

ANEXO III**MODELACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO ASOCIADO A LA INSTALACIÓN****1. INTRODUCCIÓN**

Para la evaluación de los potenciales impactos asociados al funcionamiento de las líneas de Sub-transmisión, si bien se utilizan conductores, estructuras y disposiciones pre-existentes de utilización nacional desde al menos 1970, al tratarse de nuevas líneas y para conformar los requerimientos de sector energético nacional, se modelaran a los efectos del campo electromagnético asociado a estas nuevas instalaciones.

1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

La instalación objeto de este análisis consiste en una serie de Líneas de Alta Tensión (LAT) en 132 kV que se incorporan a partir del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) para completar el sistema de transporte de la energía a diferentes localidades, las cuales tienen en la actualidad un servicio deficiente y en casos requieren de generación térmica (y contaminante) distribuida para mantener los parámetros eléctricos dentro de los valores de calidad requeridos. A saber estas son:

- LAT 132 kV doble terna E.T. Comodoro Oeste – E.T. Pampa del Castillo, con una longitud aproximada de 2,2 km de longitud.
- LAT 132 kV doble terna E.T. Comodoro Oeste – Playa de Maniobras km 9 (en la localidad de Comodoro Rivadavia), con una longitud aproximada de 50 km.

Las alternativas de traza propuestas transcurren según la documentación adjunta.

La LAT se ha proyectado ejecutarla de acuerdo a lo siguiente:

Tensión nominal entre fases:	132 kV
Frecuencia:	50 Hz
Nº de circuitos:	
LAT 132 kV PEA	Dos
Disposición de Fases:	Coplanar vertical en las de doble terna.
Formación de la fase:	Un conductor
Conductor:	Tipo Al-Ac (Aluminio – Acero), denominado 300/50 mm ² de 353,5 mm ² de sección transversal total. Norma IRAM 2187
Cable de guardia OPGW:	Dos capas – Acero recubierto de Aluminio y Aleación de Aluminio, conteniendo 24 Fibras Ópticas, tipo Monomodo
Estructuras de Acero Reticulado	
Suspensiones	Línea de doble terna: Tipo mástil con crucetas para conductores.
Retenciones, Retenc. Angulares, Especiales y Terminales:	Línea doble terna: ídem según prestación.
Vano de cálculo:	Para línea doble terna: 160 m
Aisladores:	Vidrio templado o porcelana Clase según IEC U70 BL o bien,
Conjuntos suspensión para conductores	
Suspensión simple:	Disposición vertical I con 9 aisladores por cadena de suspensión simple
Suspensión doble:	Disposición vertical II con 2 x 9 aisladores por cadena de suspensión doble

Conjuntos retención para conductores:	Formados por dos cadenas en paralelo, cada una con 10 aisladores o conjunto de aisladores poliméricos equivalentes
Vida útil de las líneas.	50 años

1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS.

Con el objeto de incentivar un mejoramiento global de la compatibilidad de los electroductos con el ambiente, el Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico (Resolución 15/92 y Resolución 77/98 de la Secretaría de Energía) establece que para instalaciones eléctricas de alta tensión deben considerarse los efectos originados por:

- Efecto corona: radio interferencia y ruido audible.
- Campos de baja frecuencia: eléctrico, y de inducción magnética.

Radio Interferencia RI

El campo perturbador generado por una línea ocasiona en los radiorreceptores que se encuentran dentro de su zona de influencia, un ruido característico (comúnmente llamado friteo o zumbido).

Las principales fuentes de interferencia en las comunicaciones de radio, originadas en instalaciones de alta tensión pueden ser separadas en dos tipos.

Las descargas corona son descargas eléctricas parciales en un medio dieléctrico gaseoso, en regiones de alta intensidad de campo eléctrico del entorno de los conductores. Estas dependen del diseño de la línea y las condiciones climáticas, e interfieren casi exclusivamente en la banda de frecuencias inferiores a 30 MHz (radio AM).

Las descargas disruptivas son microdescargas que tienen lugar generalmente en la morsetería y que se deben a falsos contactos o a imperfecciones en el ensamble entre un aislador y su morsetería. Estas dependen de aspectos constructivos e interfieren en un espectro que alcanzan los centenares de MHz (radio FM y TV).

Ruido Audible RA

La presencia del Efecto Corona en conductores de líneas de alta tensión puede dar origen a sonidos audibles. Al igual que en el caso de radio interferencia, la intensidad de dicho ruido depende del gradiente superficial de campo eléctrico en los conductores, de su estado superficial y de las condiciones atmosféricas. Estos niveles de perturbación de ruido audible se incrementan junto con el nivel de tensión de operación de los sistemas de transmisión y comienza a tomar importancia para tensiones superiores a 300 kV, aproximadamente.

