Gráficas .....	9
Abreviaturas y Acrónimos utilizados en ésta publicación.....	10
Agradecimientos.....	11
Introducción .....	12
Objetivos Generales.....	13
Metodología .....	13
Capítulo 1 Marco Teórico .....	15
Marco Teórico y Estudios sobre Riesgos para la Salud .....	15
<i>Efectos mediatos e inmediatos:</i> .....	16
Capítulo 2 Legislación.....	21
Marco Normativo y Antecedentes.....	21
Normativas en Argentina sus criterios y aplicación. ....	21
Constitución Nacional Argentina: .....	21
Leyes Ambientales .....	23
LEY Nº 24.065 .....	23
DECRETO Nº 1.398/92 REGLAMENTARIO DE LA LEY Nº 24.065.....	23
LEY Nº 19.552 .....	23
LEY Nº 15.336 .....	24
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable .....	24
RESOLUCIÓN SRNyAH Nº 224/94 .....	24
RESOLUCIÓN SRNyAH Nº 250/94 .....	24
RESOLUCIÓN SRNyAH Nº 544/94 .....	24
RESOLUCIÓN SAyDS Nº 249/02 .....	24
RESOLUCIÓN SAyDS Nº 295/05 .....	24
Ente Nacional Regulador de la Electricidad .....	24
RESOLUCIÓN Nº 46/94 .....	24
RESOLUCIÓN Nº 953/97 .....	25
RESOLUCIÓN Nº 1724/98 .....	25

RESOLUCIÓN N° 1725/98 .....	25
RESOLUCIÓN N° 69/01 .....	25
RESOLUCIÓN N° 555/01 .....	25
Capítulo 3 Metodología, Ecuaciones.....	28
Definición de Campo, Análisis de las Ecuaciones y Metodología de la Medición del CEM.....	28
La medición de los Campos .....	30
Campo magnético de frecuencia Industrial (B) .....	30
Campo eléctrico de frecuencia Industrial (E).....	31
Normas aplicables a la medición:.....	31
Principio de funcionamiento del Instrumento CE .....	32
Principio de funcionamiento del instrumento CM .....	32
Descripción de las Ecuaciones que permiten medir los CEM con el Instrumento.....	33
Análisis de las ecuaciones: .....	33
Procedimiento de la medición del CE y CM.....	34
Campo Eléctrico. ....	34
Campo Magnético.....	35
Procedimiento utilizado para medir en las cercanías de líneas aéreas eléctricas.....	35
Capítulo 4 Hipótesis .....	37
<i>Hipótesis - Investigación Territorial – Recolección de Información.....</i>	37
De las líneas de transmisión: .....	38
Capítulo 5 Las Mediciones.....	43
Las Mediciones y su análisis.....	43
Mediciones en las Líneas de Alta Tensión (LAT). ....	44
Medición del CAMPO ELECTRICO y MAGNETICO .....	44
Medición del CAMPO MAGNETICO.....	46
LAT Independencia- El Bracho .....	50
Campo Eléctrico y Magnético .....	50
Campo Magnético.....	53
Estación Transformadora de Catamarca .....	58
Medición de la LAT Huacra – La Calera .....	61
LAT Salta Sur-Güemes .....	64
MEDICIÓN LAT RIO HONDO-LA BANDA.....	66
Capítulo 6 Comparativas y su Análisis.....	69
Análisis de las corrientes y de los campos magnéticos de líneas de alta tensión y el crecimiento de estaciones transformadoras y Líneas de AT en el NOA.....	69

---

Güemes – Cobos1 .....	76
Güemes – Salta Norte .....	77
Salta Este-Salta Sur .....	77
Libertador-Pichanal .....	78
La Rioja-Recreo 1 y 2 .....	79
Salta Sur-Salta Norte .....	79
Pichanal-Oran .....	80
San Juancito-Minetti .....	80
El Bracho-Río Hondo .....	81
Capitulo 7 Conclusiones .....	90
Conclusiones: .....	90
ANEXO I .....	93
Efecto de la tierra en el CM creado por una línea eléctrica aérea su cálculo y Estudio. ....	93
El cálculo de campos para conductores largos, líneas de transmisión. ....	94
Comentarios: .....	97
La mayoría de las Normas aceptan el Br como valor de campo. ....	98
ANEXO II .....	99
Estaciones Transformadoras y Líneas de Alta Tensión de TRANSNOA SA .....	99
ANEXO III .....	102
Sistema Geográfico de TRANSNOA SA .....	102
ANEXO IV .....	103
ANEXO V .....	111
Bibliografía .....	111

---

# Índice de Figuras

---

Fig. 1 Longitudes de ondas fuente: <a href="http://jdleong.blogcindario.com/2010/01/index.html">http://jdleong.blogcindario.com/2010/01/index.html</a>	15
Fig. 2 Etapas ambientales de un proyecto eléctrico	27
Fig. 3 Etapas de los Programas de Gestión Ambiental (PGA) y la Obra	27
Fig. 4 Conductor circulado por una corriente eléctrica	30
Fig. 5 Principio de funcionamiento del Instrumento de CE	32
Fig. 6 Principio de funcionamiento del instrumento de CM	32
Fig. 7 Instrumento de medición de CE y CM	32
Fig. 8 Instrumento de medición de CE y CM	33
Fig. 9 Esquema Eléctrico equivalente del Instrumento	33
Fig. 10 Calibración del instrumento, Universidad Nacional de La Plata Julio 2009.	34
Fig. 11 mediciones del CE y CM en una LAT, transversal al eje de la línea	35
Fig. 12 LAT en disposición Triangular Provincia de Catamarca	38
Fig. 13 LAT con distribución en bandera dentro de la Provincia de Santiago del Estero.	39
Fig. 14 Línea co-planar Provincia de Salta	39
Fig. 15 Tipos de distribución de conductores Fuente Textos Científicos.	40
Fig. 16 Distribución triangular y co-planar. Fuente Textos Científicos	41
Fig. 17 corte de un conductor de 132 kV	42
Fig. 18 Lugar de la medición GOOGLE EARTH @	45
Fig. 19 Medición del CM LAT Güemes-Cobos 1 UNLP	46
Fig. 20 Vista perimetral de la ET Güemes Fuente UNLP	48
Fig. 21 Medición del CM ET Güemes UNLP 2007	48
Fig. 22 Lugar de la medición	51
Fig. 23 a, b, c y d Mediciones del CE El Bracho-Independencia UNLP IL047/06	52
Fig. 24 a y b Medición del CM El Bracho-Independencia UNLP.	54
Fig. 25 Plano ET Santiago Centro UNT-IATTE	56
Fig. 26 ET Catamarca UNT-IATTE P14/08 ENS 300 Anexo 6	58
Fig. 27 CM ET Catamarca UNT- IATTE	59
Fig. 28 CM ET Catamarca UNT-IATTE	60
Fig. 29 CM ET Catamarca CM UNT-IATTE	60
Fig. 30 CM ET Catamarca II UNT-IATTE	61
Fig. 31 Tipología de la LAT	62
Fig. 32 Vista Superior LAT Salta Sur-Güemes	64
Fig. 33 Cálculo del campo magnético para conductores largos. Líneas de transmisión. Curso UNLP 2009.	94
Fig. 34 Interpretación de las distancias.	95
Fig. 35 Geográfico TRANSNOA SA	102

---

# Índice de Tablas

---

<i>Tabla 1 Efectos de los CEM</i> .....	17
<i>Tabla 2 Efectos de la corriente</i> .....	18
<i>Tabla 3 Valores eficaces admisibles rms</i> .....	18
<i>Tabla 4 Referencias ICNIRP</i> .....	19
<i>Tabla 5 Comparativas de los CEM con otros países</i> .....	19
<i>Tabla 6 Categorización IARC Fuente UNLP</i> .....	20
<i>Tabla 7 Elementos clasificados por la IARC 2001 Fuente UNLP. Los números de la tercera columnas representan Votos de los participantes en el comité.</i> .....	20
<i>Tabla 8 Crecimiento de la Potencia en el NOA 1995-2010Información Dpto. Estadísticas TRANSNOA SA</i> .....	43
<i>Tabla 9 Valores máximos medidos en 2007 y 2008, Informe de la Universidad Nacional de La Plata protocolo P01/10-ENS320-Anexo 18</i> .....	44
<i>Tabla 10 Mediciones Güemes-Cobos Mediciones y referencias Universidad Nacional de La Plata protocolo P01/10-ENS320-Anexo 18</i> .....	45
<i>Tabla 11 Mediciones y referencias Fuente UNP</i> .....	47
<i>Tabla 12 Condiciones de Carga</i> .....	48
<i>Tabla 13 CE Mediciones sobre Ruta Nacional 34 Mediciones y referencias. Fig. 20</i> .....	49
<i>Tabla 14 Mediciones LAT Bracho-Independencia CE</i> .....	52
<i>Tabla 15 LAT Bracho-Independencia CE</i> .....	53
<i>Tabla 16 Puntos de Medición ET Santiago Centro CM</i> .....	56
<i>Tabla 17 Puntos de Medición ET Catamarca CM</i> .....	59
<i>Tabla 18 Puntos de Medición LAT Huacra-La Calera CE</i> .....	62
<i>Tabla 19 Valores Obtenidos ET Huacra- La Calera CM</i> .....	63
<i>Tabla 20 Mediciones LAT Güemes-Salta Sur CE</i> .....	65
<i>Tabla 21 LAT Río Hondo-La Banda CE</i> .....	66
<i>Tabla 22 ET Río Hondo-La Banda CM</i> .....	67
<i>Tabla 23 fuente Estadísticas TRANSNOA SA</i> .....	73
<i>Tabla 24 LAT que se sumaron al Sistema interconectado desde el año 1993 al 2010</i> .....	75
<i>Tabla 25 Valores de corrientes promedios</i> .....	81
<i>Tabla 26 Potencia y Energía y valores de Campo Magnético de LAT's Fuente TRANSNOA SA</i> .....	84
<i>Tabla 27 Energía, Potencia y CE medido en LAT's Fuente TRANSNOA SA</i> .....	87
<i>Tabla 28 ET's TRANSNOA SA fuente Transnoa SA</i> .....	99
<i>Tabla 29 Longitudes de las LAT's Fuente TRANSNOA SA</i> .....	101
<i>Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía Fuente TRANSNOA SA</i> .....	103
<i>Tabla 31 Máximas demanda de Potencia y Energía 1998 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	104
<i>Tabla 32 Máximas demanda de Potencia y Energía 2000 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	104
<i>Tabla 33 Máximas demanda de Potencia y Energía 2001 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	105
<i>Tabla 34 Máximas demanda de Potencia y Energía 2002 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	105
<i>Tabla 35 Máximas demanda de Potencia y Energía 2003 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	106
<i>Tabla 36 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2004 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	106
<i>Tabla 37 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2005 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	107
<i>Tabla 38 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2006 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	107
<i>Tabla 39 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2007 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	108
<i>Tabla 40 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2008 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	108
<i>Tabla 41 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2009 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	109
<i>Tabla 42 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2010 Fuente TRANSNOA SA</i> .....	109
<i>Tabla 43 Datos estadísticas, incompletos por migración del Sistema</i> .....	110

---

# Índice de Gráficas

---

Gráf. 1 Distribución típica del campo eléctrico en una línea de distribución triangular. El eje de las abscisas (CE), debe tomarse en el centro de la gráfica.....	36
Gráf. 2 Crecimiento de la demanda periodo 1997-2010 Fuente TRANSNOA SA.....	44
Gráf. 3 Curva del CE LAT Güemes-Cobos 1 UNLP.....	46
Gráf. 4 Curva de CM LAT Güemes-Cobos Fuente UNLP.....	47
Gráf. 5 Curva de campo Eléctrico ET Güemes UNLP 2007, las distancias se referencian partiendo de un extremo de la Estación Transformadora y caminando el perímetro de la misma.....	49
Gráf. 6 Perfil obtenido del CE El Bracho-Independencia UNLP.....	53
Gráf. 7 Curva del CM El Bracho-Independencia UNLP.....	54
Gráf. 8 CM ET Santiago centro UNT-IATTE Protocolo P14/08 ENS 300 Anexo 5.....	57
Gráf. 9 CM ET Catamarca UNT- IATTE.....	59
Gráf. 10 CM ET Catamarca UNT- IATTE.....	60
Gráf. 11 CM ET Catamarca UNT- IATTE.....	60
Gráf. 12 CM ET Catamarca II UNT-IATTE.....	61
Gráf. 13 CE LAT Huacra-La Calera UNT-IATTE P29/10 ENS 345 Anexo 15.....	63
Gráf. 14 Curva de CM LAT Huacra-La Calera P29/10-ENS 345 Anexo 15.....	64
Gráf. 15 Curva del CE LAT Salta Este-Güemes UNT-IATTE.....	65
Gráf. 16 Curva de CE LAT Río Hondo - La Banda P29/10-ENS345-Anexo 18.....	67
Gráf. 17 Curva de CM LAT Río Hondo - La Banda.....	68
Gráf. 18 valores de CE medidos en las Estaciones Transformadoras del NOA periodo 2004-2010 fuentes UNT-UNLP.....	71
Gráf. 19 Valores de CM en las Estaciones Transformadoras del NOA fuente UNT-UNLP.....	72
Gráf. 20 Crecimiento en km de líneas 2006-2011 fuente Dto. Estadísticas TRANSNOA SA.....	74
Gráf. 21 Crecimiento de las LAT y ET Fuente TRANSNOA SA.....	75
Gráf. 22 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA, el error horizontal no tiene influencia.....	76
Gráf. 23 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	77
Gráf. 24 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	77
Gráf. 25 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	78
Gráf. 26 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	79
Gráf. 27 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	79
Gráf. 28 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	80
Gráf. 29 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	80
Gráf. 30 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	81
Gráf. 31 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA.....	82
Gráf. 32 Crecimiento de Energía en función del Tiempo y Mediciones de CM en el Tiempo de las LAT. Fuente TRANSNOA SA.....	85
Gráf. 33 Crecimiento de Potencia en función del Tiempo y Mediciones de CM en el Tiempo de las LAT's. Fuente TRANSNOA SA.....	86
Gráf. 34 Crecimiento de la Potencia en función del Tiempo, Mediciones de CE en el Tiempo. Fuente TRANSNOA SA 1: 2003, 2: 2004 –8: 2011.....	88
Gráf. 35 Crecimiento de la Energía en función del Tiempo, Mediciones de CE en el Tiempo. Fuente TRANSNOA SA.....	89

---

# Abreviaturas y Acrónimos utilizados en ésta publicación

---

Abreviatura y Acrónimos	Significado
AM	Amplitud Modulada
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
CEM	Campos Electromagnéticos
CEM-FEB	Campos Electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja
CM	Campo Magnético
CE	Campo Eléctrico
CNA	Constitución Nacional Argentina.
ET´s = EETT	Estaciones Transformadoras.
ENRE	Ente Regulador de la Energía Eléctrica.
FM	Frecuencia Modulada.
IARC	Agencia Internacional de Investigación del Cáncer.
IATTE	Instituto de Alta Tensión y Transmisión de Energía.
ICNIRP	Comisión Internacional para la protección frente a la Radiación No Ionizante.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
IRPA	Asociación Internacional de Protección de los efectos de las Radiaciones.
LAT´s	Líneas de Alta Tensión.
LEAT	Líneas de Extra Alta Tensión.
NOA	Noroeste Argentina.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
RMS	Raíz Cuadrática Media.
TI	Transformador de Intensidad.
TRANSNOA SA	Transportista de Energía Eléctrica por Distribución Troncal del Noroeste Argentino Sociedad Anónima.
UNLP	Universidad Nacional de La Plata.
UNT	Universidad Nacional de Tucumán.
UTN	Universidad Tecnológica Nacional.

---

# Agradecimientos

---

*Querría expresar mi agradecimiento a todas las personas que colaboraron para que éste trabajo se haya concluido.*

*A la memoria de mi padre Donald,*

*...por enseñarme a ser una buena persona.*

*A mi madre Gloria,*

*...por mantener viva la llama del estudio.*

*A mis hijos Ezequiel, Sofía y Lucas,*

*...por acompañarme.*

*A Oscar Graieb,*

*...por incentivar me a terminar mi trabajo.*

*A mi tutor Ricardo Díaz,*

*...por su guía y enseñanza.*

*A mis profesores, compañeros de trabajo, amigos, y a todos aquellos que hicieron posible la confección y elaboración de este trabajo.*

***Muchas gracias***

---

# Introducción

---

Los campos electromagnéticos pueden inducir importantes tensiones y corrientes en elementos conductores situados en su proximidad. Estas tensiones y corrientes inducidas pueden ser peligrosas para la integridad de organismos que se pongan en contacto con estos elementos, o perjudicar el buen funcionamiento de otros sistemas. Desde el punto de vista de su interacción con el medio ambiente, los campos electromagnéticos de los equipos y redes de energía que interesan son aquellos situados en la proximidad del suelo, ya que pueden interactuar con cuerpos conductores (incluyendo en éstos a las personas) induciendo corrientes eléctricas en ellos. Numerosas investigaciones sobre el tema han sido enfocadas hacia el cálculo y medida de estos campos, principalmente en torno a las Líneas Eléctricas de Alta Tensión (LAT) y Estaciones Transformadoras (ET).

En los últimos años, se ha hablado mucho acerca de los efectos que los campos electromagnéticos producen en materiales biológicos, en especial sobre el ser humano. La mayoría de objetos y construcciones no presentan más que un débil o ningún efecto pantalla para los campos magnéticos. Como consecuencia, el campo en el interior de viviendas es el resultado de la contribución de las fuentes externas e internas a las mismas. Debido a ello, se ha incrementado el interés por el estudio de los campos inducidos por los líneas de transporte que cruzan áreas residenciales, así como los estudios epidemiológicos que establezcan una conexión entre los campos electromagnéticos y determinadas enfermedades en las personas. Teniendo en cuenta que el campo electromagnético a que se ven sometidas las personas y animales pueden deberse tanto a su proximidad a Líneas Eléctricas como al uso de equipos eléctricos, algunos autores han considerado oportuno caracterizar el campo electromagnético en el interior de residencias.

La investigación de éste trabajo se ha enfocado principalmente hacia el campo magnético producido por Líneas de Alta Tensión y Estaciones Transformadoras de 132 kV. ***Los CEM inducen corrientes en el cuerpo humano, especialmente el campo magnético que penetra en el interior del cuerpo induciendo corrientes que pueden perturbar el funcionamiento del organismo cuando su intensidad supera un valor límite<sup>2</sup>.***

Teniendo en cuenta lo anterior, parece necesario acotar el problema de los campos electromagnéticos desde varias vertientes. Así, es necesario conocer cuáles son los niveles del campo en la proximidad de los equipos y de los sistemas eléctricos, tener el conocimiento de sus niveles a lo largo del tiempo y el tipo de intensidades que pueden llegar a inducir.

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto que tiene por objeto medir, evaluar y analizar el campo electromagnético en líneas y estaciones transformadoras de TRANSNOA<sup>3</sup> SA. A efectos de futuras comparaciones, en este trabajo se determina los

---

<sup>2</sup> OSHAS Occupational Safety & Health Administration. OMS <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/intmedfrequencies/es/>. Res. ENRE 163/2013 Anexo I punto 14. AEA 95402/11.

<sup>3</sup> TRANSNOA SA Transportista de Energía Eléctrica por Distribución Troncal en el Noroeste Argentino Sociedad Anónima de 132 kV hasta 400 kV.

niveles típicos de los campos magnéticos que pueden aparecer en la proximidad de equipos eléctricos y en las cercanías de las viviendas.

Sin embargo, en el mundo y a lo largo de los años todos los organismos científicos han declarado que no existe ningún riesgo para la salud pública, y se ha investigado bastante sobre el tema de los CEM; según la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde el año 1979 se han publicado más de 25.000 artículos relacionados con los campos electromagnéticos, lo cual lo convierte en el agente más estudiado en la historia.

Si analizamos detenidamente la polémica generada socialmente del impacto que generan los CEM de baja frecuencia, es necesario determinar en base a las mediciones realizadas a través de los años el nivel de los campos para evitar que superen los valores admisibles fijados por las normativas. Además su evolución en largos periodos de tiempo permite evaluar si en un futuro mediano se pueden superar los niveles considerados admisibles. TRANSNOA SA realiza este control anualmente. ***De las mediciones efectuadas se puede concluir sobre los niveles medidos asumiendo la responsabilidad ambiental corporativa necesaria para generar el menor impacto posible.***

### Objetivos Generales

Los objetivos de éste trabajo de investigación son:

- a. Determinación de los Campos electromagnéticos (CEM) en las líneas de alta tensión en el NOA.
- b. Determinación histórica de los CEM en las Estaciones Transformadoras en el NOA.
- c. Evolución de los niveles de CEM en el sistema de transmisión del NOA en los últimos 10 años.
- d. Previsión de la evolución de los niveles de CEM en el sistema de transmisión del NOA en la próxima década, en función de las diferentes expectativas de crecimiento de la carga.

### Metodología

La metodología que se utilizó fue la búsqueda, recolección e investigación de datos de mediciones históricas realizadas por la empresa Transnoa SA a través de la Universidad Nacional de La Plata y de la Universidad Nacional de Tucumán.

Para realizar la caracterización del campo electromagnético producido por las Estaciones Transformadoras y Líneas de Alta Tensión (LAT) en nuestro caso de 132 kV, la UNT ha utilizado un medidor de campo electromagnético digital marca EMDEX II<sup>4</sup>. El equipo suministra valores digitales del campo de sus componentes en los tres ejes coordenados y el valor del campo resultante total. El equipo dispone también de una salida para conectar una interface con el objeto de graficar los valores obtenidos.

Para las diferentes estaciones transformadoras se procedió a medir el campo electromagnético en el perímetro de la misma y a un (1) metro de altura con respecto al nivel del suelo.

---

<sup>4</sup> EMDEX II es un instrumento de medición del campo magnético basado en un dispositivo diseñado por el EPRI (Electric Power Research Institute, USA) para la medición y registro de la exposición a campos magnéticos.

Para las mediciones en las LAT se realizaron en el vano medio (no necesariamente éste punto es a la mitad entre dos torres) y en el punto más cercano al suelo y a 1 metro de altura, según lo establecen la Normas ANSI-IEEE STANDARD (Std) 644/1987 y IEC 833/1997.

Las mediciones fueron realizadas en diferentes franjas horarias con objeto de establecer una relación de la magnitud del campo con la demanda de energía eléctrica, cabe aclarar que las normas no establecen que se realicen mediciones en distintos horarios.

# Capítulo 1 Marco Teórico

## Marco Teórico y Estudios sobre Riesgos para la Salud

Los campos electromagnéticos (CEM) se dan en forma natural en nuestro entorno, por ejemplo, el campo eléctrico y magnético estático de la tierra, los rayos X y gamma provenientes del espacio y los rayos infrarrojos y ultravioletas que emite el sol; e incluso la luz visible que nos ilumina es una radiación electromagnética.

Actualmente estamos sometidos a numerosos tipos de CEM artificiales: Energía eléctrica, telefonía móvil, ondas de radio y televisión, detectores de metales, Wi-Fi<sup>5</sup>, radares, mandos a distancia, etc.

Las características físicas y por lo tanto los posibles efectos biológicos dependen de la frecuencia de oscilación, una frecuencia más alta implica una mayor cantidad de energía transmitida. A frecuencias muy altas de energía transmitida se puede llegar a dañar el material genético - el ADN<sup>6</sup> - de las células expuestas, iniciando una alteración genética o determinadas enfermedades como el cáncer, éste es el caso de los Rayos X o de los rayos ultravioletas que son más energéticos.

A frecuencias menores, como por ejemplo la luz visible, se produce una excitación de los electrones en los receptores de nuestros ojos (teoría corpuscular de Isaac Newton) que hace que seamos capaces de ver, pero no pueden generar las enfermedades mencionadas; mientras que en el rango del microonda la radiación produce un calentamiento de los tejidos. Por debajo de estas frecuencias se encuentran las de radio (FM y AM)<sup>7</sup> o la televisión ver Fig. 1 espectro de longitudes de ondas.

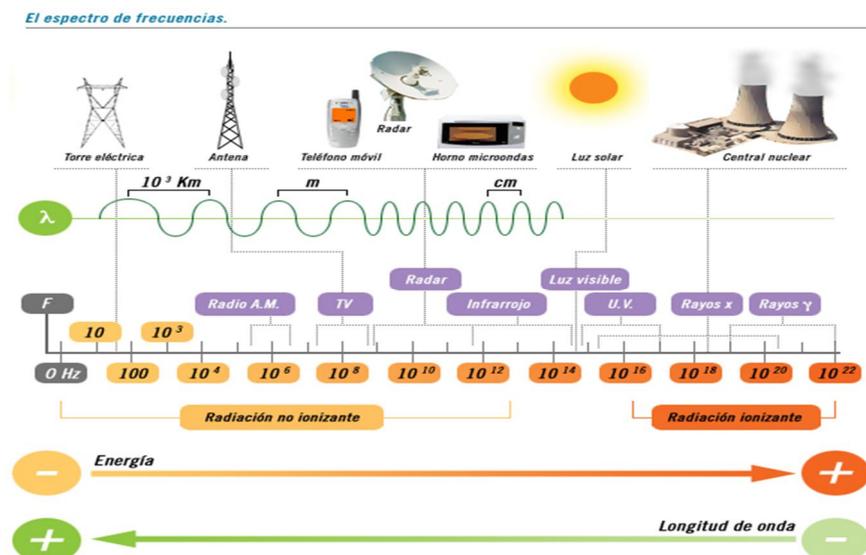


Fig. 1 Longitudes de ondas fuente: <http://jdleong.blogcindario.com/2010/01/index.html>

<sup>5</sup> Wi-Fi mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica.

<sup>6</sup> ADN ácido desoxirribonucleico.

<sup>7</sup> FM frecuencia modulada – AM Amplitud Modulada.

Es muy importante la utilización del lenguaje y la definición de los conceptos de base en la explicación de los fenómenos electromagnéticos<sup>8</sup>, ya que la utilización de un lenguaje inadecuado genera una mala interpretación de lo que se quiere ejemplificar o explicar, para ello unificaremos el vocabulario necesario para entender los conceptos básicos de los CEM.

**Efectos biológicos:** puede ser una influencia benéfica o perjudicial de cualquier parámetro físico, químico o psicológico sobre los seres vivos. La aplicación de la luz, la altura, la temperatura pueden ser beneficiosos para las personas si se las aplica en forma controlada. Los campos electromagnéticos, si generan efectos sobre las personas, pero eso no implica que necesariamente sean perjudiciales; los efectos pueden ser categorizados como directos e indirectos, un ejemplo de directo puede ser la inducción de corrientes en los órganos y fluidos, un efecto indirecto puede ser la falla inducida por ese mismo campo en el marcapasos de un enfermo cardíaco.

**Efectos mediatos e inmediatos:**

- **Efectos inmediatos (corto Plazo):** está bien establecido que los CEM producen unos efectos inmediatos sobre las personas, sobre la base de la inducción de una corriente que circula por el cuerpo humano, estos efectos se manifiestan de diferentes maneras, por ejemplo mediante una estimulación nerviosa y/o muscular, la vibración de los pelos de la piel, etc. estos efectos pueden ser generados tanto por el campo eléctrico como por el campo magnético, cuando los niveles de exposición son elevados y los efectos desaparecen cuando cesa la exposición.
- Corrientes de contacto producidas por:
  - Inducción Electrostática:
    - Contacto con vehículos.
    - Conductores paralelos.
  - Inducción Magnética:
    - Conductores paralelos a las líneas (alambrados, cañerías de riego, cercas)
- **Efectos mediatos (largo Plazo):** los efectos a largo plazo resultan más discutidos. Para el campo eléctrico prácticamente se está de acuerdo que no existen consecuencias con exposiciones de baja intensidad a largo plazo, salvo en algunos casos (poco frecuentes) del efecto indirecto de los iones, creados por la instalaciones de alta tensión que pueden capturar aerosoles contaminantes<sup>9</sup> cuando son producidas por otras actividades industriales. En cambio para el campo magnético existen estudios, que muestran correlación entre distintos tipos de cáncer<sup>10</sup>. Pero dicha correlación no es suficiente para demostrar una relación causa-efecto. Los valores de campos magnéticos involucrados en las instalaciones eléctricas de Alta Tensión son inferiores o iguales a los encontrados en el ámbito domiciliario o industrial.

---

<sup>8</sup>Diaz, R.R., « Los campos electromagnéticos de frecuencia industrial y los riesgos para la salud », CET nr. 29, ISSN 1668-8910, pp.18-25, 2007.

<sup>9</sup>Fews A. et al (1999) "Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols", international Journal of Radiación Biology, Vol. 75, PP. 1523 – 1531.

<sup>10</sup> OMS Organización Mundial de la Salud 2005: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/intmedfrequencies/es/>. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys.; 66:10w106; 1994.

Veamos la siguiente tabla 1 para analizar las diferencias entre los efectos a corto y largo plazo del campo magnético:

	Efectos inmediatos	Efectos Mediatos
Tipo de exposición	Instantánea, con fuerte valores de campo	Acumulada con bajo valores de campo.
Niveles críticos	1000 – 10.000 $\mu\text{T}$	0,2 – 4 $\mu\text{T}$
Manifestación invocada	Percepción dérmica. Estimulación nervioso muscular	Cáncer. Alteración de la función reproductora.
Reconocimiento	Aceptado	controvertido
Estudios realizados y a realizar	Normalización. Trabajos en tensión	Epidemiológicos. Biológicos y análisis de riesgo.
Naturaleza del problema	Técnica	Política, comunicación.
Impacto	Lugares públicos y de trabajo	Lugares públicos, de trabajo y hogar.

Tabla 1 Efectos de los CEM<sup>11</sup>

**Causalidad y casualidades:** El principio de causalidad es la base del conocimiento científico, es por lo que se identifica y explica de cómo una causa produce un efecto (causa-efecto). La demostración científica de una relación de causalidad necesita cumplir con varios requisitos previos<sup>12</sup>.

*De validez interna (propios del estudio)*

- Fuerza de asociación: A mayor intensidad de la relación entre dos variables, mayor es la probabilidad de que exista una relación.
- Secuencia temporal: Aunque en ocasiones es difícil establecerlo, la causa debe preceder al efecto. Es el único criterio considerado por algunos autores como condición sine qua non.
- Efecto dosis-respuesta: Cuanto mayor es el tiempo y/o dosis de exposición al factor causal, mayor es el riesgo de enfermedad.

*De coherencia científica*

- Consistencia: Los resultados de un estudio deben mantenerse constantes y ser reproducibles por cualquier investigador en cualquier lugar.
- Plausibilidad biológica: La relación causal sugerida debe mantener la línea de los principios científicos aceptados en el momento, es decir, creemos más en una relación causal si

<sup>11</sup>Díaz, R.R., « Los campos electromagnéticos de frecuencia industrial y los riesgos para la salud », CET nr. 29, ISSN 1668-8910, pp.18-25, 2007.

<sup>12</sup>Criterios de Bradford Hill “El medio y la enfermedad: ¿asociación o causalidad?” Revista *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 1965.

conocemos su mecanismo patogénico<sup>13</sup>.

- Especificidad de asociación y analogía: Cierta especificidad (una causa conduce a un único efecto) aumenta la verosimilitud de la relación causal. Con analogía, nos referimos a que asociaciones causales similares pueden producir enfermedades similares.
- Evidencia experimental: No siempre es posible realizar el estudio necesario, pero es la prueba más sólida de causalidad. En el caso de que no se pueda acceder a un ensayo clínico, hay quienes lo interpretan este punto en el sentido de que si un factor produce un efecto, éste debería cesar cuando desaparece el factor.

Mediante simulaciones tridimensionales<sup>14</sup> se ha determinado, que un campo magnético ambiental de 1500  $\mu\text{T}$  genera densidades de corriente internas inferiores a 10  $\text{mA}/\text{m}^2$ , mientras que los campos eléctricos ambientales de 10  $\text{kV}/\text{m}$  inducen densidades internas de 1  $\text{mA}/\text{m}^2$ , debido al efecto del blindaje de la piel y músculos, así podemos comparar con las tablas 2 y Tabla 3 el margen de seguridad adoptado.

Densidad de corriente $\text{mA}/\text{m}^2$	Efectos inmediatos
< 1	Ausencia de efectos
1 - 10	Sensaciones menores
<b>10-100</b>	<b>Efectos sobre la visión y el sistema nervioso</b>
100-1000	Contracciones, excitabilidad, estimulación peligrosa.
>1000	Fibrilación ventricular

**Tabla 2 Efectos de la corriente**

**Por éste motivo se acepta que el valor límite no debe superar los 100  $\text{mA}/\text{m}^2$** , y que el valor admisible sobre una persona es 10 veces menor ( $10 \text{ mA}/\text{m}^2$ ) y para el público en general  $2 \text{ mA}/\text{m}^2$  las reglamentaciones se basan en éste concepto.

Características de exposición	Campo eléctrico E $\text{kV}/\text{m}$	Campo Magnético B $\mu\text{T}$
Operario, durante 8 hs por día	10	500
Operarios, durante tiempos inferiores a 2 hs por día	30	5000
Público hasta 24 hs por día	5	100
Público pocas hs por día	10	1000

**Tabla 3 Valores eficaces admisibles rms**

Los campos de frecuencia industrial inducen corrientes en el cuerpo humano, particularmente el campo magnético. El Comité Internacional para la Protección contra la Radiación No ionizante<sup>15</sup> (ICNIRP), publicó una guía para prevenir la exposición y los efectos

<sup>13</sup> Patogénico - patógeno (del griego pthos, enfermedad y gainein, engendrar).

<sup>14</sup> Baraton Ph., Hutzler B (1994) current densities within the body during 50 Hz magnetic field exposure, 94NV00018, DER-EDF.

<sup>15</sup> ICNIRP, International Commission for Non Ionizing Radiation Protection, organismo científico vinculado a la Organización Mundial de la Salud (OMS).

agudos, para campos eléctricos y magnéticos el organismo establece los siguientes valores de referencia Tabla 4:

ICNIRP (1998)	Público (24 hs.)	Trabajadores (8 Hs.)
Campo Eléctrico (50Hz)	5 kV/m	10 kV/m
Campo Magnético (50Hz)	100 $\mu$ T	500 $\mu$ T

Tabla 4 Referencias ICNIRP

Otros organismos, recomiendan valores diferentes a los de la Tabla 4, en Argentina la Secretaría de Energía de la Nación exige un valor a 1 metro de altura con respecto al nivel del suelo de 3 Kv/m y 25  $\mu$ T, ver Tabla 5 comparativa con otros países:

País	Valor límite para público E kV/m	Valor límite para el público B $\mu$ T
Argentina	3	25
Europa	10	640
Alemania	5	100
Suiza	5	100/1
Italia	5	100/10/3

Tabla 5 Comparativas de los CEM con otros países

En el caso particular de Italia se pueden observar tres valores: el primero es el valor límite de exposición basado en el principio de causalidad por los efectos inmediatos, es decir es el valor "precaución", el segundo es el valor objetivo de calidad y el tercero como valores medios diarios.

***Podemos concluir de la Tabla 5, que Argentina es uno de los países con valores límites más bajos para la exposición a los campos eléctricos y magnéticos.***

Los estudios de los campos electromagnéticos se han desarrollado principalmente desde el punto de vista epidemiológico, que busca relacionar estadísticamente si es que existe una asociación entre un agente y una enfermedad. Los primeros estudios epidemiológicos<sup>16</sup> realizados parecían indicar que las personas, que habitaban en las cercanías de líneas eléctricas de alta tensión tenían un mayor riesgo relativo (RR) de contraer cáncer, particularmente leucemia infantil. Pero estudios epidemiológicos más recientes, realizados sobre poblaciones mayores y con mejores métodos de medición concluyen que los campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión no suponen un riesgo cierto para la salud pública, por debajo de los niveles especificados por la normativa.

