

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

Análisis de la aplicación de descargadores de óxido metálico MOV, como protección en las instalaciones de consumidores, ante sobretensiones transitorias producidas por impactos de rayos en líneas aéreas de distribución de media y baja tensión

Juan Diarte

Jorge Neira

Luis Sosa Almirón

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción

Paraguay

Resumen

Los impactos de rayos en las líneas aéreas originan a sobretensiones transitorias, que de acuerdo a la norma *IEC 60071-1* son clasificadas como sobretensiones de frente rápido. Estas sobretensiones pueden producir fallas transitorias o permanentes, afectando a la confiabilidad y calidad del servicio eléctrico prestado por las empresas transportistas o distribuidoras de energía. El rayo es uno de los principales agentes causales de las fallas. A nivel internacional y nacional se han presentado trabajos que consideran la utilización de descargadores de sobretensión de óxido metálico *MOV*, con predominancia del óxido de zinc *ZnO*, como protección para mitigar fallas producidas por impactos de rayos.

En general, las sobretensiones pueden ser producidas por el impacto directo de los rayos en las líneas aéreas o por impactos en las cercanías de las mismas. Los picos de sobretensiones producidas por impactos directos de rayos producen mayores solicitaciones en los aislamientos de las instalaciones. En los casos estudiados en este trabajo, se evalúan las sobretensiones producidas por impactos directos de rayos en las líneas aéreas de una red de distribución rural, compuestas por una línea de media tensión trifásica de 23kV, una línea trifásica de baja tensión 380/220V, la cual se conecta al secundario de un transformador de 100kVA, Dyn5, 23kV/380 V, del puesto de distribución. Se consideran conductores desnudos para las fases en ambas líneas. La línea de media tensión está compuesta por un cable de guardia. Los consumidores están conectados a la línea de baja tensión y el esquema de puesta a tierra considerado para los mismos podría encuadrarse dentro del régimen de conexión *TN-C-S*. Se consideran impactos de rayos en la línea de media tensión así como en la línea de baja tensión, adoptándose como modelo de incidencia de rayos al modelo electrogeométrico. En cuanto a las protecciones contra las sobretensiones, se considerarán descargadores instalados en el transformador trifásico de 100kVA y en las instalaciones de los consumidores. En el caso de los consumidores se considerarán a los descargadores instalados en el puesto de entrega. La configuración de descargadores adoptada en el puesto de entrega del consumidor, sigue las recomendaciones de la norma paraguaya NP 2 028 96, así como de normas relacionadas de la *IEC* e *IEEE*.

Se realizan simulaciones en el *ATP*, para el estudio de las alternativas de protección con los descargadores *MOV* en los puestos de entrega de la instalación de los consumidores ante las sobretensiones producidas por los impactos de rayos en las líneas de media y baja tensión.

Palabras clave

Impactos de Rayos - Sobretensiones de frente rápido – Protección contra sobretensiones – Descargadores de Óxido Metálico - Puesto de entrega de instalaciones del consumidor - Líneas aéreas – Red de Distribución.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio se desprende de una serie de *Trabajos de Fin de Grado* que se han realizado dentro de la *Facultad de Ingeniería* a partir de los trabajos que han sido desarrollados en los ámbitos de la *ANDE* y de la *FIUNA* y que fueron presentados en los seminarios del *SESEP* y del *ERAC*, en los años 2012, 2013 y 2014 [1], [2], consistentes en estudios que han proporcionado los primeros resultados de sobretensiones transitorias por impactos de rayos en líneas de transmisión, mediante simulaciones digitales utilizando el *ATP*. Los diversos *Trabajos de Fin de Grado* han englobado aspectos tales como la utilización de sistemas de localización de rayos *LLS* en el análisis de desempeño de líneas de distribución, el análisis de la aplicación de descargadores de óxido metálico *MOV* en líneas de distribución y en la protección de transformadores de distribución, llegando en el estado actual con el inicio de estudios que implican la protección contra rayos en las instalaciones de baja tensión de los consumidores.

Para la realización de los estudios que implican simulaciones para la obtención de sobretensiones transitorias originadas por impactos de rayos en líneas aéreas y en sistemas eléctricos, a más del modelado de componentes del sistema, se consideran las características de los componentes establecidos por los fabricantes respectivos y aspectos específicos tratados en la literatura y las normas relacionadas.