Campos de Baja Frecuencia

En presencia de campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas, pueden aparecer por acoplamiento electrostático (E/S) y acoplamiento magnético (E/M) tensiones y corrientes en instalaciones cercanas cuales como alambrados, cercas, cañerías de riego, líneas de comunicación, etc., las cuales pueden tener efectos sobre las personas y/o sobre las instalaciones.

1.3. REGLAMENTACIÓN VIGENTE EL MISMO MANUAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE Eléctrico (Resolución 15/92 y Resolución 77/98 de la Secretaría de Energía) fija valores límite admisible para los parámetros ambientales anteriormente considerados, que serán aplicables a todas las instalaciones eléctricas de tensión igual o mayor a 132 kV.

Radio Interferencia

- De acuerdo con las normas de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones, se fija un nivel máximo de radio interferencia (RI) en 54 dB durante el 80% del tiempo, en horarios diurnos (Norma SC-S3.80.02/76 - Resolución ex-SC N° 117/78), medidos a una distancia horizontal mínima de 5 veces la altura de la línea aérea en sus postes o torres de suspensión (Norma SC-M-150.01).
- Se fija un valor de máxima interferencia de 30 dB, para protección de señales radiofónicas, con calidad de recepción de interferencia no audible (Código 5 de CIGRE).

Ruido Audible

- Se fija un límite de 53 dB(A), valor que no debe ser superado el 50% de las veces en condición de conductor húmedo, a una distancia de 30 m desde el centro de la traza de la línea.

Campos de Baja Frecuencia**Campo Eléctrico**

- En base a los documentos elaborados conjuntamente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación Ionizante (IRPA) y el Programa Ambiental de Naciones Unidas, los cuales recopilan en diferentes países, los valores típicos de la mayoría de las líneas que se encuentran en operación, se adopta el siguiente valor límite superior de campo eléctrico no perturbado, para líneas en condiciones de tensión nominal y conductores a temperatura máxima anual: 3 kV/m, en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a 1 m del nivel del suelo. Cuando no estuviera definida la franja de servidumbre, el nivel de campo deberá ser igual o inferior a dicho valor en los puntos resultantes de la aplicación de las distancias mínimas establecidas en la Reglamentación de la Asociación Electro Técnica Argentina (AEA) sobre Líneas Eléctricas Aéreas Exteriores.
- El nivel máximo de campo eléctrico, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto para un caso testigo: niño sobre tierra húmeda y vehículo grande sobre asfalto seco, no deberán superar el límite de seguridad de 5 mA.

Campo Magnético

- En base a la experiencia de otros países, algunos de los cuales han dictado normas interinas de campos de inducción magnéticos y a los valores típicos de las líneas en operación, se adopta el siguiente valor límite superior de campo de inducción magnética para líneas en condiciones de máxima carga definida por el límite térmico de los conductores: 250 mG, en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a 1 m del nivel del suelo. Cuando no estuviera definida la franja de servidumbre, el nivel de campo deberá ser igual o inferior a dicho valor en los puntos resultantes de la aplicación de las distancias mínimas establecidas en la Reglamentación de la Asociación Electro Técnica Argentina (AEA) sobre Líneas Eléctricas Aéreas Exteriores.
- El nivel máximo de campo de inducción magnética, en cualquier posición, deberá ser tal que las corrientes de contacto en régimen permanente, debido al contacto con objetos metálicos largos cercanos a las líneas, no deberán superar el límite de salvaguarda de 5 mA.

1.4. CONDICIONES GENERALES PARA LA MODELACIÓN

Las condiciones generales para la modelización teórica de los impactos (campos electromagnéticos, ruido audible, radio interferencia, generación de gases y corrientes inducidas) que pueda producir la nueva instalación se realizan para las condiciones de máxima carga posible o límite térmico, condiciones nominales y para las condiciones de operación de la instalación interconectada con el resto del sistema y abasteciendo la carga normal prevista para ésta.

Condiciones de Máxima

Son las condiciones máximas posibles que pueden ser alcanzadas por períodos cortos de tiempo estas líneas de transmisión.