En cuanto a los aspectos biofísicos, a pesar de los exhaustivos estudios<sup>17</sup> realizados no se ha descubierto un mecanismo de interacción que pudiera explicar cómo unos campos

<sup>16</sup>Wertheimer y Leeper Denver Colorado USA, 1979, Savitz, Denver Colorado USA 1988, London LA USA 1991.

<sup>17</sup> IRPA (International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection e. V.) (1974).

de tan baja frecuencia como los generados por las instalaciones eléctricas podrían producir efectos nocivos a largo plazo (enfermedades) en los seres vivos. Las experiencias IN VIVO exponiendo células y tejidos en cultivo, como sobre animales, han descartado una relación con el proceso cancerígeno, respuesta inmunitaria, fertilidad, reproducción y desarrollo.

Es por lo expuesto que la comunidad internacional ha limitado la exposición a los campos como se ha indicado en la Tabla 3, en el año 1987 IRAM<sup>18</sup> argentina comienza a introducir normativas tales como la Norma IRAM 2371 "Efectos Fisiológicos del paso de la corriente por el cuerpo humano", basada en la Normas IEC<sup>19</sup> 479-1 (1984).

Por ello la sociedad requiere en muchos de los casos que la ciencia demuestre que los campos son carcinogénicos o no. Veamos la categorización de la IARC<sup>20</sup> y su votación:

<i>Categoría IARC</i>	<i>Clasificación IARC</i>	<i>Evidencia Epidemiológica</i>	<i>Evidencia Animal</i>
1	Es carcinogénico	Suficiente	
2A	Probablemente es	Limitada	Suficiente
2B	Posiblemente es	Limitada	Inadecuada
3	No clasifica	Inadecuada	Inadecuada
4	Probablemente no es		

Tabla 6 Categorización IARC Fuente UNLP

*Categoría 2B Posiblemente es carcinogénico.*

<b>Carcinogénico(1)</b>	<b>Tabaco (Fumadores activos y pasivos), Bebidas alcohólicas, Benceno, Gas Radón, Radiación solar, Radiación Gamma - Rayos X, Asbestos, Gas de mostaza</b>	<b>87</b>
<b>Probablemente carcinogénico (2A)</b>	<b>Escape de motores diesel, Creosota, PCB, Lámparas de sol, Mate caliente, Radiación UV, Formaldehído</b>	<b>63</b>
<b>Posiblemente carcinogénico (2B)</b>	<b>Café, Estireno, Escape de motores nafteros, campos magnéticos ELF, Humos de soldadura, Cloroformo, Lana de vidrio</b>	<b>232</b>
<b>No clasificable (3)</b>	<b>Combustible de aviones, Campos eléctricos ELF, Campos eléctricos y magnéticos estáticos, Polvo de carbón, Mercurio, Té, Mate, Implantes quirúrgicos (siliconas)</b>	<b>496</b>
<b>Probablemente no cancerígeno (4)</b>	<b>Caprolactan</b>	<b>1</b>

Tabla 7 Elementos clasificados por la IARC 2001 Fuente UNLP. Los números de la tercera columnas representan Votos de los participantes en el comité.

<sup>18</sup>IRAM Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

<sup>19</sup>IEC International Electrotechnical Commission.

<sup>20</sup> IARC Agencia Internacional sobre investigación del cancer clasificación año 2001.

# Capítulo 2 Legislación

---

## Marco Normativo y Antecedentes

La Evaluación del Impacto Ambiental y Social (EIA's) busca una cuantificación sistemática de los efectos que tienen las actividades humanas sobre la calidad del medio ambiente. Es por ello que es primordial proteger el medio ambiente y promover el crecimiento económico sin que esto implique dañar el entorno del hábitat.

Una norma, que posee criterios sanitarios requiere, que el peligro (en nuestro caso el campo electromagnético) para la salud esté confirmado. Esto no ocurre con los campos eléctricos y magnéticos de las líneas de 132 kV, ya que no se ha confirmado un efecto adverso sobre la salud.

Es por ello que las Normativas vigentes en Argentina mantienen valores límites de exposición a los campos electromagnéticos, basándose principalmente en los efectos a corto plazo (efectos demostrados) y de normas Sanitaristas.

## *Normativas en Argentina sus criterios y aplicación.*

La legislación en Argentina es amplia para los sistemas de Generación, transmisión y distribución en lo referente a los aspectos eléctricos – ambientales y laborales. Analicemos dichas Normativas:

### **Constitución Nacional Argentina<sup>21</sup>:**

En el **art. 41.-** Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.

**Art. 43.-** Toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley. En el caso, el juez podrá declarar la inconstitucionalidad de la norma en que se funde el acto u omisión lesiva.

Podrán interponer esta acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente, a la competencia, al usuario y al consumidor, así como a los derechos de incidencia colectiva en general, el afectado, el

---

<sup>21</sup>Constitución Nacional Argentina.

defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines, registradas conforme a la ley, la que determinará los requisitos y formas de su organización.

Toda persona podrá interponer esta acción para tomar conocimiento de los datos a ella referidos y de su finalidad, que consten en registros o bancos de datos públicos, o los privados destinados a proveer informes, y en caso de falsedad o discriminación, para exigir la supresión, rectificación, confidencialidad o actualización de aquéllos. No podrá afectarse el secreto de las fuentes de información periodística.

Cuando el derecho lesionado, restringido, alterado o amenazado fuera la libertad física, o en caso de agravamiento ilegítimo en la forma o condiciones de detención, o en el de desaparición forzada de personas, la acción de hábeas corpus podrá ser interpuesta por el afectado o por cualquiera en su favor y el juez resolverá de inmediato, aun durante la vigencia del estado de sitio.

- Pacto Federal Ambiental
  - Leyes 15.336 y 24.065 Régimen de Energía Eléctrica: Generación, Transformación y Transmisión, o Distribución de Electricidad, cuando correspondan a la jurisdicción nacional y su decreto reglamentario, Decreto PEN N° 1398/92
  - Ley N° 19.552 Régimen de Servidumbre Administrativa de Electroducto.
  - Ley N° 19.587 Seguridad, Higiene y Medicina del Trabajo y sus decretos reglamentarios, Decretos PEN N° 351/79 y N° 911/96, Res. SRT N°295/03.
  - Ley N° 19.943 Convención para prohibir e impedir la importación, exportación y transferencia de bienes culturales.
  - Ley N° 19.995 Riqueza Forestal
  - Ley N° 20.284 Preservación de los Recursos del Aire.
  - Ley N° 21.172 Floración de las aguas de consumo en todo el país.
  - Ley N° 21.499 Régimen de Expropiaciones.
  - Ley N° 21.990 Bosques.
  - Ley N° 22.428 Conservación de Suelos y su decreto reglamentario, Decreto PEN N° 681/81
  - Ley N° 24.028 Accidentes de Trabajo
  - Ley N° 24.040 Compuestos Químicos.
  - Ley N° 24.051 Residuos Peligrosos y su decretos reglamentarios, Decretos PEN N° 181/92 y N° 831/93.
  - Ley N° 24.449 Tránsito y Seguridad Vial, Transporte de Mercaderías Peligrosas por Carretera y su decreto reglamentario, Decretos PEN N° 779/95 y 714/96.
  - Ley N° 24.557 Riesgos de Trabajo y sus decretos reglamentarios, Decretos PEN N° 334/96 y 911/96 y la Resolución N° 51/97 de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo.
  - Ley N° 24.585 Código de Minería – De la protección ambiental para la actividad minera.
-

- Ley N° 25.612 – Residuos Industriales y Actividades de Servicios (nueva ley de residuos) – Decreto PEN N° 1343/02 – promulgación parcial.
- Ley N° 25.670. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los PCB's en el territorio nacional.
- Ley N° 25.675 Política Ambiental Nacional – Decreto N° 2413/02 – promulgación parcial
- Ley N° 25.688 Régimen de Gestión Ambiental de Aguas.
- Ley N° 25.743 Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico
- Ley N° 25.750 Preservación de Bienes y Patrimonios Culturales
- Ley N° 25.831 Acceso a la Información Pública Ambiental.
- Resolución N°15/92 Secretaría de Energía, aparecen las guías de los parámetros ambientales orientativos y su alcance son las líneas de Alta Tensión.
- Resolución N°32/94 (ENRE) Contenidos mínimos del Plan de Gestión Ambiental-PGA, presentación Bianual, informes trimestrales.
- Resolución N°52/95 (ENRE) Plan de Gestión Ambiental de los agentes para ser aprobado por el ENRE, indica plazos para la presentación de documentación.

### **Leyes Ambientales**

#### LEY N° 24.065

El artículo 11 establece la obligatoriedad de obtener un Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública para la construcción y/o operación de instalaciones de la magnitud que precise la calificación del Ente Nacional Regulador de la Electricidad, así como la extensión y ampliación de las existentes. Conforme a la calificación asignada, en los casos que corresponda, se deberá dar a publicidad este tipo de solicitudes y realizar una Audiencia Pública.

Establece en su artículo 17 que la infraestructura física, las instalaciones y la operación de los equipos asociados con la generación, transporte y distribución de energía eléctrica deben adecuarse a las medidas destinadas a la protección de las cuencas hídricas y de los ecosistemas involucrados. Asimismo, deben responder a los estándares de emisión de contaminantes vigentes y a los que se establezcan en el futuro, en el orden nacional por la Secretaría de Energía.

El artículo 56 fija que es obligación y función del Ente Nacional Regulador de la Electricidad el velar por la protección de la propiedad, el medio ambiente y la seguridad pública en la construcción y operación de los sistemas de transporte y distribución de electricidad.

#### DECRETO N° 1.398/92 REGLAMENTARIO DE LA LEY N° 24.065

Establece en su artículo 17 que la Secretaría de Energía deberá determinar las normas de protección de cuencas hídricas y ecosistemas asociados, a los cuales deben sujetarse los generadores, transportistas y distribuidores de energía eléctrica, en lo referente a la infraestructura física, las instalaciones y la operación de sus equipos.

#### LEY N° 19.552

Corresponde al régimen de servidumbre administrativa de electroducto.

---

En su artículo 1 establece que toda heredad está sujeta a la servidumbre administrativa de electroducto.

El artículo 3 establece que la servidumbre del electroducto afecta el terreno y comprende las restricciones y limitaciones al dominio que sean necesarias para construir y operar un sistema de transmisión de energía.

LEY N° 15.336

Corresponde al régimen de energía eléctrica.

El artículo 1 establece que quedan sujetas a esta ley las actividades de la industria eléctrica destinadas a la generación, transformación y transmisión, o a la distribución de la electricidad cuando las mismas correspondan a la jurisdicción nacional.

El artículo 5 declara de jurisdicción nacional la generación de energía eléctrica, cualquiera sea su fuente, su transformación y distribución cuando entre otras cosas se vinculen con el comercio de energía eléctrica con una nación extranjera.

### **Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable**

RESOLUCIÓN SRNyAH N° 224/94

Residuos Peligrosos de Alta y Baja Peligrosidad. Establece las características para determinar el grado de peligrosidad de un residuo.

RESOLUCIÓN SRNyAH N° 250/94

Establece la clasificación de las categorías cuánticas de los generadores de los Residuos Peligrosos Líquidos, Gaseosos y Mixtos.

RESOLUCIÓN SRNyAH N° 544/94

Establece las obligaciones que deberán cumplimentar los vendedores de acumuladores eléctricos en la operación de venta.

RESOLUCIÓN SAyDS N° 249/02

Regula el ingreso y el uso en el territorio nacional de PCB's y materiales que contengan estas sustancias o estén contaminados con ellas y establece la realización del plan nacional de inventario de PCB.

RESOLUCIÓN SAyDS N° 295/05

Residuos Peligrosos. Obtención de manifiestos para el transporte a provincia de Buenos Aires.

### **Ente Nacional Regulador de la Electricidad<sup>22</sup>**

RESOLUCIÓN N° 46/94

Establece la magnitud de las instalaciones cuya operación y/o construcción requiere de un Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública emitido por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad.

---

<sup>22</sup> Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE)

#### RESOLUCIÓN N° 953/97

Establece que los peticionantes del Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública deben presentar un Estudio de Impacto Ambiental y un Plan de Gestión realizado de conformidad con los lineamientos establecidos en la Resolución N° 15 de la ex-Secretaría de Energía y cumplimentando los requisitos estipulados en esta Resolución.

#### RESOLUCIÓN N° 1724/98

Imparte las "*instrucciones para la medición de campos eléctrico y magnético en sistemas de transporte y distribución de energía eléctrica*", estipulando la obligatoriedad de las mediciones de radio-interferencia y ruido audible por efecto corona y ruido (nivel sonoro) (arts. 2 y 3).

#### RESOLUCIÓN N° 1725/98

Establece que los peticionantes del Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública previsto en el Art. 11 de la ley N° 24.065, deben presentar un Estudio de Impacto Ambiental y un Plan de Gestión realizado de conformidad con los criterios y directrices de procedimientos establecidos en el Anexo de dicha Resolución. La documentación a ser elaborada y presentada deberá responder a lo indicado en el Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico aprobado en la Resolución SE N° 15/92, modificada por la Resolución SE N° 77/98.

#### RESOLUCIÓN N° 69/01

Aprueba el Reglamento para el otorgamiento del Certificado de Conveniencia y Necesidad Pública para la construcción y/u operación y ampliación de las instalaciones de distribución o transporte de energía eléctrica.

#### RESOLUCIÓN N° 555/01

Sistema de Gestión Ambiental y Plan de Gestión Ambiental. Establece la obligatoriedad de implantar Sistemas de Gestión Ambiental en cada uno de los agentes del MEM de jurisdicción ambiental del ENRE – Deroga la Resolución ENRE 32/94.

En lo referente a los campos electromagnéticos en el año 1996 fue un año problemático, la opinión pública presionaba por los efectos de los campos eléctricos y magnéticos y por sus supuestos efectos a largo plazo, surgen conflictos entre empresas y la población originando la suspensión de obras eléctricas, aparecen consecuencias no previstas tanto para las empresas como para los usuarios; es por ello se requirió analizar el tema a nivel internacional y se consideran diversos aspectos:

- Científicos.
- Normativos.
- Regulatorios.

Para ello se realizó una amplia participación entre los organismos y las instituciones, al finalizar el año se presentaron informes con recomendaciones. Para ello se tomó como base la experiencia de reglamentación a nivel mundial, se desarrolla una Resolución que abarca los aspectos "ambientales" de los electroductos en su conjunto y no una norma "sanitaria".

---

En 1998 con la Resolución N°77/98 se amplía que en el Manual de Gestión Ambiental, para líneas de 132 kV, y en MGA debe aparecer:

- Aspectos ambientales de los electroductos y Estaciones Transformadoras.
- Impacto visual.
- Valores de Radio Interferencia (RI), Ruido Audible (RA), Campo Eléctrico (CE) y Campo Magnético (CM).

Ésta Resolución habla del campo eléctrico no perturbado, para líneas con Tensión Nominal ( $U_N$ ) y Temperatura máxima. Valor de  $E = 3 \text{ kV/m}$ .

Densidad de flujo magnético, para líneas en condiciones del límite térmico de los conductores:  $B = 25 \text{ } \mu\text{T}$ .

- Al borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y borde perimetral de la Estación Transformadora, a un metro de altura del suelo.
- Si no estuviera definida la franja de servidumbre, en los puntos resultantes de las distancias mínimas de seguridad.
- No deberán superar los límites de salvaguarda  $I_N < 5 \text{ mA}$

Las consideraciones realizadas para el campo eléctrico y magnético, promovieron una normativa que evita el aumento de los niveles existentes de exposición a los campos magnéticos.

La Resolución N°77/98 se aplica a todas las nuevas instalaciones de transmisión eléctrica, y no pretende indicar niveles de exposición seguros, ni inseguros.

En el año 1998 también aparece la Resolución N°1724/98 en donde se dan las instrucciones para la medición de los campos Eléctricos y los campos Magnéticos, y están basados en las Normativas de la ANSI-IEEE STANDAD (Std)<sup>23</sup> 644/1987, en la Normativa IEC 833/1997 (Measurement of Power Frequency Electric Fields) y en la International Labour Office " Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields", 1984.

Estos criterios son lo que hemos utilizado para medir los parámetros ambientales en seis (6) provincias del Noroeste Argentino (NOA).

Con la Resolución 1725/98 ENRE aparecen las pautas para realizar los informes de Evaluación de Impacto Ambiental y Social (EIAs), ya que con él se logra obtener el "certificado de conveniencia y necesidad Pública".

Es decir que previo a la Audiencia Pública el EIAs debe estar aprobado.

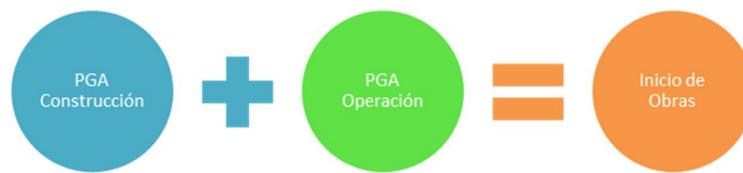
---

<sup>23</sup>IEEE Standard Procedure for Measurements of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines.



**Fig. 2 Etapas ambientales de un proyecto eléctrico**

Previo al inicio de la Obra, Plan de Gestión Ambiental (PGA) de la construcción y operación deben ser aprobados.



**Fig. 3 Etapas de los Programas de Gestión Ambiental (PGA) y la Obra**

En la audiencia pública participan todos los sectores que tienen algún interés en el nuevo desarrollo (generadores, transportistas, distribuidores, y otros agentes y consumidores).

# Capítulo 3 Metodología, Ecuaciones

---

## Definición de Campo, Análisis de las Ecuaciones y Metodología de la Medición del CEM

En física se denomina “campo” a la zona del espacio donde se manifiestan fuerzas; por ejemplo, el campo gravitatorio sería la zona donde hay una fuerza gravitatoria responsable de que los cuerpos tengan un determinado peso. Asimismo, un campo electromagnético es una zona donde existen campos eléctricos y magnéticos, creados por las cargas eléctricas y su movimiento, respectivamente.

Actualmente estamos sometidos a numerosos tipos de campos electromagnéticos de origen artificial: radiofrecuencias utilizadas en la telefonía móvil, ondas de radio y televisión, sistemas antirrobo, detectores de metales, radares, mandos a distancia, comunicación inalámbrica, etc.

Todos ellos forman parte del “espectro electromagnético” y se diferencian en su frecuencia, que determina sus características físicas y por lo tanto, los efectos biológicos que pueden producir en los organismos expuestos a ellos.

Sin embargo, el sistema eléctrico funciona a una frecuencia extremadamente baja (50 Hz, ó 60 Hz en países como Estados Unidos, lo que se denomina “frecuencia industrial”), dentro de la región de las radiaciones no ionizantes del espectro, por lo que transmiten muy poca energía. Además, a frecuencias tan bajas el campo electromagnético no puede desplazarse (como lo hacen, por ejemplo, las ondas de radio), lo que implica que desaparece a corta distancia de la fuente que lo genera.

Al igual que cualquier otro equipo o aparato que funcione con energía eléctrica, las líneas eléctricas de alta tensión generan un campo eléctrico y magnético de frecuencia industrial. Su intensidad dependerá de diversos factores, como el voltaje, la potencia eléctrica que transporta, geometría del apoyo, número de conductores, distancia de los cables al suelo, etc.

Las mediciones realizadas en líneas de TRANSNOA SA de 132 kV proporcionan valores máximos en el punto más cercano a los conductores que oscilan entre 1-3 kV/m para el campo eléctrico y 1-20  $\mu\text{T}$  para el campo magnético. Además, la intensidad de campo disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la distancia a los conductores: a 12 metros de distancia el nivel de campo eléctrico y magnético oscila entre 0,2-2,0 kV/m y 0,1-3,0  $\mu\text{T}$ .

Como se dijo anteriormente en nuestro planeta tierra tenemos un campo magnético estático ( $\bar{B}$ ), que varía entre 25 a 65  $\mu\text{T}$  desde el Ecuador hacia los polos, en el caso del campo eléctrico ( $\bar{E}$ ), cuando se forman nubes de tormenta el campo sobre la superficie terrestre puede aumentar entre 2 y 20 kV/m.

A estos valores lo podemos asociar y comparar con valores artificiales típicos de exposición en la atmósfera, que adquieren intensidades entre 0,005 – 0,05 kV/m y 0,01 – 0,3  $\mu\text{T}$ , con frecuencias del rango entre 3 a 3000 Hz.

Por lo general los campos electromagnéticos pueden ser calculados a través de las Ecuaciones de Maxwell<sup>24</sup>, que a frecuencias industriales (50 Hz), pueden ser simplificadas para campos desacoplados, es por eso, que a frecuencias de 50-60 Hz se utiliza el término de campos eléctricos y campos magnéticos en lugar de campos electromagnéticos.

---

<sup>24</sup>James Clerk Maxwell publicó en 1865, “A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field”.

En general las ecuaciones de intensidad de campos eléctricos  $\underline{E}$  y magnéticos  $\underline{H}$  con tensiones y corrientes alternas de pulsación son las siguientes:

- Ec. 1:  $\text{rot } \underline{E} = -j\omega\mu\underline{H}$
- Ec. 2:  $\text{div } \underline{D} = \rho$
- Ec. 3:  $\text{rot } \underline{H} = (\kappa + j\omega\varepsilon)\underline{E}$
- Ec. 4:  $\text{div } \underline{H} = 0$

Para materiales isótropos la inducción magnética y eléctrica resulta respectivamente:

- Ec. 5:  $B = \mu H \quad \text{Vseg/m}^2 = (\text{T}) \text{ Tesla}$
- Ec. 6:  $D = \varepsilon E \quad \text{Cb/m}^2$

$\rho$  = densidad de carga.

$\kappa$  = densidad de corriente eléctrica.

Para el aire es:

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

1 Gauss =  $10^{-4}$  Tesla.

Estas ecuaciones se deben resolver con sus correspondientes condiciones de frontera, por lo general deberemos recurrir a algún método numérico diferencial o integral.

Aplicando las ecuaciones de Maxwell se puede comprobar, que los campos de frecuencia industrial provocan inducción de corrientes eléctricas en el interior del cuerpo humano, en el caso del campo eléctrico son consecuencia del término imaginario de la Ec. 3, mientras que el campo magnético son la consecuencia de la fuerza electromotriz (fem) inducida por la variación temporal del campo magnético Ec. 1, en presencia de la conductividad  $\kappa$  de los tejidos.

---

## La medición de los Campos

### Campo magnético de frecuencia Industrial (**B**)

Características:

$$\text{Ec. 7:} \quad H(t) = \frac{I(t)}{2\pi \cdot r} \text{ A/m} \quad \text{intensidad de campo magnético}$$

$$\text{Ec. 8:} \quad B(t) = \mu_0 \cdot H(t) = \frac{\mu_0 \cdot I(t)}{2\pi \cdot r} = K \cdot \frac{I(t)}{r} \text{ Tesla}$$

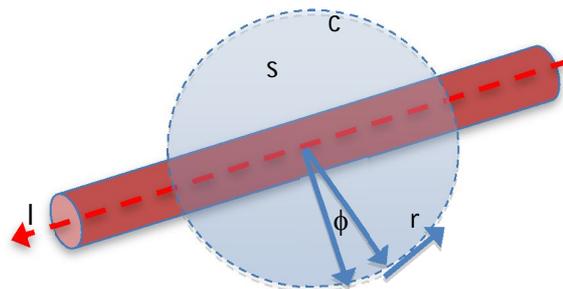


Fig. 4 Conductor circulado por una corriente eléctrica

Conductor circulado por una corriente eléctrica ( $I$ ) que genera una intensidad campo magnético ( $\vec{B}$ ).

Ahora analizaremos el error que se comete al utilizar la ecuación (3) siguiendo a Olsen y Wong.

Supongamos una corriente  $i(t)$  que circula por un hilo rectilíneo de longitud infinita en el vacío (fig. 4). Supóngase además que el hilo está fijo en el espacio, pero la corriente varía sinusoidalmente con pulsación de  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ , siendo  $f$  la frecuencia en Hz. La tercera ecuación de Maxwell en forma integral y fasorial viene dada por:

$$\text{Ec. 9:} \quad \int_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S (\vec{J} + j\omega\epsilon_0\vec{E}) \cdot d\vec{s}$$

Siendo:

S: Superficie de control

C: contorno de la superficie de control.

Teniendo en cuenta la simetría axial y radial el primer miembro de la ecuación puede escribirse como:

$$\text{Ec. 10:} \quad \int_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot B_\phi$$

Ec. 11:  $B_{\phi} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot \cos(\omega t)}{2 \cdot \pi \cdot r}$  Ley de Biot – Savart que nos permite calcular el CM.

- Podemos afirmar que el campo magnético producido por un filamento de corriente responde a la Ley de Biot y Savart<sup>25</sup>.
- Por integración se puede calcular el valor de H o B en un punto del espacio.
- H y B son vectores proporcionales a la corriente en el aire.

### **Campo eléctrico de frecuencia Industrial (E)**

Características:

Ec. 12:  $U_{ab} = \int_a^b E(x) dx$

Para una determinada distancia la magnitud del campo eléctrico resulta proporcional al potencial.

La distribución se altera fácilmente con la presencia de cualquier objeto conductor o dieléctrico ( $\epsilon > \epsilon_0$ ).

### **Normas aplicables a la medición:**

Las mediciones del campo eléctrico (E) de frecuencia industrial 50 Hz, se realizó siguiendo las Normas:

- ANSI/IEEE Std 644 de 1994 "Procedures for measurements of power frequency Electric and Magnetic Field from AC Power Lines"
- IEC 61833 de 1987 "Measurements of Power-Frequency Electric Fields".
- International Labour Office, "Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields: A Practical Guide", 1984.

Estos documentos describen la problemática de la medición de los campos electromagnéticos, la clasificación y los principios de funcionamiento de los principales tipos de instrumentos para realizar la medición.

La Norma IEC 61833 describe los tipos de instrumentos y su forma de calibración, para mediciones de campos eléctricos a frecuencia industrial.

---

<sup>25</sup> Ley de Biot y Savart: La ley de **Biot-Savart** indica el campo magnético creado por corrientes eléctricas estacionarias.

---

### Principio de funcionamiento del Instrumento CE

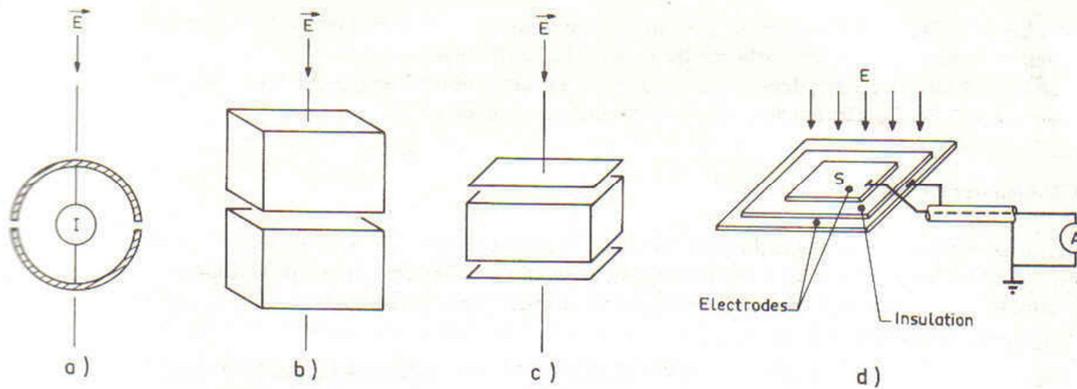


Fig. 5 Principio de funcionamiento del Instrumento de CE

### Principio de funcionamiento del instrumento CM

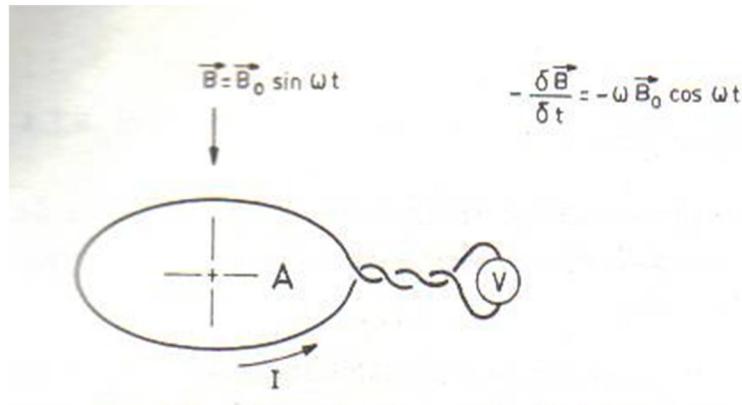


Fig. 6 Principio de funcionamiento del instrumento de CM

Foto del Instrumento medidor<sup>26</sup>



Fig. 7 Instrumento de medición de CE y CM

<sup>26</sup>Universidad Nacional de Tucumán Laboratorio de Alta Tensión.



Fig. 8 Instrumento de medición de CE y CM

### Descripción de las Ecuaciones que permiten medir los CEM con el Instrumento.

Básicamente el instrumento de medición tiene el principio de funcionamiento de la Fig. 9:

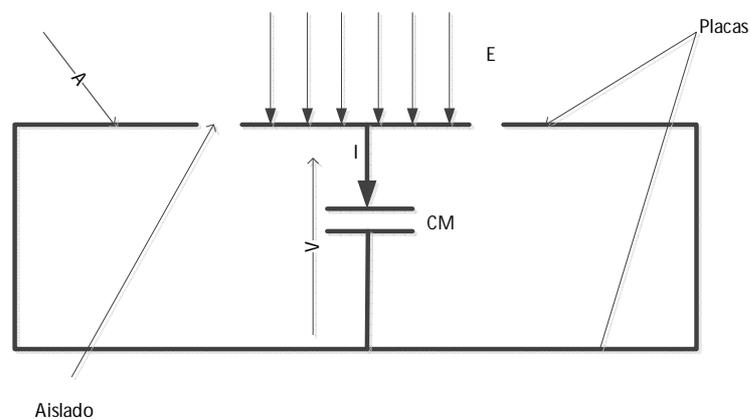


Fig. 9 Esquema Eléctrico equivalente del Instrumento

La carga generada sobre dos superficies conductoras inmersas en un CE ( $E$ ) a medir, capacitor esférico o de placas paralelas, en nuestro caso es el de placas paralelas.

#### Análisis de las ecuaciones:

$q(t) = K\varepsilon E(t)$   $K$  depende de la geometría de la placa.

$$\text{Ec. 13: } I(t) = \frac{dq(t)}{dt} = K\omega\varepsilon_0 E(t)$$

Donde  $E(t) = E_0 \cos \omega t$

Sobre la capacidad  $C_M$  se desarrolla una diferencia de potencial  $U(t)$  cuyo módulo es independiente de la frecuencia. Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Ec. 14: } U(t) = \frac{K\varepsilon_0 E(t)}{C_M}$$

La calibración del instrumento fig. 10, se realiza generando un campo eléctrico de distribución y magnitud controlada mediante placas paralelas, para un potencial  $U$  aplicado a las placas separadas una distancia  $d$ , si la distribución del campo es uniforme ( $l \gg d$ ) resulta que:

Ec. 15:  $E = \frac{U}{d}$  V/m la exactitud es del < 5%



Fig. 10 Calibración del instrumento, Universidad Nacional de La Plata Julio 2009.

### Procedimiento de la medición del CE y CM.

La Resolución 1724/98 del ENRE, Anexo "Instrucciones para la medición de campos eléctricos y magnéticos en sistemas de transporte y distribución de energía eléctrica".

#### *Campo Eléctrico.*

- Perfiles transversales e instalaciones aéreas.
  - Perímetro de instalaciones eléctricas/subestaciones.
  - Valor máximo, independiente de la dirección a 1 metro de altura sobre el suelo.
  - Lugar Plano libre de objetos que puedan producir interferencias.
  - Distancia entre los objetos y la sonda no debe ser menor que 2 veces la dimensión máxima de la sonda.
  - Distancia entre el medidor y el operador debe ser como mínimo 2,5 metros
  - Línea entre el observador y el aparato de medición debe ser paralela a los conductores
  - Humedad mayor del 80 % debe considerarse corriente de fuga.
  - Temperatura a la que se efectúan las mediciones no puede ser muy diferente a la de calibración
-

- Imprecisión total debe ser menor al 10 %.

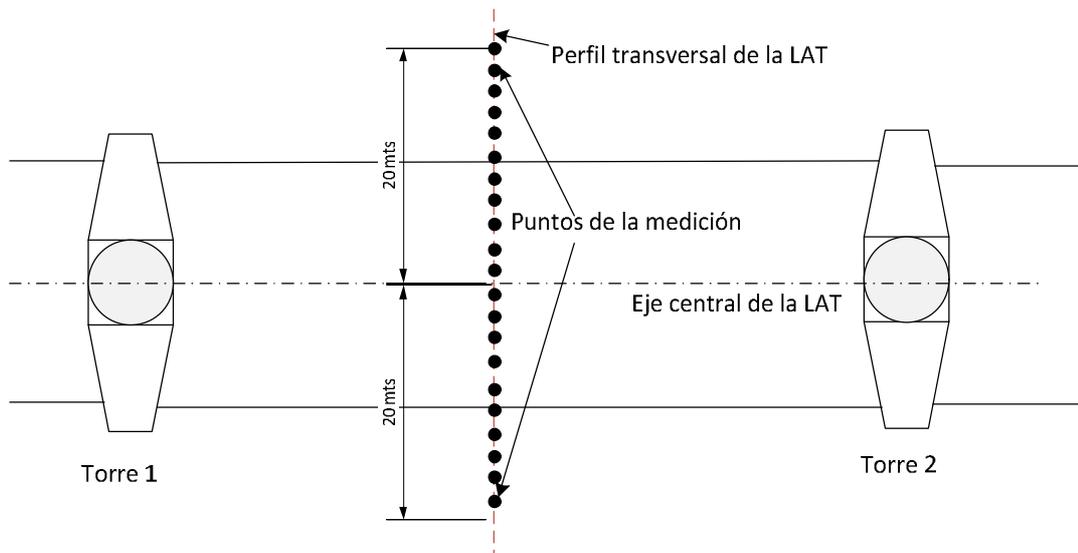


Fig. 11 mediciones del CE y CM en una LAT, transversal al eje de la línea

### *Campo Magnético*

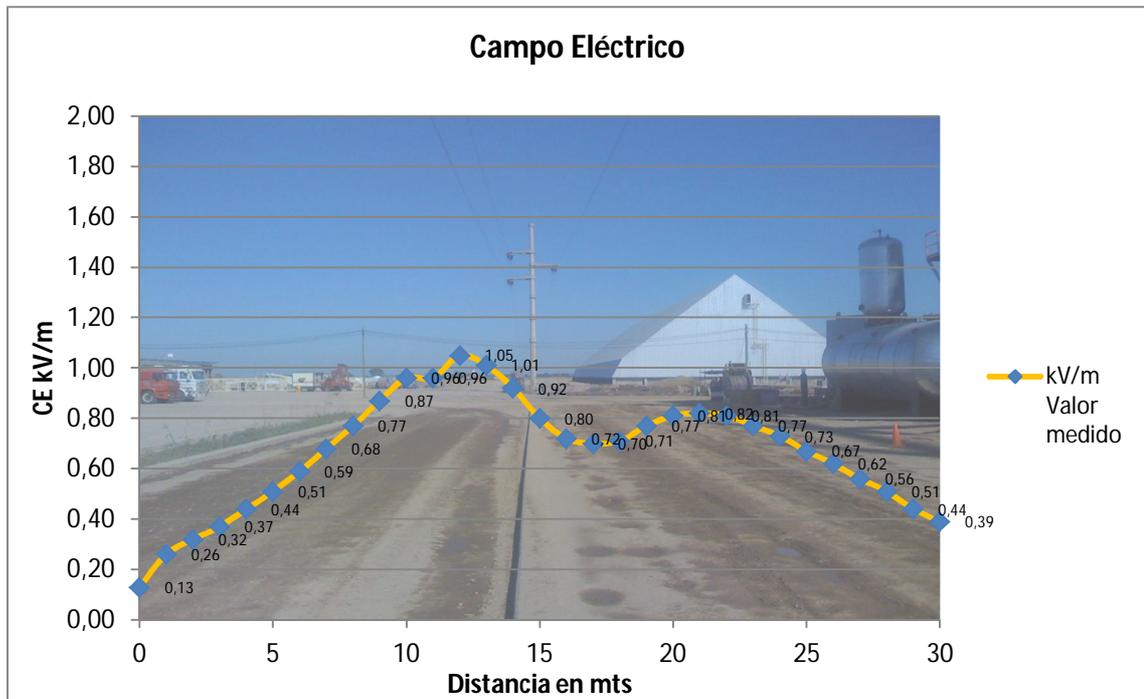
- Los efectos de proximidad de dieléctricos y conductores malos, no magnéticos, son en general despreciables.
- Los objetos no permanentes que contienen materiales magnéticos o conductores no magnéticos deberían estar alejados del punto de medición por lo menos tres veces la dimensión más grande del objeto.
- La distancia entre la sonda y objetos magnéticos permanentes no debe ser menos que 1 metro.
- La respuesta de ciertos medidores de campo magnético está influenciada por altos niveles de contenido armónico.
- La incertidumbre global del dispositivo de medición debe ser menor que el 10%.

