

Optimal evaluation for the installation of surge protection devices SPD in low voltage panels

Roberto Pfuyo Muñoz, Docente principal de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Roberto Said Pfuyo Osis, Estudiante de la Facultad de Medicina

¹Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, – Perú, rpfuyo@untels.edu.pe.

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u202115507@upc.edu.pe

Abstract: The use of electrical energy in low voltage networks is exposed to overvoltages from atmospheric discharges that affect equipment and people, so in an electrical system, surge protection devices SPD (Surge Protective Device) are generally installed. in bypass configuration between line and ground conductors to reduce detrimental effects. The objective of the research is to determine the optimal procedures for the installation of surge protection devices in low voltage networks to avoid deterioration in protection equipment and avoid personal accidents through the combination, location of protection devices, double voltage effect, the connection and coordination of SPD. Procedure that will allow continuous operation through the overvoltage protection device that activates and discharges the lightning current to ground that will short-circuit the electrical circuit with the link from the well to ground by connecting the equipotential grounding with the installations exposed by a short time, limiting the duration of the overvoltage.

Keywords—Surge, Protection device, Equipotential grounding system

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.573>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Evaluación óptima para la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones SPD en paneles de baja tensión

Roberto Pfuyo Muñoz, Docente principal de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Roberto Said Pfuyo Osis, Estudiante de la Facultad de Medicina

¹Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, – Perú, rpfuyo@untels.edu.pe.

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u202115507@upc.edu.pe

Resumen: *La utilización de la energía eléctrica en redes de baja tensión está expuesto a las sobretensiones de descargas atmosféricas que afecta los equipos y personas, es así que en un sistema eléctrico los dispositivos de protección contra sobretensiones SPD (Surge Protective Device) generalmente se instalan en configuración de derivación entre los conductores de línea y tierra para reducir los efectos perjudiciales. El objetivo de la investigación es determinar los procedimientos óptimos para instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones en redes de baja tensión para evitar deterioro en los equipos de protección y evitar accidentes personales mediante la combinación, ubicación de dispositivos de protección, efecto de doble voltaje, la conexión y coordinación de SPD. Procedimiento que permitirá la operación continua mediante el dispositivo de protección contra sobretensiones que se activa y descarga la corriente del rayo a tierra que cortocircuitará el circuito eléctrico con el enlace del pozo a tierra mediante el conexionado de la puesta a tierra equipotencial con las instalaciones expuestas por un tiempo breve, limitando la duración de la sobretensión.*

Palabras clave—*Sobretensiones, Dispositivo de protección, Sistema de puesta a tierra equipotencial*

I. INTRODUCCIÓN

Las descargas atmosféricas pueden causar daños considerables. El rayo es un riesgo que se debe tener en cuenta en las instalaciones y equipos eléctricos. El análisis y conocimiento de este fenómeno natural y sus efectos es muy importante para valorar el riesgo y elegir los métodos de protección. El objetivo de la investigación es proporcionar un buen procedimiento y definición práctica de las soluciones apropiadas para cada tipo de instalación en paneles y redes secundarias de acuerdo con las buenas prácticas profesionales y las normas técnicas contra sobretensiones.[1]

En una instalación eléctrica de redes y paneles de baja tensión, los dispositivos de protección contra descargas atmosféricas, específicamente de sobretensiones (SPD), generalmente se instalan en configuración en paralelo entre los conductores de fase y tierra. Por lo que, el funcionamiento de SPD puede ser similar al de un disyuntor, es así que en un evento normal sin sobretensión el dispositivo de protección SPD es igual a un interruptor automático de circuito abierto.

La instalación de los dispositivos SPD se realizan sin tener en cuenta el concepto de zonas de protección contra rayos, por consiguiente, el equipo a proteger podría dañarse a pesar de la correcta coordinación de los SPD. Esta falla es inducida por los fenómenos de reflexión en el cable que conecta un SPD externo y la carga protegida. Por lo tanto, el SPD tiene una distancia de

protección efectiva bajo la condición de la carga específica y el nivel de protección de voltaje específico del SPD.[2]

II. MATERIAL Y MÉTODOS

A. Los efectos de los rayos

1) Efectos directos (golpes en estructuras).

El sistema de protección para evitar las consecuencias directas de las descargas atmosféricas y el rayo consiste en captar la corriente y descargarla a tierra mediante pararrayos, captadores, etc.