- La tensión nominal del sistema es 132 kV y la tensión máxima permitida por la Reglamentación para un servicio normal es + 5%, o sea, 138,6 kV. No obstante la Tensión máxima definida para esta clase de línea (y aislación) corresponde por Norma a una Tensión Máxima 145 kV (valor al cual debe verificarse sus parámetros eléctricos).
- La corriente nominal máxima a transmitir se fija en 600 A con la variación de tensión admitida por el marco regulatorio (y para la condición de máxima temperatura con radiación solar correspondiente a la zona).

Condiciones Nominales y de Operación

Son las condiciones de operación normales a las cuales prestaran el servicio estas líneas.

Año Inicial	
S (MVA)	I (A)
60	520

Por lo cual en ninguno de los casos expuestos estas líneas transportaran en condiciones normales una corriente superior a los 520 A.

2. ANÁLISIS DE LA LAT**2.1. MODELACIÓN DEL CEM DE LA LAT.**

Los Campos Electromagnéticos (CEM) y otros efectos se modelan o calculan sobre una línea imaginaria transversal a la traza de la LAT y 1 m por sobre la altura del terreno y para cada condición de funcionamiento, a partir de los siguientes datos específicos.

El modelo responde a las fórmulas de cálculo propuestas por la International Council on Large Electric Systems (CIGRE). CIGRE es una asociación de especialistas en alta tensión, que contrata al EPRI "Electric Power Research Institute" para el desarrollo de estudios sobre grandes redes eléctricas.

El modelo ha sido desarrollado en base a esta bibliografía reconocida y aceptada internacionalmente.

Como se trata de dos diferentes esquemas de líneas de transmisión (Simple y Doble terna según la localidad) dentro de una franja de seguridad establecemos los siguientes datos específicos comunes:

- Resistividad del conductor de fase: 0,0949 Ω /km a 20°C y CC
- Diámetro del conductor de fase: 24,44 mm
- Altura: los cálculos se realizan para la condición más desfavorable, es decir, para la posición más baja admitida, es decir de acuerdo a la siguiente tabla:

LUGAR	Distancias mínimas a la máxima temperatura de cálculo (en metros)
1.- Zonas pobladas urbanas y suburbanas de ciudades, pueblos y villas, plantas industriales, granjas, etc	
a.- Altura libre hasta el nivel del suelo	8,00 m
2.- Zonas rurales, áreas de pastoreo y labranzas, estancias, huertas, viñedos, cañaverales, etc.	
a.- Altura libre hasta el nivel de suelo	7,00 m
3.- Zonas despobladas accesibles.	
a.- Distancia libre hasta el nivel del suelo	7,00 m
4.- Zonas despobladas no accesibles.	
a.- Distancia libre hasta el nivel del suelo	6,00 m
5.- Zonas de montaña.	
a.- Distancia libre hasta el nivel del suelo	5,00 m
6.- Campos de deportes	Se prohíbe cruzar
7.- Autopistas, rutas nacionales y provinciales	
a.- Distancia vertical a la calzada de la ruta	8,00 m (si se prevee transporte de gran altura, 9,00m)
8.- Camino secundario	
a.- Distancia libre hasta la rasante de la calzada	8,00 m
11.- Puentes, diques y terraplenes	

LUGAR	Distancias mínimas a la máxima temperatura de cálculo (en metros)
a.- Distancia libre hasta calzada o vereda en puentes y coronamiento de diques y terraplenes	7,50 m
14.- Gasoductos, oleoductos	
a.-De superficie	5,00 m
15.- Cruces de ferrocarril	(rigen condiciones especiales de seguridad)
a.- Distancia a vías	8,00 m

Resultan entonces para la condición de máxima las siguientes alturas libres del conductor más bajo corresponde a la mínima altura libre permitida en función de la zona que atraviese la línea:

- I. Posición vertical de los conductores de fase para disposición coplanar: 8 [m], 9,80 [m] y 11,60 [m].
- III. Posición vertical del cable de guarda: 14,00 [m].

2.2. RESULTADOS

Los resultados son los siguientes.

- Dependencia de la radio interferencia con la frecuencia: las figuras representan la disminución de la RI con la frecuencia.
- Dependencia de la radio interferencia con la distancia: las figuras representan la disminución de la RI en función de su distancia horizontal al eje de la línea y sirve para la verificación del cumplimiento de la normativa.
- Magnitud del campo eléctrico en función de la distancia en una gráfica que indica su variación respecto del eje de la LAT.
- Magnitud del campo magnético en función de la distancia en una gráfica que indica su variación respecto del eje de la LAT.
- Otros efectos. o Ruido audible con lluvia: la disociación anterior viene acompañada de la generación de ruido audible, principalmente en días de gran humedad.
 - Ruido audible con conductor húmedo: ídem anterior.
 - Corriente de contacto: es la corriente inducida debido a la presencia de campo eléctrico y campo magnético. Por normativa, se calcula solamente para los casos testigo de un niño y un vehículo.
 - Radio interferencia total: es un parámetro que sirve para comprar entre sí diferentes tipologías de líneas de alta tensión.
 - Pérdidas por efecto corona totales: representan las pérdidas de corriente debido a éste efecto y solamente interesan para calcular el rendimiento de la instalación.
 - Generación de ozono: la disrupción del espacio eléctrico cercano al conductor debida a la existencia de un potencial eléctrico, provoca la disociación del aire generando ozono.