Los rayos que impactan directamente a las líneas aéreas o en las cercanías de las mismas son capaces de producir sobretensiones en las mismas, siendo que los impactos directos son los más severos.

En los sistemas de distribución, los consumidores están conectados mayormente a líneas aéreas. Impactos de rayos en las líneas son una de las fuentes de sobretensiones que pueden ocurrir en las instalaciones de los mismos. Acorde a la norma *IEEE C62.41* [3], la localización donde ocurren estas sobretensiones, son clasificadas en tres categorías, *A*, *B*, *C*, siendo la categoría *C* la correspondiente a los servicios de entrega o puesto de entrega. La clasificación acorde a *IEC* corresponde a la zona de protección *LPZO*.

En la *Tabla 31*, contenida en la *NP 2 028 96* [4], que está basada en la *IEC 61664-1*, establece que para sistemas trifásicos 220/380V, categoría *IV*, los componentes instalados en la en la ubicación correspondiente al puesto de entrega no deben tener una tensión nominal a impulso inferior a 6kV. Al respecto, también la mencionada norma paraguaya, señala que los valores indicados en la referida *Tabla 31*, se refieren a categorías de sobretensiones, es decir, a niveles de sobretensión transitoria que pueden ser esperados en una instalación eléctrica de la edificación alimentada por una red externa en una situación estadísticamente establecida.

Existen dispositivos utilizados para limitar sobretensiones. La norma *IEC 61643-11* [5] es aplicable a dispositivos de protección contra sobretensiones que se utilizan en instalaciones de baja tensión hasta 1000V y tradicionalmente clasifica a los mismos en *clases I, II y III*. En el mercado es posible encontrar dispositivos que cumplen los requisitos de más de una clase.

2. METODOLOGÍA UTILIZADA Y MODELADO DE COMPONENTES EN EL ATP

En el estudio de casos, se considera una red de distribución compuesta por una línea de media tensión (*LMT*), un transformador de distribución, una línea de baja tensión (*LBT*), a la que se conecta el consumidor, que en el estado de avance actual de los estudios, es representada por una carga equivalente en el puesto de entrega. Los componentes de la red de distribución y la carga son modelados en el *ATP* para el análisis de las sobretensiones resultantes en el puesto de entrega, con y sin descargadores *MOV* instalados en el mismo. Las sobretensiones analizadas en el consumidor son aquellas producidas por impactos de rayos en el lado de media tensión (poste de media tensión del puesto de distribución/punto de conexión del cable de guardia) y en el lado de baja tensión (cabeza del poste de la *LBT* al cual se conecta la carga). Se contemplan rayos, con intensidades que van desde 3kA hasta los de alta intensidad y baja probabilidad de ocurrencia como los de 200kA. Se

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

considera el modelo electrogeométrico como modelo de incidencia de rayos. En el caso de utilización de descargadores, como parte de la protección a los consumidores, la ubicación de los mismos es considerada en el puesto de entrega, aguas abajo del medidor de energía, dispuestos de acuerdo a lo establecido en [4], para instalaciones del tipo TN-C-S. También se analizan las corrientes resultantes a través de los descargadores ante los impactos directos de rayos.

Se considera primeramente al consumidor como una carga trifásica y luego como una carga monofásica, que en este caso se la contempla conectada a la *Fase A* de la línea de baja tensión.

A continuación se indican los principales detalles de los componentes de la red y las directrices para el modelado de los mismos en el *ATP*:

- **Corriente de rayo:** para simular el efecto del impacto directo de un rayo se utilizará el componente *SLOPE_RA*, que representada una fuente de corriente doble rampa [1] y [6].
- **Tensiones de 23kV/50Hz:** la fuente es modelada con un componente *ACSOURCE* [1], [6] y [7].
- **Líneas aéreas de media y baja tensión:** están modelados por el componente de parámetros distribuidos dependiente de la frecuencia tipo *JMARTI*, considerando las directrices indicadas en [1]. Para la *LMT*, se consideran conductores de aleación de aluminio de 70mm^2 para las fases y el cable de guardia es de acero galvanizado, $3/8''$ *EHS*. Para la *LBT*, se consideran conductores de aleación de aluminio de 35mm^2 para las fases y el neutro. Las líneas son de conductores desnudos.
- **Acometida:** se representa como una línea aérea de baja tensión de 25m , siguiendo las mismas directrices para la línea de baja tensión. Se consideran conductores de cobre de 25mm^2 .
- **Aisladores de las líneas de media y baja tensión:** se representan usando voltaje-interruptores controlados por tensión [1], adoptándose como voltajes de referencia los valores de *CFO* indicados para los aisladores en *ANDE* [1], complementando con las recomendaciones del *IEEE* en [8]. Los aisladores considerados son los típicos de *ANDE*.
- **Postes de H°A° de media y baja tensión y conductores de bajada de puesta a tierra:** se representan mediante una línea monofásica con parámetros distribuidos y sin pérdidas, complementando con directrices consideradas en [1] y [7]. Los postes considerados son los típicos de *ANDE*.
- **Impedancias de Puesta a Tierra:** se representan mediante resistencias puras [7], modelo considerado conservador. Se adopta el valor de 10Ω para el puesto de entrega, las líneas de media tensión, la de baja tensión y 4Ω el transformador.
- **Transformador de distribución:** se representa mediante el modelo *BCTRAN*, complementando con capacitancias, conforme directrices consideradas en [7]. Se considera un transformador trifásico de 100kVA , $23/0,38\text{kV}$, grupo de conexión *Dyn5*, con las características típicas de *ANDE*.
- **Descargadores de sobretensión:** los descargadores de sobretensión tanto en media tensión como en baja tensión están modelados con el componente *NLRES92*. Se considera el esquema de conexión previsto en [4], para un esquema de conexión de puesta a tierra del consumidor del tipo *TN-C-S*. Se consideran datos de catálogos de fabricantes [9] y [8].
- **Consumidor:** se considera como siendo de impedancia constante, para lo cual se utiliza el componente *RESISTOR* en serie con el componente *IND_RP*, simulando así una carga resistiva e inductiva para con

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

factor de potencia de 0,95. Para el caso de la carga trifásica corresponde a una potencia de 18,3kW y para la carga monofásica corresponde una potencia de 6,4kW [6].

En la *Figura 1*, se presenta un esquema básico de la red considerada, donde se indican además los puntos donde se simularán los impactos de rayos.

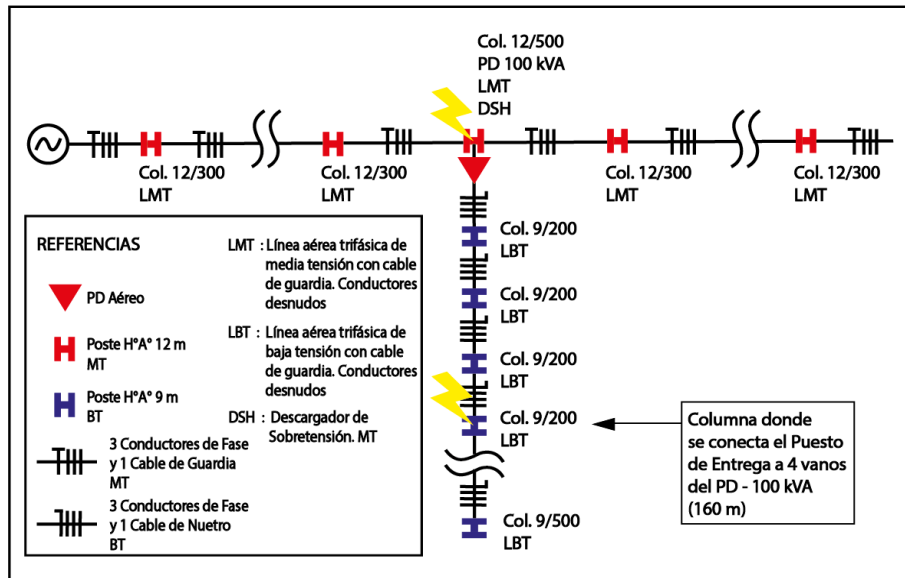


Figura 1: Esquema básico de red considerada y puntos de impacto de rayos

3. VALIDACIÓN DE MODELOS

A continuación se presentan resultados considerados en el proceso de validación de los descargadores utilizados en la línea de media tensión, en el lado de media tensión del transformador, de acuerdo a la configuración normal de instalación utilizada por la ANDE, así como los descargadores de baja tensión previstos como protección en el puesto de entrega del consumidor, aguas abajo del medidor de energía [4]. Los descargadores de media tensión son de *clase I*, con $U_r=18kV$ y $U_c=15,3kV$ [9]. Los descargadores de baja tensión son de *clase I+II*, con $U_r=0,43kV$ y $U_c=0,275kV$, $I_n(8/20\mu s)=20kA$, $I_{m\acute{a}x}(8/20\mu s)=60kA$ y $I_{imp}(10/350\mu s)=12,5kA$ [10]. A continuación, en la *Tabla I*, se presentan los errores registrados en la implantación de los modelos de descargadores, comparados con los datos de fabricantes a cuyos datos se pudieron acceder.