### *Procedimiento utilizado para medir en las cercanías de líneas aéreas eléctricas.*

- Debe medirse a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo.
- Los medidores de sondas de ejes simples se deben orientar para medir el valor máximo.
- Los medidores de campo con sondas de tres ejes pueden ser usados para medir el campo magnético resultante y las componentes horizontales y verticales del campo.
- Perfil Lateral y Perfil longitudinal.
- El procedimiento es análogo al caso del campo eléctrico.

Para caracterizar las condiciones de exposición se deberá utilizar el valor de campo no perturbado, es decir, el campo se debe medir en ausencia de perturbación, personas, animales, objetos conductores, etc. La medición se debe realizar en el punto medio de la LAT o en el punto más bajo de la línea de alta tensión con respecto al suelo (tierra), no necesariamente éste punto de medición transversal debe estar en el medio del vano, dependiendo de la ubicación de las torres con respecto al terreno. La cantidad de mediciones deben ser como mínimo cinco (5) e igualmente espaciadas hacia ambos lados de la línea.

En la Graf. 1 podemos observar la medición realizada del campo eléctrico en la Línea de Alta Tensión ubicada entre las ET Frías y ET Huacra Provincia de Santiago del Estero, se puede observar la distribución típica del Campo eléctrico, siendo mayor en donde se encuentran las dos fases a la izquierda del gráfico. Además el valor máximo obtenido fue de 1,05 kV/m.



Gráf. 1 Distribución típica del campo eléctrico en una línea de distribución triangular. El eje de las absisas (CE), debe tomarse en el centro de la gráfica.

# Capítulo 4 Hipótesis

---

*Hipótesis - Investigación Territorial – Recolección de Información.*

*Hipótesis*

***“Los Campos Electromagnéticos de Baja Frecuencia del Sistema de Transmisión en Alta Tensión (NOA) son Compatibles con el Ambiente, incluso con el crecimiento del Sistema Eléctrico”.***

*Esta hipótesis será analizada experimentalmente, para verificar si el crecimiento de la energía transportada en el NOA produce o no un incremento de los niveles de campo magnético en el medio ambiente.*

Con la Resolución N°555/01 se aborda la elaboración e implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), que debe tener base documental estructurada y organizativa, las actividades de planificación, las responsabilidades, los procedimientos, los procesos y recursos para desarrollar, implementar, revisar y mantener la política ambiental de la Empresa, ésta Resolución apunta de manera indirecta a tener que certificar las Normas ISO 14000:2004; si bien las normas ISO no son obligatorias, la mayoría de las empresas eléctricas optó por certificarlas y cumplir así con la Resolución ENRE N°555/01.

Analizados los valores de CEM permitidos en diferentes países y comparados con los exigidos en Argentina, y de haber explorado las normativas que nos rigen, la manera de medir los CEM, el instrumental a utilizar, y el de tener un lenguaje común de entendimiento con respecto a la forma en que nos afecta, nos enfocaremos en las líneas eléctricas de alta tensión y las estaciones transformadoras que posee TRANSNOA SA.

Se recopilaron las mediciones que realizó la empresa TRANSNOA SA en los distintos años, y se las comparó con el crecimiento del mercado eléctrico nacional en la región del NOA, y las demandas desde el año 1997 al 2010 con lo cual se pudo realizar algunas consideraciones. Si bien al comienzo del trabajo se buscó analizar los últimos 15 años sólo se pudo obtener información a partir del 2007 en adelante, ya que recién a partir de esa fecha informatizó el sistema.

En forma posterior se procedió a analizar los valores de potencia anual en el Noroeste Argentino desde el año 1997 hasta el 2010, categorizadas por meses, documentación aportada por el departamento de estadísticas de la empresa TRANSNOA SA. Para el análisis de los campos electromagnéticos se evaluó las mediciones que fueron realizadas por la Universidad Nacional de La Plata (24 Estaciones Transformadoras y 18 líneas de alta tensión periodo 2004-2007) y la Universidad Nacional de Tucumán (21 estaciones transformadoras y 42 líneas de alta tensión periodo 2008-2010).

Las mediciones fueron volcadas en una tabla Excel en donde se especificaron todas las mediciones de los Campos Eléctricos, Campos Magnéticos y de corrientes eléctricas en el

---

momento de la medición; aquí cabe aclarar que la corriente eléctrica es la que para un instante de tiempo  $t_1$  (la corriente que circula por el conductor en el momento de la medición no es necesariamente el valor de la corriente nominal del conductor, ya que existen factores limitantes para que ello ocurra) en el instante de la medición, ya que dependiendo de la demanda diaria el valor de la corriente  $I$  va variando a lo largo del día, y por lo tanto su relación angular  $\phi$ , entre la Tensión  $U$  y la corriente  $I$ , también varía a lo largo de la jornada. Es por ello necesario que una vez obtenidas las mediciones, se deben extrapolar las mismas, para determinar los valores de los campos magnéticos para la corriente nominal ( $I_N$ ).

### De las líneas de transmisión:

Las líneas de AT en el noroeste argentino que opera y mantiene la Empresa TRANSNOA SA, están distribuidas en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Catamarca y La Rioja. Las mismas están instaladas en áreas rurales, urbanas y suburbanas. Los electroductos fueron construidos hace muchos años cuando exista la Ex Agua y Energía Eléctrica y tienen en algunos casos más de 40 años. Pero en los últimos años se agregaron líneas debido al crecimiento Energético del NOA.

No obstante su diseño fue pensado para durar en el tiempo y sin grandes contratiempos las líneas fueron quedando dentro de las grandes ciudades o muy próximas a las grandes urbes. Las características constructivas de las líneas de alta tensión son las indicadas en las figuras 12, 13 y 14, según se trate de líneas rurales o urbanas, en todos los casos se instalan cables de protección. En doble terna, se colocarán una terna de cada lado de la columna, simétricas al eje del poste y el cable de protección sin ménsula. Las líneas de transmisión eléctrica de AT (alta tensión), pueden estar configuradas de diferentes maneras: Disposición en Bandera, disposición co-planar y disposición triangular.



Fig. 12 LAT en disposición Triangular Provincia de Catamarca



Fig. 13 LAT con distribución en bandera dentro de la Provincia de Santiago del Estero.



Fig. 14 Línea co-planar Provincia de Salta

Un aspecto importante es la configuración de los conductores en la torre ya que la distribución del campo electromagnético tendrá diferentes formas.

---

Los valores de las Normas [IRPA/INIRC "Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields, Health Physics Vol. 58, 1990] limitan los valores de emisión del CM a valores mínimos en el límite de la servidumbre de paso, además puede ser conveniente que el valor del CM se deba reducir bajo de la línea.

Es por ello que las configuraciones de torres que posee Transnoa SA son de tres tipos: Triangular, Co-planar y de Bandera.

Las líneas evaluadas son las detalladas en las ilustraciones Fig. 12, 13 y 14.

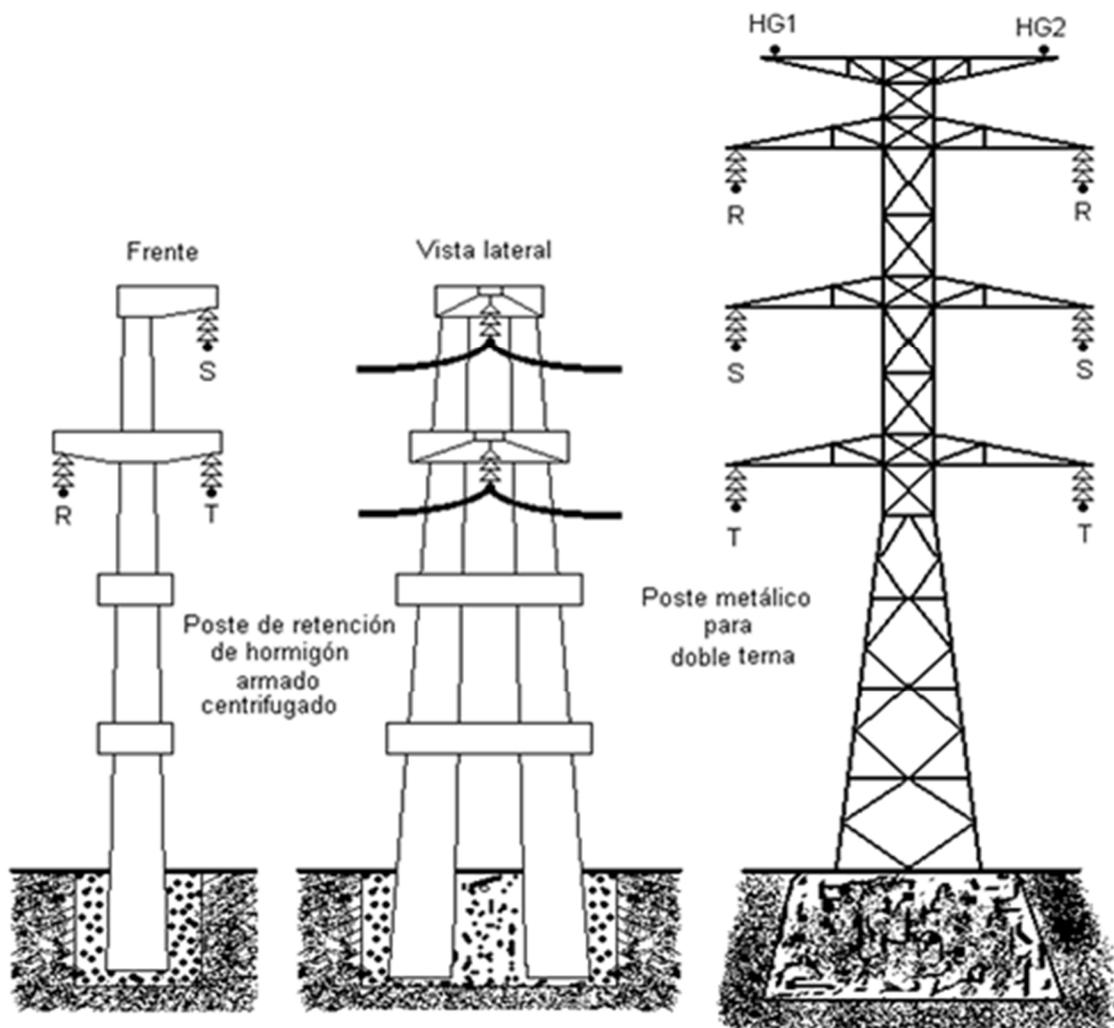


Fig. 15 Tipos de distribución de conductores Fuente Textos Científicos.

En su parte superior puede tener un hilo de guardia o dos, según la configuración, que hace las veces de protección de las descargas atmosféricas y como medio de comunicación.

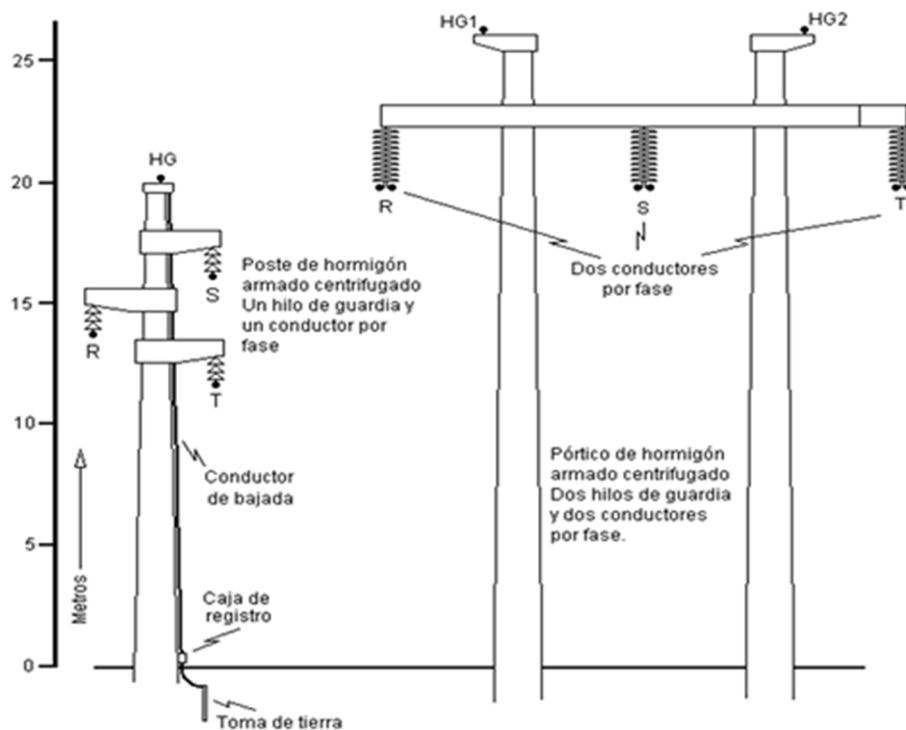


Fig. 16 Distribución triangular y co-planar. Fuente Textos Científicos

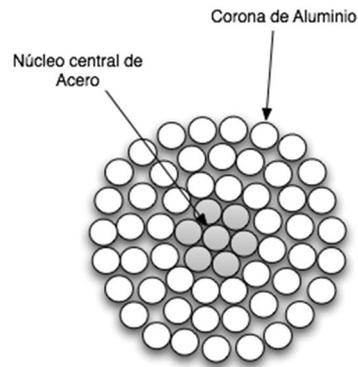
En redes de alta tensión en Argentina, se emplean torres de hormigón y reticulado de acero. En las Fig. 12, 13 y 14 vemos las más comunes de estas torres. La elección del tipo de torre se hace sobre la base de criterios económicos, de sismicidad y en base al vano, que es la distancia entre dos torres. Las estructuras de soporte, torres o postes, pueden ser de suspensión o de retención.

Las primeras se instalan en los tramos rectos de las líneas, mientras que las segundas se instalan en lugares en que, además, la línea debe soportar esfuerzos laterales, producto del cambio de dirección (ángulo) o finales de línea. La Fig. 16 nos muestra dos tipos de torres de hormigón centrifugado.

Hay torres de tipo especial, ya que en ellas se produce la transposición.

A fin de hacer aproximadamente igual a los valores de las constantes de las líneas, para cada fase, en tramos adecuados, se hacen cambios en el orden en que se encuentran las fases. Las fases R, S y T están en un plano, lo que determina que la capacidad, la autoinducción y las pérdidas, no sean de igual valor. Por lo tanto esto se resuelve cambiando dos veces a lo largo del recorrido la posición relativa de esas fases. Pero el punto en que esto se produce, requiere de una torre particular, con disposiciones típicas para estos casos.

Los conductores de las líneas aéreas de alta tensión se construyen con un núcleo de alambres de acero que contribuyen a la resistencia mecánica, rodeado de una formación de alambres de aleación de aluminio tal como ilustra la fig. 17.



**Fig. 17 corte de un conductor de 132 kV**

La corriente eléctrica en un conductor de alta tensión circula por la periferia del mismo y es el denominado efecto Skin o Kelvin (efecto piel). Este efecto es apreciable en conductores de grandes secciones, especialmente si son macizos. Aumenta con la frecuencia, en aquellos conductores con cubierta metálica o si están arrollados en un núcleo ferromagnético.

## Capítulo 5 Las Mediciones

### Las Mediciones y su análisis.

TRANSNOA SA opera y mantiene 62 Estaciones Transformadoras (ET) y 4700 km de líneas de alta tensión (LAT)

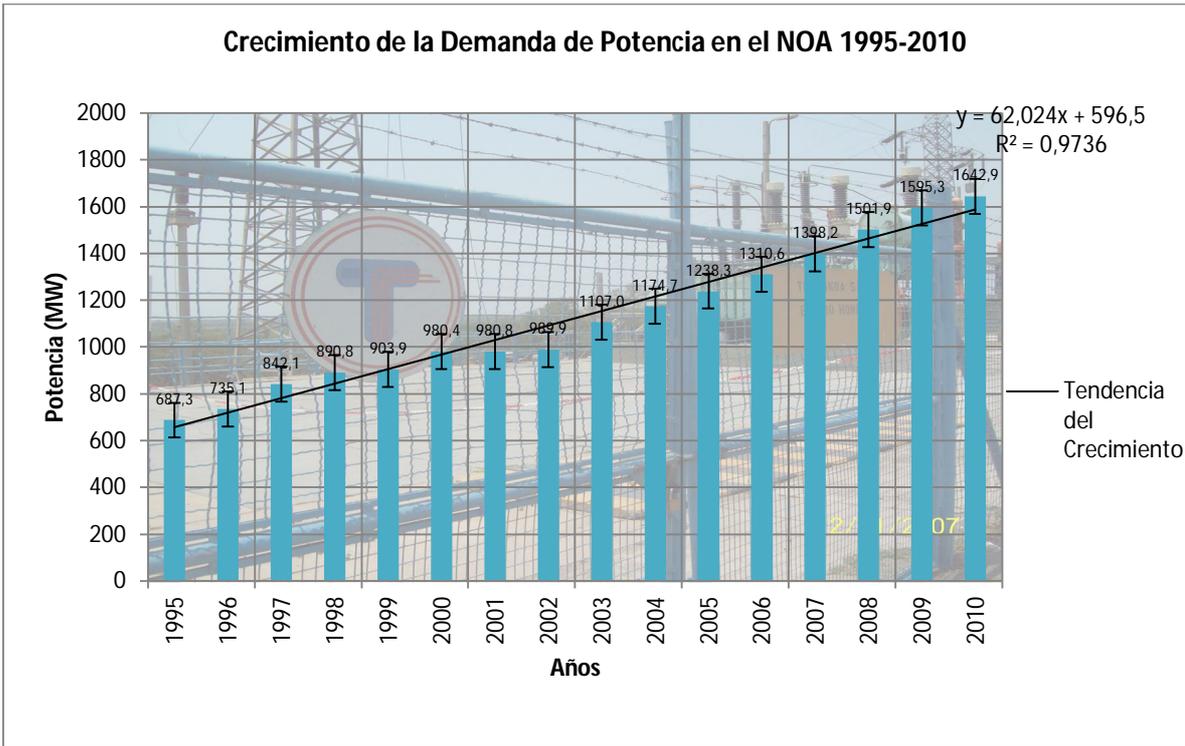
Las mediciones de los Campos electromagnéticos se realizaron en la totalidad de las líneas y estaciones transformadoras.

Para el caso de las Estaciones las mediciones fueron realizadas en el perímetro de la misma, y se analizaron las EETT, que se encuentran ubicadas en las proximidades de las ciudades o de gran urbanización.

La demanda de potencia en el noroeste Argentino tuvo un crecimiento promedio aproximado de 6,05% desde el año 1995-2010, durante la crisis económica en el año 2001 se mantuvo constante por el periodo de un año, y para realizar el cálculo del crecimiento de la Potencia transportada, se cálculo el promedio en base de los valores máximos de potencias medidos en el año, los meses que aparecen en la tabla es el mes en donde se produjo el valor máximo de potencia medido. Ver Tabla 8 ilustración 19.

AÑO	POT. (MW)	MES	Incremento (%)
1995	687,3	NOVIEMBRE	
1996	735,1	JUNIO	6,95
1997	842,1	NOVIEMBRE	14,56
1998	890,8	DICIEMBRE	5,78
1999	903,9	JULIO	1,47
2000	980,4	JULIO	8,46
2001	980,8	NOVIEMBRE	0,04
2002	989,9	NOVIEMBRE	0,93
2003	1107,0	NOVIEMBRE	11,83
2004	1174,7	DICIEMBRE	6,12
2005	1238,3	NOVIEMBRE	5,41
2006	1310,6	NOVIEMBRE	5,84
2007	1398,2	DICIEMBRE	6,68
2008	1501,9	NOVIEMBRE	7,42
2009	1595,3	NOVIEMBRE	6,22
2010	1642,9	AGOSTO	2,98

Tabla 8 Crecimiento de la Potencia en el NOA 1995-2010 Información Dpto. Estadísticas TRANSNOA SA



Gráf. 2 Crecimiento de la demanda periodo 1997-2010 Fuente TRANSNOA SA

**Mediciones en las Líneas de Alta Tensión (LAT).**

**LAT Güemes – Cobos:** Se realizaron dos mediciones en los años: 2007 y 2008 con distintos estados de carga, las características de la línea es: de 132 kV, como existen dos líneas juntas es de esperar que las curvas no decaigan exponencialmente en proporción inversa de la distancia al eje de simetría de las líneas, ya que en un punto medio de las dos líneas tienen influencias ambas.

**Medición del CAMPO ELECTRICO y MAGNETICO**

	E (kV/m)	B (µT)	I (A)
2007	1,43	1,40	136
2008	0,90	2,4	106

Tabla 9 Valores máximos medidos en 2007 y 2008, Informe de la Universidad Nacional de La Plata protocolo P01/10-ENS320-Anexo 18

LAT con Distribución de los conductores Triangular.

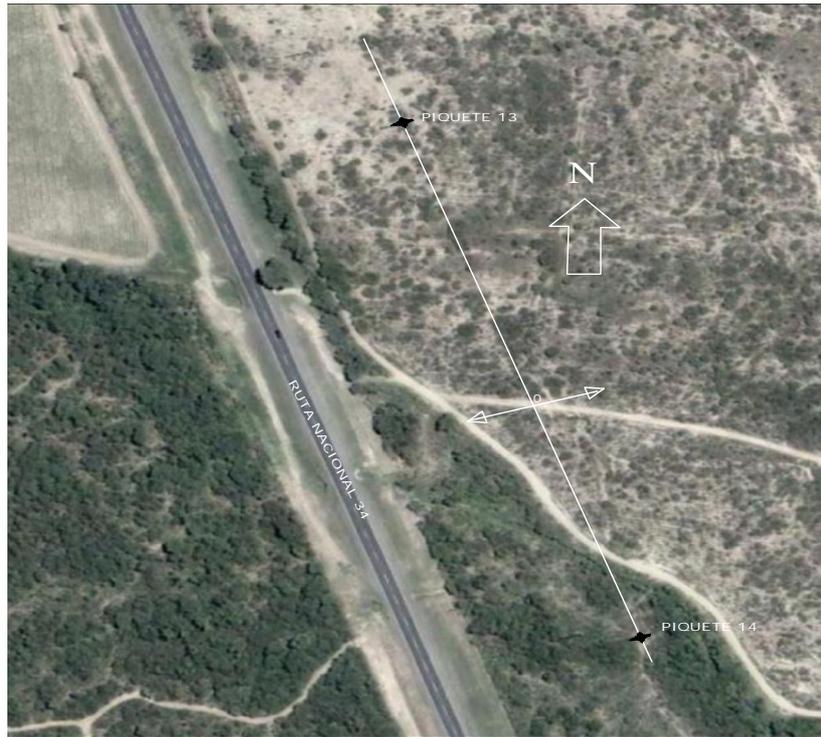
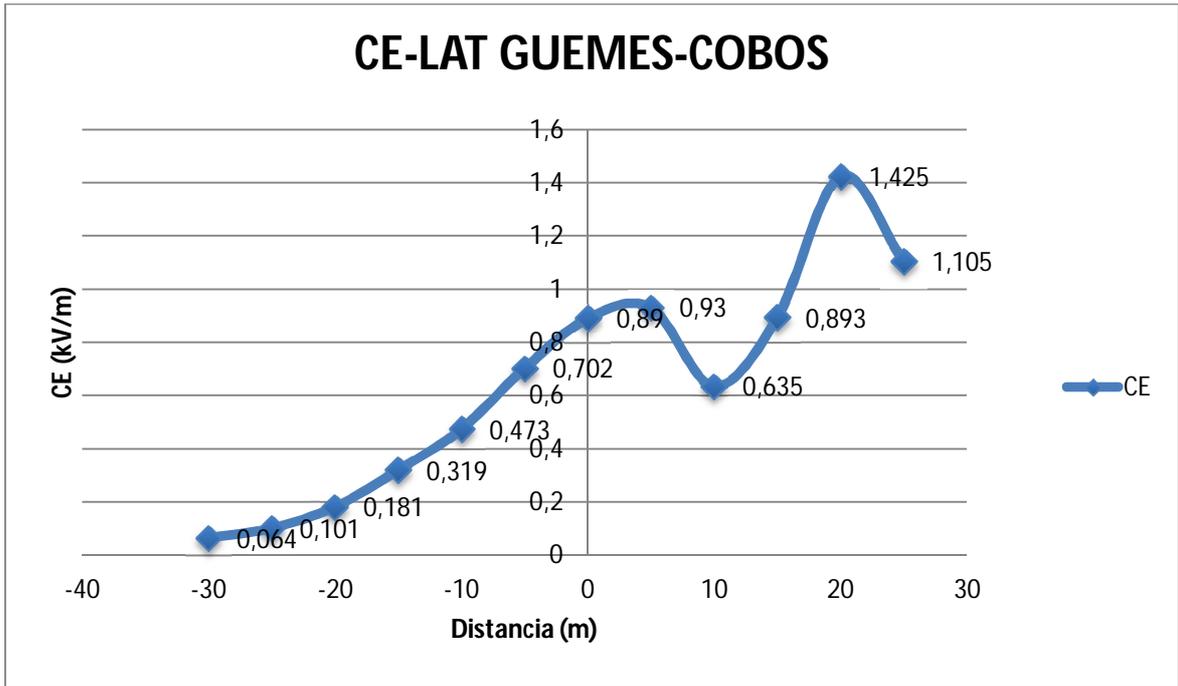


Fig. 18 Lugar de la medición GOOGLE EARTH @

Distancia (m)	Referencia	kV/m
	<i>Hacia el Oeste</i>	
25	<i>Línea Güemes – Metan</i>	1,105
20		1,425
15		0,893
10		0,635
5		0,930
0	<i>Centro de la traza de la línea</i>	0,890
-5		0,702
-10		0,473
-15		0,319
-20		0,181
-25		0,101
-30		0,064
	<i>Hacia el Este</i>	

Tabla 10 Mediciones Güemes-Cobos Mediciones y referencias Universidad Nacional de La Plata protocolo P01/10-ENS320-Anexo 18.



Gráf. 3 Curva del CE LAT Güemes-Cobos 1 UNLP.

### Medición del CAMPO MAGNETICO

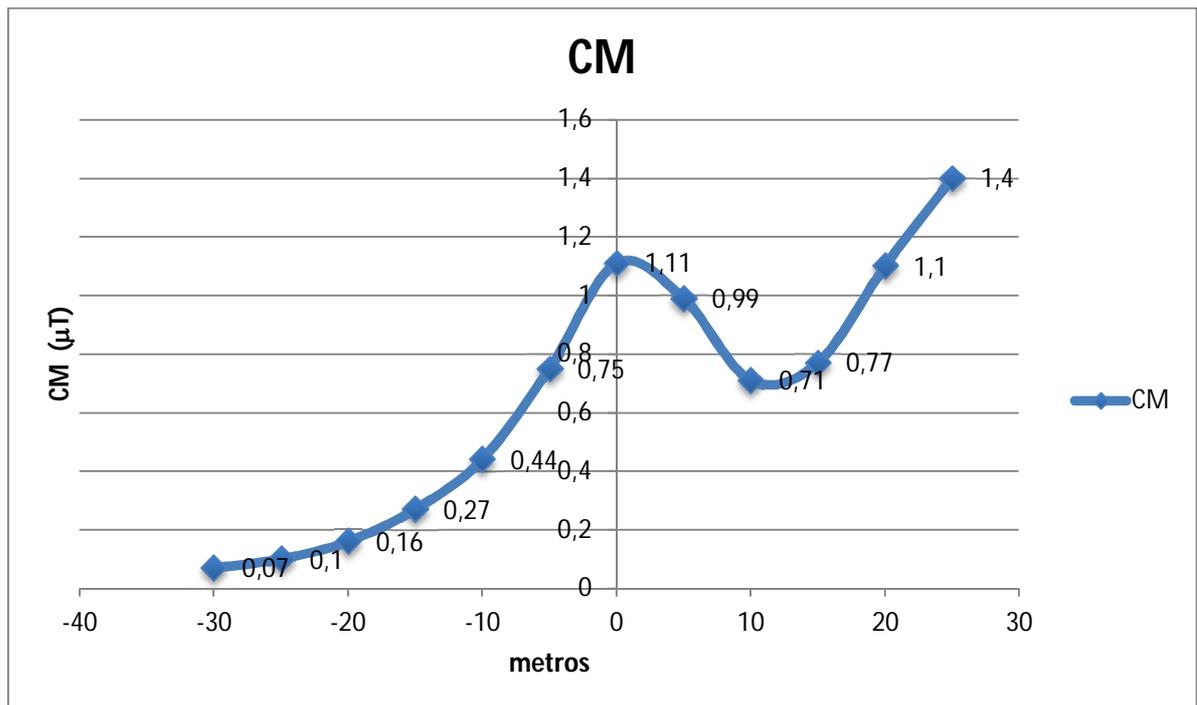


Fig. 19 Medición del CM LAT Güemes-Cobos 1 UNLP

RN N°34. Salta. Piquetes 13 y 14. Lat. 24° 43' 19" S Long. 65° 01' 47" O

Distancia (m)	Referencia	$\mu T$
	<i>Hacia el Oeste</i>	
25	<i>Línea Güemes – Cobos- Metan</i>	1,40
20		1,10
15		0,77
10		0,71
5		0,99
0	<i>Centro de la traza de la línea</i>	1,11
-5		0,75
-10		0,44
-15		0,27
-20		0,16
-25		0,10
-30		0,07
	<i>Hacia el Este</i>	

Tabla 11 Mediciones y referencias Fuente UNP



Gráf. 4 Curva de CM LAT Güemes-Cobos Fuente UNLP

Sentido de la medición en la ET Güemes.



Fig. 20 Vista perimetral de la ET Güemes Fuente UNLP



Fig. 21 Medición del CM ET Güemes UNLP 2007

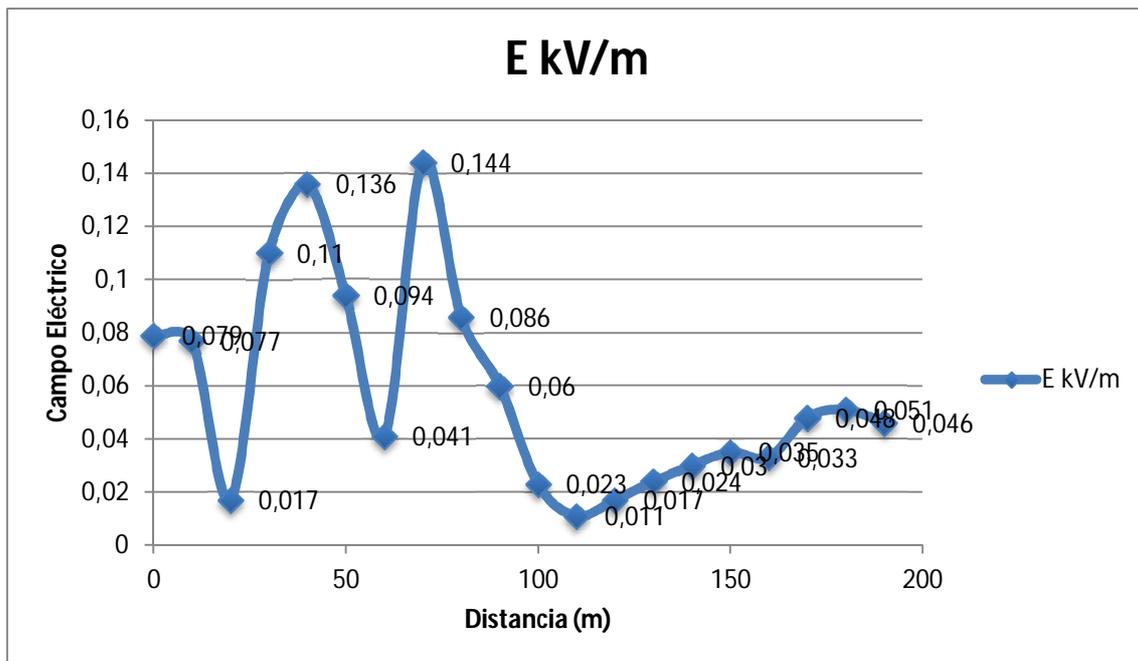
Condiciones de Carga		
	Tensión Actual [kV] :	Corriente Actual [A] :
<b>San Juancito</b>	132	185
<b>Campo Santo (Salta Sur)</b>	132	331
<b>Las Maderas</b>	132	119
<b>Metan (Cobos 1)</b>	132	102
<b>Burruyacu (Cobos 2)</b>	132	97

Tabla 12 Condiciones de Carga

### Frente por Ruta Nacional N° 34

Distancia m	Referencia	kV/m
0	<i>Lado izquierdo. Zona acceso a Central.</i>	0,079
10		0,077
20		0,017
30	<i>Retención línea San Juancito</i>	0,110
40		0,136
50		0,094
60		0,041
70	<i>Línea Las Maderas</i>	0,144
80	<i>Línea Metan (Cobos 1)</i>	0,086
90	<i>Línea Burruyacu (Cobos 2)</i>	0,060
100	<i>Futura Salta Norte</i>	0,023
110		0,011
120		0,017
130		0,024
140		0,030
150		0,035
160		0,033
170		0,048
180		0,051
190	Hacia el Sudeste. (Salta)	0,046

Tabla 13 CE Mediciones sobre Ruta Nacional 34 Mediciones y referencias. Fig. 20.



Gráf. 5 Curva de campo Eléctrico ET Güemes UNLP 2007, las distancias se refieren partiendo de un extremo de la Estación Transformadora y caminando el perímetro de la misma.

En las mediciones realizadas en el perímetro de la estación transformadora, se puede observar que los máximos valores están en las cercanías de las LAT's y en las proximidades de las antenas, y que no se superó los valores máximos permitidos por las normativas.

No obstante en la LAT's se realizó un cálculo adicional para determinar, que valor de campo magnético se tendría cuando por la misma llegase a circular la corriente nominal  $I_N$ , observando la tabla II la medición de 2007 se realizó con una corriente de 136 A y a una tensión de 132 kV, la humedad relativa del ambiente era del 14% y la temperatura ambiente de 14 °C, la presión atmosférica de 938 mm de Hg.