Las primeras modelizaciones de cada condición, se presentan en forma de gráfica para una franja arbitraria a cada lado del eje de la LAT para ver su comportamiento general, mientras que las restantes son valores puntuales y se presentan en forma de tabla.

CONDICIONES DE OPERACIÓN NORMAL (132 kV – 520 A).

Estructuras Doble Terna - Disposición de Conductores Coplanar: 8 [m], 9,80 [m] y 11,60 [m]

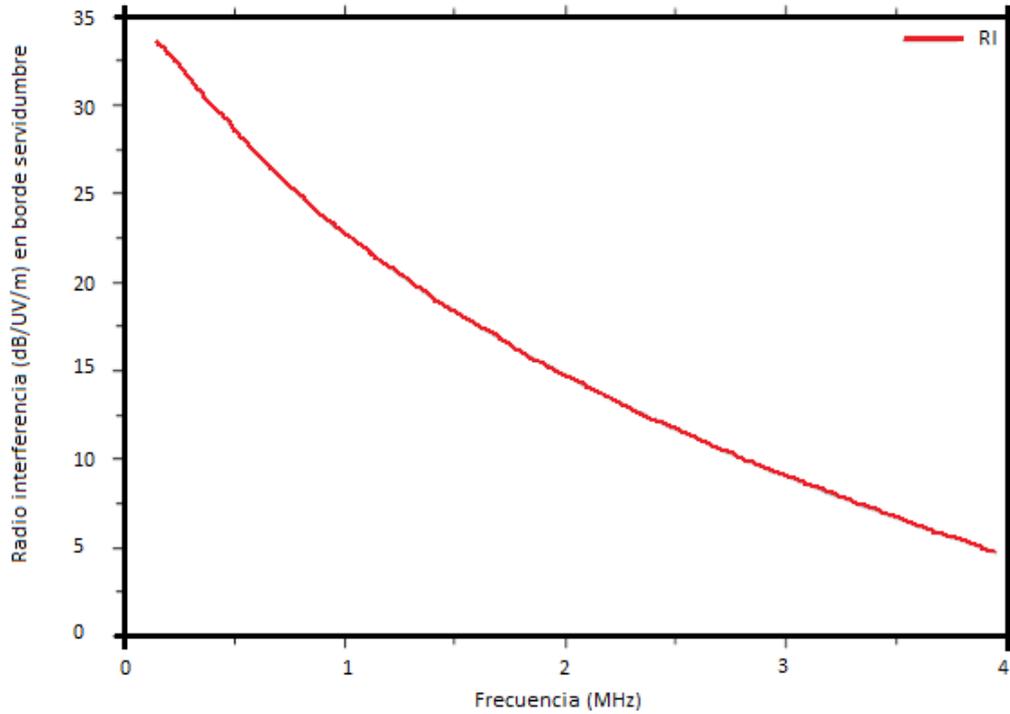


Fig. 1.- Dependencia de la Radio Interferencia con la frecuencia.