Tabla I: Modelo de Descargadores – Verificación de errores comparados con datos de fabricantes.

Descargadores MT				Descargadores BT			
Valores de corrientes (kA)	Datos de Catálogo del fabricante U_{res} (kV)	Modelo descargador en el ATP U_{res} (kV)	Error (%)	Valores de corrientes (kA)	Datos Curva V_xI del fabricante U_{res} (kV)	Modelo descargador en el ATP U_{res} (kV)	Error (%)
10	52,7	52,7	0	5	0,89	1,039	16,74
20	58,2	57,7	0,8	10,4	1,058	1,118	5,67
40	67,5	64,7	4,4	20,2	1,289	1,225	-4,97

Los errores en los modelos, para las zonas de altas corrientes son próximos o menores a 5 %.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

4. RESULTADO DE SIMULACIONES

En este apartado se presentan los resultados de las sobretensiones en el puesto de entrega con y sin descargadores instalados en el mismo, que han sido obtenidas en las simulaciones ante impactos de rayos con determinadas intensidades I_r , con tiempos de Frente T_1 y tiempos a valor medio T_2 . También se presentan las máximas corrientes resultantes en los descargadores, cuando instalados en el puesto de entrega.

En la *Tabla II*, se presentan las sobretensiones de fase en el puesto de entrega, con y sin descargadores de baja tensión instalados, ante impactos de rayos en el lado de media tensión y en el lado de baja tensión, considerando al consumidor como carga trifásica. Se incluyen además en dicha tabla, las probabilidades de que un cierto valor de intensidad de corriente de rayo sea excedida $P(I_r)$ [8].

Tabla II: Sobretensiones en el puesto de entrega con y sin descargadores – Carga Trifásica

I_r (kA)	$P(I_r)$ (%)	T_1/T_2 (μ s)	$U_{A,N}$ sin Desc. (kV)	$U_{B,N}$ sin Desc. (kV)	$U_{C,N}$ sin Desc. (kV)	$U_{A,N}$ con Desc. (kV)	$U_{B,N}$ con Desc. (kV)	$U_{C,N}$ con Desc. (kV)	Ubic. Impacto de Rayo		
3	99,77	1,2/50	6,826	5,791	5,122	0,814	0,782	0,757	Impactos de Rayos lado Media Tensión		
5	99,14		8,488	8,448	8,710	0,747	0,750	0,760			
10	94,98		9,335	10,460	10,455	0,789	0,784	0,753			
200	0,78		11,964	12,830	12,521	0,883	0,898	0,908			
3	99,77	8/20	3,861	3,166	2,796	0,776	0,749	0,738		Impactos de Rayos lado Media Tensión	
5	99,14		6,258	5,279	4,834	0,810	0,781	0,766			
10	94,98		10,981	8,365	8,053	0,815	0,783	0,764			
200	0,78		10,012	12,345	11,821	0,914	0,875	0,876			
3	99,77	10/350	4,006	3,417	3,016	0,848	0,820	0,791			Impactos de Rayos lado Media Tensión
5	99,14		6,499	5,698	5,203	0,880	0,850	0,835			
10	94,98		9,796	7,751	11,290	0,827	0,768	0,782			
200	0,78		11,497	13,331	12,697	0,940	0,947	0,951			
3	99,77	1,2/50	5,227	5,864	16,224	0,781	0,812	0,752	Impactos de Rayos lado Baja Tensión		
5	99,14		11,128	23,550	23,808	0,811	0,867	0,835			
10	94,98		46,947	43,178	37,204	0,876	0,860	0,858			
200	0,78		938,570	851,290	729,020	1,162	1,119	1,119			
3	99,77	8/20	4,601	4,402	4,738	0,773	0,764	0,765		Impactos de Rayos lado Baja Tensión	
5	99,14		4,996	5,735	6,642	0,792	0,784	0,791			
10	94,98		7,137	7,174	15,286	0,817	0,813	0,874			
200	0,78		142,940	127,520	109,280	1,152	1,112	1,111			
3	99,77	10/350	3,856	4,120	4,531	0,846	0,830	0,821			Impactos de Rayos lado Baja Tensión
5	99,14		5,050	5,653	6,423	0,861	0,844	0,840			
10	94,98		6,552	6,323	14,270	0,920	0,906	0,958			
200	0,78		113,070	102,690	88,070	1,151	1,110	1,109			