La línea tiene una corriente máxima admisible de 760 A y el transformador de intensidad (TI) admite 600 A como corriente máxima de circulación, por lo que asumiremos que el valor de corriente máxima admisible es de 600 A, si ahora calculamos el índice de multiplicación (IM):

$$IM = \frac{600}{136} = 4,41 \rightarrow B = 4,41 * 1,425 = 6,28 \mu T < 25 \mu T \text{ valor del CM}$$

En el caso de que se cambie el TI y se pudiese transportar los 760 A tendremos:

$$IM = \frac{760}{136} = 5,59 \text{ El valor del Campo Magnético será de } B = 5,9 * 1,425 = 8,4 \mu T < 25 \mu T$$

La LAT y la ET cumplen con los requerimientos de valores de exposición permitida.

### **LAT Independencia- El Bracho**

La medición fue realizada en el año 2004 y 2006 para la LAT Independencia – El Bracho provincia de Tucumán.

### **Campo Eléctrico y Magnético**

TABLA VII LAT Independencia-El Bracho CEM

	<i>E kV/m</i>	<i>B μT</i>	<i>I Amperes</i>
2004	2,7	4	222
2006	1,78	2,8	246

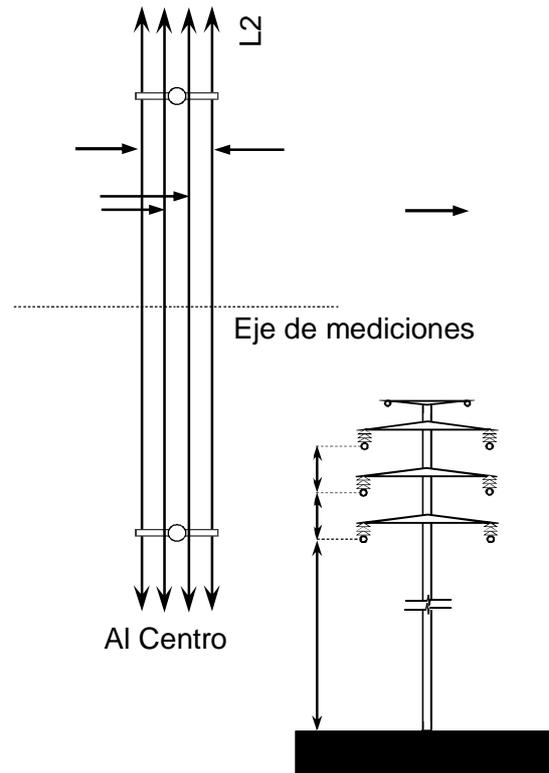


Fig. 22 Lugar de la medición

Distancia (m)	Referencia	kV/m lado izquierdo	kV/m lado derecho
0	Entre las dos ternas (Foto 24a)		2,52
1	(Foto 24b)	2,70	2,57
2	Debajo de las fases	2,59	2,46
3		2,37	2,25
4		2,12	1,99
5	(Fotos 24c y 24d)	1,80	1,79
10		0,66	0,66
15		0,15	0,14
20		0,04	0,04
25		0,08	0,08
30		0,08	0,08
35		0,07	0,08
40		0,06	0,07

---

45	0,05	0,06
50	0,05	0,05

---

L1: Línea El Bracho / ET Independencia, I:222 A

L2: Línea El Bracho / ET Estática, I: 196 A

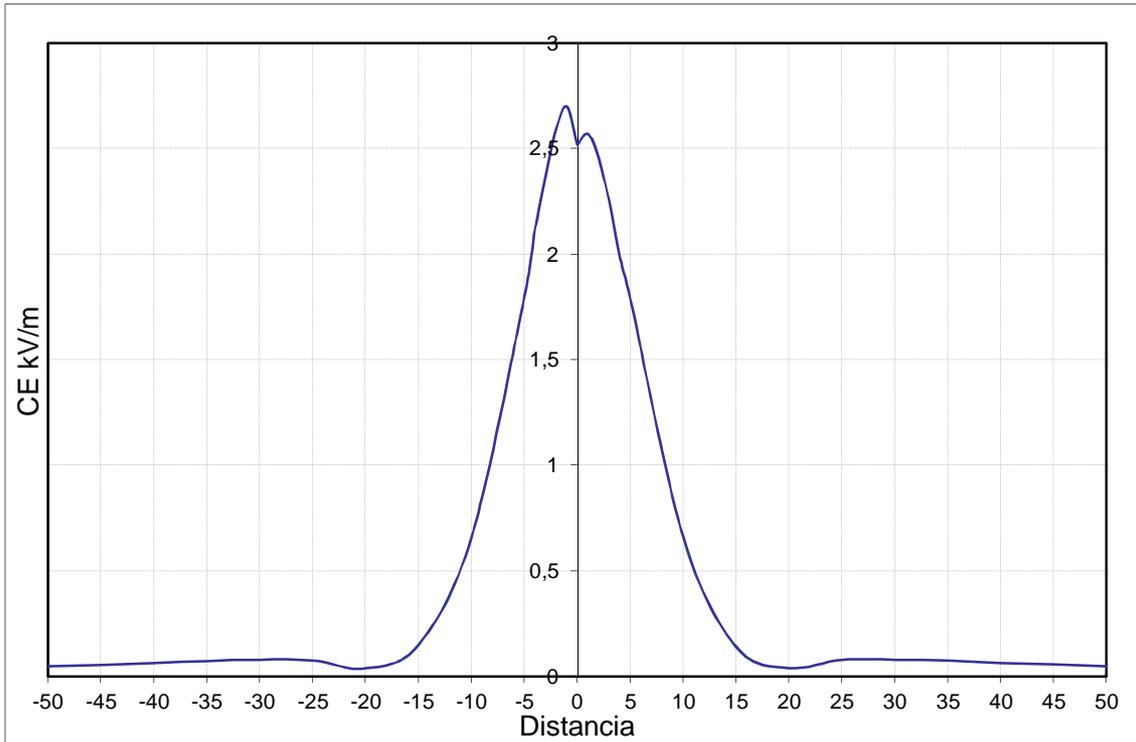
---

Tabla 14 Mediciones LAT Bracho-Independencia CE



Fig. 23 a, b, c y d Mediciones del CE El Bracho-Independencia UNLP IL047/06

---

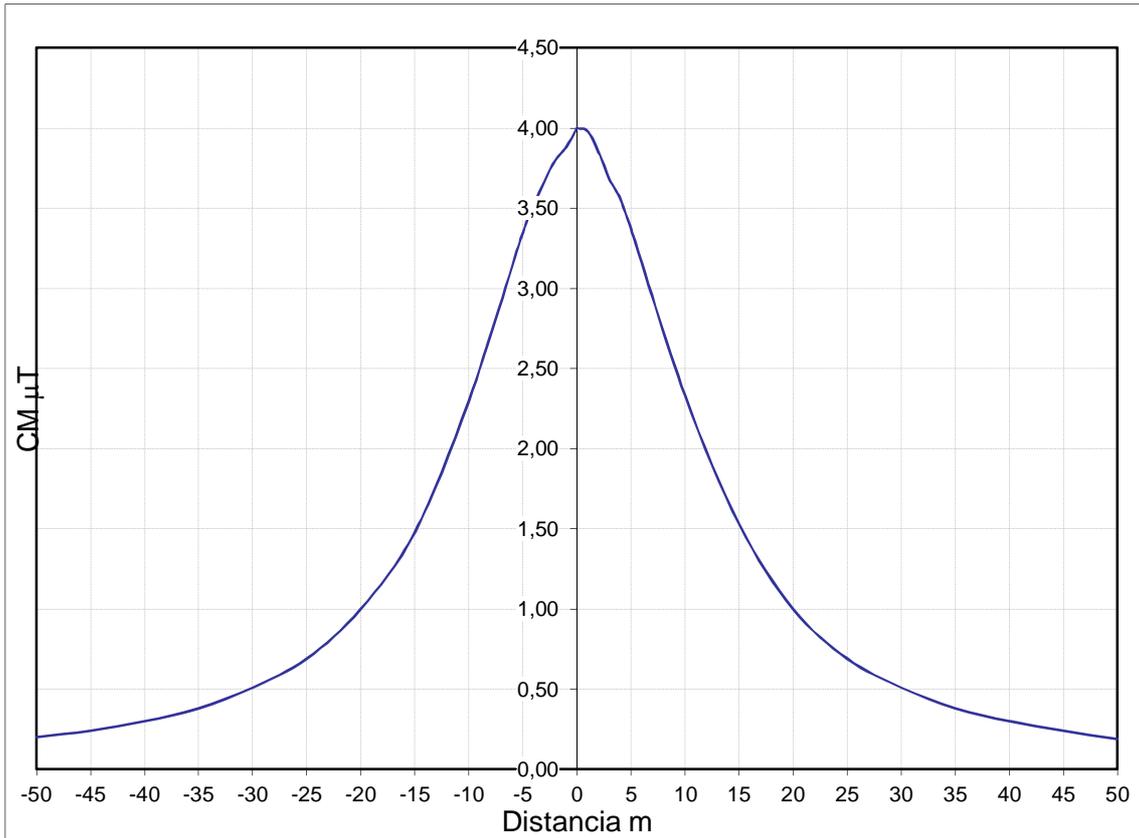


Gráf. 6 Perfil obtenido del CE El Bracho-Independencia UNLP

### Campo Magnético

Distancia (m)	Referencia	$\mu\text{T}$	
		lado izquierdo	lado derecho
0	Entre las dos ternas	4,00	
1		3,88	3,98
2	Debajo de las fases	3,80	3,85
3		3,67	3,68
4		3,52	3,56
5		3,35	3,37
10	(Foto 24a)	2,30	2,33
15		1,48	1,53
20		1,00	1,00
25		0,69	0,69
30	(Foto 25b)	0,51	0,51
35		0,38	0,38
40		0,30	0,30
45		0,24	0,24
50		0,20	0,19

Tabla 15 LAT Bracho-Independencia CE



Gráf. 7 Curva del CM El Bracho-Independencia UNLP.



Fig. 24 a y b Medición del CM El Bracho-Independencia UNLP.

En las mediciones se puede analizar, que en ningún caso se superó los valores permitidos por normativa, no obstante en el caso de la LAT realizaremos un cálculo para determinar que ocurre cuando por la misma circula la corriente nominal  $I_N$ , si vemos la tabla la medición del 2004 se realizó con una corriente de 222 A y 196 A, a una tensión de 132 kV,

la humedad relativa del ambiente era del 70% y la temperatura ambiente de 15 °C, la presión atmosférica de 980 mm de Hg.

La línea tiene una corriente máxima admisible de 760 A, el transformador de intensidad (TI) admite 600 A como circulación máxima de corriente, por lo que asumiremos que el valor de corriente máxima admisible es de 600 A, ahora calcularemos el índice de multiplicación (IM):

$$IM = \frac{600}{222} = 2,70 \rightarrow B = 2,70 * 4 = 10,81 \mu T < a 25 \mu T.$$

$$IM = \frac{600}{196} = 3,06 \rightarrow B = 3,06 * 4 = 12,24 \mu T < a 25 \mu T.$$

En el caso de que se cambie el TI y se pudiese transportar 760 A tenemos:

$$IM = \frac{760}{222} = 3,42 \text{ El valor del Campo Magnético será de } B = 3,42 * 4 = 13,69 \mu T < 25 \mu T.$$

Valores que no alcanzan a los normalizados.

#### **Estación Transformadora Santiago Centro P14/08-ENS300 Anexo 5**

##### **INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN DE CAMPOS**

a) Marca: EMDEX                      b) Modelo: II                      c) Serie: 2484 /95112

##### **CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTAL**

a) Fecha: 22/10/2008                      b) Método: IEC 60833                      c) Emisor del Certificado: IATTE-UNT                      d) Fecha Vencimiento: 22/10/2009

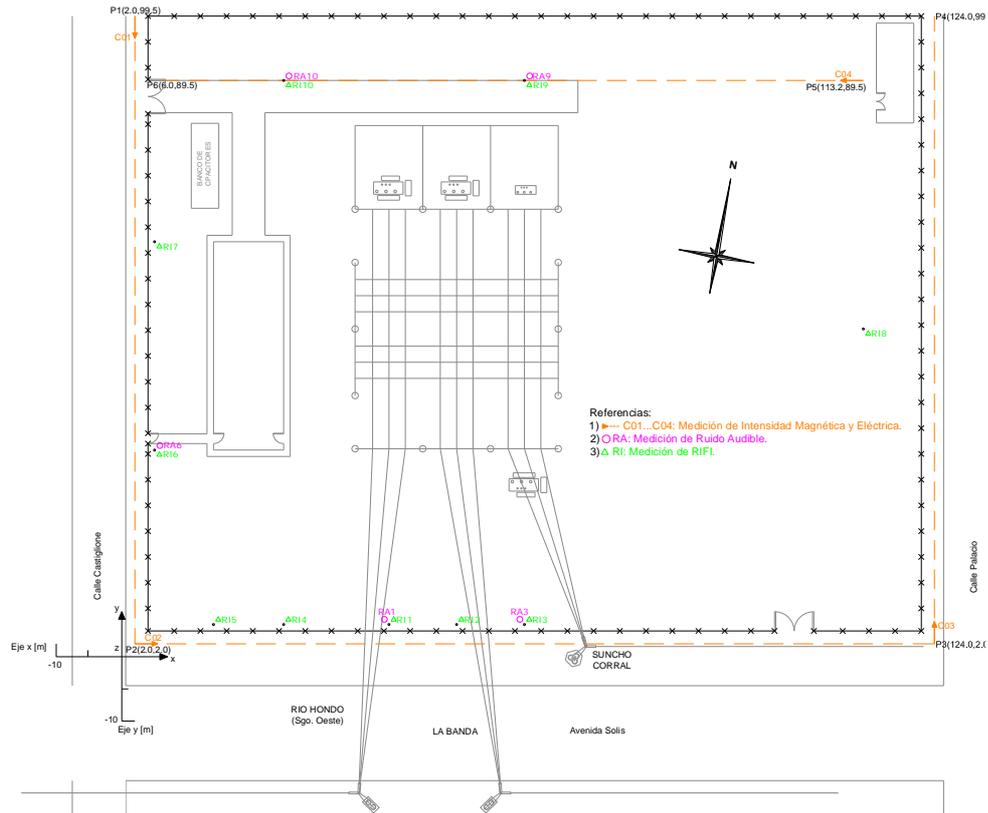


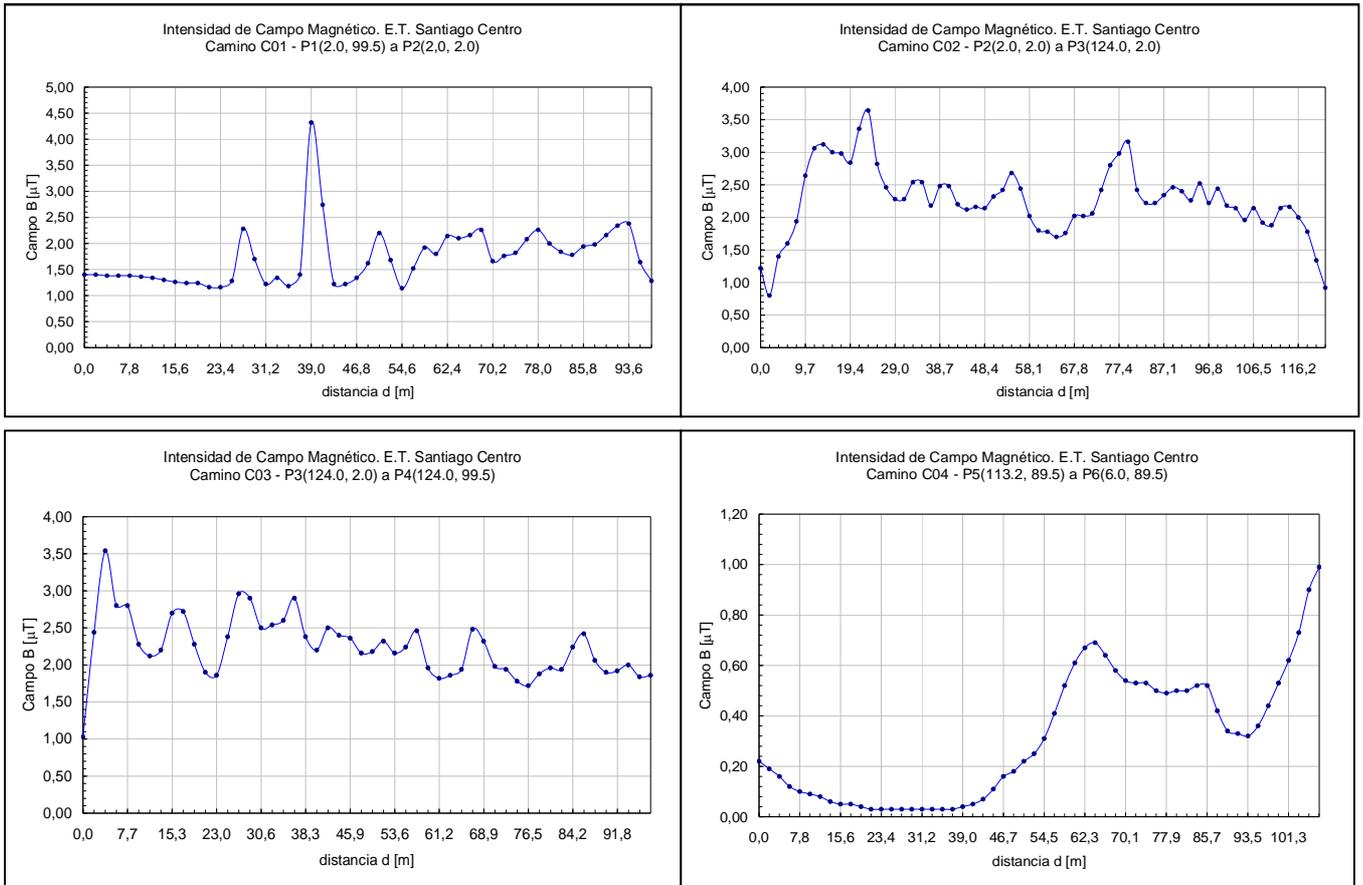
Fig. 25 Plano ET Santiago Centro UNT-IATTE

Tensión y corrientes durante la medición.

 $U_N = 132 \text{ kV}$  $I_1 = 138 \text{ A}$  $I_2 = 31 \text{ A}$  $I_3 = 70 \text{ A}$ 

Distancia izq. (m)	Distancia der. (m)	Referencia	$\mu\text{T}$	
			lado izquierdo	lado derecho
0	33,2	C01	1,4	1,34
2	35,1	C01	1,4	1,18
3,9	37,1	C01	1,38	1,4
5,9	39	C01	1,38	4,32
7,8	41	C01	1,38	2,74
9,8	42,9	C01	1,36	1,22
11,7	44,9	C01	1,34	1,22
13,7	46,8	C01	1,3	1,34
15,6	48,8	C01	1,26	1,62
17,6	50,7	C01	1,24	2,20
19,5	52,7	C01	1,24	1,68
21,5	54,6	C01	1,16	1,14
23,4	56,6	C01	1,16	1,52
25,4	58,5	C01	1,28	1,92
27,3	60,5	C01	2,28	1,80
29,3	62,4	C01	1,7	2,14
31,2	64,4	C01	1,22	2,1

Tabla 16 Puntos de Medición ET Santiago Centro CM



Gráf. 8 CM ET Santiago centro UNT-IATTE Protocolo P14/08 ENS 300 Anexo 5

### Estación Transformadora de Catamarca

INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN DE CAMPOS			
a) Marca:	EMDEX	b) Modelo:	II
		c) Serie:	2484 /95112
CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTAL			
a) Fecha:	b) Método:	c) Emisor del Certificado:	d) Fecha Vencimiento:
22/10/2008	IEC 60833	IATTE-UNT	22/10/2009

### Plano de la ET

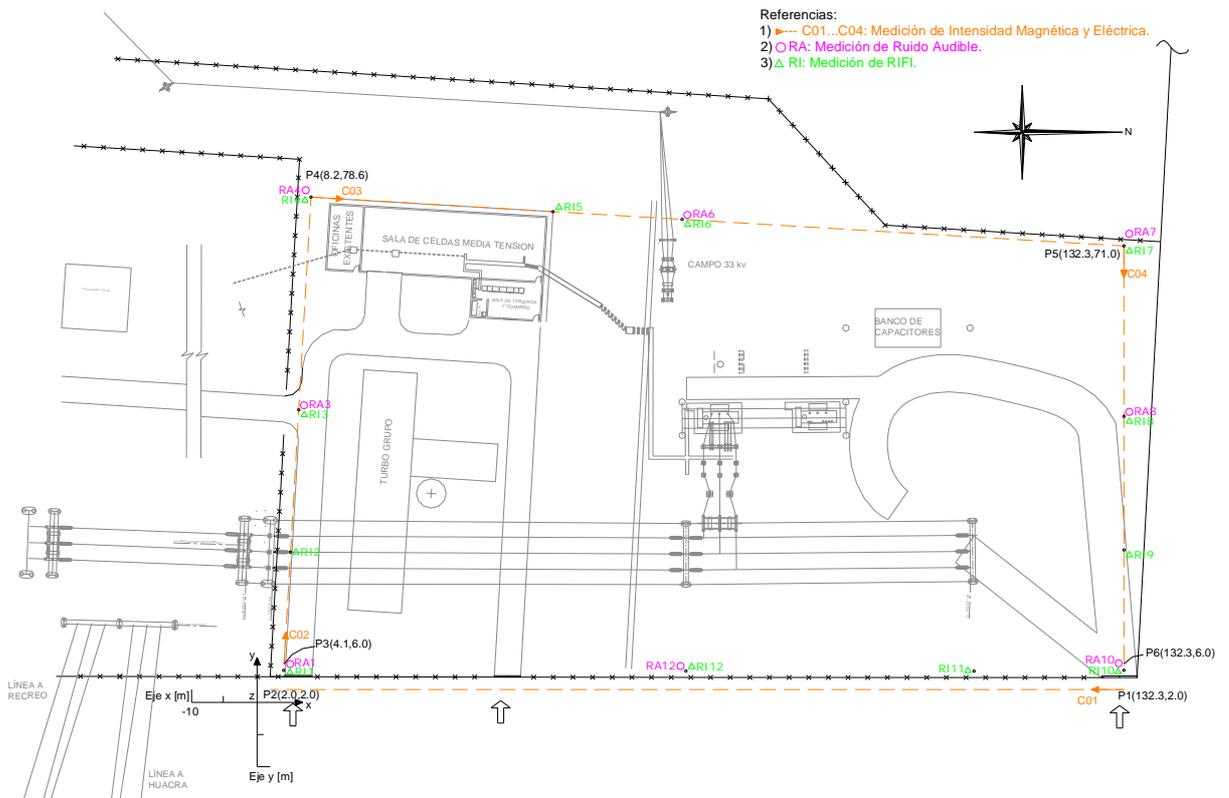


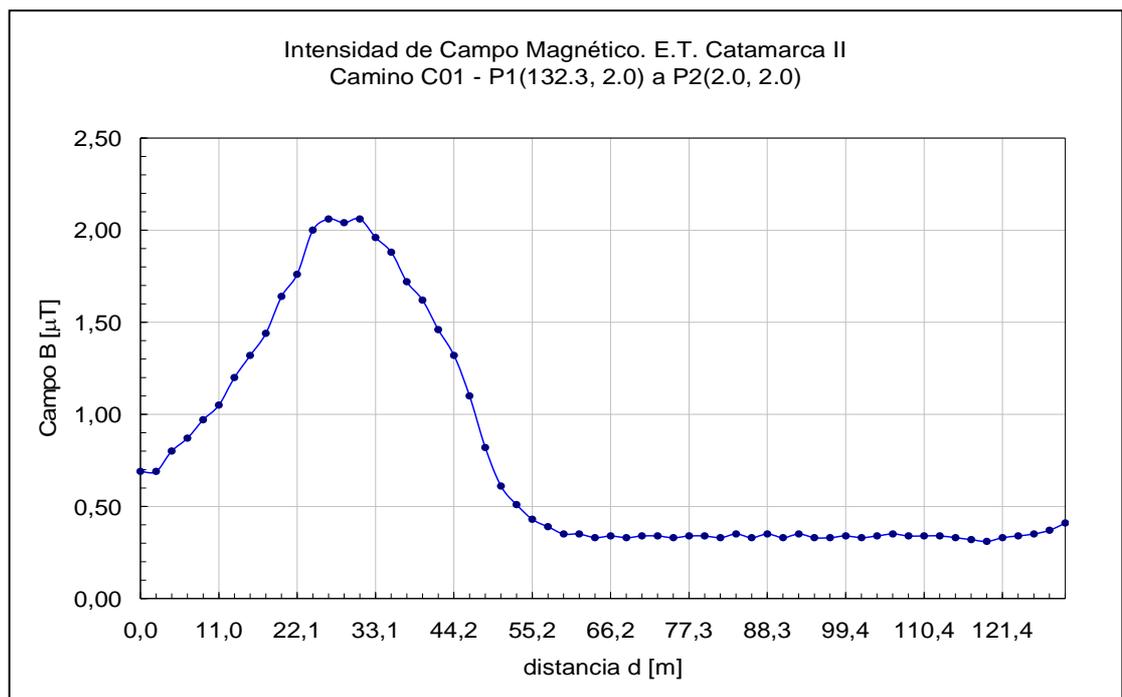
Fig. 26 ET Catamarca UNT-IATTE P14/08 ENS 300 Anexo 6

## Valores Obtenidos

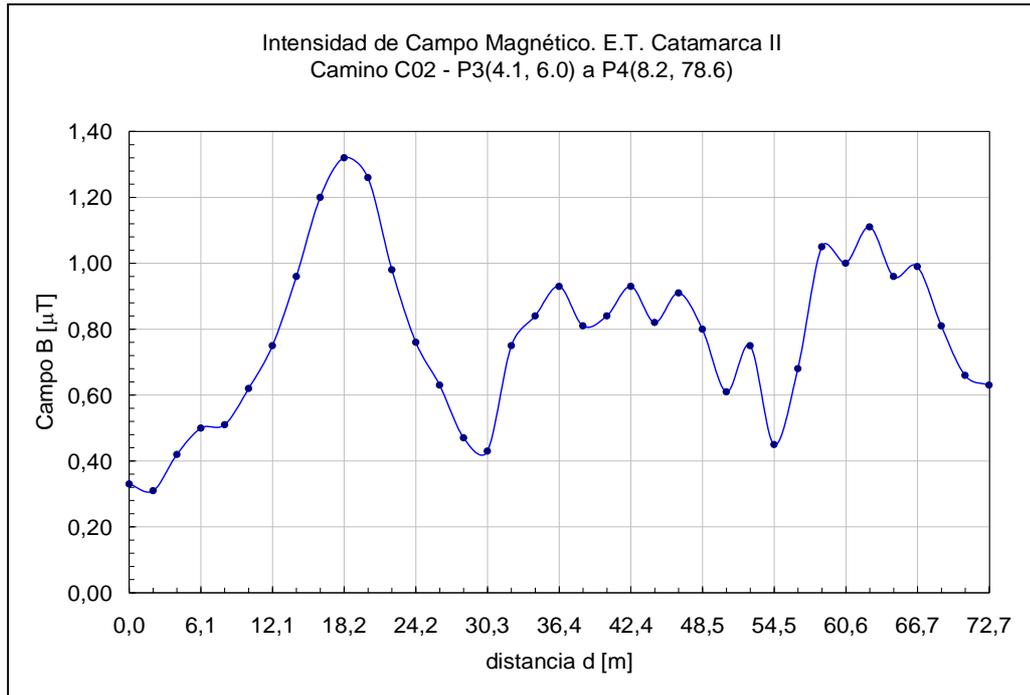
<b>Tensión Actual [kV] :</b>	132	<b>Corriente Actual [A] :</b>	AT
		a) I <sub>1</sub> :	216
		b) I <sub>2</sub> :	102

Distancia izq. (m)	Distancia der. (m)	Referencia	$\mu\text{T (mG)}$	
			lado izquierdo	lado derecho
0	35,82	C03	0,66	0,59
2,11	37,92	C03	0,69	0,61
4,21	40,03	C03	0,59	0,64
6,32	42,14	C03	0,54	0,68
8,43	44,24	C03	0,52	0,76
10,53	46,35	C03	0,5	0,91
12,64	48,46	C03	0,51	1,22
14,75	50,56	C03	0,51	1,78
16,85	52,67	C03	0,51	2,62
18,96	54,78	C03	0,51	4,58
21,07	56,88	C03	0,51	4,54
23,17	58,99	C03	0,52	3,48
25,28	61,1	C03	0,53	2,42
27,39	63,2	C03	0,52	1,56
29,49	65,31	C03	0,54	0,98
31,6	67,42	C03	0,55	0,62
33,71	69,52	C03	0,58	0,4

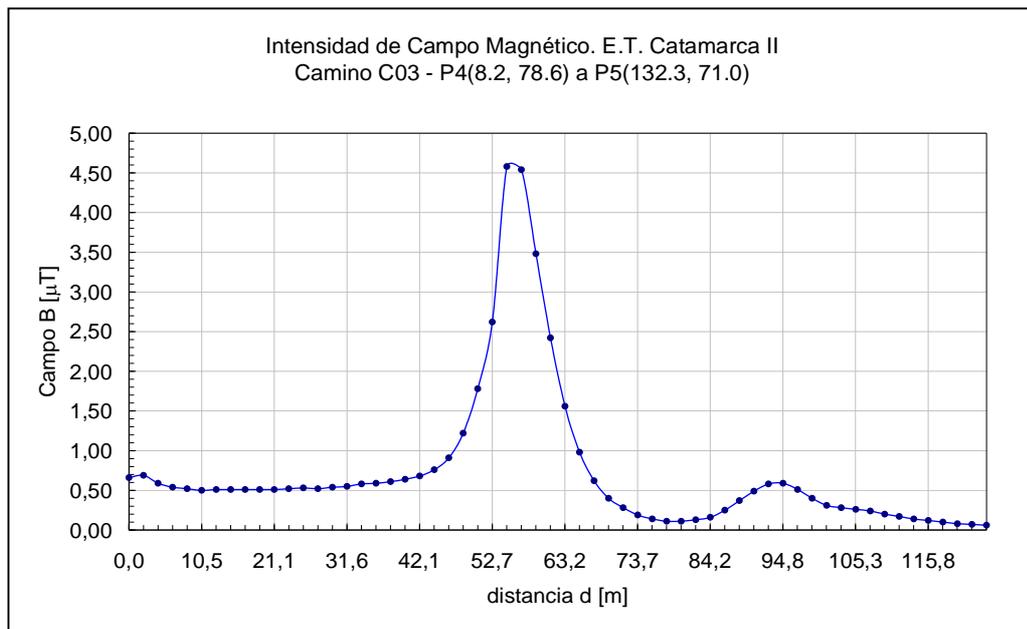
Tabla 17 Puntos de Medición ET Catamarca CM



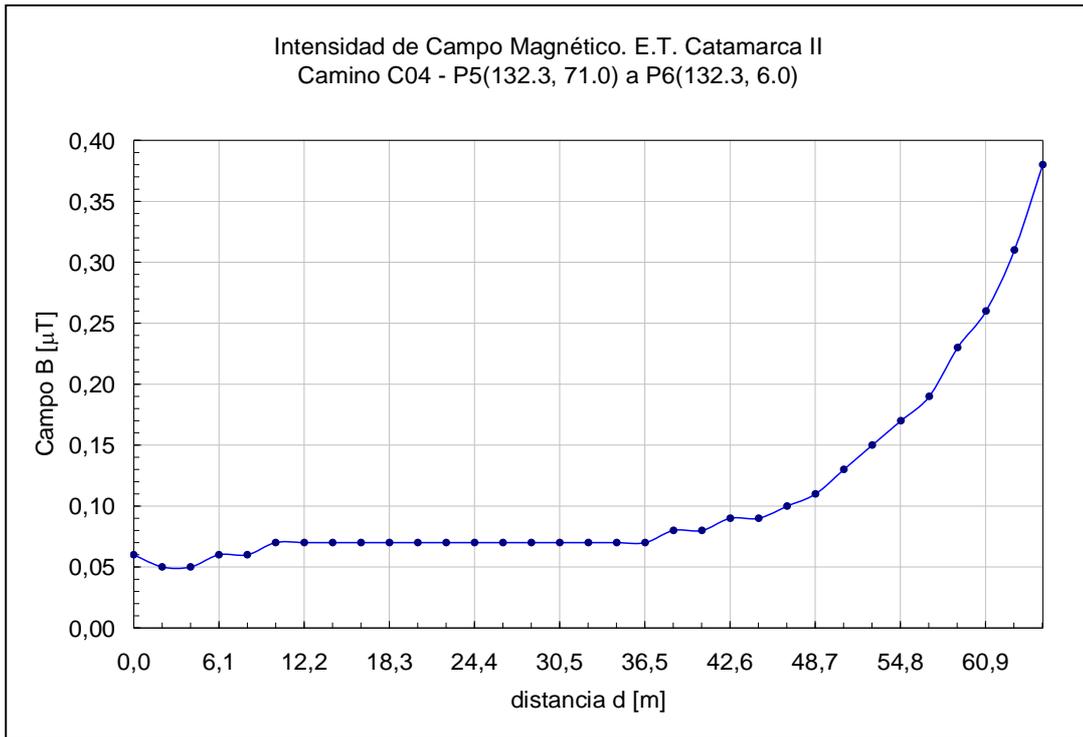
Gráf. 9 CM ET Catamarca UNT- IATTE



Gráf. 10 CM ET Catamarca UNT- IATTE



Gráf. 11 CM ET Catamarca UNT- IATTE



Gráf. 12 CM ET Catamarca II UNT-IATTE

### Medición de la LAT Huacra – La Calera

#### INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN DE CAMPOS

a) Marca: EMDEX      b) Modelo: II      c) Serie: 2484 /95112

#### CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTAL

a) Fecha: 28/09/2010      b) Método: IEC 60833      c) Emisor del Certificado: IATTE-UNT      d) Fecha Vencimiento: 28/09/2011