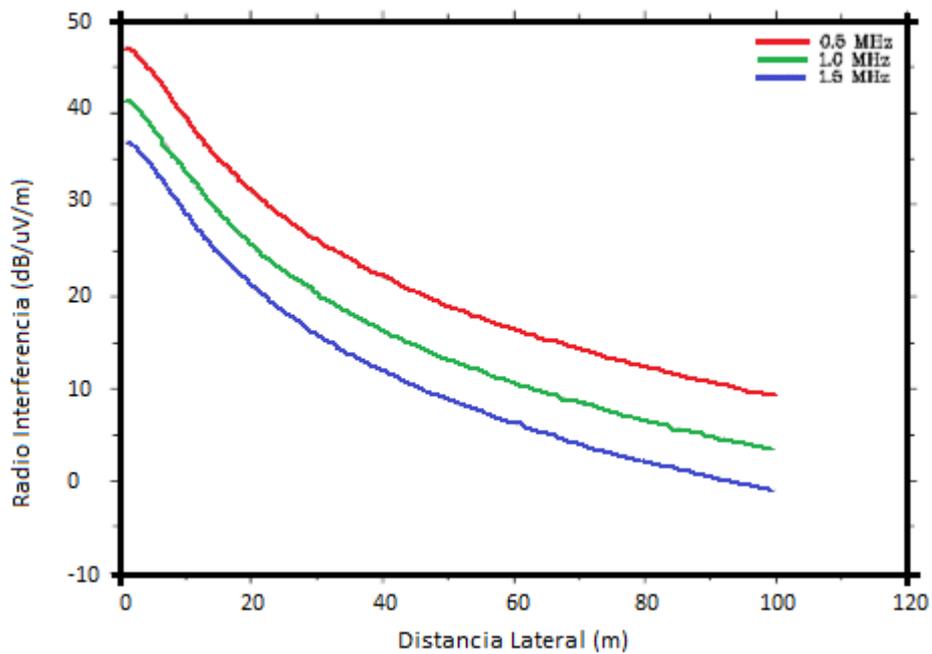


Fig. 2.- Dependencia de la Radio Interferencia con la distancia

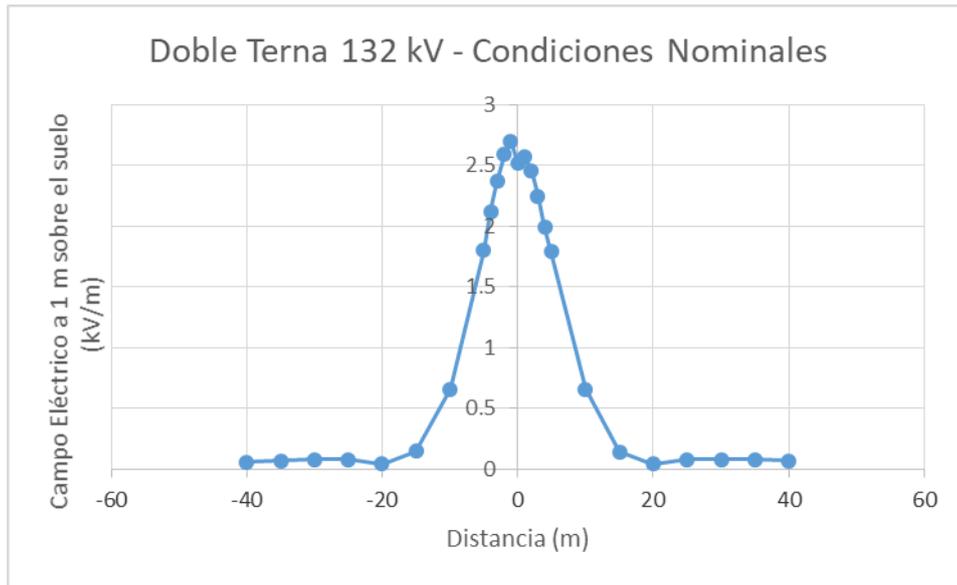


Fig.3: Magnitud del Campo Eléctrico en función de la distancia.

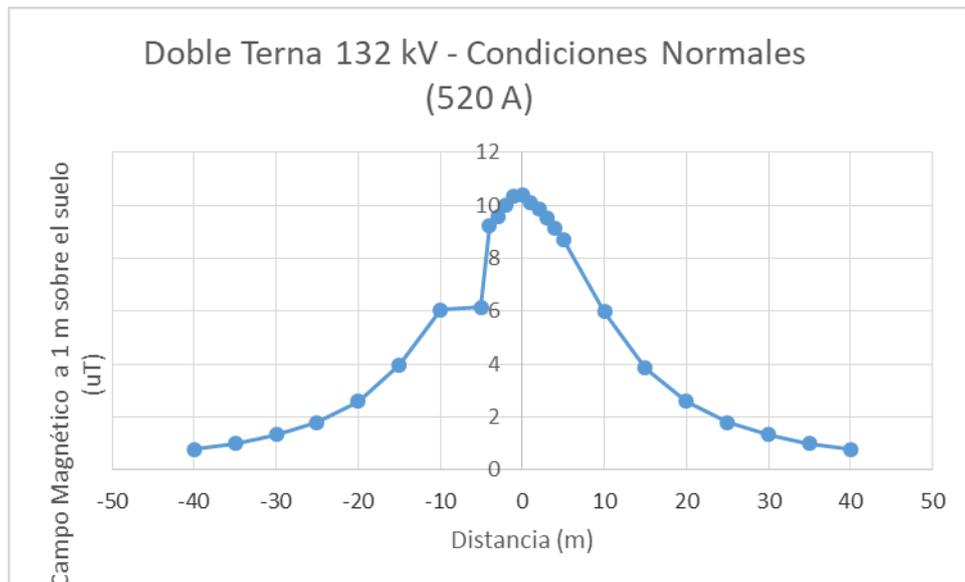


Fig. 4: Magnitud del Campo Magnético en función de la distancia

Otros Efectos:

Ruido Audible	Con lluvia	37,5	dBA
	Con conductor húmedo	23,2	
Relación Señal / Ruido		37,5	dB
Corriente de Contacto	Sobre un niño	<0,01	mA
	Sobre un vehículo	0,08	mA
Radio Interferencia total		31,5	dB
Pérdidas por efecto corona totales		2,1	kW/km
Generación de ozono		3,0	g/km-h

CONDICIONES DE MAXIMA (138,6 kV – 600 A).

Estructuras Doble Terna - Disposición de Conductores Coplanar: 8 [m], 9,80 [m] y 11,60 [m]

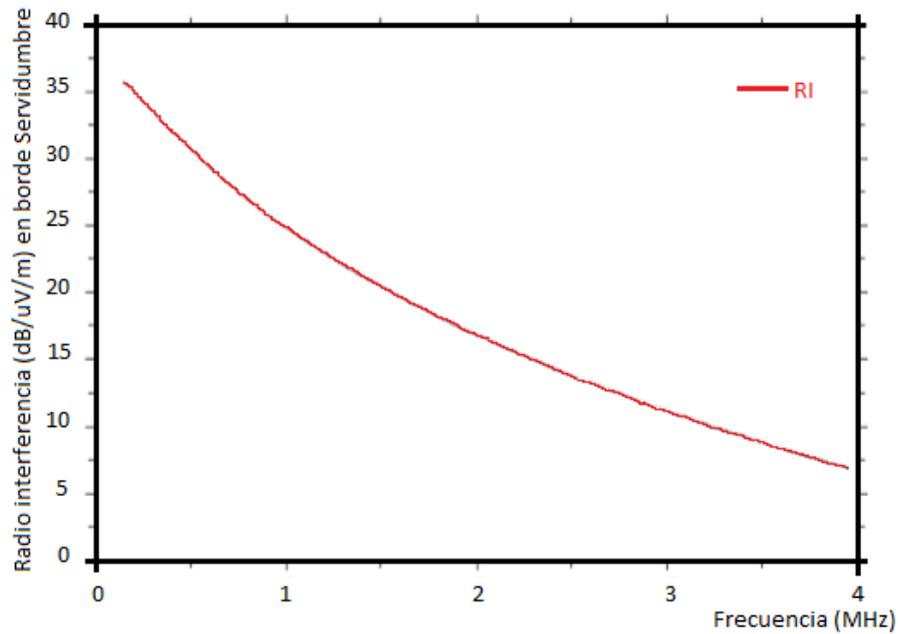


Fig. 5.- Dependencia de la Radio Interferencia con la frecuencia.