En la *Tabla III*, se presentan las sobretensiones de fase en el puesto de entrega, con y sin descargadores de baja tensión instalados, ante impactos de rayos en el lado de media tensión y en el lado de baja tensión, considerando

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

al consumidor como carga monofásica. Se incluyen además en dicha tabla, las probabilidades de que un cierto valor de intensidad de corriente de rayo sea excedida $P(Ir)$ [8].

Tabla III: Sobretensiones en el puesto de entrega con y sin descargadores – Carga Monofásica

Ir (kA)	P(Ir) (%)	T ₁ /T ₂	Impactos de Rayos lado Media Tensión		Impactos de Rayos lado Baja Tensión	
			U _{A,N} sin Desc. (kV)	U _{A,N} con Desc. (kV)	U _{A,N} sin Desc. (kV)	U _{A,N} con Desc. (kV)
3	99,77	1,2/50	7,378	0,827	3,567	0,787
5	99,14		8,768	0,764	25,215	0,847
10	94,98		9,531	0,802	45,344	0,916
200	0,78		11,916	0,912	865,910	1,254
3	99,77	8/20	4,125	0,794	4,413	0,798
5	99,14		6,710	0,820	5,374	0,812
10	94,98		10,778	0,808	6,543	0,826
200	0,78		9,568	0,883	131,270	1,244
3	99,77	10/350	4,360	0,868	4,233	0,870
5	99,14		7,102	0,918	5,454	0,893
10	94,98		8,239	0,811	6,503	0,926
200	0,78		11,369	0,861	104,840	1,243

En la *Figura 2*, se presentan las formas de onda de las sobretensiones obtenidas mediante las simulaciones en el puesto de entrega con carga trifásica conectada al mismo, por impactos de rayos en la línea de baja tensión, con intensidades $Ir=3kA$ e $Ir=200kA$, en ambos casos con $T_1/T_2=1,2/50\mu s$.