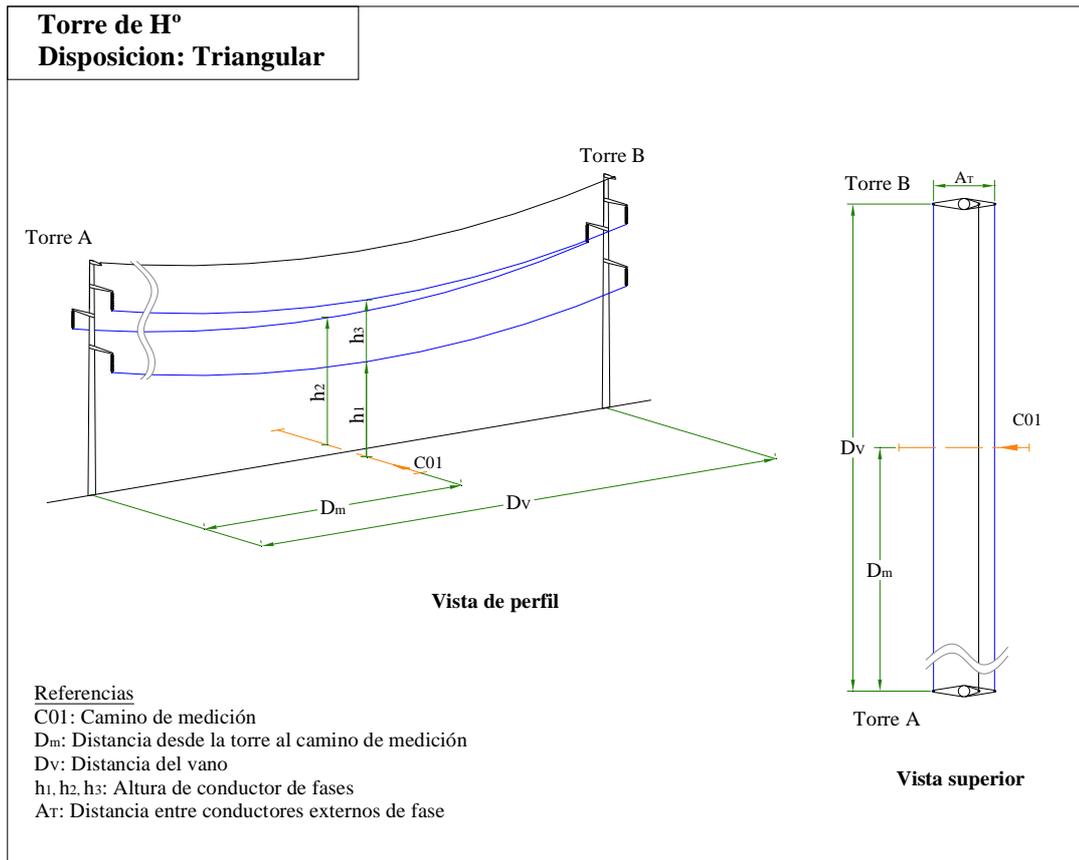
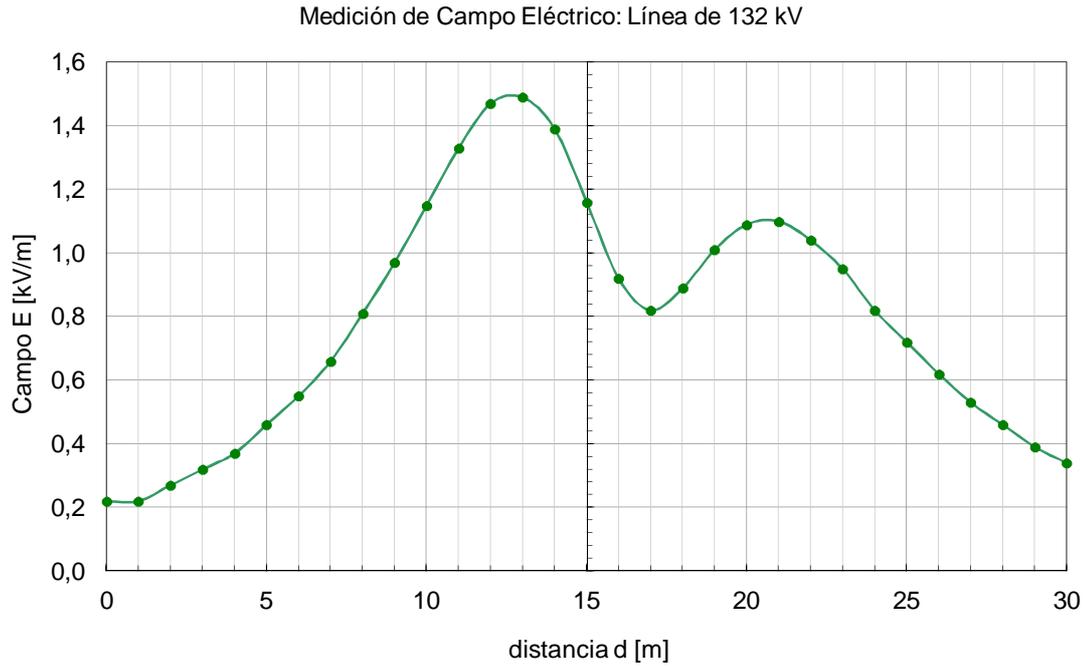


Fig. 31 Tipología de la LAT

Tensión: 132 kV  
 Corriente: 101 A

Distancia (m)	Referencia	kV/m Valor medido	Distancia (m)	Referencia	kV/m Valor medido
0	C01	0,22	17	C01	0,82
1	C01	0,22	18	C01	0,89
2	C01	0,27	19	C01	1,01
3	C01	0,32	20	C01	1,09
4	C01	0,37	21	C01	1,10
5	C01	0,46	22	C01	1,04
6	C01	0,55	23	C01	0,95
7	C01	0,66	24	C01	0,82
8	C01	0,81	25	C01	0,72
9	C01	0,97	26	C01	0,62
10	C01	1,15	27	C01	0,53
11	C01	1,33	28	C01	0,46
12	C01	1,47	29	C01	0,39
13	C01	<b>1,49</b>	30	C01	0,34
14	C01	1,39			
15	C01	1,16			
16	C01	0,92			

Tabla 18 Puntos de Medición LAT Huacra-La Calera CE

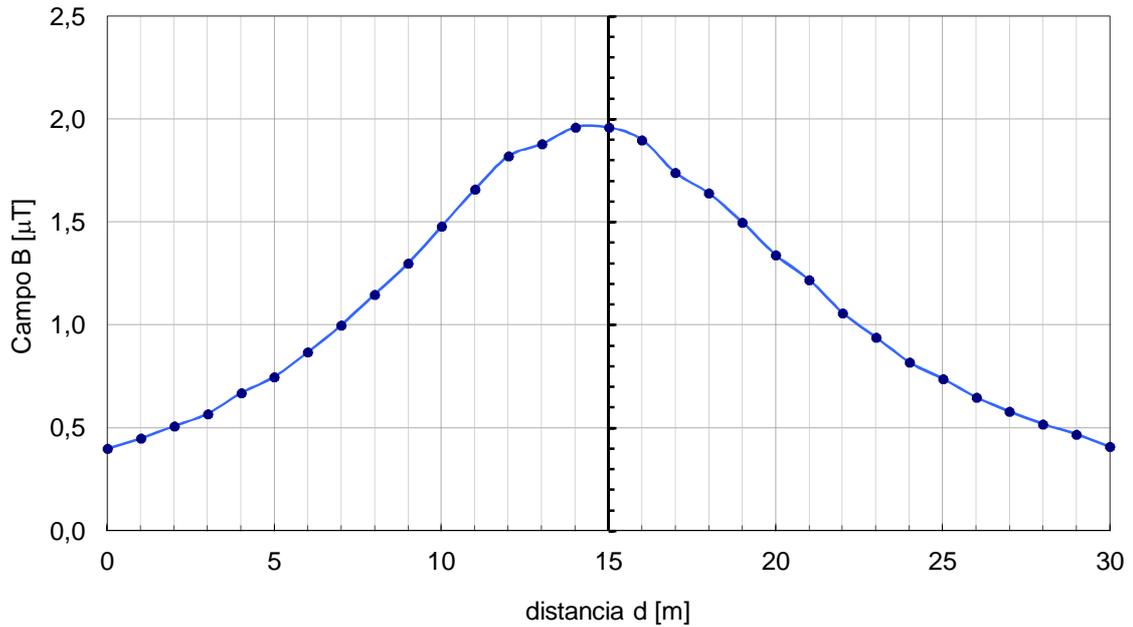


Gráf. 13 CE LAT Huacra-La Calera UNT-IATTE P29/10 ENS 345 Anexo 15

Distancia (m)	Referencia	$\mu$ T Valor medido	Distancia (m)	Referencia	$\mu$ T Valor medido
0	C01	0,40	17	C01	1,74
1	C01	0,45	18	C01	1,64
2	C01	0,51	19	C01	1,50
3	C01	0,57	20	C01	1,34
4	C01	0,67	21	C01	1,22
5	C01	0,75	22	C01	1,06
6	C01	0,87	23	C01	0,94
7	C01	1,00	24	C01	0,82
8	C01	1,15	25	C01	0,74
9	C01	1,30	26	C01	0,65
10	C01	1,48	27	C01	0,58
11	C01	1,66	28	C01	0,52
12	C01	1,82	29	C01	0,47
13	C01	1,88	30	C01	0,41
14	C01	<b>1,96</b>			
15	C01	1,96			
16	C01	1,90			

Tabla 19 Valores Obtenidos ET Huacra- La Calera CM

Medición de Campo Magnético: Línea de 132 kV



Gráf. 14 Curva de CM LAT Huacra-La Calera P29/10-ENS 345 Anexo 15

LAT Salta Sur-Güemes

<b>INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN DE CAMPOS</b>			
a) Marca:	EMDEX	b) Modelo:	II
		c) Serie:	2484 /95112
<b>CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTAL</b>			
a) Fecha:	22/10/2008	b) Método:	IEC 60833
		c) Emisor del Certificado:	IATTE-UNT
		d) Fecha Vencimiento:	22/10/2010

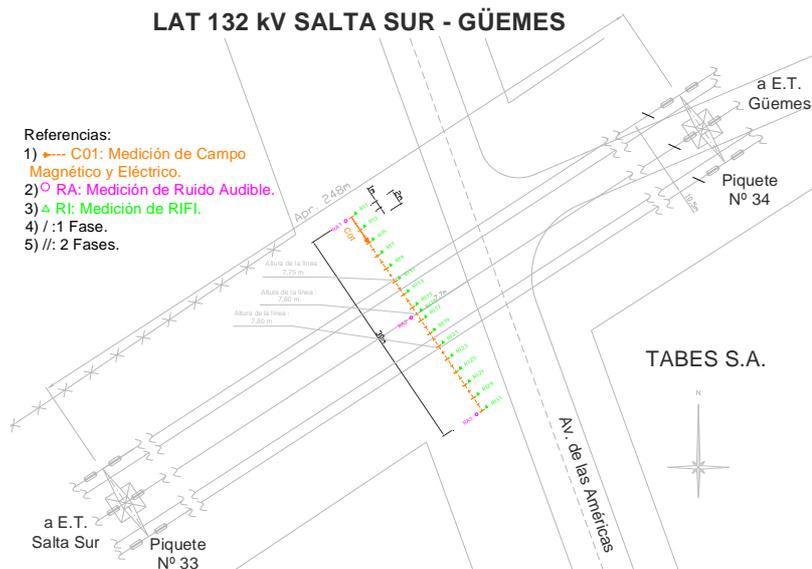


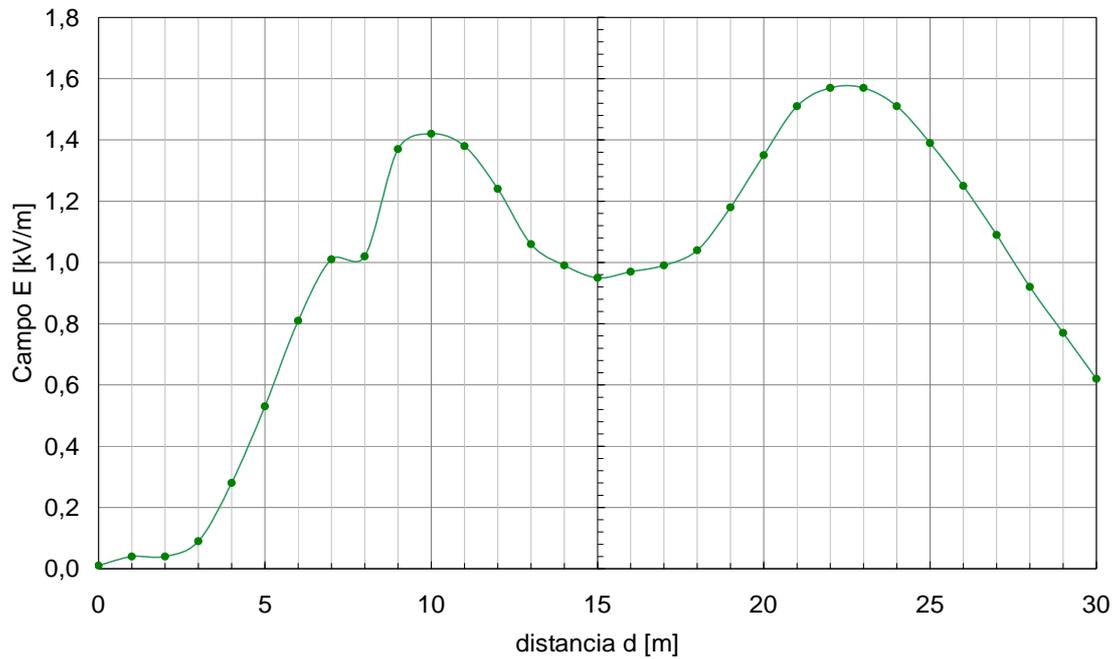
Fig. 32 Vista Superior LAT Salta Sur-Güemes

Tensión: 132 kV Corriente: 325 A

Distancia (m)	Referencia	kV/m Valor medido	Distancia (m)	Referencia	kV/m Valor medido
0	C01	0,01	17	C01	0,99
1	C01	0,04	18	C01	1,04
2	C01	0,04	19	C01	1,18
3	C01	0,09	20	C01	1,35
4	C01	0,28	21	C01	1,51
5	C01	0,53	22	C01	<b>1,57</b>
6	C01	0,81	23	C01	1,57
7	C01	1,01	24	C01	1,51
8	C01	1,02	25	C01	1,39
9	C01	1,37	26	C01	1,25
10	C01	1,42	27	C01	1,09
11	C01	1,38	28	C01	0,92
12	C01	1,24	29	C01	0,77
13	C01	1,06	30	C01	0,62
14	C01	0,99			
15	C01	0,95			
16	C01	0,97			

Tabla 20 Mediciones LAT Güemes-Salta Sur CE

Medición de Campo Eléctrico: Línea de 132 kV - C01  
Línea: Salta Sur - Güemes



Gráf. 15 Curva del CE LAT Salta Este-Güemes UNT-IATTE

**MEDICIÓN LAT RIO HONDO-LA BANDA****INSTRUMENTAL DE MEDICIÓN DE CAMPOS**

a) Marca: EMDEX                      b) Modelo: II                      c) Serie: 2484 /95112

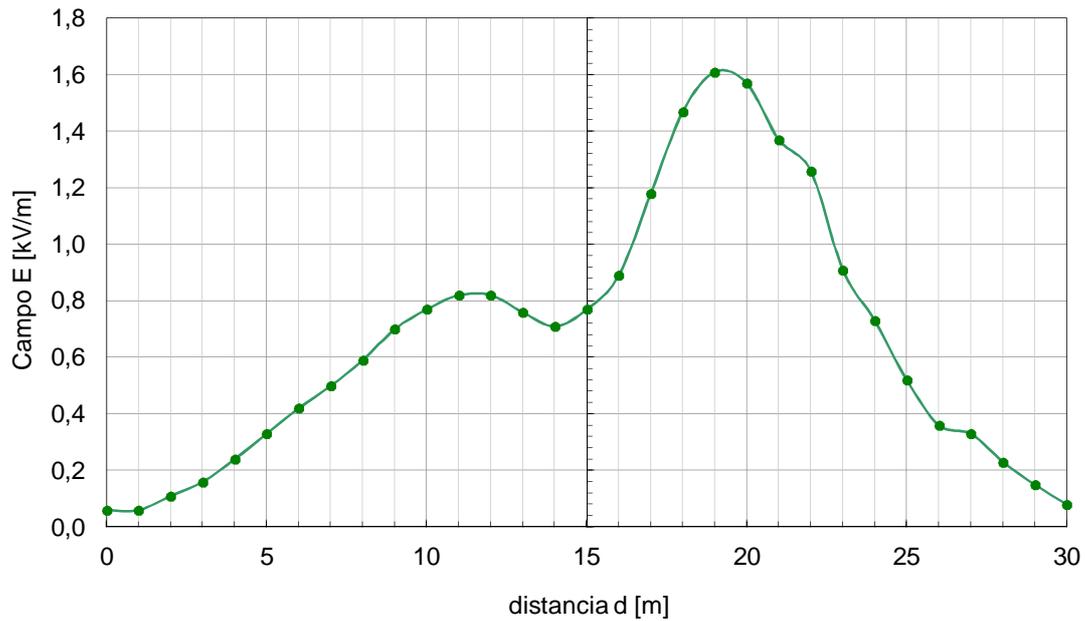
2.1.1. CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTAL U= 123 kV  
I= 101 A

a) Fecha: 28/09/2010                      b) Método: IEC 60833                      c) Emisor del Certificado: IATTE-UNT                      d) Fecha Vencimiento: 28/09/2011

Distancia (m)	Referencia	kV/m Valor medido	Distancia (m)	Referencia	kV/m Valor medido
0	C01	0,06	17	C01	1,18
1	C01	0,06	18	C01	1,47
2	C01	0,11	19	C01	<b>1,61</b>
3	C01	0,16	20	C01	1,57
4	C01	0,24	21	C01	1,37
5	C01	0,33	22	C01	1,26
6	C01	0,42	23	C01	0,91
7	C01	0,50	24	C01	0,73
8	C01	0,59	25	C01	0,52
9	C01	0,70	26	C01	0,36
10	C01	0,77	27	C01	0,33
11	C01	0,82	28	C01	0,23
12	C01	0,82	29	C01	0,15
13	C01	0,76	30	C01	0,08
14	C01	0,71			
15	C01	0,77			
16	C01	0,89			

Tabla 21 LAT Río Hondo-La Banda CE

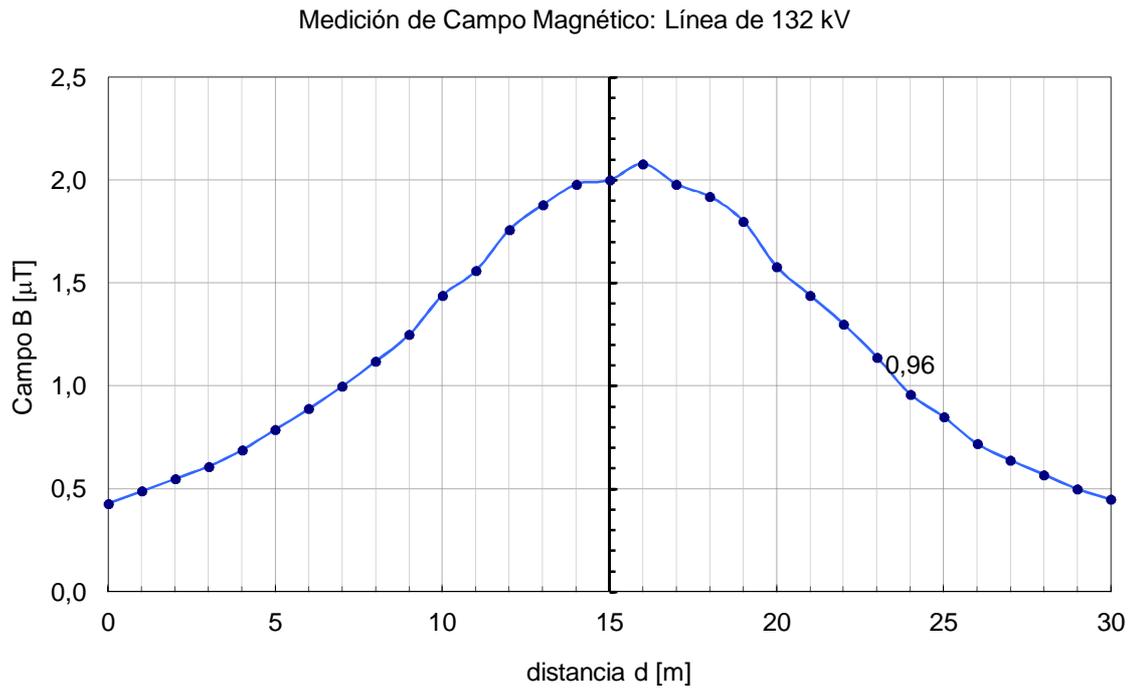
Medición de Campo Eléctrico: Línea de 132 kV Río Hondo -La Banda



Gráf. 16 Curva de CE LAT Río Hondo - La Banda P29/10-ENS345-Anexo 18.

Distancia (m)	Referencia	$\mu$ T Valor medido	Distancia (m)	Referencia	$\mu$ T Valor medido
0	C01	0,43	17	C01	1,98
1	C01	0,49	18	C01	1,92
2	C01	0,55	19	C01	1,80
3	C01	0,61	20	C01	1,58
4	C01	0,69	21	C01	1,44
5	C01	0,79	22	C01	1,30
6	C01	0,89	23	C01	1,14
7	C01	1,00	24	C01	0,96
8	C01	1,12	25	C01	0,85
9	C01	1,25	26	C01	0,72
10	C01	1,44	27	C01	0,64
11	C01	1,56	28	C01	0,57
12	C01	1,76	29	C01	0,50
13	C01	1,88	30	C01	0,45
14	C01	1,98			
15	C01	2,00			
16	C01	<b>2,08</b>			

Tabla 22 ET Río Hondo-La Banda CM



Gráf. 17 Curva de CM LAT Río Hondo - La Banda

## Capítulo 6 Comparativas y su Análisis

### Análisis de las corrientes y de los campos magnéticos de líneas de alta tensión y el crecimiento de estaciones transformadoras y Líneas de AT en el NOA

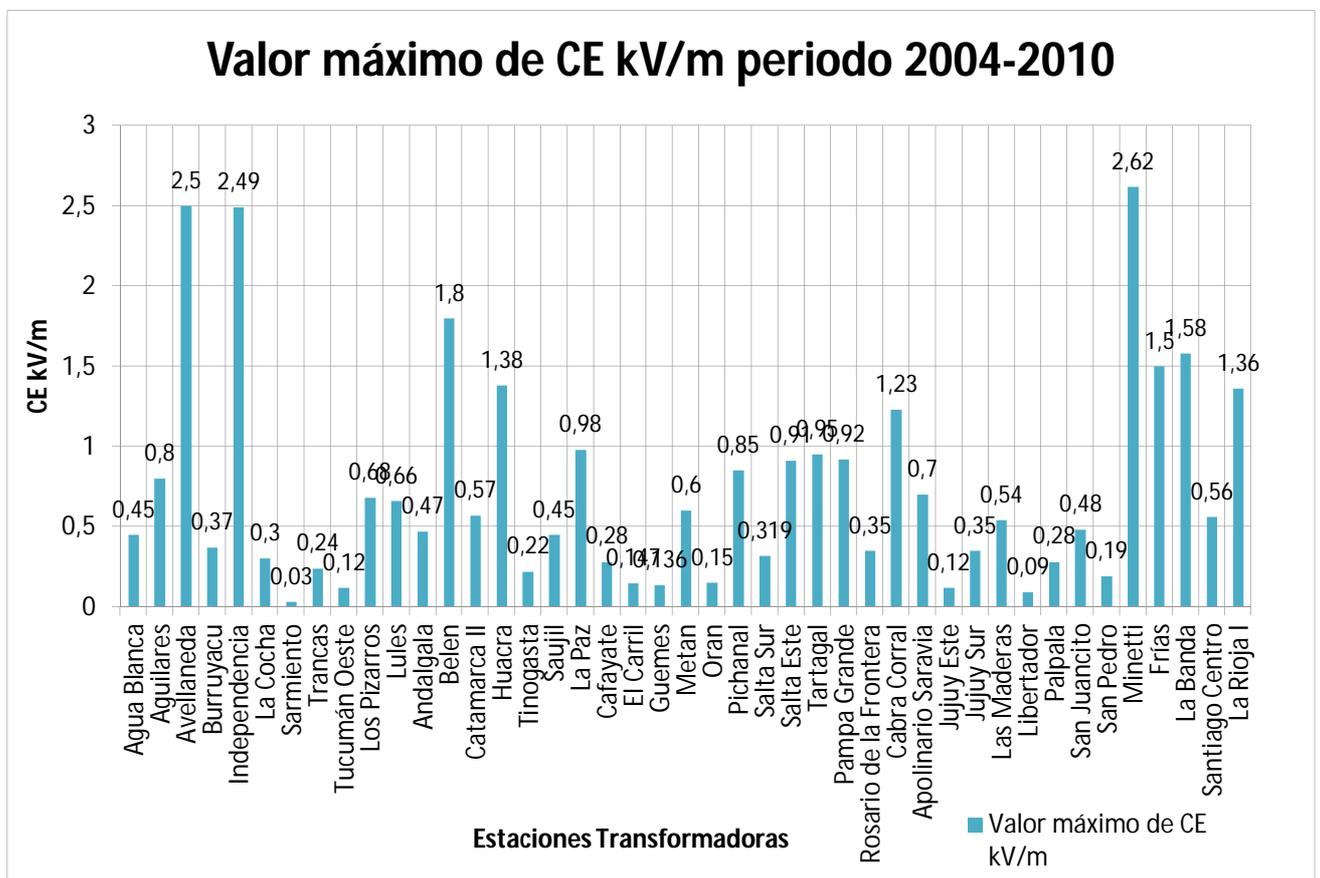
Aquí podemos analizar mediciones de campos magnéticos y eléctricos realizadas por TRANSNOA SA desde el año 2004 al 2010 en estaciones de transformadoras.

Periodo 2004-2010			
Estaciones Transformadoras	Valor máximo de CE kV/m	Valor Máximo de CM $\mu$ T	Corriente de Medición (A)
<b>Tucumán</b>			
Agua Blanca	0,45	1,26	166
Aguilares	0,8	0,33	40
Avellaneda	2,5	4,75	52
Burruyacu	0,37	0,3	58
Independencia	2,49	4,2	215
La Cocha	0,3	0,25	80
Sarmiento	0,03	2	102
Trancas	0,24	0,55	52
Tucumán Oeste	0,12	1,1	80
Los Pizarros	0,68	0,48	55
Lules	0,66	0,64	166
<b>Catamarca</b>			
Andalgalá	0,47	0,75	62
Belén	1,8	0,6	28
Catamarca II	0,57	2,1	216
Huacra	1,38	1,72	141
Tinogasta	0,22	0,19	15

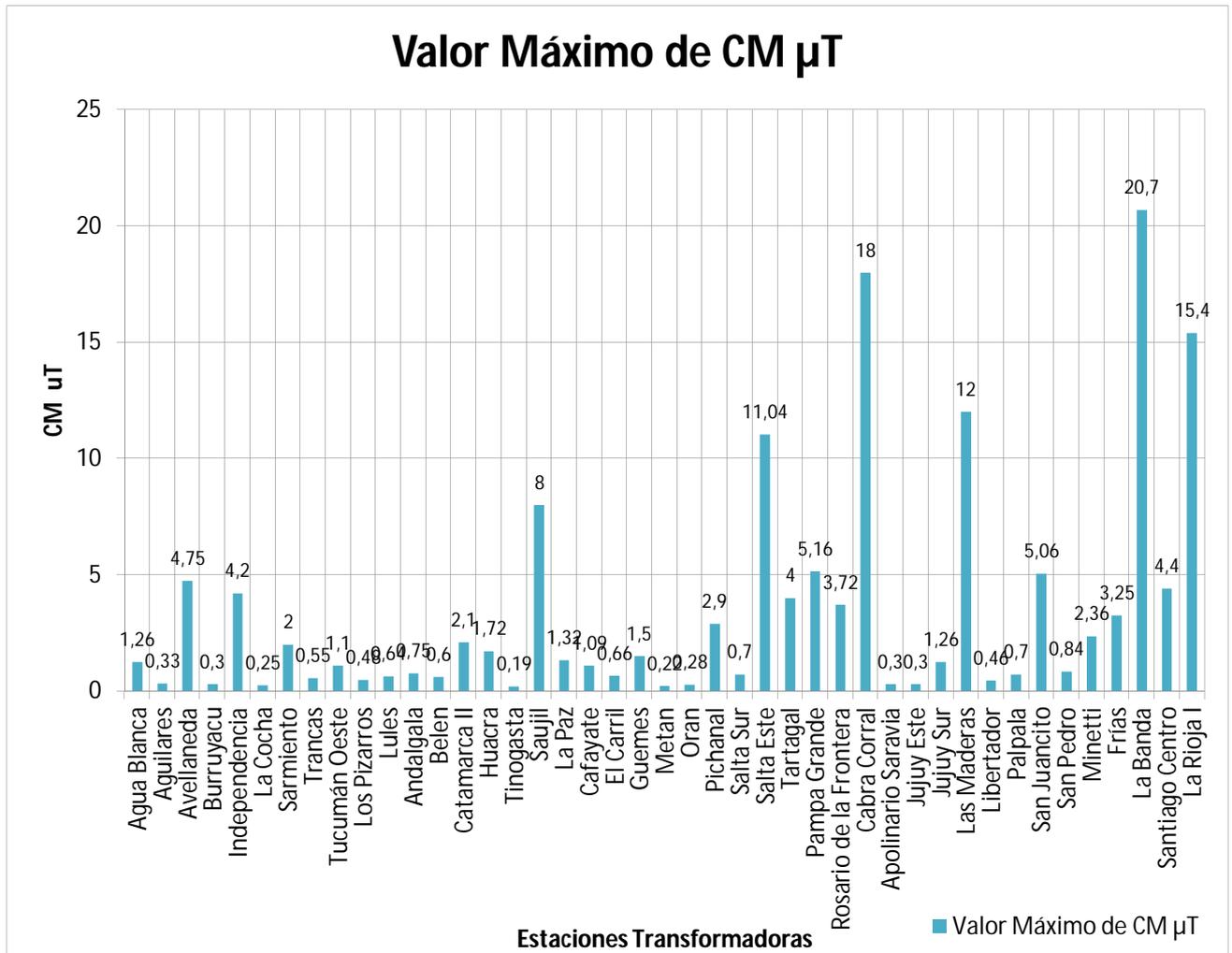
Saujil	0,45	8	37
La Paz	0,98	1,32	24
<b>Salta</b>			
Cafayate	0,28	1,09	20
El Carril	0,147	0,66	21,8
Güemes	0,136	1,5	102
Metan	0,6	0,22	81
Oran	0,15	0,28	30,6
Pichanal	0,85	2,9	97
Salta Sur	0,319	0,7	225
Salta Este	0,91	11,04	447
Tartagal	0,95	4	44
Pampa Grande	0,92	5,16	317
Rosario de la Frontera	0,35	3,72	402
Cabra Corral	1,23	18	256
Apolinario Saravia	0,7	0,3	15,3
<b>Jujuy</b>			
Jujuy Este	0,12	0,3	64
Jujuy Sur	0,35	1,26	152
Las Maderas	0,54	12	185
Libertador	0,09	0,46	159
Palpalá	0,28	0,7	130
San Juancito	0,48	5,06	177
San Pedro	0,19	0,84	185
Minetti	2,62	2,36	150

Santiago del Estero			
Frías	1,5	3,25	248
La Banda	1,58	20,7	129
Río Hondo			
Santiago Centro	0,56	4,4	138
La Rioja			
La Rioja I	1,36	15,4	266

Tabla 21 mediciones 2004-2010 UNLP-UNT



Gráf. 18 valores de CE medidos en las Estaciones Transformadoras del NOA periodo 2004-2010 fuentes UNT-UNLP.



Gráf. 19 Valores de CM en las Estaciones Transformadoras del NOA fuente UNT-UNLP.

Podemos observar en la graf. 18, que los valores del campo eléctrico medidos en la periferia de las Estaciones Transformadoras de 132 kV no superan los 3 kV/m permitidos por normativa, la gráfica representa mediciones realizadas entre el 2005-2010 por las Universidades Nacionales de La Plata y de Tucumán.

Para el caso de los campos magnéticos, en la graf. 19, en Santiago del Estero podemos apreciar, que la ET La Banda el valor de campo magnético es de 20,7  $\mu\text{T}$ , para una corriente de 129 A debajo de la LAT Río Hondo, y cuya corriente nominal es de 400 A. Si consideramos la hipótesis de carga nominal, el valor máximo de campo magnético será de 3,1 veces el valor medido, es decir hasta 64  $\mu\text{T}$ , valor muy superior al máximo permitido de 25  $\mu\text{T}$ . El valor medido se debió a una línea de 33 kV, perteneciente a la distribuidora EDESE<sup>27</sup> de la provincia de Santiago del Estero, cercana al punto de medición que influenciaba sobre el valor medido.

Podemos concluir que los valores de CEM en las estaciones transformadoras para las mediciones realizadas no afectan ambientalmente al medio, aunque se debería seguir midiendo y controlando.

Desde el año 2004, en TRANSNOA SA, se vienen incrementando los kilómetros de líneas de alta tensión y de estaciones transformadoras, en la tabla 22 podemos ver el crecimiento de las líneas por año.

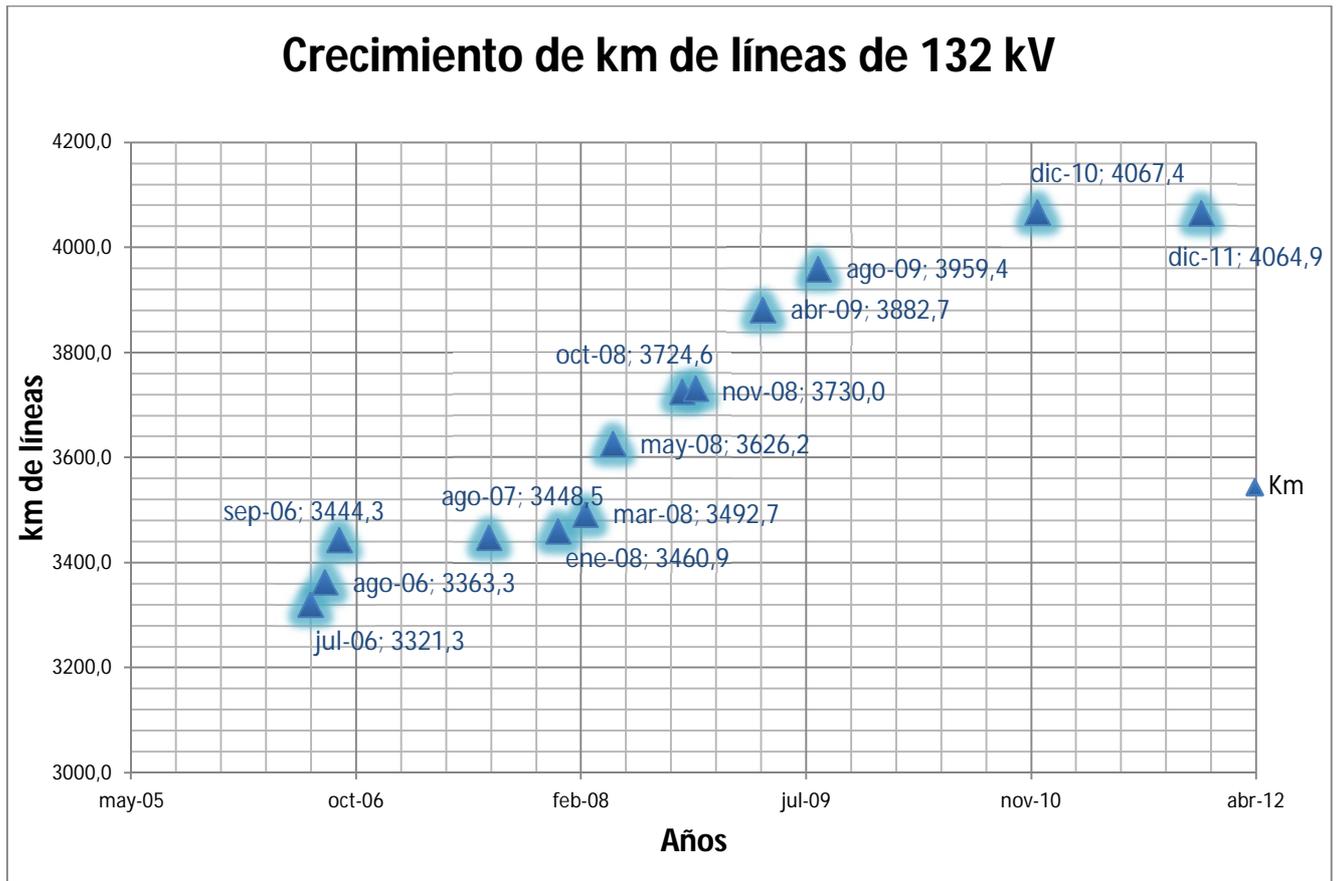
<sup>27</sup> EDESE Distribuidora de Santiago del Estero

### Crecimiento de LAT periodo 2005-2011

Años	km	Δkm
jul-06	3321,3	
ago-06	3363,3	42,0
sep-06	3444,3	81,0
ago-07	3448,5	4,2
ene-08	3448,5	0,0
mar-08	3492,7	44,2
may-08	3626,2	133,5
oct-08	3724,6	98,4
nov-08	3730,0	5,4
abr-09	3882,7	152,8
ago-09	3959,4	76,7
dic-10	4067,4	108,0
dic-11	4064,9	-2,5 <sup>28</sup>
	<b>Incremento 2005-2010</b>	<b>743,7</b>

Tabla 23 fuente Estadísticas TRANSNOA SA

<sup>28</sup>Línea Estática-Independencia desmontada por Seguridad Pública.