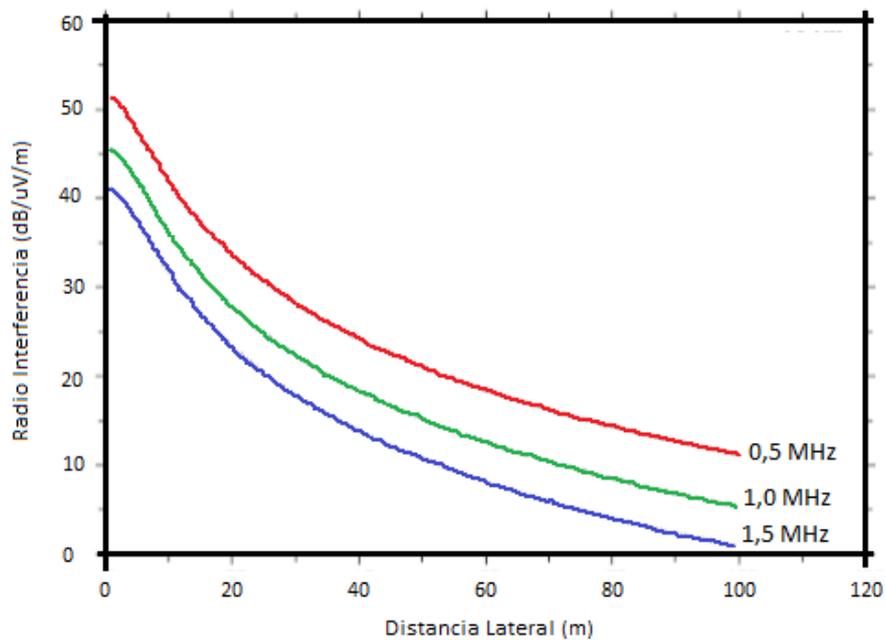


Fig. 6.- Dependencia de la Radio Interferencia con la distancia

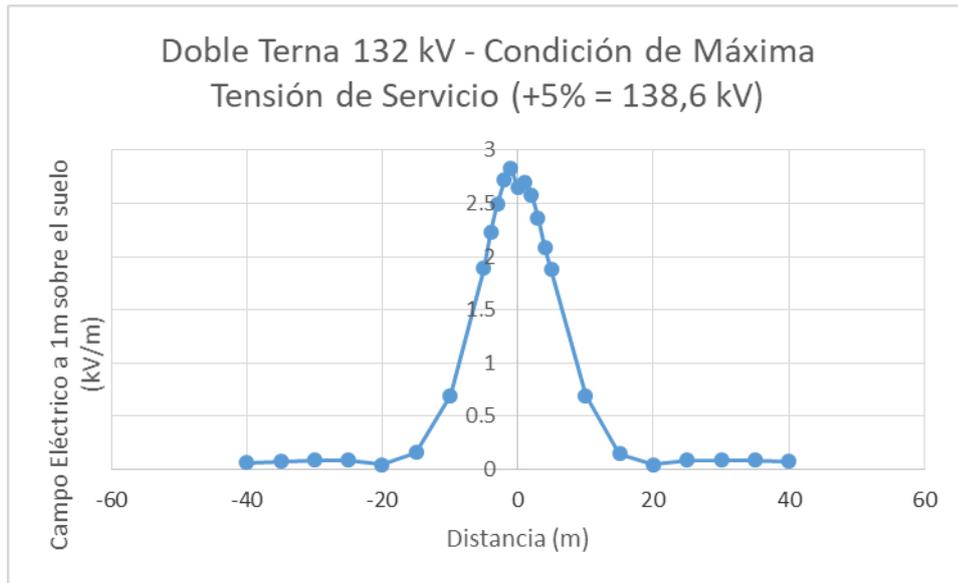


Fig. 7: Magnitud del Campo Eléctrico en función de la distancia.

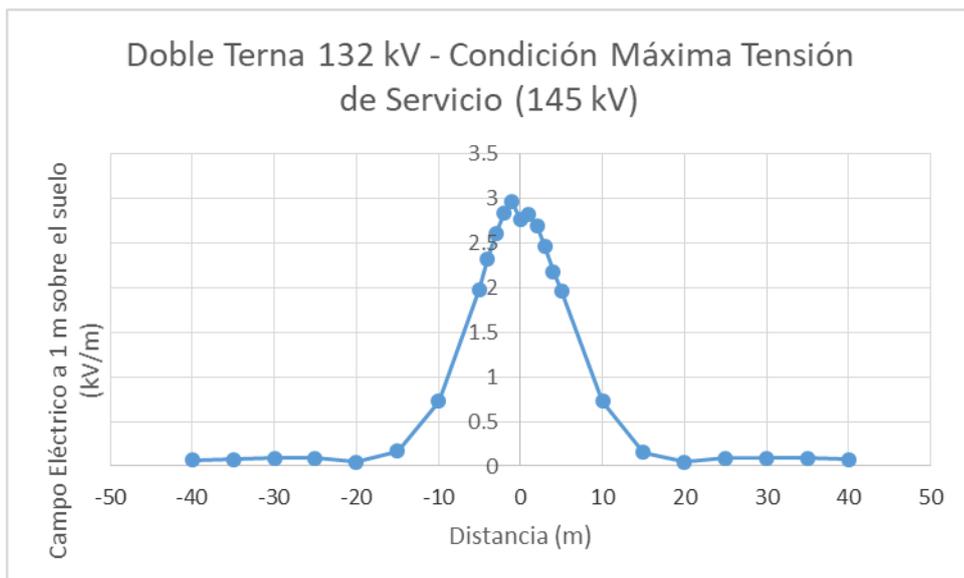


Fig. 8: Magnitud del Campo Eléctrico en función de la distancia.