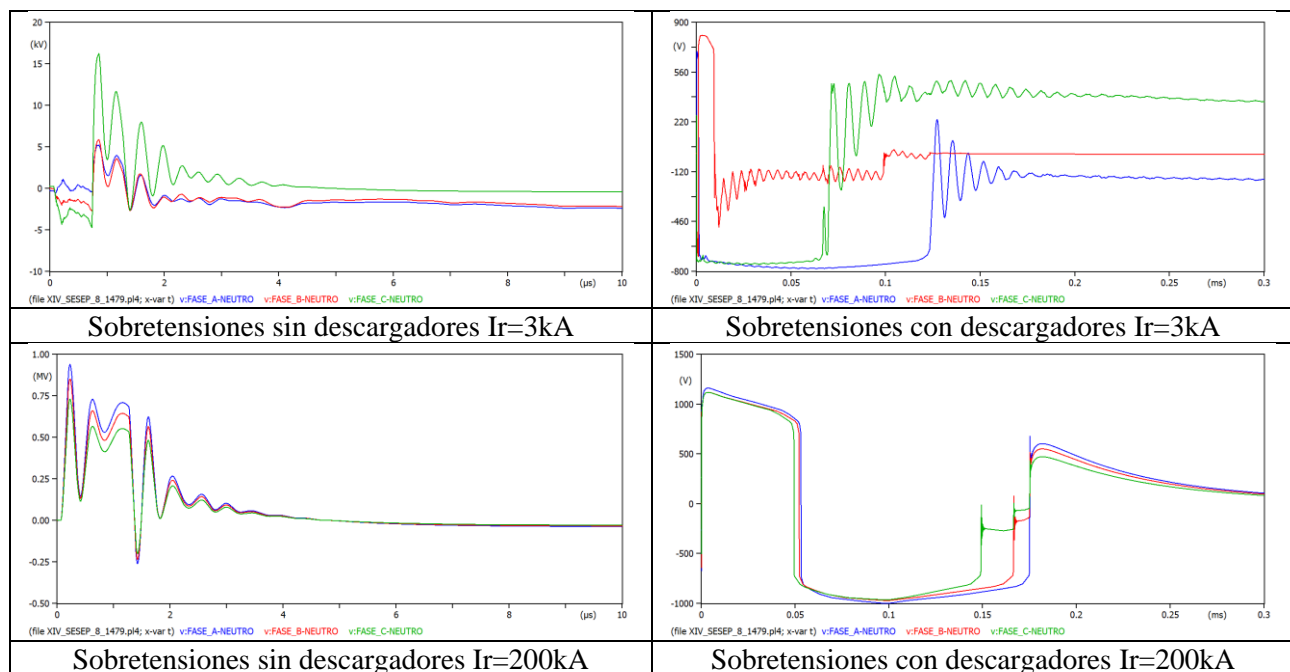


Figura 2: Sobretensiones en las fases del puesto de entrega, con y sin descargadores

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

Con la aplicación del modelo electrogeométrico se ha constatado que rayos pueden impactar directamente a las fases de la línea de media tensión, sin embargo solo son posibles casos con intensidades de rayos hasta $5kA$. En este caso la máxima sobretensión que resulta es de $13,4kV$ en la *fase B*, por el impacto directo de rayo en la *fase C*. Impactos directos en las fases de la línea de baja tensión no son posibles, pues quedan totalmente cubiertas por el cable de neutro.

En la *Tabla IV*, se presentan las máximas corrientes resultantes en los descargadores, cuando instalados en el puesto de entrega, que incluyen intensidades muy elevadas de 100 y $200kA$, con bajas probabilidades de ocurrencia. Los resultados presentados se refieren casos de impactos de rayos en el lado de baja tensión, ya que son los más severos, considerando primeramente al consumidor como carga trifásica y luego como carga monofásica.

Tabla IV: Corrientes en descargadores de baja tensión – Puesto de entrega

Ir (kA)	P(Ir) (%)	T ₁ /T ₂ =1,2/50			T ₁ /T ₂ =8/20			T ₁ /T ₂ =10/350			Tipo de Carga
		Ides Fase_A (kA)	Ides Fase_B (kA)	Ides Fase_C (kA)	Ides Fase_A (kA)	Ides Fase_B (kA)	Ides Fase_C (kA)	Ides Fase_A (kA)	Ides Fase_B (kA)	Ides Fase_C (kA)	
10	94,98	0,675	0,513	0,488	0,181	0,163	0,651	1,181	0,984	2,020	3Ø
100	4,54	7,239	5,296	5,269	6,833	4,992	4,934	6,694	4,907	4,828	
200	0,78	14,521	10,630	10,601	13,725	10,046	9,985	13,500	9,874	9,794	
10	94,98	1,121	X	X	0,230	X	X	1,276	X	X	1Ø
100	4,54	11,971	X	X	11,305	X	X	11,220	X	X	
200	0,78	24,044	X	X	22,783	X	X	22,668	X	X	

5. CONCLUSIONES

Se han obtenido las sobretensiones en el puesto de entrega, las cuales resultan de los impactos directos de rayos en los puntos indicados de la línea de media tensión y de la línea de baja tensión, con y sin descargadores instalados en el mismo. También, se han obtenido las respectivas corrientes en dichos descargadores, como resultado de los impactos de rayos.

Los impactos directos de rayos en el poste de la línea de baja tensión, donde se conecta el consumidor, han producido mayores sobretensiones en el puesto de entrega, en el caso en que el mismo no posea descargadores instalados, comparado con las sobretensiones ocasionadas cuando los rayos impactan de forma directa en el poste del puesto de distribución del lado de media tensión.

