

# Análisis de las distancias de aproximación para realización de TcT

Por  
Ings. Luis Neira, Rodrigo Franchini, Julio Bertot, Ricardo Casas y Daniel Cairol  
UTN Facultad regional Concordia

## Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las distancias de aproximación para la realización de trabajos con tensión. Toma como punto de partida la actual reglamentación argentina, destacando los inconvenientes que presenta y la necesidad de una adecuación a fin de resolver el problema jurídico y técnico que se presenta a los especialistas al realizar TcT en nuestro país.

El trabajo se continúa con un análisis de la nueva reglamentación propuesta por la Comisión 21 de la AEA y que se encuentra a estudio de la SRT. Finalmente la compara con la de diferentes países de América y Europa.

En todos los casos, el análisis se realiza utilizando como elemento de comparación las normas IEC 61.472 e IEEE 516.

Finalmente, propone mejoras que a juicio de los autores deberían introducirse en las futuras reglamentaciones referidas a distancias de aproximación.

## Análisis de la reglamentación vigente

En la Argentina, las distancias de aproximación para realizar TcT están establecidas en la Resolución 592/04 de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo de la República Argentina. Esta Resolución, se basa en el reglamento de la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA) para trabajo con tensión en instalaciones con tensiones superiores a 1 kV, y establece la siguiente tabla de valores a respetar "para trabajos a distancia":

Nivel de tensión	Distancia mínima
De 0 a 50 V	Ninguna
Más de 50 V y hasta 1 kV	0,80 m <sup>(1)</sup>
Más de 1 kV y hasta 33	0,80 m <sup>(1)</sup>
Más de 33 kV y hasta 66	0,90 m

Nivel de tensión	Distancia mínima
Más de 66 kV y hasta 132	1,50 m <sup>(2)</sup>
Más de 132 kV y hasta 150	1,65 m <sup>(2)</sup>
Más de 150 kV y hasta 220	2,10 m <sup>(2) (3)</sup>
Más de 220 kV y hasta 330	2,90 m <sup>(2) (3)</sup>
Más de 330 kV y hasta 500	3,60 m <sup>(2) (3)</sup>

Del análisis de esta tabla surgen una serie de interrogantes. El primero de ellos es qué distancia se debe respetar para los "trabajos a potencial". Esto podría ser salvado admitiendo que es válido tomar los mismos valores, pero de hecho esto no se indica y por lo tanto deja un importante bache en la reglamentación que da lugar a arbitrariedades e incluso a malos entendidos y puede ser causa de accidentes.

El segundo de los interrogantes surge de un análisis de estos valores. Para ello se debe recurrir a las diferentes normas existentes a nivel internacional. En particular, la Norma IEC 61472 y la IEEE 516. En ambos casos, las distancias de aproximación para la realización de los TcT se basan en la suma de dos distancias. Una de ellas, la correspondiente a razones dieléctricas y la otra correspondiente a motivos ergonómicos. Es decir, por una parte establecer una distancia mínima que asegure que manteniéndola no se producirán descargas disruptivas, y un segundo sumando que tiene en cuenta los movimientos involuntarios de los operarios.

Como es de entender, cuando las tensiones son menores, el sumando correspondiente a la distancia eléctrica se minimiza frente al correspondiente a la distancia ergonómica y viceversa.

En este sentido, la reglamentación argentina, al tomar valores fijos, no aclara de que manera se llega a ellos, y obliga a respetarlos sin entrar en ningún tipo de análisis.

El tercer inconveniente que se presenta para su aplicación es que en el caso de los trabajos de reemplazo de aisladores, la longitud de la cadena es tal que no permite cumplir con las distancias y sistemáticamente es violada. A modo de ejemplo, consideremos una cadena de aisladores de una línea de 500 kV. Normalmente, está constituida por 25 aisladores del tipo U-120 que tienen un paso de 146 mm, lo que da una longitud total de la cadena de 3.650 mm, es decir 3,65 m. Si comparamos esta distancia con la distancia de aproximación establecida en la Resolución 592 que es de 3,60 m para 500 kV, nos damos cuenta de que los 5 cm de diferencia no permiten ejecutar algunas maniobras tales como colocar un descargador de estática (se puentea un aislador) necesario en el momento de desprender la cadena, o bien tomar la cadena de aisladores para su envío a tierra (se puentea como mínimo un aislador).

