

ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE CAUSARÁN LAS LÍNEAS DEL PROYECTO SIEPAC

Walter Giménez

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Santa Fe
Lavaisse 610 - S3004EWB Santa Fe, Argentina.
Email: wgimenez@frsf.utn.edu.ar

José Vargas Rivas

UEN Transporte de Electricidad
Instituto Costarricense de Electricidad
Apdo 10032 – 1000 San José, Costa Rica
Email: jvargasri@ice.go.cr

RESUMEN

Se presenta una estimación teórica de los niveles de campos electromagnéticos, ruido audible y otros efectos que son posibles de esperar por el funcionamiento de una línea doble terna en 230 kV similar a la proyectada para interconectar Centroamérica. Se analizarán algunas posibilidades de configuración de la línea desde el punto de vista de perturbaciones ambientales y optimización del ancho de la franja de servidumbre, teniendo como parámetros fundamentales la aptitud ambiental de la interconexión y economía en su construcción.

Palabras Clave: campo eléctrico, campo magnético, impacto ambiental y SIEPAC.

1. INTRODUCCIÓN

En enero del año 2003, a través del Fondo Argentino de Cooperación Horizontal y a solicitud de la UEN Transporte de Electricidad del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto de la República Argentina, brindó asistencia técnica a través de una pasantía en el ICE llamada "Proyecto FO-AR 4417: *Diseño de Líneas de Transmisión Compactas*"; y que además tuvo como contrapartida otra pasantía en la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. Los objetivos de esta asistencia fueron principalmente dos: adquirir conocimientos para disminuir el impacto ambiental causado por líneas de alta tensión y disminuir los costos de las mismas analizando la optimización de su configuración.

Las acciones llevadas a cabo que se plasman en esta comunicación fueron orientadas a la estimación teórica de los niveles de campo eléctrico, campo

magnético, ruido audible y otros efectos que son factibles de esperar durante el funcionamiento de la nueva interconexión centroamericana en 230 kV en estructura reticulada convencional en simple y doble circuito. Debido al alto costo de la franja de servidumbre en zonas suburbanas y al impacto en zonas de interés ambiental, se analizan otras configuraciones de líneas, como "line-post" o compactas, para buscar otras alternativas más amigables con el medio y que sean económicamente factibles de realizar.

2. ESTIMACIÓN TEÓRICA DE LOS NIVELES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICOS

Para estos cálculos se ha utilizado un programa especialmente desarrollado, según fórmulas estipuladas por la CIGRE en [4] y cuyos resultados fueron corroborados a través de mediciones de campo, con instrumental calibrado clase 0,1, para otros estudios realizados.

El método utilizado para la determinación de los gradientes de potencial eléctrico cerca de la tierra y debajo de la línea de transmisión se fundamenta en la teoría de las imágenes electrostáticas, según la cual todo conductor aéreo puesto a una altura "h" por encima de la tierra le corresponde un conductor imaginario enterrado a la misma distancia "h" de la superficie sobre la misma vertical, el cual se comporta de forma idéntica al real; esto asegura que el campo eléctrico existente entre ambos conductores sea simétrico.

Por otro lado, la circulación de corriente en un conductor aislado produce un campo magnético alrededor de él cuya magnitud depende de la intensidad de corriente circulante y de la distancia entre el conductor y el punto de medida. En un circuito

trifásico, al estar las tres corrientes desfasadas en el tiempo, la magnitud de su campo magnético resulta de la composición espacial de las tres componentes originadas por la circulación de estas corrientes, en el punto de estudio. Al ser las corrientes pulsantes en el tiempo, el campo magnético resultante en un punto también lo será.

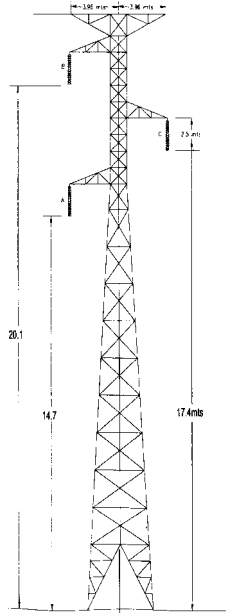


Fig 1: Estructura reticulada de 230 kV y simple terna

Algunos datos para el cálculo son:

- Tensión Nominal = 230 kV
- Corriente Máxima = 750 A
- Frecuencia del Sistema = 60 Hz
- Factor de Potencia = 0,85
- Altura Libre mínima respecto del Suelo = 8 m
- Resistividad promedio del Suelo = 100 Ω m
- Temperatura máxima del Conductor = 80 °C
- Viento Máximo de cálculo = 175 km/h
- Altura de Cálculo = 1 m
- Ancho de la Franja de Servicio = 30 m

Los tipos de estructuras que se han utilizado para los cálculos son los normales para la UEN Transporte de Electricidad y son estructuras reticuladas de acero que se muestran, como ejemplo, para una terna en disposición triangular o celosía en la figura 1. También se utilizó la disposición para dos ternas coplanares verticales. Para estos casos se utilizan cadenas de aisladores de suspensión vertical de una longitud aproximada a 2,5 m y dos hilos de guardia en el extremo superior. Los conductores son aleación de aluminio-acero de 300 y 50 mm² de sección cada uno.

A las variantes anteriores, se las comparó con sus estructuras compactas equivalentes como las mostradas en la fig 2; donde existen dos diferencias principales: el reemplazo de la estructura reticulada

por la columna de hormigón armado y la sustitución de los aisladores de porcelana por aisladores del tipo orgánicos o poliméricos.

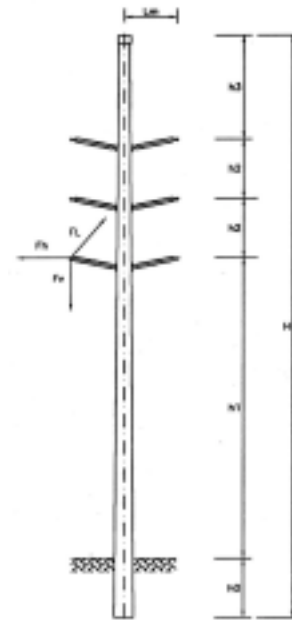


Fig 2: Estructura compacta 230 kV y doble terna

3. RESULTADOS

Para todo los cálculos, se ha tomado las corrientes (750 A) y las tensiones (230 kV) como ideales, esto es: perfectamente sinusoidales, de igual amplitud y desfasadas 120 ° entre cada una de ellas. Los casos analizados son:

- T1: Simple terna en disposición triangular, según fig. 1
- T1vmax: Idem anterior, con viento máximo de 175 km/h
- T2: Doble terna en disposición coplanar vertical y secuencia ABC-ABC
- T2vmax: Idem anterior, con viento máximo de 175 km/h
- LP1: Simple terna compacta en disposición triangular
- LP2: Doble terna compacta en disposición coplanar vertical, según fig. 2

El programa de cálculo realiza un barrido horizontal a 1 m por sobre el nivel del piso, que se asume perfectamente horizontal, de forma perpendicular a la línea de transmisión en el lugar donde se registraría la flecha máxima o bien la menor separación respecto del suelo. Como resultado de estos cálculos, se obtiene el valor y la ubicación tanto del máximo valor de campo eléctrico (E_{max}) como de campo magnético (B_{max}), también se obtienen estos valores sobre el borde de la franja de seguridad de la línea (E_{fs} y B_{fs}) y en un punto cualquiera a elección del usuario que, para este caso, se sitúa 1,80 m por sobre el nivel del

terreno justo debajo del centro de la línea, que intenta simular la cabeza de una persona parada justo sobre el eje de las columnas. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

RESUMEN DE VALORES DE E (en V/m)					
Configuración	Valor Máximo		Valor Franja Seguridad		Punto Específico
	Valor	Posición (en m)	Margen izquierdo	Margen derecho	
T1	2905	-4,7	832	1009	1705
T1 _{vmax}	1488	1,2	372	1107	1504
T2	4210	0	522		4221
T2 _{vmax}	2829	6,6	183	1882	2245
LP1	2653	-3	546	650	2213
LP2	5043	0	3378		5192

Tabla 1: Resumen de valores calculados para campo eléctrico

RESUMEN DE VALORES DE B (en μ T)					
Configuración	Valor Máximo		Valor Franja Seguridad		Punto Específico
	Valor	Posición	Margen izquierdo	Margen derecho	
T1	13,16	-1,5	3,91	3,93	15,19
T1 _{vmax}	6,83	5,9	1,83	4,89	6,38
T2	14,37	-4,4	7,90		14,66
T2 _{vmax}	9,53	6,7	4,10	8,41	9,65
LP1	9,99	-1,2	2,83	2,44	11,85
LP2	18,80	0	7,68		21,32