Gráf. 20 Crecimiento en km de líneas 2006-2011 fuente Dto. Estadísticas TRANSNOA SA.

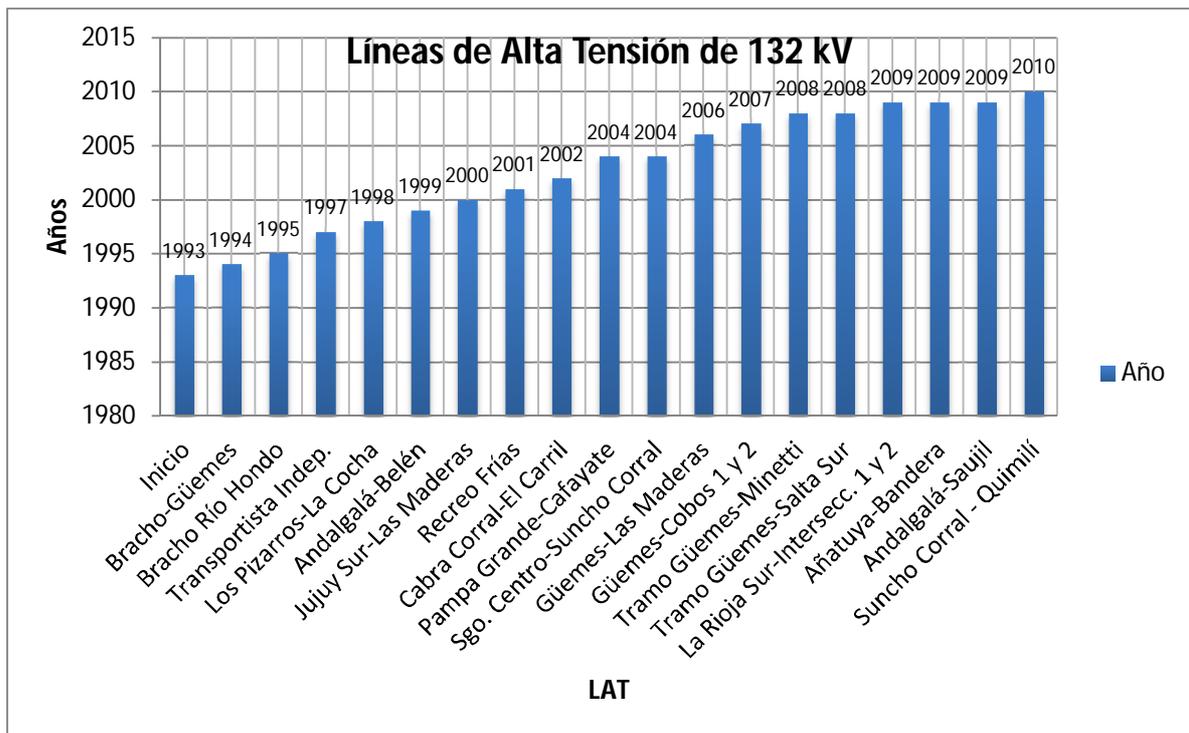
Hasta mayo de 2005 la empresa TRANSNOA SA tenía 3.321,3 km de LAT se puede ver en la Graf. 20 cuál fue el crecimiento en los kilómetros hasta el año 2011, en donde se cuenta con 4064,9 km de LAT.

Si realizamos la resta podemos decir que el crecimiento fue de 743,6 km de líneas en 5 años. Es decir en un promedio de 148 km/año.

Nombre de la LAT	Año
Inicio	1993
Bracho-Güemes	1994
Bracho Río Hondo	1995
Transportista Independiente	1997
Los Pizarros-La Cocha	1998
Andalgalá-Belén	1999
Jujuy Sur-Las Maderas	2000
Recreo Frías	2001
Cabra Corral-El Carril	2002

Pampa Grande-Cafayate	2004
Santiago Centro-Suncho Corral	2004
Güemes-Las Maderas	2006
Güemes-Cobos 1 y 2	2007
Tramo Güemes-Minetti	2008
Tramo Güemes-Salta Sur	2008
La Rioja Sur-Intersecc. 1 y 2	2009
Añatuya-Bandera	2009
Andalgalá-Saujil	2009
Suncho Corral - Quimilí	2010

Tabla 24 LAT que se sumaron al Sistema interconectado desde el año 1993 al 2010

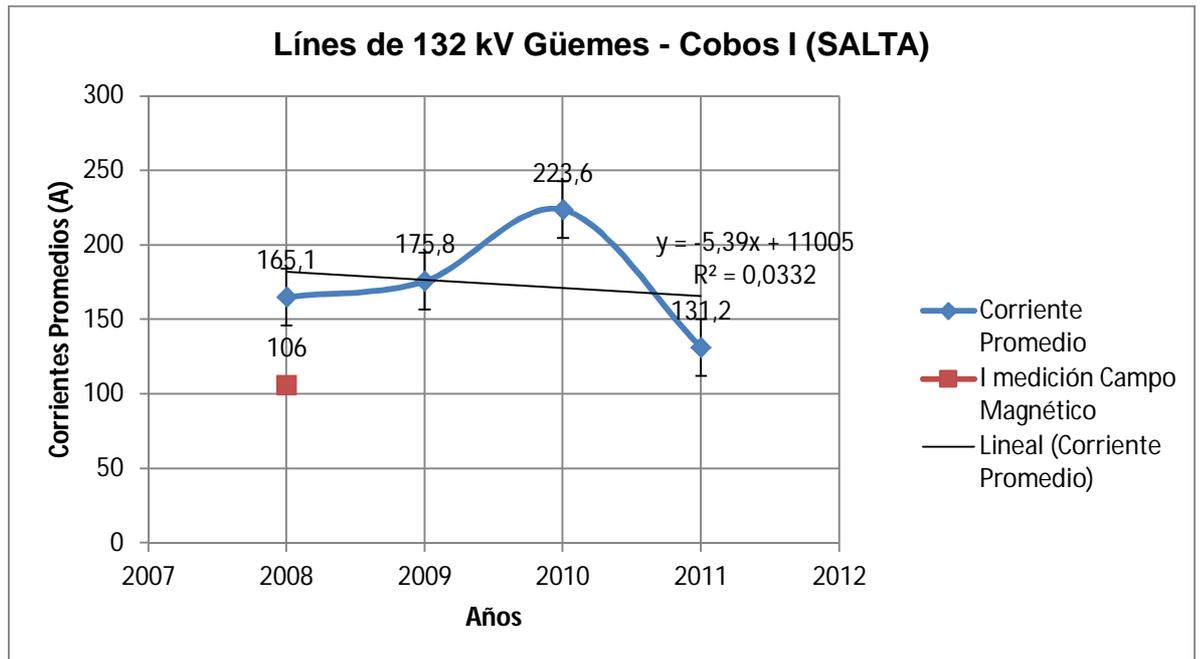


Gráf. 21 Crecimiento de las LAT y ET Fuente TRANSNOA SA

En la gráfica 21 se ve el año en el cual se construyen las LAT. Para el caso del año 2009 aparecen tres líneas de 132 kV.

Analicemos ahora los valores de las corrientes de carga en algunas líneas de alta tensión desde el año 2005 en adelante.

## Güemes – Cobos1

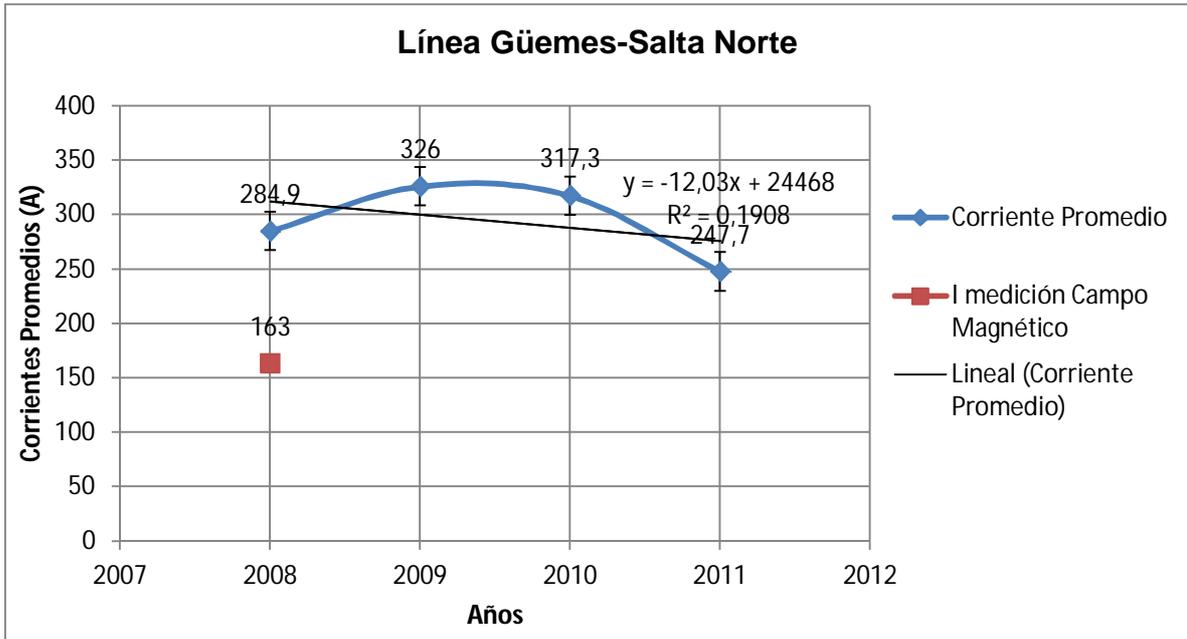


Gráf. 22 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA, el error horizontal no tiene influencia.

Para la LAT Güemes-Cobos se encuentra en la zona de influencia de la línea de 500 kV, la corriente disminuye debido a que se produce una distribución del flujo de carga por la aparición de la línea de 500 kV. La línea de 132 kV tiene una corriente admisible  $I_{adm} = 760$  A, con transformadores de corriente<sup>29</sup> de origen en la estación transformadora de 600 A y de línea final de 400 A, por lo que el límite aplicable a la corriente de carga es de 400 A, máxima corriente que puede circular por el conductor entre los dos tramos, debido a la limitación del TI. Si calculamos el valor del campo magnético para el valor de 760 A tendremos  $B_{m\acute{a}x} = 7,82$   $\mu$ T. Variación porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 58,6%.

<sup>29</sup> Transformador de Intensidad o Corriente (TI)

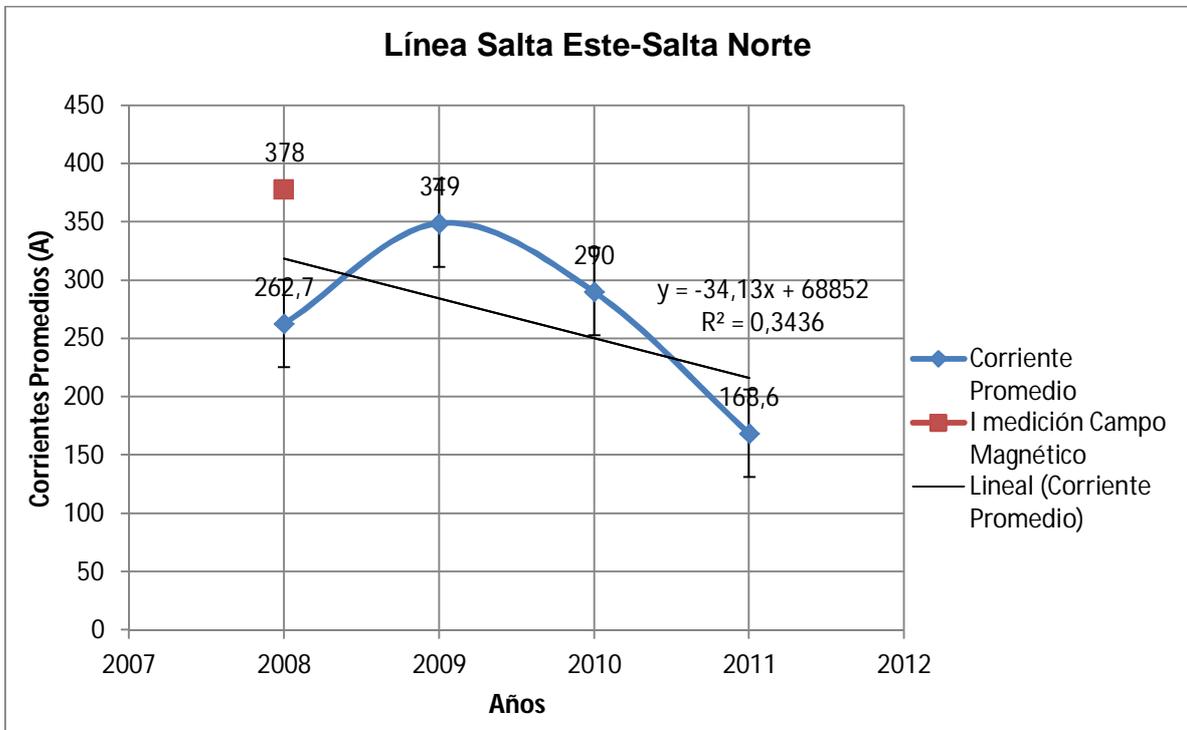
Güemes – Salta Norte



Gráf. 23 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

Para la LAT Güemes-Salta Norte,  $I_{adm} = 760$  A limitación por  $TI = 600$  A, valor del Campo magnético  $B = 1,8 \mu T$  con una corriente  $I = 185$  A, para  $760$  A tendremos un valor de  $B_{m\acute{a}x} = 7,4 \mu T$ . Variación porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 78,06%.

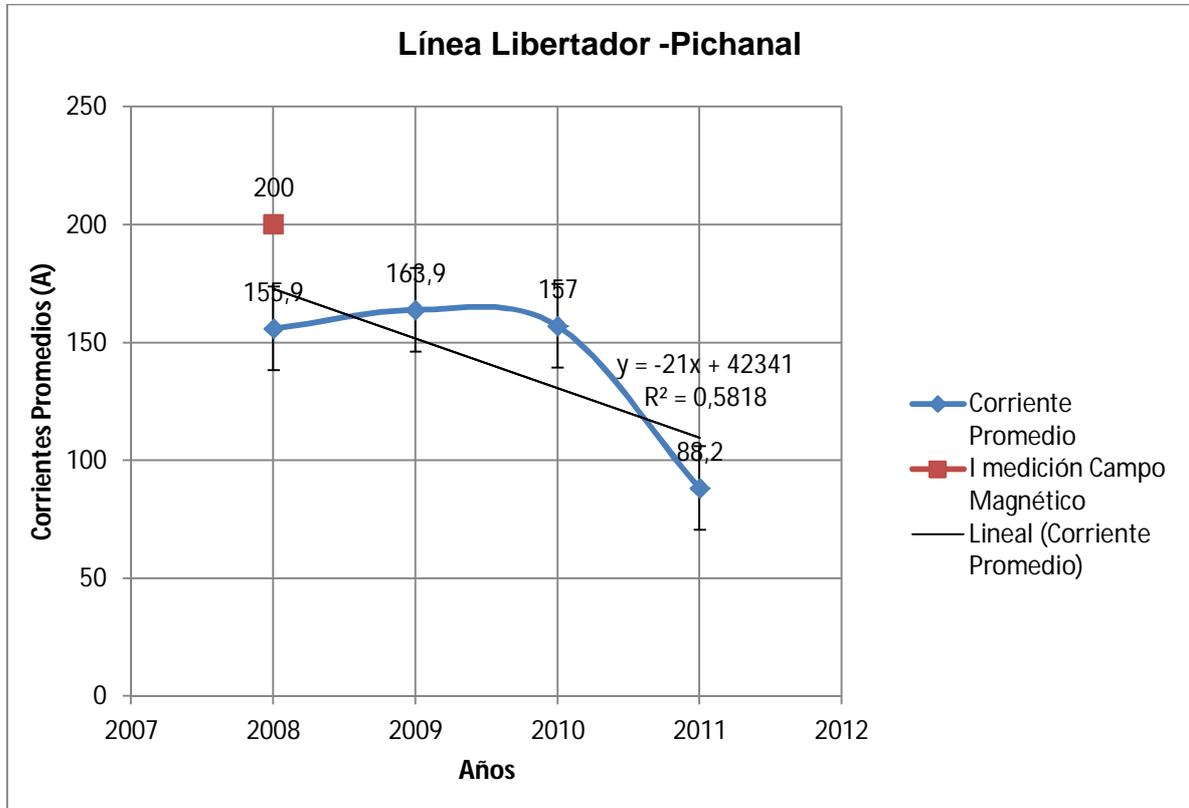
Salta Este-Salta Sur



Gráf. 24 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

Para la LAT Salta Este-Salta Sur,  $I_{adm} = 760$  A limitación por  $TI = 500$  A, valor de campo magnético  $B = 4,92 \mu T$  con una corriente  $I = 378$  A, para  $760$  A tendremos un valor de  $B_{m\acute{a}x} = 9,89 \mu T$ . Variación porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 58,5%.

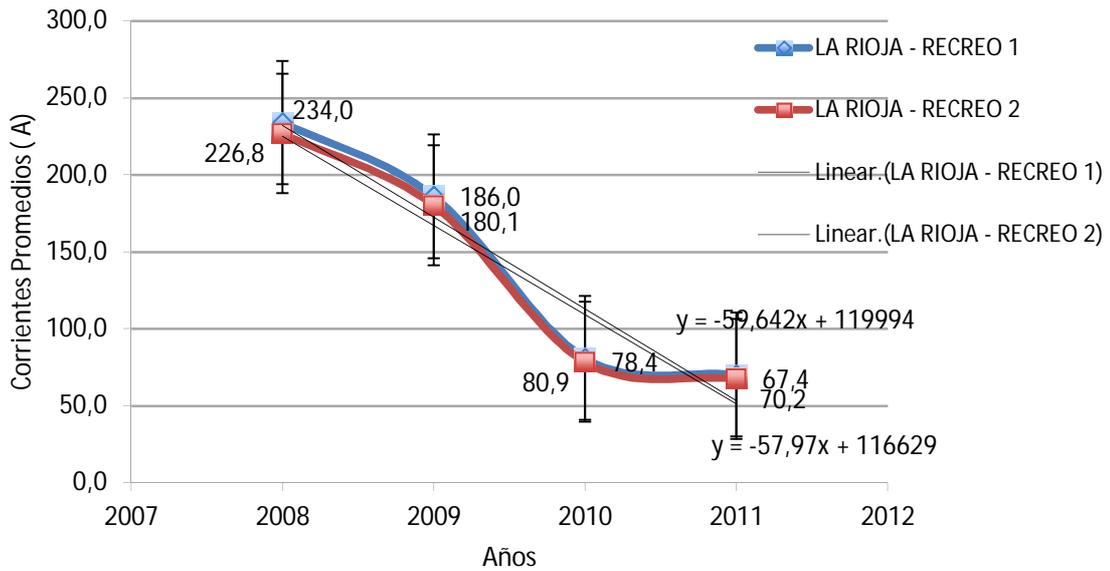
### Libertador-Pichanal



Gráf. 25 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

Para la LAT Libertador-Pichanal,  $I_{adm} = 670$  A limitación por  $TI = 300$  A, valor de campo magnético  $B = 1,92 \mu T$  con una corriente  $I = 200$  A, para  $670$  A tendremos un valor de  $B_{m\acute{a}x} = 6,4 \mu T$ . Variación porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 56,1%.

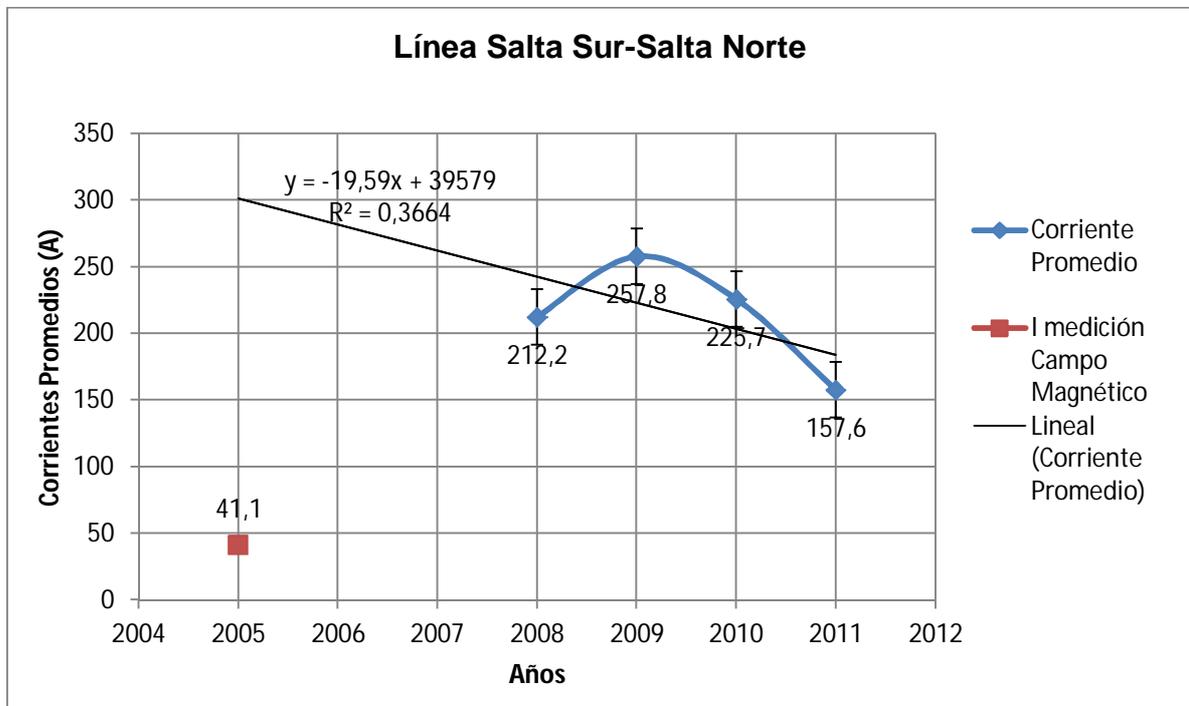
### La Rioja-Recreo 1 y 2



Gráf. 26 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

Para la LAT Recreo-La Rioja,  $I_{adm} = 760$  A limitación por  $Tl = 600$  A, valor de campo magnético  $B = 1,48\mu T$  con una corriente  $I = 83$  A, para 760 A tendremos un valor de  $B_{m\acute{a}x} = 13,55\mu T$ , aqu\i se tiene influencia en la LAT debido a que es una doble terna. Variaci3n porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 85,96%.

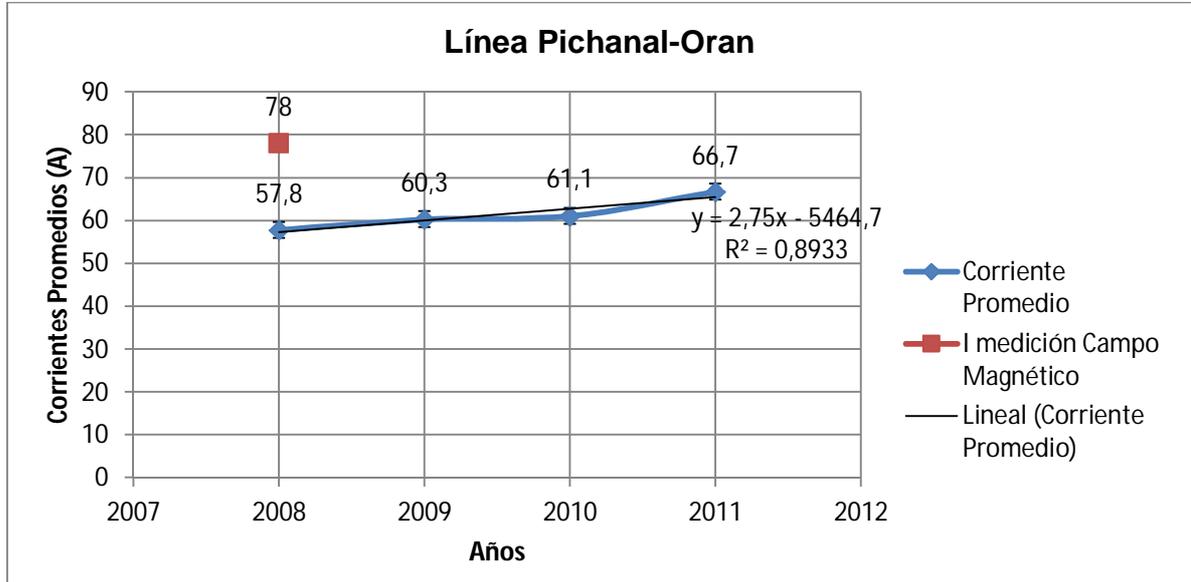
### Salta Sur-Salta Norte



Gráf. 27 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

Para la LAT Salta Sur-Salta Norte,  $I_{adm} = 760$  A limitación por  $TI = 300$  A, valor de campo magnético  $B = 0,43\mu T$  con una corriente  $I = 41,1$  A, para  $760$  A tendremos un valor de  $B_{m\acute{a}x} = 7,9\mu T$ . Variación porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 69,83%.

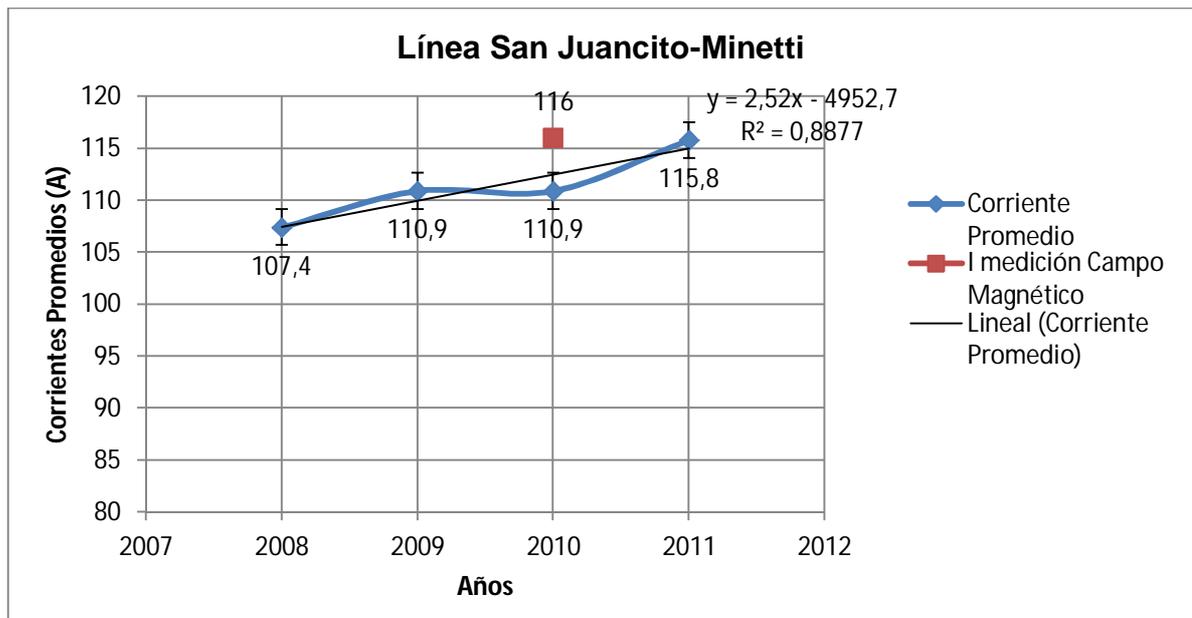
**Pichanal-Oran**



Gráf. 28 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

Para la LAT Pichanal-Oran,  $I_{adm} = 415$  A limitación por  $TI = 120$  A, valor de campo magnético  $B = 1,13\mu T$  con una corriente  $I = 78$  A, para  $415$  A tendremos un valor de  $B_{m\acute{a}x} = 6,01\mu T$ . Variación porcentual de la corriente entre 2010-2011 del 8,54%.

**San Juancito-Minetti**

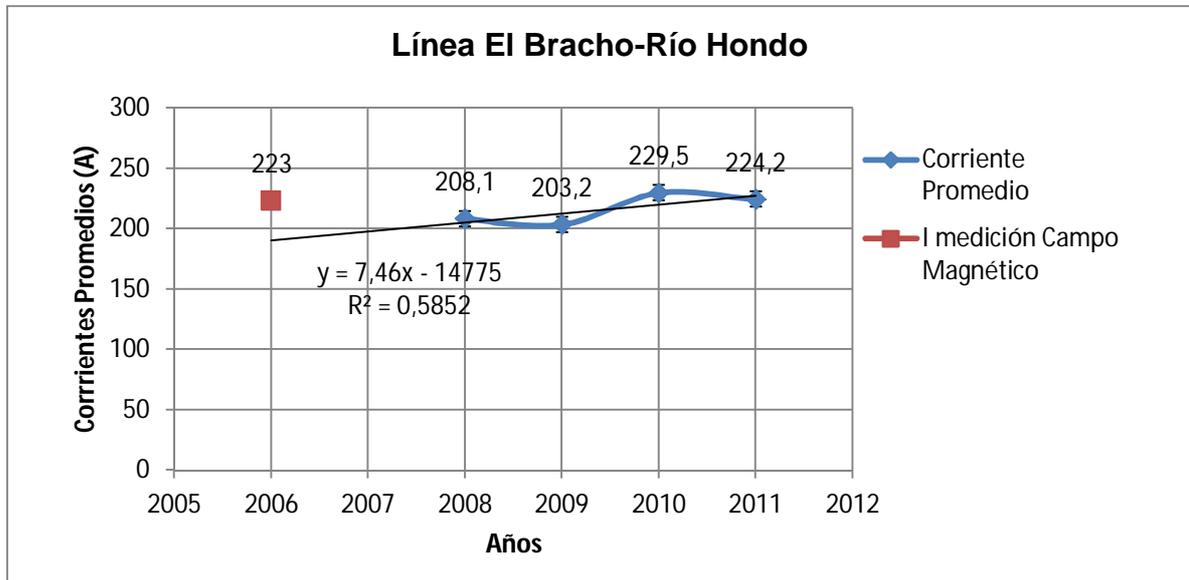


Gráf. 29 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

La generación de Cobos es de aproximadamente de 600 MW, por lo que inyecta un flujo de carga hacia la Provincia de Tucumán por la LEAT de 500 kV Cobos-El Bracho de

aproximadamente entre 350 a 500 MW, ésta carga va por la LAT de 132 kV desde Cobos a Güemes, el que continúa hacia Minetti y San Juancito; aumentando así las corrientes de carga en la LAT Minetti-San Juancito y Güemes-San Juancito.

### El Bracho-Río Hondo



Gráf. 30 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

En las gráficas 21 a 27 podemos apreciar como algunas líneas de alta tensión modificaron sus corrientes de cargas a partir del año 2008.

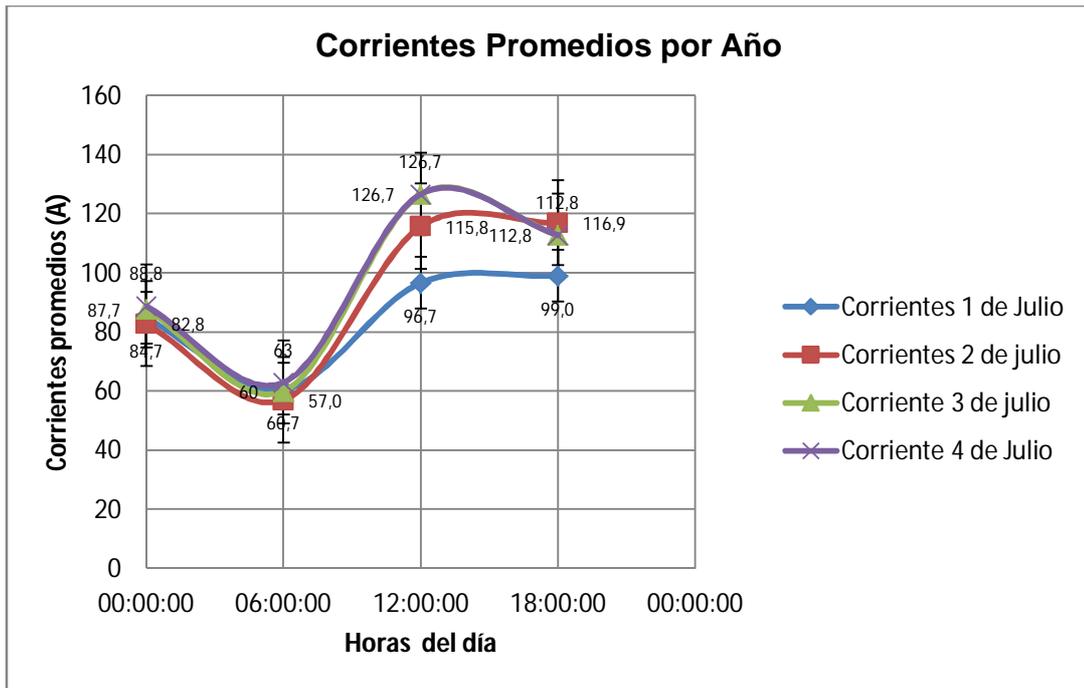
Para la confección de las gráficas se tomó la información de corrientes medidas desde el año 2008 hasta el 2011, no se pudo contar con la información de años anteriores debido a que la Empresa TRANSNOA SA al momento de la recolección de datos se encontraba migrando de programas de su sistema informático a uno más moderno.

Los datos de las corrientes con los cuales se realizan las gráficas es el valor promedio de las corrientes anuales.

El sistema de TRANSNOA SA guarda en su base de datos las corrientes promedios de las líneas cada quince (15) minutos, es decir, que tenemos 35.040 mediciones de corrientes promedios en un año, para poder graficar las corrientes promedios por años, para cuatro años se contaba con 140.160 datos mediciones, es por ello, que se tomó como criterio para graficar los datos más representativos del día, es decir, los valores de corrientes promedios cada seis (6) horas: 00:00, 06:00, 12:00 y 18:00 horas, que representan la variación típica de la corriente de carga en horarios de consumo máximos.

Horas	Corrientes 1 de Julio	Corrientes 2 de julio	Corriente 3 de julio	Corriente 4 de Julio
00:00:00	84,7	82,8	87,7	88,8
06:00:00	60,7	57,0	60	63
12:00:00	96,7	115,8	126,7	126,7
18:00:00	99,0	116,9	112,8	112,8

Tabla 25 Valores de corrientes promedios



Gráf. 31 Curva de las corrientes promedios, Fuente TRANSNOA SA

En la Graf. 31 vemos la representación de las corrientes promedios por año agrupadas cada seis horas.