Esto se agrava si analizamos el caso de las líneas de 132 kV donde las cadenas de aisladores suelen tener entre nueve y diez aisladores U-120. En este caso, el largo de la cadena es del orden de 1,46 m como máximo, y la distancia de aproximación es de 1,5 m, es decir que en algunos trabajos se viola sistemáticamente esta distancia.

El cuarto inconveniente que se aprecia es que esta distancia no hace ninguna reserva respecto al estado de la aislación sobre la que se va a trabajar. Esto permitiría efectuar el recambio de cadenas de aislación con un deterioro superior al 50% lo cual no parece razonable.

Podríamos mencionar como quinto inconveniente el hecho de que no se hace ningún comentario referente a la ubicación de la instalación a intervenir con relación a la altura en que se encuentra respecto al nivel del mar. Este hecho resulta crítico, por cuanto a medida que subimos, la presión disminuye y con ello también disminuye la rigidez dieléctrica del aire y obliga a incrementar las distancias disruptivas.

Finalmente, podríamos mencionar como sexto

inconveniente el que surge de no mencionar las sobretensiones de maniobra que podrían producirse en el lugar de trabajo.

Pareciese ser que el cálculo de las distancias ha sido hecho para los casos más críticos, pero no se indica cuáles son las condiciones de borde y esto hace que su aplicación resulte finalmente insegura.

### Análisis de la nueva reglamentación AEA 95702

De acuerdo a los inconvenientes antes planteados y dada la necesidad de otorgar mayor seguridad a todas las personas que realizan TcT, la Comisión 21 de la AEA realizó un exhaustivo análisis de su reglamentación de forma tal de adaptarla a la realidad argentina, pero tomando como base lo existente a nivel internacional.

Dado que el tema que estamos tratando es el de distancias de aproximación, nos limitaremos a analizar solamente este punto.

En esta reglamentación, se contemplan las siguientes situaciones:

En primera instancia, se define claramente qué distancia se debe aplicar para los diferentes métodos de trabajo usados para TcT, con lo cual se soluciona la indefinición de la anterior reglamentación.

Por otra parte, se establece:

1. Una tabla con distancias fijas para trabajos en proximidad de instalaciones energizadas.
2. Una segunda tabla con distancias fijas para trabajos con tensión fase-tierra.
3. Una tercera tabla con distancias fijas para trabajos con tensión fase-fase.
4. Además, se establece una tabla con factores para corrección por altura de las instalaciones respecto del nivel del mar, que contempla instalaciones ubicadas hasta 2.999 m sobre el nivel del mar y que además establece que para alturas mayores se debe aplicar la Norma IEC 61472 para obtener estos factores.

5. Por otra parte, admite que para cada caso en particular se puede aplicar la Norma IEC 61472 para determinar la distancia de aproximación (para tensiones mayores a 72,5 kV), pero establece limitaciones para su aplicación. En particular, fija la distancia ergonómica mínima a aplicar. Además, establece los valores de sobretensión transitoria que como mínimo deben considerarse en los cálculos y hace una observación respecto a las sobretensiones en el caso de estaciones.
6. Finalmente, determina que en caso de calcularse la distancia de aproximación, los cálculos deben ser realizados y firmados por un profesional con incumbencias y además refrendados por el jefe de servicio.

En síntesis, soluciona gran parte de los problemas existentes, no obstante a nuestro juicio deja pendiente el estado de la aislación y los niveles de sobretensión presentes en el lugar de trabajo. Es decir, en el caso de las tablas con valores fijos se debería aclarar cuál debe ser la aislación necesaria para poder realizar la intervención y el valor máximo de sobretensión considerado.