Para los casos de impactos directos de rayos en el poste del puesto de distribución del lado de media tensión, considerando al consumidor como carga monofásica, sin descargadores instalados en el puesto de entrega, se han registrado sobretensiones con valores comprendidos entre $4,1$ y $11,9kV$. Ya al considerar al consumidor como carga trifásica, sin descargadores instalados en el puesto de entrega, se han registrado sobretensiones con valores comprendidos entre $3,0$ y $13,3kV$.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

En los casos de impactos directos de rayos en el poste de la línea de baja tensión, donde se conecta el consumidor, considerando al mismo tanto como carga monofásica o trifásica, sin descargadores instalados en el puesto de entrega, la sobretensión mínima registrada en dicho punto es inferior a $3,6kV$. Para los casos de impactos de rayos de $200kA$, que es una intensidad con baja probabilidad de ocurrencia, con $P(Ir)=0,0078$, las sobretensiones en el puesto de entrega, sin descargadores instalados, superan ampliamente el valor de referencia de $6kV$ indicada en la norma NP 2 028 96, registrándose valores inclusive hasta de $938,6kV$.

Para todos los casos simulados, sean con las intensidades de rayos menores, o con las muy altas, tales como intensidades de rayos de $200kA$, la utilización de los descargadores en el puesto de entrega del consumidor, ha conseguido reducir las sobretensiones a niveles seguros por debajo de $1,3kV$, teniendo en cuenta que el valor de referencia indicado por la norma NP 2 028 96 para los puestos de entrega es de $6kV$.

En cuanto a las corrientes registradas en los descargadores de baja tensión, instalados en el puesto de entrega, se evaluaron los casos de impactos de rayos en el lado de baja tensión, pues son los que producen las solicitaciones más severas. Para impactos de rayos de hasta $100kA$, las corrientes en los descargadores están por debajo de los límites máximos establecidos de los dispositivos considerados en este estudio, por lo que se espera un funcionamiento seguro de los mismos. En caso de que se quiera atender la exigencia para corrientes de rayo de $200kA$, que es una intensidad con baja probabilidad de ocurrencia, con $P(Ir)=0,0078$, se recomienda la utilización de la configuración en paralelo de descargadores o sustituirlos por otros de mayor capacidad.

Se recomienda la continuidad de estos estudios que vienen desarrollándose, utilizando otros modelos de representación para los componentes de la red de distribución y considerando la utilización en cascada de descargadores en el interior de la instalación del consumidor, siguiendo las recomendaciones de la normativa relevante. También se recomienda estudiar la influencia de objetos cercanos a las líneas de distribución y los efectos de impactos indirectos de rayo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Luis Sosa Almirón, “Técnica no convencional utilizando descargadores de ZnO, aplicables en la mejoría de desempeño de líneas de transmisión del SI, ante sobretensiones de frente rápido”, XV ERIAC - CIGRÉ., Foz do Iguaçu–Brasil, mayo 2013, páginas 1-8.
- [2] Luis Sosa Almirón, “Técnicas Convencionales y No Convencionales, aplicables en la mejoría de desempeño de Líneas de Transmisión del Sistema Interconectado Nacional Paraguayo ante Descargas Atmosféricas, utilizando el método de Monte Carlo.”, XI SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ, Asunción – Paraguay, septiembre 2014, páginas 1-8.
- [3] IEEE Std C62.41-1991, *IEEE Recommended Practice for Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits*.
- [4] Norma Paraguaya INTN NP 2 028 96, “*Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión*”, Segunda Edición, Octubre 2013.
- [5] IEC 61643-11: 2011, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods*.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

-
- [6] Oliveira da Silveira, P.; De Toledo Silva, F. A.; Brasil Falleiros, J. A., “Efeito do aterramento do sistema de distribuição na mitigação das sobretensões em consumidores de baixa tensão devidas a descargas atmosféricas”, Seminario CIDEL, Argentina, septiembre 2010, páginas 1-6.
- [7] Evaluación de desempeño de descargadores ZnO como protecciones de Transformadores de Distribución ante sobretensiones de Rayo – Impacto en la calidad y la confiabilidad del suministro de energía - Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Electromecánica. Facultad de Ingeniería UNA – San Lorenzo – Paraguay, 2021, páginas 1-213.
- [8] IEEE Std. 1410TM-2010, *IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines*.
- [9] Harvey Hubbell Power Systems, Inc., *SURGE ARRESTERS - Catálogo Técnico*, 2011, páginas 1-32. Disponible en: <https://hubbellcdn.com/catalogfull/70SurgeArresters1.pdf>
- [10] CLAMPER Indústria e Comércio S.A., *MANUAL DE INSTALAÇÃO - Linha CLAMPER Front*, 2011, páginas 1-51. Disponible en: https://s3.amazonaws.com/nerit-cms/clamper/file/fil_0042-MI-014411.pdf