Para el cálculo de la corriente de carga promedio anual se utilizó la Ec. 16 y se procedió a realizar las gráficas 22 hasta la 30.

El valor promedio de la corriente de carga se puede calcular con la ecuación:

$$\text{Ec. 16 } I_{\text{promedio}} = \frac{\sum I_{\text{ipromedio mensual}}}{35.040} \text{ Donde } i = \text{ mediciones cada 6 horas.}$$

Para el cálculo de las corrientes promedios se contaba con más de 7000 mediciones.

Del análisis de ellas se desprende, que a partir del año 2009, se acentúa el decrecimiento de las corrientes en algunas líneas de alta tensión, debido a la aparición de las LEAT<sup>30</sup> de 500 kV en el transporte de energía eléctrica en la región NOA. Las cuales producen una redistribución del flujo de carga en la región.

Las líneas de 500 kV en el NOA, corren paralelas a varias líneas de TRANSNOA SA ver ilustración 4.

<sup>30</sup>LEAT Líneas de extra alta tensión (500 kV)

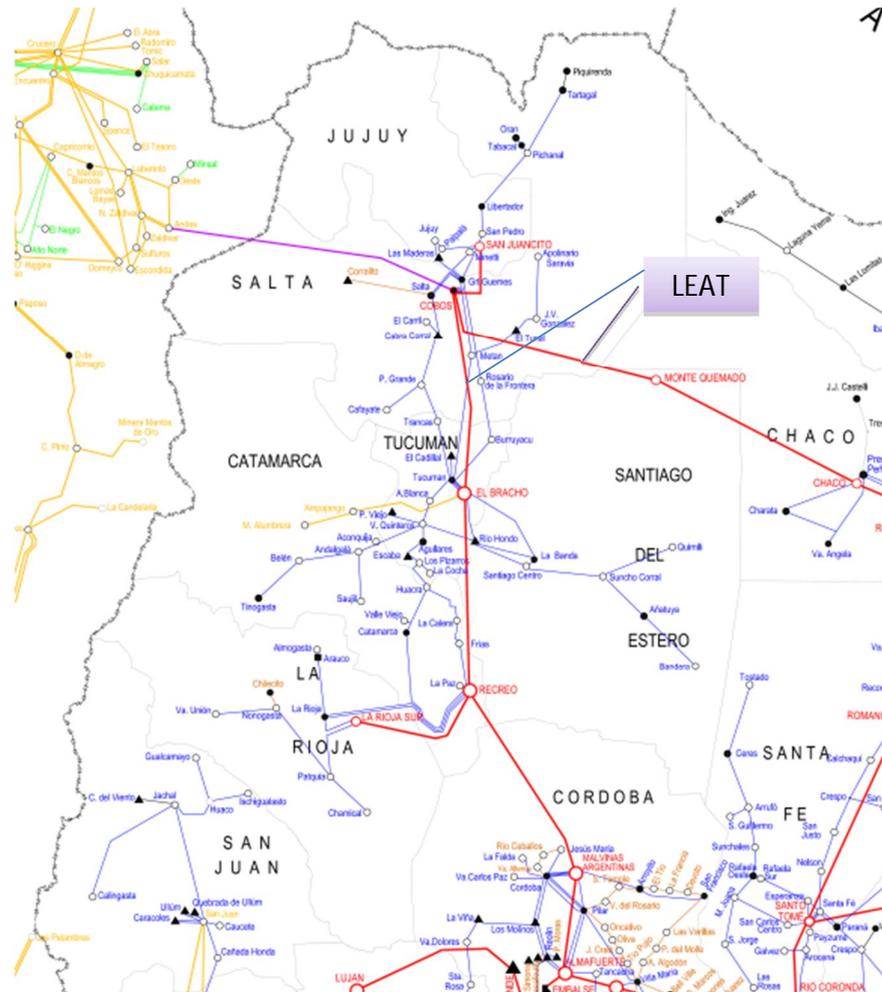


Ilustración 4 Geográfico NOA

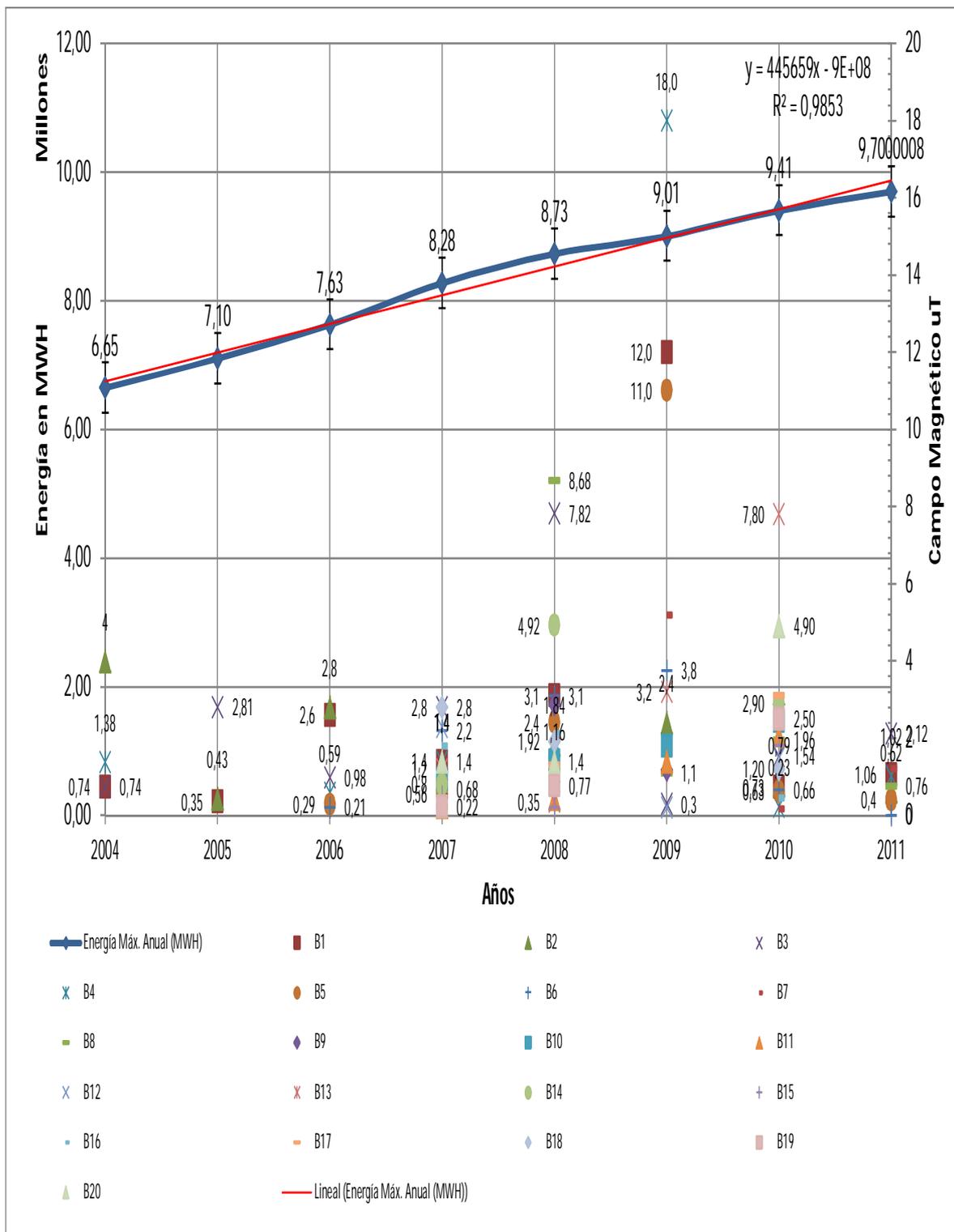
Podemos ver en la ilustración 4, que desde San Juancito Provincia de Jujuy, corre una línea de 500 kV hacia la provincia de Salta y desde allí hasta Tucumán y Santiago del Estero

La generación de Cobos es de aproximadamente de 600 MW, por lo que provoca la inversión del flujo de carga hacia la Provincia de Tucumán por la LEAT de 500 kV Cobos-El Bracho de aproximadamente 485 MW, resultando un flujo de corriente de carga en la línea de 132 kV desde Cobos a Güemes, el que continúa hacia Minetti y San Juancito; aumentando así las corrientes en la LAT Minetti-San Juancito y Güemes-San Juancito ver gráfica 28.

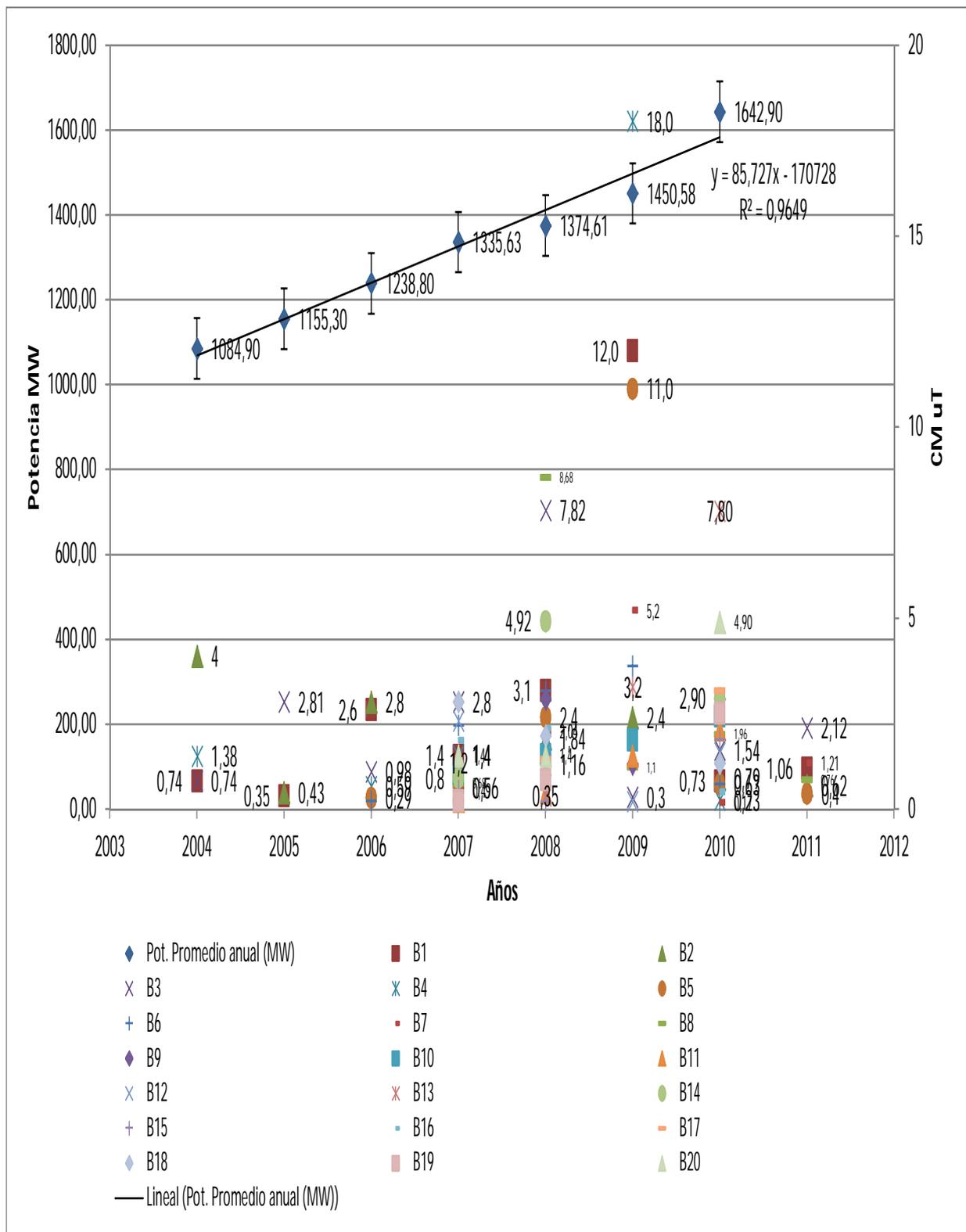
Desde Güemes hasta El Bracho la línea 500 kV corre paralela a las líneas de TRANSNOA SA, tramos Cobos-Metan-Rosario de la Frontera- El Cadillal, volviendo a ocurrir lo mismo en el tramo La Paz-La Rioja Sur. El recorrido de la LEAT genera una redistribución del flujo de carga produciendo una disminución de las corrientes en las LAT de 132 kV, gráfica 21 Güemes-Cobos 1, gráfica 22 Güemes-Salta Norte, gráfica 24 Salta Este-Salta Sur, gráfica 25 Pichanal-Libertador, gráfica 26 La Rioja-Recreo 1 y 2 y gráfica 27 Salta Sur-Salta Norte.

En el caso de la gráfica 28 Pichanal-Oran la corriente de carga aumenta, debido a que la línea de 500 kV no afecta el flujo de carga y con el crecimiento poblacional e industrial de Oran la demanda crece. Tampoco se debe perder de vista que ingresó al sistema de generación el Ingenio Tabacal (Salta) con 40 MVA y Piquirenda (Salta) con 30MVA.





Gráf. 32 Crecimiento de Energía en función del Tiempo y Mediciones de CM en el Tiempo de las LAT. Fuente TRANSNOA SA

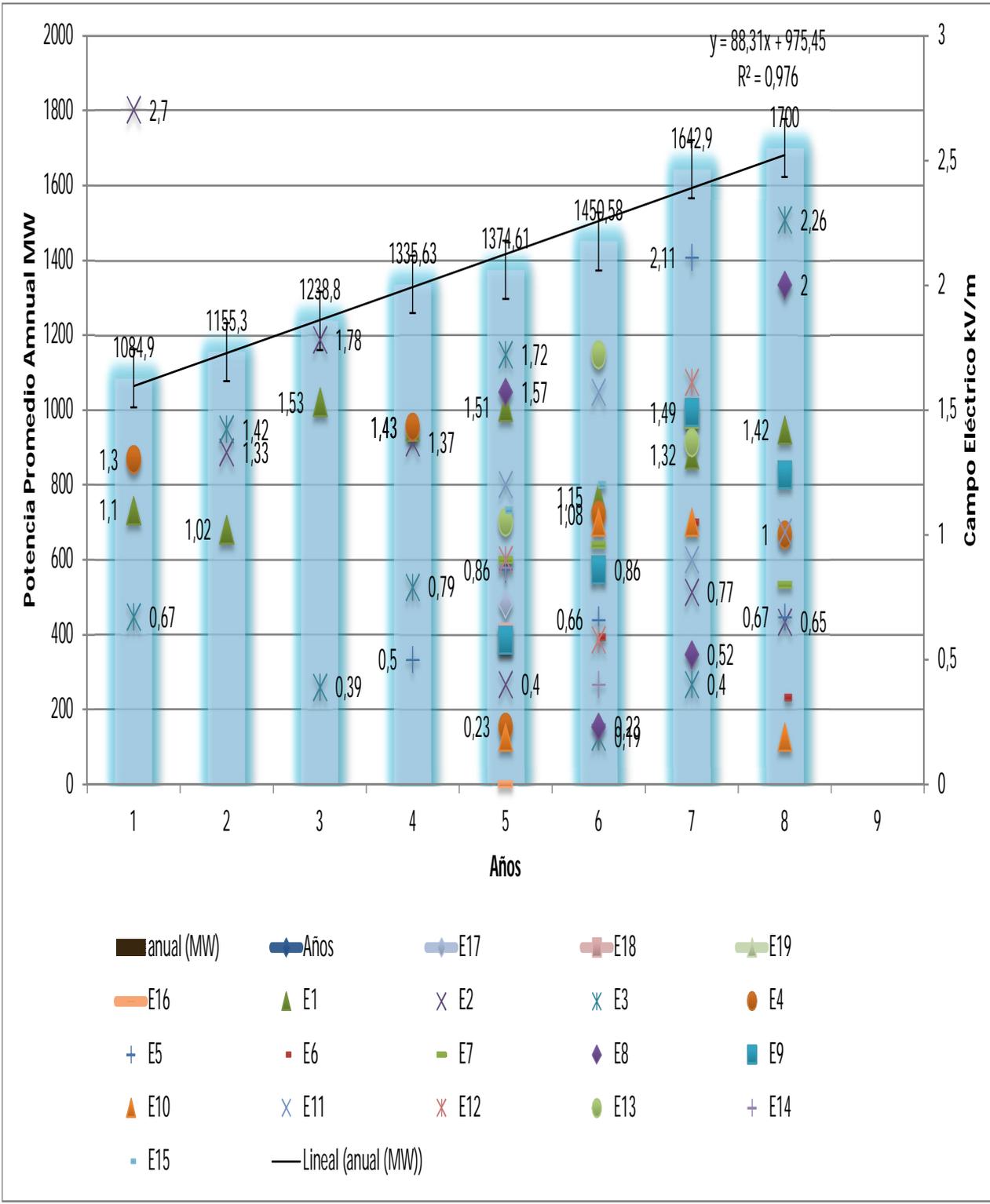


Gráf. 33 Crecimiento de Potencia en función del Tiempo y Mediciones de CM en el Tiempo de las LAT's. Fuente TRANSNOA SA

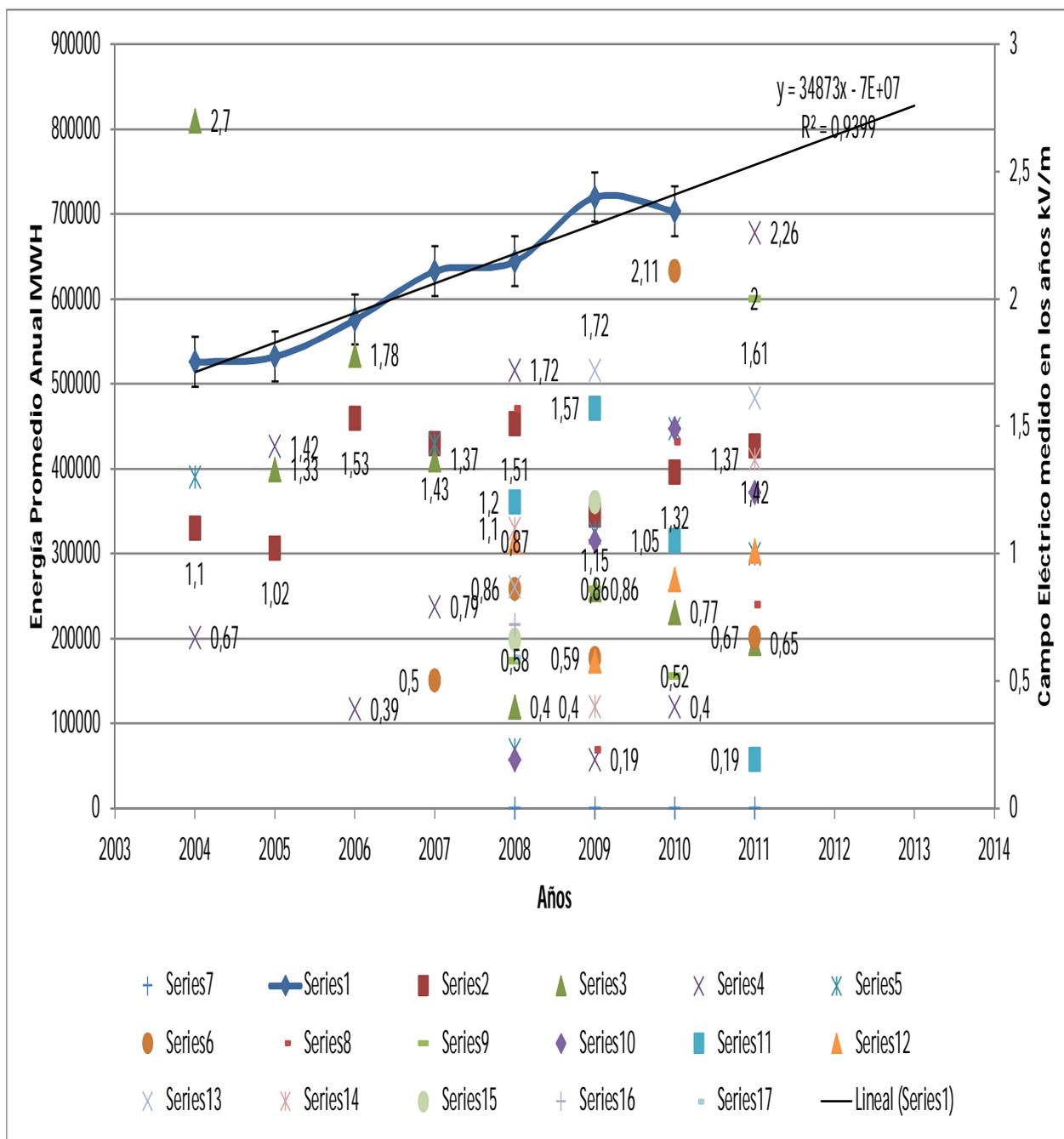
Años	Pot. Promedio anual (MW)	Energía Máx. Anual (MWH)	Mediciones de Campos Eléctricos kV/m																		
			E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19
2004	1084,90	525876,57	1,1	2,7	0,67	1,3															
2005	1155,30	532085,20	1,02	1,33	1,42																
2006	1238,80	575802,49	1,53	1,78	0,39																
2007	1335,63	632840,29	1,43	1,37	0,79	1,43	0,5														
2008	1374,61	644492,40	1,51	0,4	1,72	0,23	0,86	0,9	0,9	1,57	0,58	0,19	1,2	0,9	1,05	0,87	1,1	0,66	0,72	0,59	0,58
2009	1450,58	720097,93	1,15	0,86	0,19	1,08	0,66	0,59	0,96	0,23	0,86	1,05	1,57	0,58	1,72	0,40	1,20				
2010	1642,90	703123,76	1,32	0,77	0,40	1,49	2,11	1,05	1,44	0,52	1,49	1,05	0,90	1,61	1,37						
2011	1600,00	S/D	1,42	0,65	2,26	1	0,67	0,35	0,8	2	1,24	0,19	1,01								

Tabla 27 Energía, Potencia y CE medido en LAT's Fuente TRANSNOA SA

Los valores representados en la tabla 27 son aquellos valores medidos de campos Eléctricos desde el año 2004 hasta el 2011 por la UNT y la UNLP en las Líneas de Alta Tensión en las seis provincias en las que TRANSNOA SA tiene el transporte eléctrico.



Gráf. 34 Crecimiento de la Potencia en función del Tiempo, Mediciones de CE en el Tiempo. Fuente TRANSNOA SA 1: 2003, 2: 2004 -8: 2011.



Gráf. 35 Crecimiento de la Energía en función del Tiempo, Mediciones de CE en el Tiempo. Fuente TRANSNOA SA

# Capítulo 7 Conclusiones

---

## Conclusiones:

El pronóstico y análisis de los impactos ambientales considerados significativos dependen en gran medida del conocimiento de los procesos físicos, biológicos, tecnológicos, socioeconómicos y culturales que pueden verse afectados por la acción de la compatibilidad de los campos electromagnéticos con el medio.

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores se considera que para las construcción de líneas y estaciones transformadoras se puede realizar el análisis propuesto por Conesa Fernández - Vítora (1997)<sup>31</sup> y la valoración de la Resolución 1725/98 y el anexo de la misma del Ente Regulador de Energía (ENRE). Ambas valoraciones son cualitativas.

Las estaciones transformadoras de 132 kV se encuentran confinadas y aisladas en predios de la Empresa TRANSNOA SA, manteniéndolas alejadas de las personas, animales, etc. Sólo tienen acceso personal capacitado.

Para el caso de las líneas de alta tensión la situación es más compleja, ya que atraviesan campos cultivados, pueblos y ciudades en su trayecto. El ingreso de las líneas a las estaciones transformadoras que se encuentran dentro de las grandes ciudades por el crecimiento demográfico, debe ser vigilado y controlado con mediciones de los CEM.

En lo referente al estudio realizado en éste trabajo de investigación, los valores de los campos eléctricos y magnéticos, que fueron medidos a través de los años por la Universidad Nacional de Tucumán y la Universidad Nacional de La Plata en las zonas perimetrales de las estaciones transformadoras, resultaron ser de un promedio de 0,74 kV/m para el campo eléctrico y de 3,41  $\mu\text{T}$  para el campo magnético, por lo que no son lo suficientemente elevados como para que genere daños ambientales o riesgos a su exposición.

En el caso de las líneas de alta tensión en ningún caso superaron el valor máximo permitido.

Si bien los valores promedios de E y B, no son elevados, se debe tener especial cuidado con los valores máximos exigidos por la legislación en la república Argentina de 3 kV/m para el campo eléctrico y 25  $\mu\text{T}$  para el campo magnético en el borde de la franja de servidumbre de la línea de 132 kV y en los bordes de las estaciones transformadoras. Además debe respetarse las Resolución SRT 295/03, estos valores límites se refieren a las densidades de flujo magnético estático a las que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin causarles efectos adversos para la salud. Estos valores deben usarse como guías en el control de la exposición de los campos magnéticos estáticos y no deben considerárseles como límites definidos entre los niveles de seguridad y de peligro.

Desde el punto de vista de la medición de los CEM la Resolución 555/01 del ENRE explicita que se deben medir todas las LAT y ET cada tres años.

Una LAT está limitada en su carga eléctrica por tres factores: el primer factor es el térmico, teniendo el conductor una corriente máxima admisible, el segundo inconveniente son los transformadores de intensidad (TI) que sirven para la medición en los extremos de las líneas ubicados en las estaciones transformadoras los cuales admiten una corriente máxima por diseño (600 A, 400 A, etc.), valores que no deben ser superados, existen casos en que el conductor admite corrientes de 760 A y los TI<sup>32</sup> solo permiten la circulación de

---

<sup>31</sup> Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

<sup>32</sup>TI: transformador de corriente.

---

corriente de menos de 600 A o según sea el caso de 400 A. y el tercer factor es la limitación de circulación de la bobina de onda portadora.

En lo referente a los riesgos a la exposición de los campos electromagnéticos de frecuencias industriales (50 Hz) la Organización Mundial de la Salud sigue investigando sobre el tema su tratamiento y comparación de los límites está explicada y referida en el capítulo 1 Marco Teórico.

Todos los organismos científicos han expresado, que cumplido con los límites recomendados, no existen riesgos para la salud pública, por exposición a los campos electromagnéticos generados por las instalaciones eléctricas. Los únicos efectos conocidos y comprobados son los de corto plazo (inmediato). Quedando en discusión los efectos a largo plazo.

Actualmente no existen razones científicas o sanitarias suficientes que justifiquen la modificación de los límites de exposición a los campos electromagnéticos.

Debido a los interrogantes que todavía existen y en consonancia con los principales organismos internacionales y nacionales se deben mantener abiertas las líneas de investigación sobre la materia.

Desde los años 1995 al 2010 la demanda de Potencia Eléctrica en el NOA creció en un promedio de 6,05% anual

Se construyeron entre el periodo 1995-2011 alrededor de 26 estaciones transformadoras y 1563 km de líneas de alta tensión de 132 kV.

Con el aumento de la generación eléctrica hubo un crecimiento del sistema eléctrico y de su capacidad de transporte de 842 MVA en 1997 a 1642,9 MVA en 2010, fue también notorio, que líneas que antes estaban sobrecargadas eléctricamente hoy transportan menor corriente de carga y el flujo de la carga se redistribuyó en el NOA con la aparición de las líneas de 500 kV.

También hicieron la aparición las generadoras de energía eléctrica de ENARSA que se instalaron al lado de las estaciones transformadoras de: La Rioja, Catamarca, Añatuya, Libertador, Tartagal, etc. Y con lo cual se coadyuvó a que las cargas transportadas por las líneas sean menores y por consiguiente los campos magnéticos sean más bajos.

En el capítulo 6 en las gráficas 22 hasta la 30 inclusive, se puede observar que la tendencia en la mayoría de las líneas de alta tensión de 132 kV de la zona Norte es la disminución de las corrientes promedio de carga, por lo tanto la consecuente disminución de los campos magnéticos.

En la LAT que une las ET Pichanal-Oran, Río Hondo-El Bracho y Minetti-San Juancito, se puede ver que en éste caso las corrientes aumentaron ya que el único electroducto de 132 kV.

Para la línea Minetti-San Juancito es un caso particular, la generación de Cobos es de aproximadamente de 600 MW, por lo que provoca la inversión del flujo de carga hacia la Provincia de Tucumán por la LEAT de 500 kV Cobos-El Bracho de aproximadamente 485 MW, resultando un flujo de corriente de carga en la línea de 132 kV desde Cobos a Güemes, el que continúa hacia Minetti y San Juancito; aumentando así las corrientes en la LAT Minetti-San Juancito y Güemes-San Juancito.

Del análisis de los datos realizados, se puede concluir que el crecimiento de la potencia transmitida en el sistema NOA no genera un incremento de los campos eléctricos y magnéticos medidos según la normativa nacional. Este resultado se ve confortado por el análisis de los campos vecinos a las LAT y ET en función del tiempo. La adecuación técnica del sistema NOA al crecimiento de la demanda eléctrica es acompañada por el incremento del número de kilómetros de líneas y de estaciones, lo que reduce el incremento de la carga

---

en las líneas y estaciones originales. Del análisis se observa claramente cómo la habilitación de las nuevas instalaciones en 500 kV ha permitido reducir, desde el año 2010, los valores de campos magnéticos medidos. Aplicando este resultado en la extrapolación de los resultados hacia el futuro, se puede concluir también que, si se realizan las obras necesarias para mantener la calidad técnica del servicio eléctrico, como efecto favorable accesorio se logra reducir los niveles de campos EM en el ambiente (medidos con la metodología normalizada) vecino a las instalaciones originales.

En las gráficas N°34 y N°35 se puede observar que los valores medidos de campo eléctrico en función de los años, los mismos presentan una dispersión importante y no muestran una tendencia estadística a crecer o disminuir, éste resultado experimental resulta razonable porque el campo eléctrico no depende de la corriente sino de la tensión del sistema de transmisión eléctrica.

Con respecto a las gráficas N°18 y N°19 se aprecian valores de CE elevados y menores a 3 kV/m en las ET's: Avellaneda, Independencia y Minetti, en el caso de Avellaneda e Independencia los valores de tensión se mantienen constante pudiendo variar en +/- 5%, que se denomina banda de transmisión nominal (125 kV a 138 kV), para el caso de Minetti su tensión puede llegar a 145 kV, incremento de un 10% (banda de transmisión extraordinaria, se incrementa el valor de tensión para llegar a los extremos de la línea con valores de tensión nominal de 132 kV), por lo que ésta estación y aquellas próximas a las ET's de 500kV, se deberán monitorear con mayor frecuencia. Con respecto a los valores de campos magnéticos para las ET's: Cabra Corral, La Banda y La Rioja I se deben a la influencia de los conductores de media tensión en el perímetro de las estaciones transformadoras; si a futuro hubiera un incremento de carga en esas estaciones, se deberán re-diseñar la distribución de los conductores de media tensión (cantidad de ternas, profundidad de trinchera, secuencias de fases), para mitigar el CM y se recomienda realizar las mediciones de control con frecuencia.

Por lo expuesto existe una compatibilidad de las líneas de alta tensión y estaciones transformadoras con el medio que las rodea, no obstante la generación de campos electromagnéticos crea la necesidad de mantener un control de ellos mediante las mediciones programadas, tal vez se debería analizar la periodicidad de las mismas.

Los CEM de las estaciones y líneas se encuentran dentro de los rangos permitidos por la legislación Argentina y el Ente Regulador de la Electricidad.

Si analizamos el crecimiento para los próximos 10 años con la misma tasa de crecimiento se estaría generando 2250 MVA ( $y = 62.024x + 123.179$ ), por lo que existirán líneas de 132 kV que estarán al máximo de su carga, si bien en la actualidad con los límites admisibles de transporte de las líneas no se supera los 25  $\mu$ T y los 3 kV/m.

---

# ANEXO I

---

## Efecto de la tierra en el CM creado por una línea eléctrica aérea su cálculo y Estudio.

Un conductor situado sobre un medio continuo también conductor induce corrientes eléctricas en el interior del medio. Esto es lo que ocurre al circular una corriente eléctrica por los conductores de las líneas de alta tensión situadas a una determinada altura sobre el nivel de la tierra. Carson<sup>33</sup> abordó éste inconveniente quién consideró a la tierra de resistividad uniforme e infinita en extensión. A partir de las ecuaciones de Maxwell, de la teoría de los circuitos, y de los resultados experimentales, Carson obtuvo unas expresiones de impedancias propias y mutuas entre dos conductores, debido a la complejidad de las expresiones, posteriormente se desarrollaron fórmulas más simplificadas.

Unas de ellas debida a Wait, considera al efecto de la tierra equivalente al de un conductor imagen de igual radio, por la circula la misma intensidad que la real, y situado en  $(x, -y - \alpha)$ , siendo:

Ec. 17: 
$$\alpha = \sqrt{2} \delta e^{-j\frac{\pi}{4}}$$

Ec. 18: 
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma \mu_0 \omega}}$$
 donde  $\sigma$  es la conductividad de la tierra en Siemens/m.

Ej. Si

$$\sigma = 0,1 \quad \alpha = 318 \text{ mts.}$$

$$\sigma = 0,01 \quad \alpha = 1007 \text{ mts.}$$

Valores de distancias mucho más elevados que la altura de un conductor de una línea que puede estar a 8 metros de altura el de la fase más baja.

En otra formulación se considera a la tierra compuesta por un conjunto de capas conductoras con distribución uniforme de corriente en cada una (27). Una última consideración solo considera al primer término de la serie de Carson y ésta aproximación es válida para distancias a la línea menores a 150 m, y resistividad del terreno superior a 3 Ωm.

Debido a la frecuencia la profundidad del conductor imagen es mucho mayor que la altura del conductor real, el efecto del conductor imagen puede despreciarse cuando se mide el campo magnético a distancias menores a un cierto valor.

---

<sup>33</sup> En 1926, el Dr. John R. Carson publicó sus ecuaciones para calcular la impedancia de un circuito, considerando el efecto de retorno por tierra. Estas ecuaciones actualmente son muy utilizadas para el cálculo de parámetros de líneas de transmisión aérea y subterránea.

---

### El cálculo de campos para conductores largos, líneas de transmisión.

Aquí suponemos que conocemos la corriente eléctrica  $I$  de los conductores.

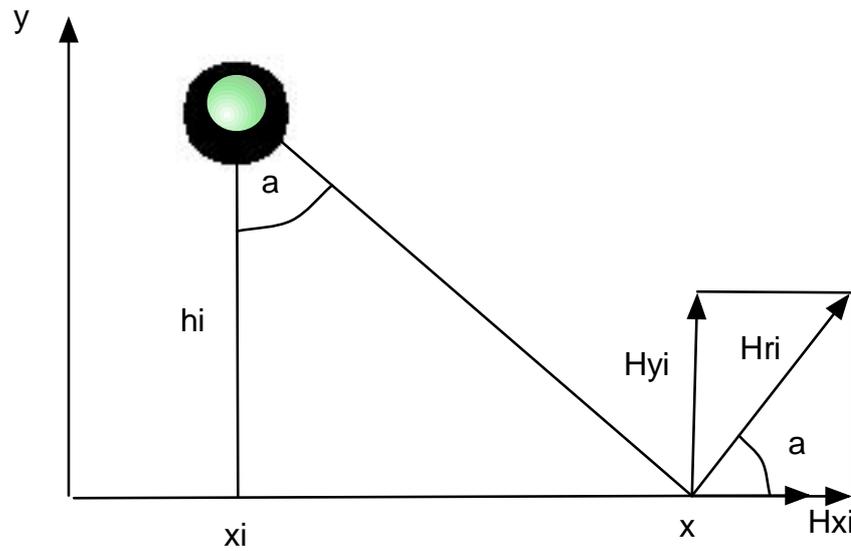


Fig. 33 Cálculo del campo magnético para conductores largos. Líneas de transmisión. Curso UNLP 2009.

$$\text{Ec. 19: } H_{xi} = \frac{I_i \cdot (h_i - y)}{2\pi \cdot [(x - x_i)^2 + (y - h_i)^2]}$$

$$\text{Ec. 20: } H_{yi} = \frac{I_i \cdot (x - x_i) h_i}{2\pi \cdot [(x - x_i)^2 + (y - h_i)^2]}$$

Que son las componentes horizontal y vertical de la intensidad de campo magnético.