Esto queda cubierto cuando para conocer la distancia de aproximación se aplica la Norma IEC 61472 ya que la misma lo contempla.

### Comparación de la reglamentación AEA 95702 con IEC 61472

Como ya adelantamos, la Norma IEC 61472 define a la distancia de trabajo como la suma de dos términos. Uno de ellos considera una distancia a mantener a fin de que eléctricamente no se produzca una descarga. El segundo tiene en cuenta los posibles movimientos involuntarios de los operarios que podrían dar lugar a que se penetre en zona correspondiente a descargas eléctricas.

En este contexto, vale la pena indagar de qué manera se calculan estos dos sumandos y ver cuáles son

los factores que intervienen en su conformación.

En el caso del primer sumando que responde a motivos dieléctricos, si analizamos la Norma IEC 61472 nos encontramos que en su conformación se tienen en cuenta cinco factores:

- ▶ La sobretensión presente en el lugar de trabajo
- ▶ La configuración del espacio libre
- ▶ El factor atmosférico
- ▶ Los objetos flotantes
- ▶ El estado de la aislación

La norma es muy clara y permite determinar a partir de la máxima tensión de servicio de la instalación, de la sobretensión esperable (solo superable en el 2% de los casos), del estado de la aislación, de los objetos flotantes presentes interpuestos en la dirección de trabajo y de la altitud de la instalación respecto al nivel del mar, la distancia eléctrica segura para realizar TcT.

Con respecto al "factor atmosférico", aclara fehacientemente que de los tres factores intervinientes, temperatura, humedad y presión, el preponderante es la presión y que la temperatura y la humedad pueden despreciarse.

Con respecto al segundo sumando, no establece un valor sino que comenta que debe estar comprendido entre 0,20 y 1 m, dependiendo del grado de formación, conocimiento y cualificación de los operarios, de las barreras de protección que existan y del grado de supervisión que reciba durante la tarea. Es decir, resulta un tanto indeterminado y no pareciera condecir con el grado de definición utilizado para definir el primer sumando.

Es decir que si comparamos la reglamentación AEA 95702 con IEC 61472 nos encontramos que el establecimiento de distancias fijas con la sola corrección por altura plantea una importante diferencia dado que no se tiene en cuenta en este caso estado de aislación y sobretensiones presentes.

Si bien la tabla que figura en la AEA 95702 fue

confeccionada tomando diferentes estados de aislación y sobretensiones de aparición más frecuente, no se especifican los valores límites, lo cual es perfectamente cubierto en la IEC 61472.

### Comparación de la reglamentación AEA 95702 con IEEE 516

Por su parte, la Norma IEEE 516 para el cálculo de la distancia de aproximación también considera la suma de dos términos. Uno de ellos tiene en cuenta los aspectos eléctricos y el segundo los factores ergonómicos. Es decir, en síntesis plantea el problema de la misma forma que la Norma IEC 61472, pero la diferencia radica en cómo calcula el término eléctrico y que en el caso del sumando ergonómico, define claramente qué valor debe adoptarse.

Respecto a la parte referida a la distancia disruptiva para su cálculo, tiene en cuenta los siguientes factores:

- ▶ La sobretensión presente en el lugar de trabajo.
- ▶ La saturación del aire (para tensiones superiores a 345 kV).
- ▶ Las condiciones atmosféricas.
- ▶ Los datos de las pruebas de laboratorio que se utilizan para desarrollar las fórmulas y tablas de la guía se obtuvieron bajo condiciones atmosféricas que se definen como las temperaturas por encima de cero, la velocidad del viento de menos de 24 km/h (15 mph) , el aire no saturado, la presión barométrica normal (76 cm [29.92"] de mercurio) a nivel del mar, y aire no contaminado, con aisladores limpios y secos.
- ▶ Con respecto a la contaminación, establece que el trabajo con tensión se puede realizar en aisladores contaminados secos, pero el trabajo sobre aislación contaminada húmeda debe evitarse.
- ▶ Respecto a las condiciones climáticas adversas, establece que el TcT no se debe realizar cuando se cumplen las siguientes condiciones adversas:
  1. Actividad de relámpagos en el área de sitio de trabajo