En el punto de impacto, el rayo genera efectos térmicos directos como fusión, fuego provocado por el arco eléctrico, efectos térmicos y electrodinámicos inducidos por la circulación de la corriente del rayo, efectos de las ráfagas de ondas de choque y ráfagas de aire producidas por el calor y la expansión del aire.

2) Efectos indirectos (sobretensiones en la red).

Las sobretensiones ocasionadas por los rayos pueden llegar a la instalación por tres vías de acceso: Por conducción tras la caída directa de un rayo en redes eléctricas, telecomunicaciones, etc., que ingresan o salen de las instalaciones, por retroalimentación al suelo a través del sistema de puesta a tierra, los cables de protección y las partes conductoras expuestas del equipo.

Estadísticamente, los deterioros a las instalaciones y equipos eléctricos se deben principalmente a los efectos indirectos de la caída de rayos y sobretensiones de operación, por lo que es importante brindar protección mediante la instalación de protectores contra sobretensiones.[3]

B. Protectores contra sobre tensiones

Los protectores contra sobretensiones, es un elemento importante en la protección de las instalaciones modernas, lo más importante es elegir el adecuado y asegurar el cumplimiento de las normas técnicas de instalación, son condiciones indispensables para su funcionamiento.

La protección de redes eléctricas de baja tensión y equipos contra sobretensiones transitorias se basa en el uso de protectores contra sobretensiones, y consiste principalmente en:

- Contener la energía destructiva más arriba posible del equipo suministrando una ruta especial a tierra.
- Prevenir la existencia de sobretensiones destructivas en los equipos limitándolas a niveles aceptables con el equipo.

- Reducir los efectos de inducción debidos a los campos generados por el paso de las corrientes de inducción.

En el caso de los sistemas eléctricos, los SPD generalmente se instalan en configuración de derivación entre los conductores activos y la tierra. El principio de funcionamiento de los SPD se puede comparar con el de un disyuntor como se muestra en la Fig. 1:

- En uso normal: el protector contra sobretensiones es similar a un disyuntor abierto.
- Cuando ocurre una sobretensión, el SPD se activa la corriente del rayo se descarga a tierra. Se puede verificar con el cierre de un interruptor automático que cortocircuita el suministro de energía eléctrica con tierra mediante el sistema de puesta a tierra equipotencial y las partes conductoras expuestas en un tiempo muy corto, limitado a la duración de la sobretensión.

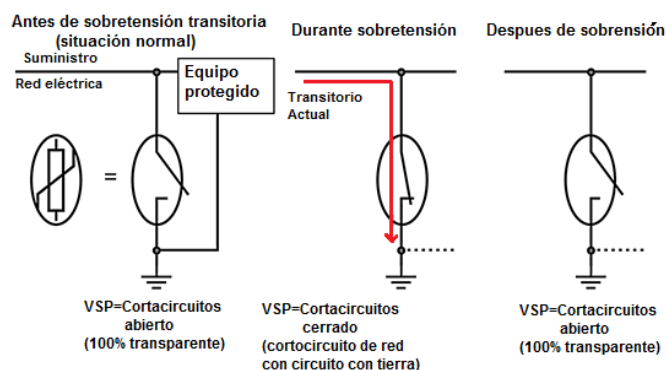


Fig. 1. Protección contra sobretensiones para redes eléctricas.

C. Surge Protector Devices (SPD)

Los supresores protectores de voltaje son dispositivos destinados a proteger los equipos sensibles de sobrevoltajes de frente rápido duración corta y alta magnitud, existen diversas tipos y tecnologías.[4]

Existen diferentes clases de SPD, que dependen del tipo de instalación y de conexión de los equipos, hay SPD que protegen directamente a los equipos de la fuente de alimentación, este tipo de supresores por lo general se encuentran en el tablero de distribución seguido de los interruptores automáticos, tienen diversos tipos de configuración para una adecuación al sistema eléctrico, monofásicos y trifásicos.

La segunda clase son más pequeños y se instalan a la salida de los tomacorrientes cerca de la carga, y se usa para garantizar una protección de alto grado, para asegurar un equipo valioso y que no se cuenta con un equipo de seguridad.

La tercera clase de SPD protege las líneas de información de datos, este tipo de SPD se instala cerca de los racks o paneles que administran las redes de equipos de cómputo o tableros de distribución eléctrica y tienen salida UTP para la red de datos.