Tabla 2: Resumen de valores calculados para campo magnético

Con la ejecución del programa, también se obtienen las clásicas figuras de los perfiles de campo para **E** y **B**, tanto en función de su distancia al eje de la línea como su composición vectorial. Otra opción gráfica

disponible, es la representación de los niveles de campo a través de las curvas de igual potencial electromagnético y que se presentan a continuación.

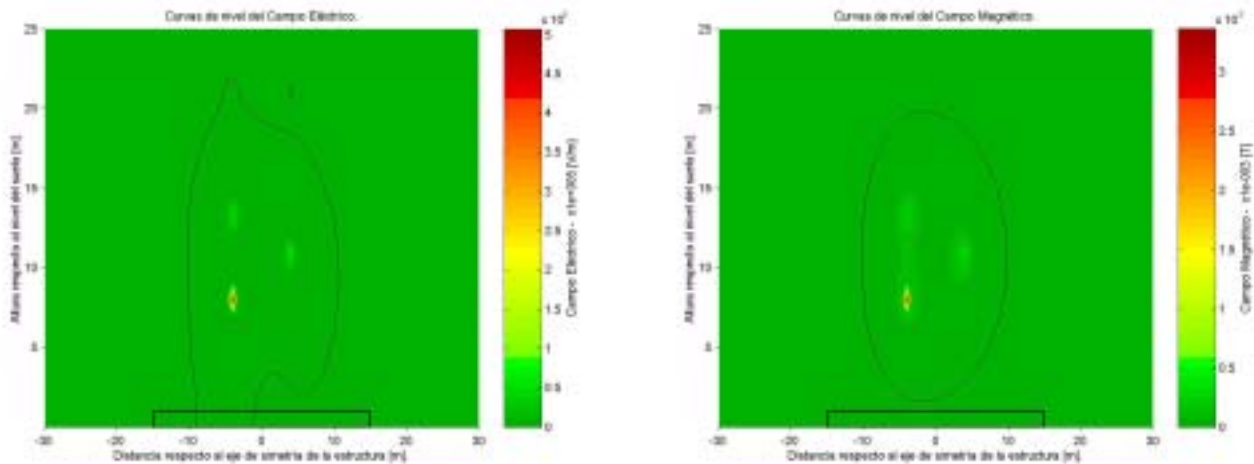


Fig 3: Curvas de nivel de **E** y **B** para una línea de 230 kV y 750 A, en disposición triangular

La figura anterior representa la magnitud de los campos electromagnéticos en función de su distancia al eje de simetría y la altura respecto del piso, para dos franjas de 30 m de ancho a cada lado de la línea. También se muestra el ancho de la franja de seguridad (desde -15 a +15 m), la altura de los cálculos (1 m) y la interpretación de las magnitudes de CEM según la tabla de tonalidades a la derecha de

cada gráfico. La línea continua representa el valor máximo permitido de 2000 V/m para **E** y 15 μ T para **B**, ambas para exposición poblacional; mientras que la línea a trazos representa el valor de 10000 V/m para **E** y 100 μ T **B** asumidos como valores límites para exposición laboral. Para el caso de presentarse vientos de 175 km/h en la dirección de izquierda a derecha de la figura anterior, se producirá un

desplazamiento de los CEM que son representados a continuación para **E** y luego para **B**.