2. Humedad relativa en o cerca del 100%
  3. Humedad relativa igual o superior a 85% para el trabajo de CC de alta tensión por encima de 72,5 kV
  4. Presencia de lluvia o nieve
- ▶ Para tensiones por encima de los 72,5 kV para trabajos por encima de los 900 m se debe corregir el término eléctrico (no se incluye la distancia ergonómica en la corrección).

En términos generales, la IEC 61472 y la IEEE 516 trabajan sobre los mismos factores, pero pareciera ser más estricta la IEC en lo referente a la forma de calcular el término eléctrico ya que uno de los parámetros considera el estado de la aislación en el lugar de la intervención.

Por otra parte, la IEEE 516 presenta tablas con distancias fijas, que han sido calculadas para valores de sobretensión máximos esperables de acuerdo al nivel de tensión de la instalación, para una altura de instalación de 900 m sobre el nivel del mar y con distancias ergonómicas de 60,96 cm (2 pies) para tensiones de hasta 72,5 kV y 30,48 cm (1 pie) para tensiones superiores a 72,5 kV. Es decir, no tienen en cuenta el grado de deterioro de la aislación.

En conclusión, si comparamos esta norma con la AEA 95702, nos encontramos en situación muy similar. La mayor diferencia radica en que en el caso de la AEA solo se calculan las distancias para tensiones superiores a 72,5 kV y para tensiones menores, resulta un valor fijo.

### Comparación de la reglamentación AEA 95702 con otras reglamentaciones

En general, la mayoría de los países refieren directa o indirectamente las distancias de aproximación a la IEEE 516 o a la IEC 61472 el inconveniente se presenta cuando se adoptan tablas con valores fijos y no se aclara cuáles son las condiciones de borde para su aplicación.

De acuerdo a nuestro criterio, se debería mencionar como mínimo juntamente con la tabla de valores de distancia de aproximación, el límite de aislación deteriorada, los valores máximos de sobretensión esperables en el lugar de trabajo y la altura límite respecto del nivel del mar.

La justificación de la aseveración anterior surge del hecho de analizar las variaciones que pueden presentarse en los valores de distancias de aproximación cuando se hace variar los tres factores antes mencionados.

A modo de ejemplo el estado de la aislación en el punto de trabajo modifica de manera notable la distancia eléctrica. En particular, cuando el deterioro en la aislación es del 50% la distancia eléctrica se ve incrementada en valores del orden del 80%. Por este motivo, resulta fundamental para el caso de fijar una tabla única de distancias de aproximación establecer una relación respecto al deterioro de los aisladores a intervenir.

Con respecto a los valores máximos de sobretensión a considerar para variaciones entre 1,8 y 3 pu, las variaciones en el término correspondiente a

la distancia eléctrica resultan del 40% para arriba, siendo más notable cuando mayor es la tensión nominal pudiendo llegar al 100%.

Con respecto a la altura de la instalación respecto del nivel del mar incrementa la distancia eléctrica en aproximadamente un 10%, cada 1.000 metros de altura.

En lo que respecta a tensiones menores a 72,5 kV la norma IEC no prevé un cálculo sino que fija valores. En el caso de la IEEE 516, permite aplicar una fórmula para su cálculo pero aclara que estos no serán afectados por altura respecto del nivel del mar.

En nuestra opinión y de acuerdo a lo que se resume en la tabla 1, queda claro que el término eléctrico resulta de una importancia que no supera el 15% del total para tensiones de hasta 33 kV y que entre 33 y 50 kV no supera el 20%, para entre 50 y 72,5 kV no superar el 35% y que desde el punto de vista de su longitud máxima será del orden de los 32 cm.