La última clase de SPD, es la que viene para aplicaciones especiales, su conector depende del tipo de conexión de la carga y están cerca del equipo a proteger.

La configuración e implementación de los tipos de SPD se muestran en la Fig.2,

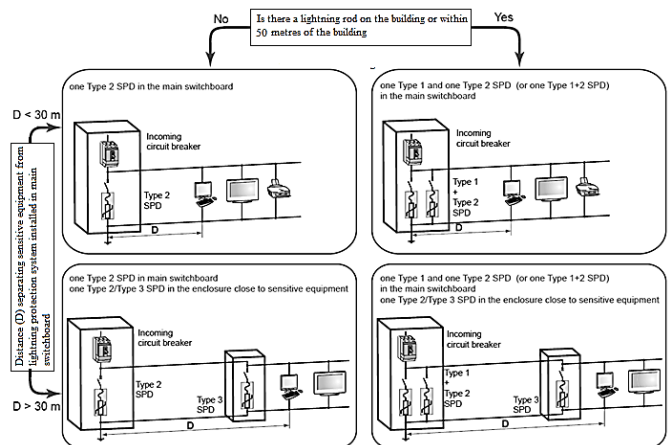


Fig. 2. Los cuatro casos de implementación del SPD.

III. RESULTADOS

A. Modos de protección

Existen dos modos de sobretensión tipo rayo: Modo común y modo corriente residual.

Las sobretensiones de rayo se presentan principalmente en modo común y normalmente en el origen de la instalación eléctrica. Las sobretensiones en modo corriente residual suelen aparecer en modo TT y afectan principalmente a equipos sensibles como equipos electrónicos, ordenadores, etc.

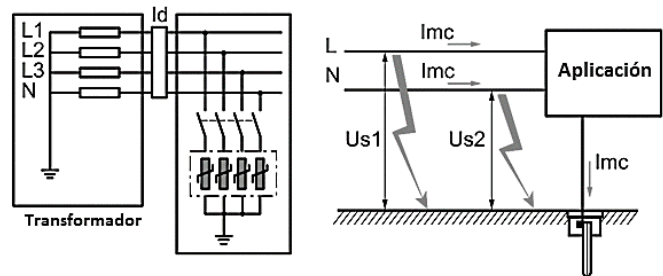


Fig. 3. Protección en modo común entre fase/neutro y tierra.

La protección fase/neutro en un sistema de puesta a tierra TT queda justificada cuando el neutro del lado del distribuidor se encuentra unido a una conexión de bajo valor de ohmios mientras que el electrodo de puesta a tierra de las instalaciones de la puesta a tierra es de valores altos en ohmios.

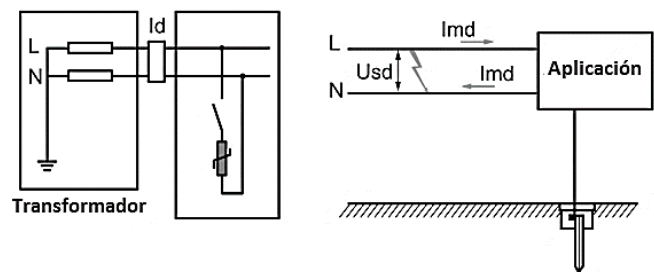


Fig. 4. Modo de protección de corriente residual entre fase y neutro.

Entonces, es factible que el circuito de retorno de corriente sea a través del neutro de la instalación en lugar de la tierra.

La tensión de modo corriente residual U , entre fase y neutro, se incrementa a un valor igual a la sumatoria de las tensiones excedentes en cada parte del SPD, por tanto, se incrementa al doble la escala de protección en modo común, tal como se muestra en la Fig. 5.

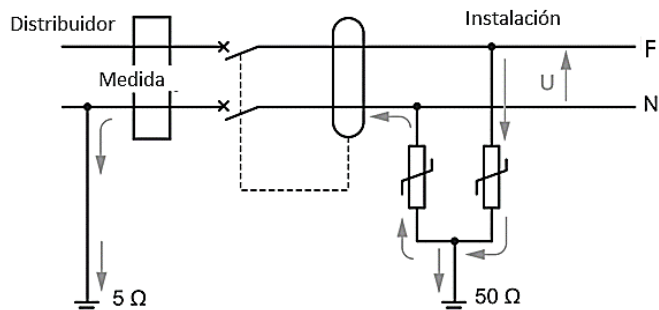


Fig. 5. Protección fase/neutro en un sistema de puesta a tierra TT.