Analicemos ahora el caso de tres conductores de una LAT.

$D = 660 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}}$   $f = 50$  Hz, el valor de  $D$  para un terreno de resistividad media de  $100 \Omega\text{m}$  resulta 930 metros, por lo que podemos decir que la influencia del conductor imagen se puede considerar despreciable.

Por lo tanto el campo magnético total en sus dos componentes sobre el terreno considerando un sistema equilibrado de corrientes eléctricas se puede expresar:

$$\text{Ec. 21: } H_x = \frac{I \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \cdot h_1}{2 \cdot \pi [(x-x_1)^2 + h_1^2]} + \frac{I \cdot \text{sen}(\omega \cdot t - 120) \cdot h_2}{2 \cdot \pi [(x-x_2)^2 + h_2^2]} + \frac{I \cdot \text{sen}(\omega \cdot t - 240) \cdot h_3}{2 \cdot \pi [(x-x_3)^2 + h_3^2]}$$

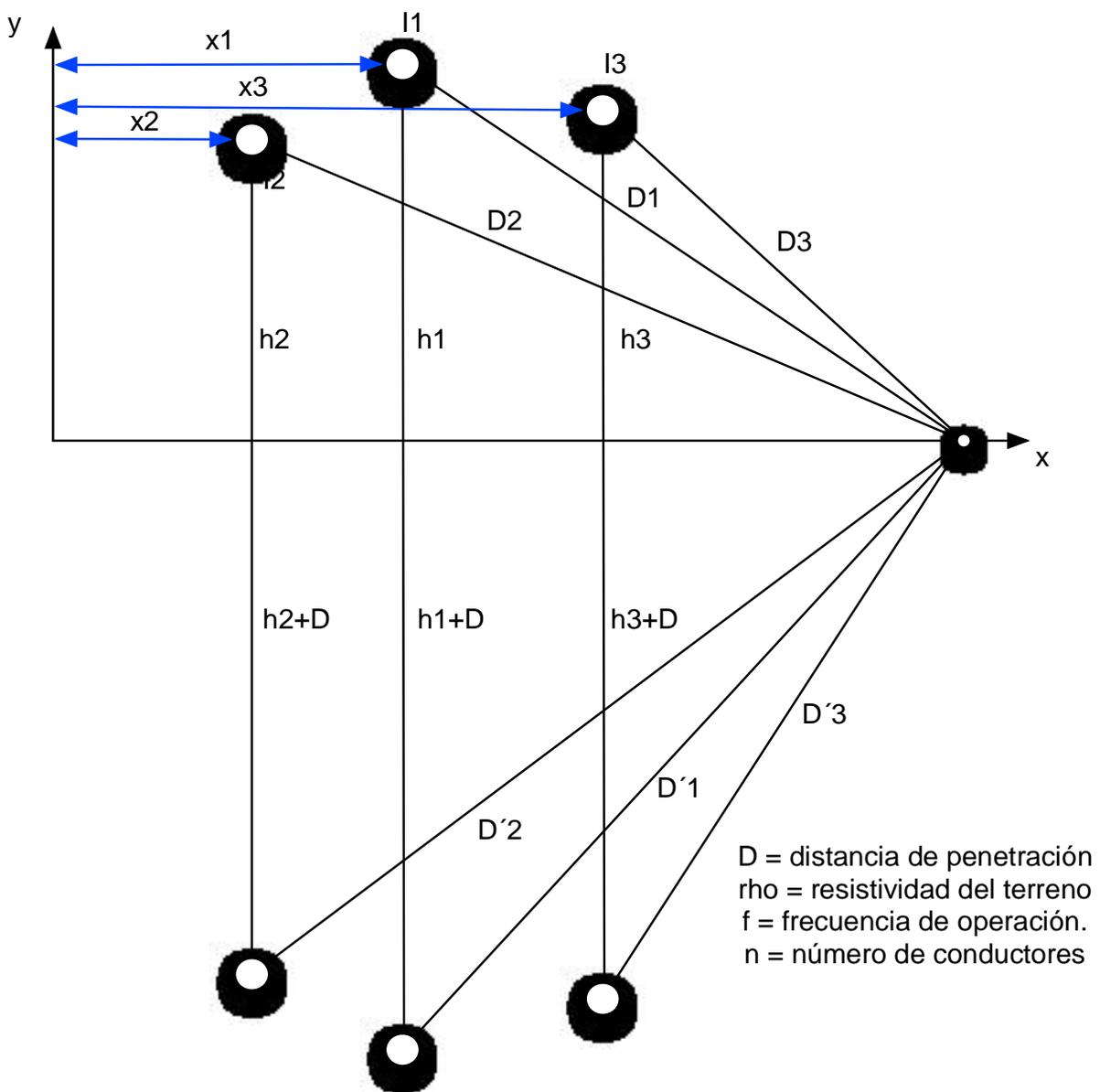


Fig. 34 Interpretación de las distancias.

$$\text{Ec. 22: } Hy = \frac{I \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot (x-x_1)}{2\pi[(x-x_1)^2+h_1^2]} + \frac{I \cdot \text{sen}(\omega t-120) \cdot (x-x_2)}{2\pi[(x-x_2)^2+h_2^2]} + \frac{I \cdot \text{sen}(\omega t-240) \cdot (x-x_3)}{2\pi[(x-x_3)^2+h_3^2]}$$

Si analizamos la figura tenemos:

$$D_1^2 = (x - x_1)^2 + h_1^2$$

$$D_2^2 = (x - x_2)^2 + h_2^2$$

$$D_3^2 = (x - x_3)^2 + h_3^2$$

Y si utilizamos las reglas trigonométricas podemos obtener:

$\sin 120 = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ;  $\cos 120 = -\frac{1}{2}$ ;  $\cos 240 = -\frac{1}{2}$ ; y  $\sin 240 = -\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$  sustituyendo en la ecuación Ec. 21 y la Ec.22 tenemos:

$$\text{Ec. 23: } Hx = \frac{I}{2\pi} \left[ \frac{h_1}{D_1^2} - \frac{h_2}{2D_2^2} - \frac{h_3}{2D_3^2} \right] \cdot \text{sen}(\omega t) + \frac{I}{2\pi} \left[ \frac{\sqrt{3}h_3}{2D_3^2} - \frac{\sqrt{3}h_2}{2D_2^2} \right] \cdot \text{cos}(\omega t)$$

$$\text{Ec. 24: } Hy = \frac{I}{2\pi} \left[ \frac{x-x_1}{D_1^2} - \frac{x-x_2}{2D_2^2} - \frac{x-x_3}{2D_3^2} \right] \cdot \text{sen}(\omega t) + \frac{I}{2\pi} \left[ \frac{\sqrt{3}(x-x_3)}{2D_3^2} - \frac{\sqrt{3}(x-x_2)}{2D_2^2} \right] \cdot \text{cos}(\omega t)$$

Acomodando las ecuaciones obtenemos la siguiente expresión:

$$\text{Ec. 25: } Hx(t) = Ax \cdot \text{sen}(\omega t) + Cx \cdot \text{cos}(\omega t)$$

$$\text{Ec. 26: } Hy(t) = Ay \cdot \text{sen}(\omega t) + Cy \cdot \text{cos}(\omega t)$$

Si hacemos que:

$$\text{Ec. 27: } Hx(t) = H_{xm\acute{a}x} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi_x) \quad \text{con } \phi_x = \sin^{-1} \frac{Cx}{Ax}$$

$$\text{Ec. 28: } Hy(t) = H_{ym\acute{a}x} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi_y) \quad \text{con } \phi_y = \sin^{-1} \frac{Cy}{Ay}$$

por lo tanto:  $|H(t)| = \sqrt{Hx(t)^2 + Hy(t)^2}$  que es el módulo de un vector en el espacio que depende del tiempo.

Si ahora derivamos:  $\frac{\partial H(t)}{\partial t} = 0$  para obtener los máximos y mínimos alcanzados por el campo magnético, podemos ver que se producen para un  $\omega t$ :

$$\text{Ec. 29: } \omega t_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1} \left( -2 \cdot \frac{Ax \cdot Cx + Ay \cdot Cy}{Ay^2 + Ax^2 - Cx^2 - Cy^2} \right) + \frac{\pi}{2}$$

Con esto podemos decir que el campo magnético tiene variaciones:

En el tiempo:

1. Variaciones rápidas, transitorias (no muy frecuente).
2. Variaciones periódicas de 50 Hz. Funcionamiento sinusoidal, estado permanente (RMS instantáneo).

3. Variaciones lentas por variaciones de la carga a lo largo del día.
4. En el espacio:
5. Valores límites de emisión y la distancia de la medida.
6. Cuando las dimensiones espaciales donde deben valorarse el efecto del campo es grande, y los campos no son uniformes.
7. Cuando la valoración de la exposición debe hacerse por largo tiempo sobre cuerpos que se mueven o trasladan (estudios epidemiológicos).

El campo resultante se obtiene con la suma de los cuadrados de los valores eficaces de cada eje:

$$\text{Ec. 30: } Br = \sqrt{B_{x,rms}^2 + B_{y,rms}^2 + B_{z,rms}^2}$$

$$\text{Ec. 31: } Br = \sqrt{B_{m\acute{a}x}^2 + B_{m\acute{i}n}^2}$$

- $B_{m\acute{a}x}$  es el campo RMS en el eje mayor de la elipse (a)
- $B_{m\acute{i}n}$  es el campo RMS en el eje menor de la elipse (b)

Los valores medios cuadráticos coinciden con el campo resultante:

$$\text{Si } B_{m\acute{i}n} = 0 \text{ y } Br = B_{m\acute{a}x}$$

$$\text{Si } B_{m\acute{i}n} = B_{m\acute{a}x} \text{ } Br = 1,41 \cdot B_{m\acute{a}x}$$

El campo magnético pico  $B_{peak}$ , representa el máximo valor del campo que ocurre en un periodo. Por definición éste valor coincide con el semieje mayor de la elipse.

$$B_{peak} = 1,41 B_{m\acute{a}x} \text{ para polarización lineal.}$$

$$B_{peak} = Br \text{ para polarización circular por lo tanto:}$$

$$\text{Ec. 33: } B_{peak} = \text{m\acute{a}x}|B(t)| = \text{m\acute{a}x} (\sqrt{B_x^2(t) + B_y^2(t) + B_z^2(t)})$$

#### Comentarios<sup>34</sup>:

- En los cálculos si las Corrientes consideradas se expresan en valor RMS eficaz, o valor pico los resultados serán valores RMS o pico respectivamente.
- Conviene utilizar valores RMS si se pretende comparar con las mediciones.
- Si se utiliza un medidor de un solo eje y se busca el máximo, en general se da como resultado  $B_{m\acute{a}x}$  que es un valor eficaz del campo sobre el eje mayor de la elipse.
- Si se usa un medidor de tres ejes el resultado es el campo resultante o eficaz  $B_r =$

---

<sup>34</sup> Curso de posgrado Universidad Nacional de La Plata año 2009.

$B_{rms}$ <sup>35</sup>.

- El valor de RMS y de campo resultante matemáticamente coincide con las definiciones dadas, sin embargo si utilizamos el término RMS (valor eficaz) puede confundir a la hora de evaluar campos magnéticos medidos.
- Medidores de tres ejes dan valores de  $B_{rms} = B_r$ .
- Medidores de un eje dan el valor de un solo eje, y por lo tanto si se busca el máximo daría como resultado  $B_{máx}$ , que es un valor eficaz pero de una sola componente, o dirección.
- El valor de  $B_{peak}$  representa la magnitud de un vector campo magnético en el espacio.

**La mayoría de las Normas aceptan el  $B_r$  como valor de campo.**

---

<sup>35</sup> $B_{rms}$  Campo magnético eficaz (rms = root médium squadre)

---

## ANEXO II

### Estaciones Transformadoras y Líneas de Alta Tensión de TRANSNOA SA

TRANANOA SA tiene aproximadamente un tendido eléctrico (electroducto) de aproximadamente 4076 Km, ver tabla 26:

<i>Tucumán</i>	<i>Catamarca</i>	<i>Salta</i>	<i>Jujuy</i>	<i>Sgo. del Estero</i>	<i>La Rioja</i>
Agua Blanca	Andalgalá	Cafayate	Jujuy Este	Frías	La Rioja I
Aguilares	Belén	El Carril	Jujuy Sur	La Banda	La Rioja II - Trafo 1
Avellaneda	Catamarca I	Güemes	Las Maderas	Río Hondo	
Burruyacu	Catamarca II	Metán	Libertador	Santiago Centro	
Cevil Pozo	Huacra	Orán	Palpalá	Suncho Corral	
El Bracho	Tinogasta	Pichanal	San Juancito	Santiago Sur	
Estática Sur	La Calera	Salta Norte	San Pedro	Añatuya	
Independencia	Aconquija	Salta Sur	Minetti	Santiago Oeste	
La Cocha	Saujil	Salta Este		Bandera	
Sarmiento	La Paz	Tartagal			
Trancas		Pampa Grande			
Tucumán Norte		Rosario de la Frontera			
Tucumán Oeste		Apolinario Saravia			
Villa Quinteros					
Pap. Tucumán					
Pueblo Viejo					
El Cadillal					
Escaba					
Los Pizarros					
Lules					
20	10	13	8	9	2
<b>Total Estaciones Transformadoras del Sistema NOA</b>				<b>62</b>	

Tabla 28 ET's TRANSNOA SA fuente Transnoa SA

### Longitudes de las LAT entre Estaciones Transformadoras

Tucumán	Long km	Catamarca	Long km	Salta	Long km	Jujuy	Long km	Sgo del Estero	Long km	La Rioja	Long km.
AGUA BLANCA - VILLA QUINTEROS	23,8	ANDAL GALA - BELEN	80,3	CABRA CORRAL - EL CARRIL	33,8	JUJUY SUR - JUJUY ESTE	4,0	AÑATUYA - BANDERA	76,8	LA RIOJA NORTE - RECREO 2	220,0
AGUILARES - ESCABA	27,0	ANDAL GALA - SAUJIL	76,0	CABRA CORRAL - PAMPA GRANDE	60,0	LAS MADERAS - GUEMES	42,0	FRIAS - RECREO	74,5	LA RIOJA NORTE - RECREO 1	221,0
BURRUYACU - ROS. DE LA FRONTERA	99,1	BELEN - TINOGASTA	72,0	CABRA CORRAL - SALTA ESTE	55,0	LAS MADERAS - JUJUY SUR	27,6	LA BANDA - SANTIAGO CENTRO	10,9	LA RIOJA SUR - INTERSECCION N 1	38,4
CEVIL POZO - AVELLANEDA	8,0	HUACRA - CATAMARCA	67,3	GUEMES - COBOS 1	12,1	PICHANAL - PICHANAL	76,0	LA CALERA - FRIAS	27,3	LA RIOJA SUR - INTERSECCION 2	38,4
CEVIL POZO - BURRUYACU	56,0	HUACRA - LA CALERA	91,2	GUEMES - COBOS 2	12,1	MINETTI - SAN JUANCITO	26,0	RIO HONDO - EL BRACHO	80,6		
CEVIL POZO - EL BRACHO	17,0	RECREO - CATAMARCA	203	GUEMES - MINETTI	38,0	PALPALA - JUJUY ESTE	12,5	RIO HONDO - LA BANDA	76,5		
CEVIL POZO - TUCUMAN NORTE	14,5			GUEMES - SALTA SUR	36,2	SAN JUANCITO - PALPALA	23,9	RIO HONDO - SANTIAGO OESTE	69,8		
EL BRACHO - LA BANDA	133,5			GUEMES - SALTA NORTE	87,1	SAN JUANCITO - SAN PEDRO	27,0	SANTIAGO CENTRO - SUNCHO CORRAL	103,0		
ESTATICA - INDEPENDENCIA	2,6			GUEMES - SAN JUANCITO	63,6	SAN PEDRO - LIBERTADOR	49,0	SANTIAGO OESTE - SANTIAGO CENTRO	14,6		
INDEPENDENCIA - AGUA BLANCA	34,1			METAN - COBOS	17,0			SUNCHO CORRAL - AÑATUYA	81,0		
INDEPENDENCIA - EL BRACHO 1	17,1			PAMPA GRANDE - CAFAYATE	105,0						
INDEPENDENCIA - EL BRACHO 2 (*)	17,1			PICHANAL - ORAN	7,0						
INDEPENDENCIA - PAPELERA TUCUMAN	19,3			PICHANAL - TARTAGAL	10,0						
LOS PIZARROS - ESCABA	18,4			ROSARIO DE LA FRONTERA - COBOS	130,4						
LOS PIZARROS - HUACRA	31,5			SALTA ESTE - SALTA SUR	41,4						
LOS PIZARROS - LA COCHA	6,5			SALTA SUR - SALTA NORTE	75,6						
PAMPA GRANDE - TRANCAS	55,0			EL TUNAL - J.V. GONZALEZ (Transp. Ind.)	94,0						

SARMIENTO - ESTATICA	4,4			METAN - EL TUNAL (Transp. Ind.)	36,1						
TUCUMAN NORTE - EL BRACHO	31,5			J.V. GONZALEZ - APOLINARI O SARAVIA	47,1						
TUCUMAN NORTE - EL CADILLAL	21,8										
TUCUMAN NORTE - METAN	155,6										
TUCUMAN NORTE - SARMIENTO	3,3										
TUCUMAN NORTE - TRANCAS	75,0										
TUCUMAN NORTE - TUCUMAN OESTE	7,0										
VILLA QUINTEROS - AGUILARES	21,0										
VILLA QUINTEROS - ANDALGALA	102,0										
VILLA QUINTEROS - PUEBLO VIEJO	24,5										
VILLA QUINTEROS - RIO HONDO	75,4										
<b>28</b>	1102	<b>6</b>	589,8	<b>19</b>	961,5	<b>9</b>	288,0	<b>10</b>	615,0	<b>4</b>	517,7

Tabla 29 Longitudes de las LAT's Fuente TRANSNOA SA

# ANEXO III

## Sistema Geográfico de TRANSNOA SA

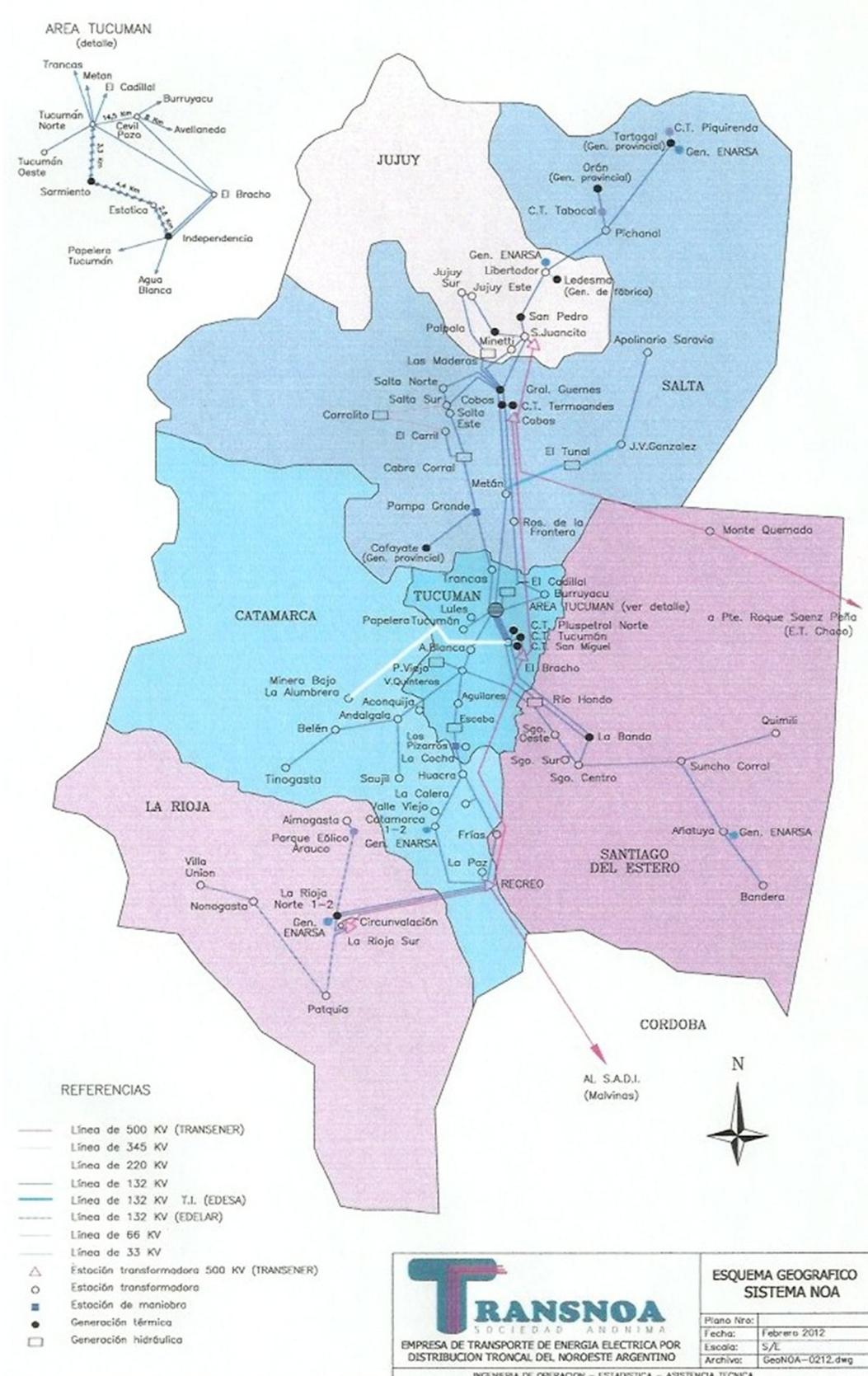


Fig. 35 Geográfico TRANSNOA SA

## ANEXO IV

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 1997**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	28	694,7	329137,3
FEBRERO	17	685,8	282811,2
MARZO	31	678,7	314005,3
ABRIL	10	715,5	310065,9
MAYO	02	710,3	312668,6
JUNIO	30	726,4	307373,1
JULIO	03	719,8	319979,1
AGOSTO	05	743,9	316758,6
SETIEMBRE	23	744,6	332887,6
OCTUBRE	27	823,7	369448,2
NOVIEMBRE	11	842,1	378230,9
DICIEMBRE		819,9	413503,0
Total		742,12	<b>3986868,8</b>

Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 1998**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	21	843,8	408598,8
FEBRERO	17	801,6	366827,0
MARZO	4	875,7	399828,2
ABRIL	6	768,1	367469,3
MAYO	11	792,3	386126,8
JUNIO	22	826,1	392100,2
JULIO	2	795,8	373118,2
AGOSTO	21	879,8	402250,9
SETIEMBRE	16	826,2	396192,1
OCTUBRE	22	888,6	425645,5
NOVIEMBRE	23	874,3	420519,1
DICIEMBRE	<b>15</b>	<b>890,8</b>	450117,0
TOTAL		838,59	4788793,1

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 1999**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	26	849,7	427692,1
FEBRERO	24	903,8	422321,8
MARZO	16	895,5	450347,3
ABRIL	23	835,5	378587,4
MAYO	3	845,0	417002,5
JUNIO	29	862,6	424509,3
JULIO	19	903,9	444665,6
AGOSTO	17	856,2	431742,7
SETIEMBRE	23	889,2	414465,3
OCTUBRE	20	890,7	428916,8
NOVIEMBRE	17	892,5	425371,9
DICIEMBRE	15	899,9	467911,8
Total		877,0	<b>5133534,4</b>

Tabla 31 Máximas demanda de Potencia y Energía 1998 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2000**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	11	899,8	454175,2
FEBRERO	11	922,8	415782,3
MARZO	13	864,0	422529,8
ABRIL	10	893,8	393382,4
MAYO	18	860,5	419599,3
JUNIO	20	923,4	420622,1
JULIO	13	<b>980,4</b>	439891,1
AGOSTO	30	897,0	429929,8
SETIEMBRE	14	890,2	415078,3
OCTUBRE	20	942,5	444889,9
NOVIEMBRE	27	959,3	432689,2
DICIEMBRE	22	977,6	475484,2
Total		917,6	<b>5164053,6</b>

Tabla 32 Máximas demanda de Potencia y Energía 2000 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2001**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	4	975,3	478483,6
FEBRERO	9	971,1	450767,8
MARZO	16	964,8	476833,4
ABRIL	18	884,6	405364,4
MAYO	16	888,7	433930,1
JUNIO	25	936,1	424033,0
JULIO	26	949,2	430704,5
AGOSTO	21	874,0	428666,3
SEPTIEMBRE	04	889,1	428756,5
OCTUBRE	25	956,7	450996,8
NOVIEMBRE	23	980,8	457589,2
DICIEMBRE	18	943,1	464777,0
<b>Total</b>		<b>934,5</b>	<b>5330902,6</b>

Tabla 33 Máximas demanda de Potencia y Energía 2001 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2002**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	28	932,4	463505,4
FEBRERO	27	943,0	410290,5
MARZO	12	980,9	463846,2
ABRIL	08	907,7	401327,8
MAYO	14	855,3	412896,4
JUNIO	24	948,4	420503,6
JULIO	04	951,5	434694,5
AGOSTO	27	901,1	422317,4
SEPTIEMBRE	26	928,9	441747,1
OCTUBRE	15	971,5	485667,0
NOVIEMBRE	26	989,9	486570,3
DICIEMBRE	18	974,7	486955,1
<b>Total</b>		<b>940,4</b>	<b>5330321,3</b>

Tabla 34 Máximas demanda de Potencia y Energía 2002 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2003**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	30	965,9	518431,1
FEBRERO	06	1022,3	481588,8
MARZO	28	980,5	504846,2
ABRIL	24	990,9	452150,7
MAYO	14	908,5	465925,5
JUNIO	9	932,8	459368,3
JULIO	25	943,4	478046,0
AGOSTO	28	982,9	479961,7
SEPTIEMBRE	22	951,5	475550,8
OCTUBRE	24	1047,2	529778,3
<b>NOVIEMBRE</b>	<b>11</b>	<b>1107,0</b>	559579,0
DICIEMBRE	26	1105,6	565000,5
Total		994,9	<b>5970226,9</b>

Tabla 35 Máximas demanda de Potencia y Energía 2003 Fuente TRANSNOA SA.

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2004**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	27	1067,9	589757,8
FEBRERO	16	1072,9	533414,0
MARZO	01	1104,3	564992,9
ABRIL	06	1105,5	525876,6
MAYO	27	1003,1	519777,0
JUNIO	11	1036,5	510513,0
JULIO	16	1027,4	529313,4
AGOSTO	19	1047,1	534558,5
SEPTIEMBRE	27	1125,5	542307,3
OCTUBRE	22	1124,7	589211,5
NOVIEMBRE	02	1129,2	582722,4
<b>DICIEMBRE</b>	<b>02</b>	<b>1174,7</b>	628764,4
Total		1084,9	<b>6651208,5</b>

Tabla 36 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2004 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2005**

DIA	DEMANDA MAX. MES	TOTAL ENERGIA MES
	(MW)	(MWH)
07	1157,5	647715,2
18	1146,7	582895,6
07	1200,0	607365,6
19	1098,5	532085,2
23	1130,9	557072,9
23	1098,6	553305,3
22	1125,7	580396,9
09	1116,2	577612,4
13	1136,0	562839,8
12	1177,2	589493,8
29	<b>1238,3</b>	649445,3
16	1238,0	664573,0
	1155,3	<b>7104801,0</b>

Tabla 37 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2005 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2006**

DIA	DEMANDA MAX. MES	TOTAL ENERGIA MES
	(MW)	(MWH)
31	1227,8	668137,5
22	1298,9	628460,9
08	1274,2	654446,6
28	1178,6	575802,5
22	1114,3	581657,8
28	1129,8	575227,1
31	1281,8	603617,0
01	1217,9	626341,2
27	1216,9	614364,2
12	1306,4	690495,5
15	1310,6	677541,3
19	1308,4	735507,6
	1238,8	<b>7631599,2</b>

Tabla 38 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2006 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2007**

DIA	DEMANDA MAX. MES	TOTAL ENERGIA MES
	(MW)	(MWH)
23	1281,3	707661,5
26	1346,3	676340,7
08	1345,6	701203,5
20	1337,8	632840,3
29	1336,9	667290,4
26	1279,2	665075,8
11	1320,2	688653,9
02	1345,0	692232,7
04	1253,2	649008,3
26	1390,2	700968,0
22	1393,7	732677,1
13	1398,2	763626,5
	1335,6	<b>8277578,6</b>

Tabla 39 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2007 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2008**

DIA	DEMANDA MAX. MES	TOTAL ENERGIA MES
	(MW)	(MWH)
15	1318,5	751596,9
07	1353,7	706216,7
26	1325,2	709156,6
25	1299,0	644492,4
30	1371,6	673623,4
23	1431,7	724873,5
24	1286,1	692136,4
27	1272,4	676903,8
26	1454,7	748638,3
21	1462,3	788533,4
07	1501,9	817417,6
16	1418,2	799433,4
	1374,6	<b>8733022,3</b>

Tabla 40 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2008 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2009**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
ENERO	14	1366,4	763878,6
FEBRERO	05	1436,9	725183,5
MARZO	30	1439,7	778883,8
ABRIL	14	1424,2	720097,9
MAYO	29	1370,4	704677,0
JUNIO	26	1499,3	700449,1
JULIO	24	1515,1	736315,4
AGOSTO	28	1353,8	729022,9
SEPTIEMBRE	01	1325,5	695139,0
OCTUBRE	29	1556,0	769344,6
NOVIEMBRE	23	1595,3	866479,5
DICIEMBRE	23	1524,3	818528,4
<b>Total</b>		<b>1450,6</b>	<b>9007999,5</b>

Tabla 41 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2009 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - AÑO 2010**

MES	DIA	DEMANDA MAX. MES (MW)	TOTAL ENERGIA MES (MWH)
Enero	29	1552,4	845915,1
Febrero	03	1583,5	790650,0
Marzo	18	1543,1	832798,8
Abril	01	1419,9	703123,8
Mayo	17	1416,7	725898,8
Junio	28	1422,0	737646,2
Julio	19	1601,9	816960,7
Agosto	03	1642,9	782660,5
Septiembre	02	1441,2	703760,6
Octubre	20	1449,3	760110,3
Noviembre	26	1517,9	803830,6
Diciembre	23	1640,4	903272,5
<b>Total</b>		<b>1642,9</b>	<b>9406627,8</b>

Tabla 42 Tabla 30 Máximas demanda de Potencia y Energía 2010 Fuente TRANSNOA SA

**DATOS DE OPERACION SISTEMA NOA - DEMANDA MAXIMA MES  
AÑO 2011**

MES	DIA	HORA	DEMANDA MAX. MES	TOTAL ENERGIA MES
			(MW)	(MWH)
Enero	25	16:30	1552,3	862538,3
Febrero	03	21:15	1510,9	751311,9
Marzo	11	20:45	1511,1	780450,2
Abril	13	20:00	1417,3	708031,2
Mayo	30	20:15	1400,2	737058,4
Junio	27	21:30	1638,2	786119,7
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	1484,4	-
Octubre	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	-
Diciembre	-	-	1803,2	-
Promedio	-	-	1539,7	770918,3
Mínimo	-	-	1400,2	708031,2
Máximo	-	-	1803,2	862538,3
Total	-	-	-	<b>4625509,6</b>

Tabla 43 Datos estadísticas, incompletos por migración del Sistema los valores que faltan se debe a la migración del sistema informático de la Empresa TRANSNOAS SA.

# ANEXO V

---

## Bibliografía

- Adair, R. K. (1991). Constraints on biological effects of weak extremely low frequency electromagnetic fields. En *Phys Rev A43* (págs. 1039-1048).
- Aguirre, J. S. (2006). Normas y Estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en América Latina. 205-212.
- ANSI/IEEE. (1994). IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines. En IEEE, *ANSI/IEEE Std 644TM-1994 (R2008)* (págs. 1-25).
- ANSI/IEEE. (1986). Std 80 IEEE Guide for Safety in AC substation grounding. En ANSI/IEEE.
- Díaz, R. R. (2007). FACet 90 años. (U. N.-C. Ingeniería, Ed.) *cet 29(29)*, 18-25.
- Energía, S. d. (1992). Resolución N°15.
- ENRE. (1998). *Resolución N°1724*. Recuperado el 2010, de [www.enre.gov.ar](http://www.enre.gov.ar)
- ENRE. (1998). *Resolución N°77*. Recuperado el 2010, de [www.enre.gov.ar](http://www.enre.gov.ar)
- ENRE. (2001). *Resolución N°555 Guía de contenidos mínimos de los Planes de Gestión Ambiental*. Recuperado el 2010, de [www.enre.gov.ar](http://www.enre.gov.ar)
- ENRE. (2004). *Resolución ENRE AANR N°06 Formato sobre presentación de informes al ENRE*. Recuperado el 2010, de [www.enre.gov.ar](http://www.enre.gov.ar)
- Fernández, V. C. (1997). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. MP.
- García, D. S. (2005). *La Salud Humana y los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja*. Asociación Toxicológica Argentina.
- George Filippopoulos, M. I. (2005). Analytical Calculation of the Magnetic Field Produced by Electric Power Lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 1474-1482.
- Hill, B. (1965). Criterios de Bradford Hill El medio de la Enfermedad "Asociación o causalidad".
- IEC. (1987). IEC 833 Measurement of power-frequency electric fields.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e.V. (2008). Recomendaciones para limitar la exposición a campos Eléctricos y Magnéticos hasta 300 hz. *ICNIRP Guidelines*, 1-45.
- Ismail, H. M. (2008). Effect of Tower Displacement of Parallel Transmission Lines on the Magnetic Field Distribution. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(4), 1705-1712.
- Javier Ignacio Torres O., J. A. (2005). Modelamiento y simulación de campo magnético a frecuencia extremadamente baja en circuitos secundarios. *Scientia Technica(29)*, 37-41.
-

- Labori, H. S. (2003). Impacto ecológico de la líneas de transporte de energía eléctrica aéreas, parte I Campo Eléctrico. *Energética*, XXIV(1).
- Miguel A. Fuentes, A. T. (abril de 2008). Analysis and Measurements of Magnetic Field Exposures for Helathcare Workers in Selected MR Environments. (IEEE, Ed.) *Transaction on Biomedical Engineering*, 55(4), 1355-1364.
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. (2010). NTP 698 Campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 Hz criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral. En I. d. Trabajo.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Legislación Modelo para la Protección contra campos electromagnéticos.
- Plata, U. N. (2009). Compatibilidad de Instalaciones Eléctricas con el Ambiente. *Apuntes de Curso de Posgrado*.
- b) *Condiciones institucionales para el desarrollo de la tesis. Infraestructura y equipamiento:* El trabajo se realizó utilizando los recursos de la Universidad Tecnológica Tucumán Facultad Regional Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán y la Empresa TRANSNOA SA.
-