Si tenemos en cuenta que las variaciones con respecto a la altura serán del 10% cada 1.000 m, por encima de los 1.000 m, es decir que para una altura de 4.000 m dará como resultado, en el peor de los

Valores obtenidos para trabajos hasta 1.000 msnm

Tensión	Distancia eléctrica Du (cm)	Distancia ergonómica De (cm)	Distancia de aproximación Da (cm)	Incidencia de Du a Da%
Hasta 33 kV	10,06	60,96	71,02	14,17
De 33 hasta 50 kV	14,92	60,96	75,88	19,66
De 50 hasta 72,5 kV	31,37	60,96	92,33	33,98

Tabla 1

Valores obtenidos para trabajos hasta 4.000 msnm

Tensión	Distancia eléctrica Du (cm)	Distancia ergonómica De (cm)	Distancia de aproximación Da (cm)	Incidencia de Du a Da%	Diferencia en cm entre Da a 1.000 y 4.000 m	Diferencia en % entre Da a 1.000 y 4.000 m
Hasta 33 kV	13,08	60,96	74,04	17,67	3,02	4,25
De 33 hasta 50 kV	19,4	60,96	80,36	24,14	4,48	5,90
De 50 hasta 72,5 kV	40,78	60,96	101,74	40,08	9,41	10,19

Tabla 2

casos, una variación de la distancia eléctrica ( $D_u$ ) de un 30% tendremos una situación como la resumida en la tabla 2.

De acuerdo a lo anterior las variaciones de  $D_a$  no resultan significativas dado el peso de la distancia ergonómica  $D_u$  en tensiones de hasta 50 kV por lo cual nos parece muy acertado no tener en cuenta la altitud para este caso. Tal vez, merece un tratamiento diferente para valores por encima de los 50 kV y merecería ser estudiado con mayor amplitud.

### Mejoras que deberían introducirse a la reglamentación AEA 95702

Por lo expuesto y a juicio de los autores, la AEA 95702 debería sufrir algunas adecuaciones. En particular, consideramos que se deberían establecer condiciones de aplicación de las tablas de distancias de aproximación que contiene.

Las antes mencionadas adecuaciones lograrían que las tablas presentadas fuesen de total validez y para ello se debería mencionar:

- ▶ El porcentaje de aislación deteriorada máximo para el cual es de aplicación la tabla.
- ▶ Cuál es el valor máximo de sobretensión por unidad esperable en el lugar de trabajo.
- ▶ Indicar que para alturas superiores a los 2.999 m se debe aplicar la fórmula para cálculo de distancias establecida en la IEC 61472.

Esto permitiría salvar las imprecisiones de una reglamentación con valores fijos y preservar la importancia de contar con una tabla, lo cual permite que personas con menores niveles de formación puedan realizar TcT de forma absolutamente segura.

### Conclusiones

Como conclusión, se destaca la necesidad del establecimiento de una adenda a la reglamentación AEA 95702 por parte de la CE -21 donde se establezca porcentaje de aislación deteriorado máximo, valor máximo de sobretensión por unidad esperable en el lugar de trabajo y forma de proceder para alturas superiores a los 2.999 m.

Además, impulsar con carácter de urgente la puesta en vigencia de la propuesta completa de la AEA 95702 por parte de la SRT (en reemplazo de la Resolución 592/2004) y la continuación de los estudios por parte de los especialistas argentinos para avanzar en la normativa complementaria referida a estaciones transformadoras, sistemas con generación distribuida, trabajos desde helicópteros, etc.

### Referencias

- [1] AEA 95702
- [2] IEC 61472
- [3] IEEE 516
- [4] Res. 592/04 SRT, de la República Argentina.

Finaliza aquí la *Revista Electrotécnica*. Desde la Comisión Directiva de la Asociación Electrotécnica Argentina, saludamos a los lectores hasta la próxima edición, la cual llegará de la mano de *Ingeniería Eléctrica* correspondiente al mes de septiembre de 2016.