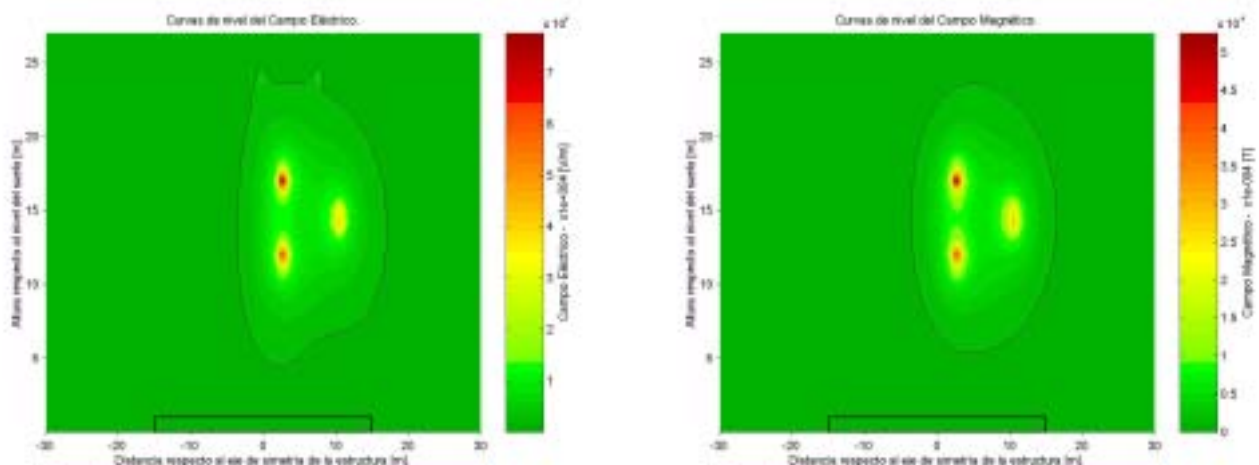


Fig 4: Desplazamiento de las curvas de nivel de **E** y **B**, para vientos de 175 km/h

Para el caso que el proyecto se defina con una doble terna con conductor simple, los CEM asumirán la siguiente distribución en el espacio.

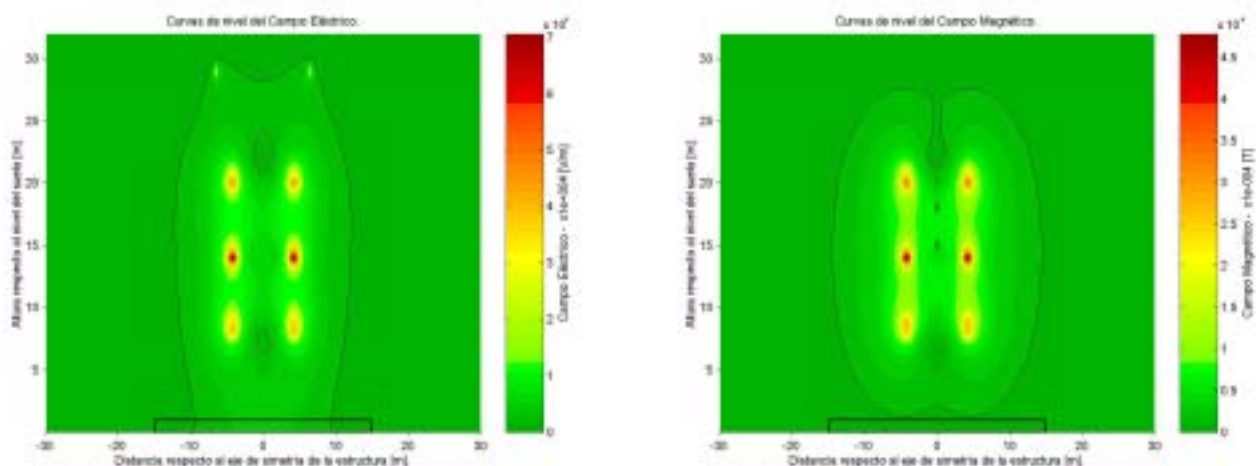


Fig 5: Curvas de nivel de **E** y **B** para una doble terna de 230 kV y 750 A, en disposición coplanar vertical

Si a la distribución espacial de CEM de la doble terna anterior se le agrega el efecto de un viento lateral en sentido hacia la derecha, se tendrá una nueva distribución según la figura siguiente.