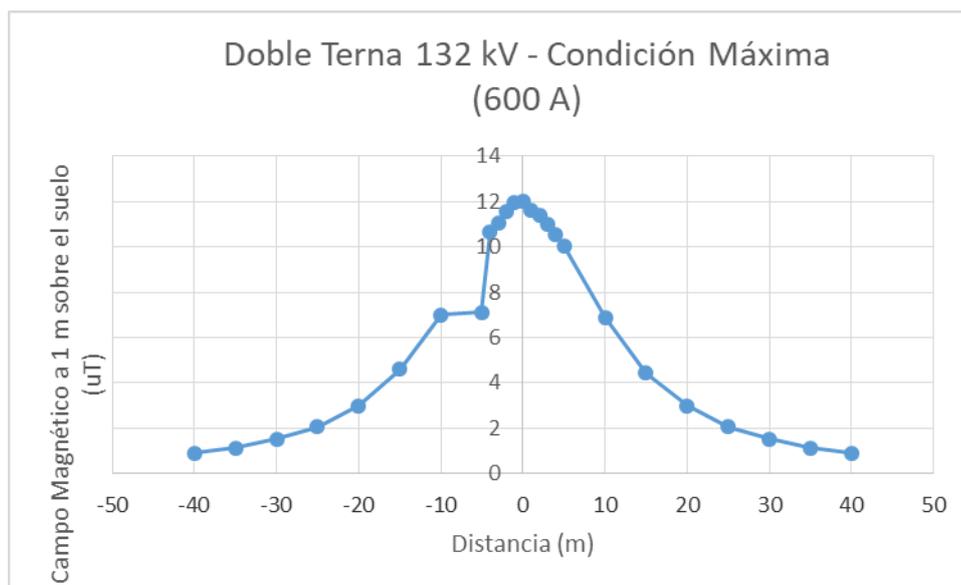


Fig. 9: Magnitud del Campo Magnético en función de la distancia.

Otros Efectos:

Ruido Audible	Con lluvia	39,2	dBA
	Con conductor húmedo	26,5	
Relación Señal / Ruido		35,4	dB
Corriente de Contacto	Sobre un niño	0,018	mA
	Sobre un vehículo	0,15	mA
Radio Interferencia total		33,5	dB
Pérdidas por efecto corona totales		2,8	kW/km
Generación de ozono		4,0	g/km-h

3.- CONCLUSIONES

El análisis comparativo realizado por cálculos teóricos demuestra el cumplimiento para el proyecto realizado de la Resolución SE N° 77/98, resultado esperable pues se trata de estructuras y disposiciones comúnmente utilizadas en Argentina durante más de 45 años.

En el cuadro indicado a continuación se resumen los valores obtenidos y de la Resolución vigente de la S.E.

Configuración	Parámetro considerado de Diseño	Valor Estimado de Diseño	Valor Límite permitido por Resolución S.E. N° 77/98
Disposición de fases Coplanar Doble Terna – Condiciones Nominales	Radio interferencia	31,5	<54 (dB)
	Relación señal/ruido	37,5	>30(dB)
	Ruido Acústico Audible Con lluvia Conductor Húmedo	37,5 [dB(A)] 23,2 [dB(A)]	<53 (dBA)
	Campo Eléctrico	2,70	<3 (kV/m)
	Corriente en niño	<0,01	<5 (mA)
	Corriente en vehículo	0,08	<5 (mA)
	Campo Magnético	10.35	<25 (uT)
Disposición de fases Coplanar Doble Terna – Condición Máxima	Radio interferencia	33,5	<54 (dB)
	Relación señal/ruido	35,4	>30(dB)
	Ruido Acústico Audible Con lluvia Conductor Húmedo	39,2 [dB(A)] 26,5 [dB(A)]	<53 (dBA)
	Campo Eléctrico	2,84	<3 (kV/m)
	Corriente en niño	0,02	<5 (mA)
	Corriente en vehículo	0,15	<5 (mA)
	Campo Magnético	11.94	<25 (uT)

4. BIBLIOGRAFÍA

- AEA (Asociación Electrotécnica Argentina). Reglamentación de Líneas Aéreas Exteriores de Media y Alta Tensión. Edición 2003.
- EHV Transmission Line Reference Book (Edison Electric Institute).
- EPRI (Electric Power Research). Transmission Line Reference Book 345 kV and Above (Red Book). EPRI Institute, second edition, Palo Alto, California, USA.
- SE (Secretaría de Energía de la Nación). Resolución N° 77/98 condiciones y requerimientos fijados en el “Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión”.
- STEVENSON, W & J. GRAINGER. Análisis de Sistemas de Potencia. Ed. Mc Graw Hill. ISBN 970-10-0908-8.