Un fenómeno similar ocurre en un sistema de puesta a tierra TN-S si los conductores neutros y fases están separados el cual no cuenta con la equipotencialidad adecuada. Entonces, es posible que la corriente se dirija al conductor neutro en su regreso en lugar del conductor de protección y el sistema de unión.

Se puede precisar un modelo de protección óptimo teórico, que se aplica a todos los sistemas de puesta a tierra, sin embargo, de hecho, los dispositivos de protección contra sobretensiones adoptan protección en modo común y protección en modo corriente residual menos en los modelos IT o TN-C.

Es necesario comprobar que los dispositivos de protección contra sobretensiones utilizados sean compatibles con el sistema de puesta a tierra.

B. Protección en cascada

La protección contra sobrecorrientes debe ser proporcionada por dispositivos con capacidades apropiadas para cada nivel de la instalación; origen, secundario y terminal coordinados entre sí, la protección de las sobretensiones temporales funciona utilizando una instalación en cascada o serie para distintas protecciones contra las sobretensiones.

Usualmente, se requiere de dos o tres dispositivos de protección contra las sobretensiones para reducir la energía y disminuir las sobretensiones inducidas mediante el acoplamiento debido a fenómenos de oscilación de alta frecuencia.

El análisis se basa en la hipótesis de que solo el 80% de la energía se desvía a tierra, valor empírico que depende del tipo de dispositivo de protección contra las sobretensiones, así como del circuito y conexionado de las instalaciones eléctricas, inferiores al 100%.

El principio de protección en cascada siempre se utiliza para aplicaciones de baja corriente como telefonía, comunicaciones y redes de datos, adoptando los dos primeros niveles de protección en un único dispositivo que suele estar situado en el origen de la instalación.

La protección de terminal se combina con esta protección de origen. La protección del terminal es próxima al equipo,

provista mediante dispositivos de protección contra sobretensiones de proximidad.[5]

C. Implementación de varios dispositivos SPD.

Evitar al máximo las sobretensiones, requiere la instalación un dispositivo SPD cerca del equipo a proteger. Es decir, esta protección solo protege a los equipos que están directamente conectados a ella, pero, sobre todo, su capacidad energética muy baja no permite mitigar toda la energía. Para ello es inevitable un dispositivo de protección contra sobretensiones en el inicio de la instalación.

Además, el SPD no protege toda la instalación porque deja pasar una cantidad de energía excedente ya que el rayo es un fenómeno de alta frecuencia

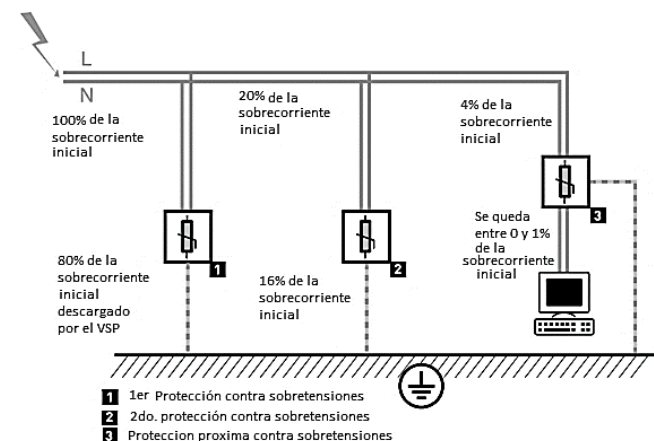


Fig. 6. Circuito de protección en cascada.

Se debe tener en consideración que el primer nivel del dispositivo de protección contra sobretensiones (1) debe instalarse lo más cerca posible de la instalación para disminuir al máximo los efectos inducidos del rayo por acoplamiento electromagnético.[6]

D. Disposición de los dispositivos de protección contra sobretensiones

Una protección eficaz mediante dispositivos de protección contra sobretensiones, se necesita adoptar varios dispositivos de protección contra sobretensiones:

1. SPD principal.
2. SPD de circuito.
3. SPD de proximidad.

Puede ser necesaria una protección adicional según las longitudes de línea y la sensibilidad del equipo informático, electrónico a proteger. Cuando se instalan varios dispositivos de protección contra sobretensiones, se debe aplicarse reglas de coordinación adecuadas.