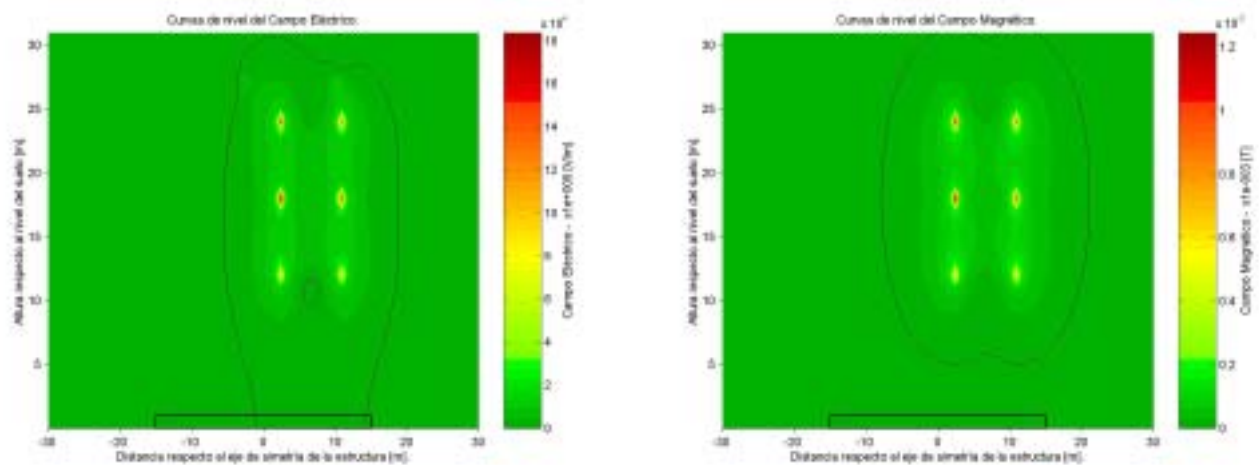


Fig 6: Desplazamiento de las curvas de nivel de **E** y **B**, para vientos de 175 km/h

Si se desea comparar un diseño de doble línea convencional, esto es, estructura de acero reticulada similar al de la fig 1 versus una doble línea del tipo

compacta, según fig 2; se tendrán las siguientes curvas de distribución espacial para el campo eléctrico y luego para el campo magnético

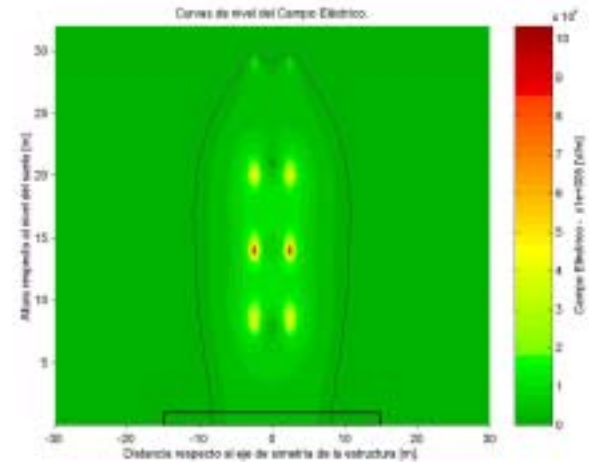
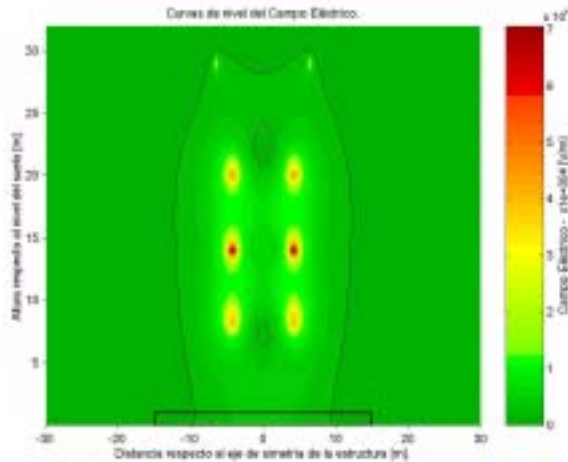


Fig 7: Curvas de nivel de **E**, para una doble línea convencional y una compacta