Es sustancial tener en cuenta que la protección de la instalación y el equipo en general es efectiva cuando:

1. Se conectan diferentes escalas de SPD en serie o cascada para garantizar la protección de los equipos ubicados a cierta distancia del inicio de la instalación en los equipos colocados a 30 m o más de distancia.[6]
2. Todas las redes están protegidas:

3. Redes eléctricas que alimentan la instalación principal y todas las instalaciones secundarias, sistemas de alumbrado exterior de estacionamiento, etc.

4. Redes de comunicación de las líneas principales y líneas entre las distintas instalaciones.

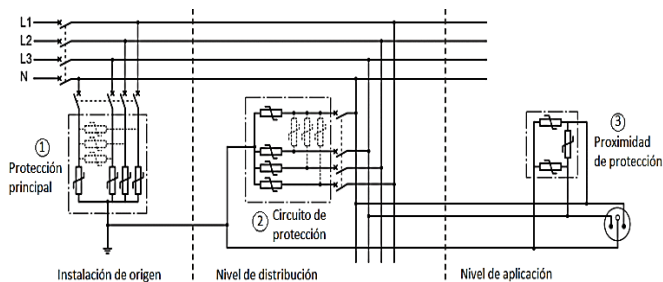


Fig. 7. Ubicación de dispositivos de protección contra sobretensiones.

E. Longitudes protegidas

Es importante que el análisis y diseño del sistema eficiente de protección contra sobretensiones, se debe considerar la longitud de las líneas que alimentan las cargas que se tiene que proteger

En consecuencia, por encima de una cierta longitud, la tensión aplicada al receptor, mediante un fenómeno de resonancia, supera considerablemente la tensión límite esperada. Este fenómeno está directamente relacionado con las características de la instalación como los conductores y sistemas de unión, con el resultado de la corriente inducida por efecto de la descarga del rayo.[7]

Un dispositivo SPD, está cableado correctamente cuando:

1. El equipo a proteger debe estar conectado equipotencialmente en el mismo conexionado del sistema a tierra donde se encuentra conectado el SPD.
2. El SPD y su debida protección de resguardo deben estar conectados entre sí.
3. A la red y a la barra de protección principal (PE/PEN) del cuadro con longitudes de conductor lo más cortas posibles e inferiores a 0,5 m.
4. Con conductores cuyas secciones sean adecuadas a los requisitos de SPD, de acuerdo a la Tabla I.

TABLA I. LONGITUD MÁXIMA DEL PROTECTOR SPD Y EL DISPOSITIVO A PROTEGER

Posición del SPD		En el inicio de la instalación		No en el inicio de la instalación	
Sección transversal del conductor		Cableado doméstico	Cables grandes (industria)	Cableado doméstico	cables grandes (industria)
Estructura del sistema de unión	Conductor PE	< 10 m	10 m	< 10m	20m
	Malla/ equipotencial	10 m	20 m	20m	30m

F. Efecto del doble voltaje

A una cierta longitud d , el circuito protegido por el dispositivo de protección contra sobretensiones empezará a replicar en el momento que la inductancia y la capacitancia tomen valores iguales:

$$L_w = -\frac{1}{C_w} \quad (1)$$

El valor de la impedancia del circuito se reduce a su resistencia inicial. El valor absorbido por el dispositivo SPD, la corriente residual del rayo I en el circuito sigue estando basada en impulsos. Su incremento, debido a la resonancia, dará como resultado aumentos significativos en los voltajes U_d , U_c y U_m .

De acuerdo a las consideraciones, el nivel de voltaje de alimentación en el receptor puede duplicarse.