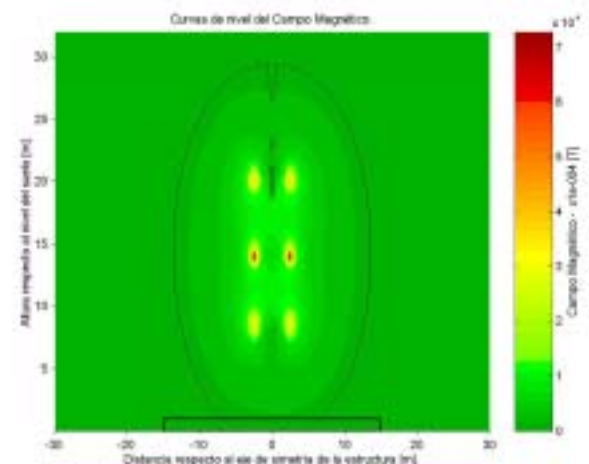
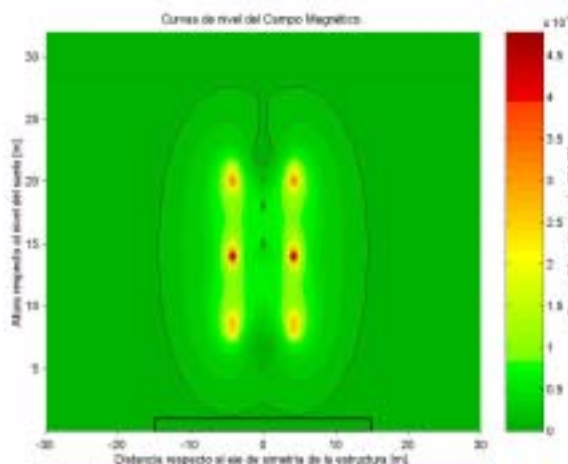


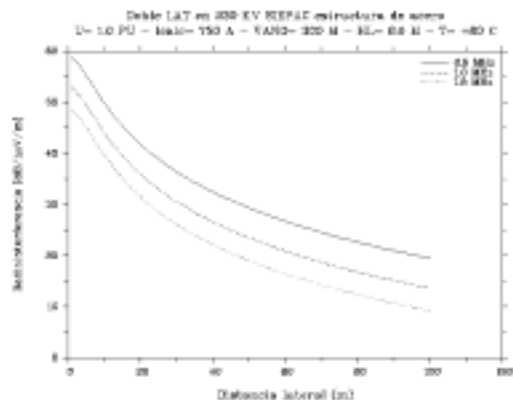
Fig 8: Curvas de nivel de **B**, para una doble línea convencional y una compacta

4. OTROS EFECTOS

La existencia de un elevado gradiente de potencial eléctrico cercano a la periferia de partes bajo tensión, en muchas ocasiones, produce la aparición del llamado "Efecto Corona" que es origen de otras perturbaciones ambientales como ser:

- Ruido Audible: Los cálculos previos han arrojado valores de 41,07 dB para una línea simple convencional; 41,08 dB para una doble convencional; 43,55 dB para solo una línea compacta y 38,35 dB para una doble compacta; todos ellos para conductor húmedo.
- Pérdidas Eléctricas: Las pérdidas calculadas ascienden a 6,65 kW/km y 5,75 kW/km para líneas convencionales simple y dobles, respectivamente. De la misma forma, para líneas compactas, estas pérdidas serán de 8,05 kW/km y 4,66 kW/km aproximadamente.
- Generación de Gases:
 - Ozono: La producción de ozono como resultante de micro descargas es de 9,97 g/km/h para una línea convencional simple y de 8,63 g/km/h para una doble. Para líneas compactas simple es de 12,08 g/km/h y 6,99 g/km/h.
 - Oxido Nitroso: La concentración será de 2,19 ppm/100 kW/km y de 1,90 ppm/100 kW/km para líneas simple y doble convencionales y 2,66 ppm/100 kW/km y 1,54 ppm/100 kW/km para líneas compactas.
- Radio Interferencia: Los niveles de interferencia emitidos para cada línea serán

de 51,33 $\text{db}/\mu\text{V}/\text{m}$ y 55,35 $\text{db}/\mu\text{V}/\text{m}$ para convencionales y 53,64 $\text{db}/\mu\text{V}/\text{m}$ y 53,31 $\text{db}/\mu\text{V}/\text{m}$ para compactas. Si se grafica el nivel



de RI en función de la distancia al eje de la línea para las tres frecuencias de control se tiene la siguiente figura.