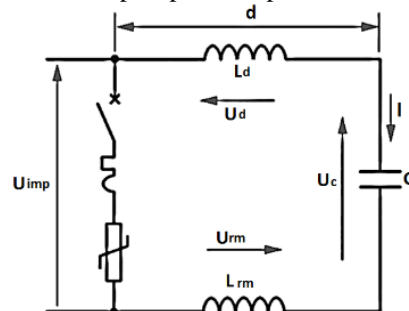


Fig. 8. Efecto de doble voltaje

Dónde:

C = capacitancia de la carga

L_d = inductancia de la línea de alimentación

L_{rm} = inductancia del sistema de unión

La instalación de los SPD no debe afectar negativamente a la prolongación del servicio, el mismo que no cumpliría con el objetivo requerido. Deben instalarse, en particular en el origen de las instalaciones eléctricas como el caso de sistemas de puesta a tierra TT, con un dispositivo de corriente diferencial retardada de tipo S. Así mismo, se debe prever el riesgo de la existencia de caídas de rayos significativas mayores a 5 kA, los dispositivos de corriente residual secundarios aún pueden disparar.

G. Conexión de SPD

1. Sistema de conexión a tierra.

El circuito de protección establece una distancia de un sistema de puesta a tierra.

Por tanto, la impedancia total del circuito de salida, debido a la corriente descargada por el dispositivo de protección contra sobretensiones se divide en dos partes.

El primero, el sistema de puesta a tierra, está formado por conductores, que suelen ser hilos, y por la resistencia de tierra. Su origen inductivo hace que su eficacia disminuya con la influencia de frecuencia, de acuerdo a regla de 0,5 m. La impedancia de la segunda parte es menos visible pero indispensable en alta frecuencia porque en realidad está formada por la capacidad parásita entre la instalación y tierra.

Se ha verificado que la parte de la corriente de descarga del protector contra sobretensiones puede alcanzar del 50 al 90 % del sistema de puesta a tierra equipotencial, mientras que la cantidad descargada por el electrodo de sistema de puesta a tierra está en el orden del 10 al 50 %. El sistema de unión es fundamental para conservar una tensión de referencia baja, que sea más o menos la misma en toda la instalación eléctrica.

Los SPD deben estar conectados a este sistema de unión para obtener la máxima eficacia, donde la sección transversal mínima recomendada para los conductores de conexión debe

tener el valor máximo de la corriente de descarga y las características del dispositivo de protección.

No se recomienda aumentar esta sección transversal para subsanar las longitudes de conexión de los no son aptos con la regla de 0,5 m. Es decir, a alta frecuencia, la impedancia de los conductores está relacionada con la longitud de los conductores.

En instalaciones eléctricas y paneles grandes, se debe disminuir el valor de la impedancia de las partes activas metálicas, chasis, placas y carcasas.[3]

TABLA II. SECCION MINIMA DE LOS CONDUCTORES DE CONEXIÓN DE SPD

Capacidad SPD		Sección transversal (mm ²)
SPD Clase II	Estándar: Imáx < 15 kA (x3-clase II)	6
	Incremento Imáx < 40 kA (x3-clase II)	6
	Alto: Imáx < 70 kA (x3-clase II)	16
SPD Clase I		16

Es importante conservar un hilo conductor para conectar los conductores de protección al bloque de terminales, seguidamente se duplica el conexionado realizado mediante las partes activas expuestas en la carcasa del panel.

H. Longitud de conexión de SPD

Se precisa que la longitud total del circuito de protección contra sobretensiones no sea superior 0.50 m. El procedimiento no es sencillo de efectuar, pero el uso de las partes conductoras expuestas disponibles cerca puede ayudar.

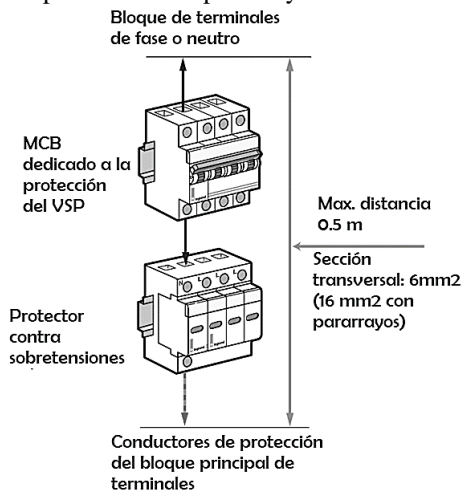


Fig. 9. Longitud del dispositivo de protección contra sobretensiones

La cantidad de descargas de rayos que extrae el dispositivo SPD disminuye con el resultado de la corriente de descarga de 15 rayos para una corriente en valor I_n a un solo rayo en I_{max}/I_{imp} .

Regla de 0,5 m. En teoría, cuando cae un rayo, la tensión U_t a la que se somete el receptor es igual a la tensión de protección U_p del pararrayos para su I_n , pero en la práctica esta última es superior.