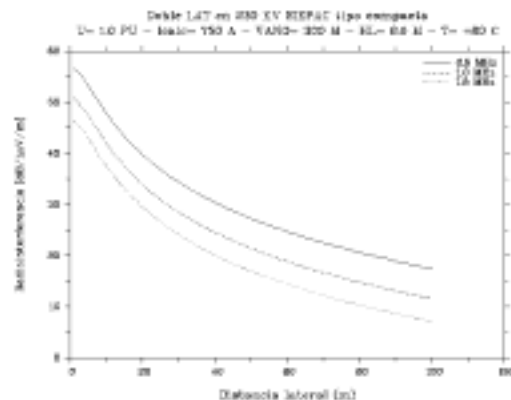


Fig 9: Radio y TV interferencia para una disposición convencional y otra compacta

5. CONCLUSIONES

Existen dos puntos interesantes de analizar con respecto a la conveniencia o no de instalar uno u otro tipo de estructura: la magnitud del impacto ambiental y el costo del ancho de la franja de seguridad, en especial en zonas urbanas y suburbanas. Con respecto al primer punto, en la tabla 1, se aprecia como se logra una reducción de los niveles de campo (2905 contra 2653 V/m , para **E** y 13,16 contra 9,99 μT , para **B**) al utilizar una estructura del tipo compacta. Los mismo sucede para los valores efectivos que hay que controlar a ambos lados de la franja de seguridad. Para estos cálculos se han utilizado las mismas alturas de los conductores pero se corrigió la separación respecto de la vertical del centro de la columna. Estudiando la figura 3, la línea curva representa el nivel máximo permitido para exposición del tipo permanente, se puede ver que es el campo eléctrico aquel máximo que penetra o toca la franja de seguridad lo que indica que se deben controlar los valores límites para el caso de la presencia de vientos que desplacen horizontalmente los conductores; para esto se presentó la figura 4 para el caso límite de vientos de 175 km/h donde se aprecia que el efecto final de esta velocidad del viento es el de levantar los conductores con lo cual disminuyen los valores de CEM en el costado de incidencia del viento (832 contra 372 V/m , para **E** y 3,91 contra 1,83 μT para **B**) y aumentan en el otro costado (1009 contra 1107 V/m , para **E** y 3,93 contra 4,89 μT para **B**), pero siempre debajo de los límites permitidos. El mismo análisis se podrá realizar para el caso de una doble línea.

Para el segundo punto basta con analizar la posición relativa de las curvas que representan los valores máximos cuando “entran” a la franja de seguridad y

así ajustar el ancho optimizando los costos respectivos.

REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Energía del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos, Resolución N°77/98: “Ampliarse las condiciones y requerimientos fijados en el “Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión”, aprobado por la Resolución N° 15/92”. Marzo 1998, Buenos Aires Argentina.
- [2] Poder Ejecutivo, Decreto 29296: “Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en Obras de Transmisión de Energía Eléctrica”. Febrero de 2001, San José, Costa Rica.
- [3] Hevia, Orlando, Walter Gimenez: CORONA: “Programa para el cálculo de campos electromagnéticos y otros efectos causados por líneas de Alta Tensión”. Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia (G.I.S.E.P.) U.T.N. Fac. Reg. Santa Fe, versión año 2000, Santa Fe, Argentina
- [4] EPRI (Electric Power Research): “Transmission Line Reference Book 345 kV and Above (Red Book)”. EPRI Institute, second edition, Palo Alto, California, USA, 1987.

Walter Fernando Giménez nació en Santa Fe - Argentina. En 1991 recibió su título de Ingeniero Electricista en la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional. En 1993 se diplomó en Dirección de Empresas en la Universidad Nacional del Litoral y en 1999 se graduó de Doctor Ingeniero Industrial “Cum Laude” de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona – España.

Actualmente es docente titular e investigador full time del GISEP de la U.T.N., sus áreas de trabajo son el análisis de procesos transitorios en Sistemas Eléctricos de Potencia, la Compatibilidad Electromagnética y la medición de Campos Electromagnéticos de Alta y Baja Frecuencia.

José Vargas Rivas nació en San José – Costa Rica. En 1991 se graduó de Bachiller en Ingeniería Eléctrica. En 1992 – 1995 realizó estudios de postgrado IPN de México, su área de trabajo es la Investigación de Sistemas de Alta Tensión y Campos Electromagnéticos Actualmente se desempeña en el área de Investigación, y como Coordinador de la Interconexión Centroamericana (SIEPAC) y Estudios Preliminares de los Sistemas de transmisión Eléctrica UEN Transporte de Electricidad del Instituto Costarricense de Electricidad .