En consecuencia, a esto se suman los huecos de tensión producidos por las impedancias de los conductores de conexión del dispositivo SPD y su dispositivo de protección:

$$U_t = U_{I1} + U_d + U_{I2} + U_p + U_{I3} \quad (2)$$

Es así que, la caída de tensión en 1 m de conductor recorrida por un impulso de corriente de 10 kA durante 10 μ s alcanzará los 1000 V.

$$\Delta_u = L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

Donde:

Di=variación de corriente 10 kA

dt= variación de tiempo 10 μ s

L= inductancia de 1 m de conductor = 1 μ s

Valor Δu a sumar a la tensión U_p

Por lo tanto, la longitud total L_t debe ser lo más corta posible. Se recomienda no superar los 0,5 m., en caso de dificultad, puede ser útil utilizar conductores anchos y planos.

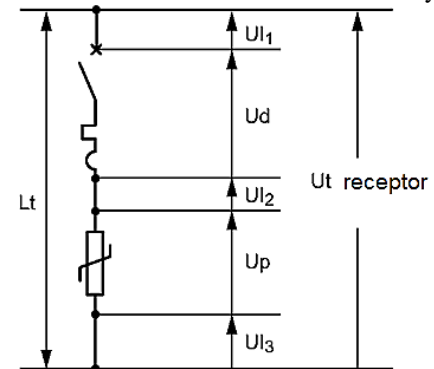


Fig. 10. Regla de conexión SPD de 0.5 m

Las configuraciones de cableado pueden crear acoplamientos entre los conductores en la parte superior e inferior del SPD, lo que probablemente provoque que la onda del rayo se propague por toda la instalación.[8]

I. Protección de los SPD de acuerdo a la vida útil

El SPD es un dispositivo cuyo tiempo de vida final requiere una consideración especial. Los accesorios de los SPD se envejecen cada vez que cae un rayo.

El deterioro por el tiempo de vida útil final de un dispositivo interno en el dispositivo de protección de las sobretensiones llega a desconectar del suministro de energía eléctrica. Un indicador en el protector y un feedback de alarma opcional indican este estado, que requiere la sustitución del módulo en cuestión.

Si el dispositivo de protección contra sobretensiones supera sus capacidades de limitación, puede destruirse por un cortocircuito, por lo tanto, el dispositivo debe instalarse en serie en la parte superior del dispositivo SPD.

El dispositivo de protección contra sobretensiones está protegido para controlar posibles corrientes de cortocircuito y sobrecarga, esto se aplica a todos los protectores contra sobretensiones, tanto de clase II como de clase I, independientemente del tipo de componentes o tecnologías utilizadas.[9]

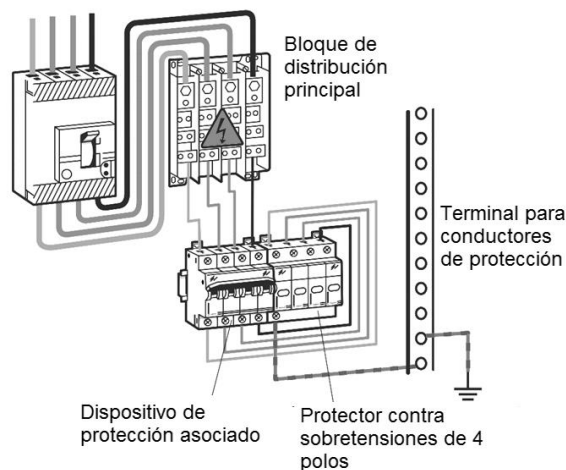


Fig. 11. Principios de instalación de dispositivos SPD con protección asociada

J. Coordinación de SPD

La conexión en serie o cascada de los SPD necesita que estén coordinados, para que absorban la energía y evite la propagación del rayo por toda la instalación.

La coordinación de los SPD es muy compleja por lo que, debe ser objeto de estudios y ensayos prácticos. Las especificaciones técnicas de los SPD no recomiendan la instalación entre los SPD en distancias mínimas contra sobretensiones o la inclusión de choques de desacoplamiento.

Los dispositivos primarios y secundarios de protección contra sobretensiones deben estar coordinados para que la energía total a disipar ($E_1 + E_2$) se reparta entre ellos según su capacidad de descarga. La distancia recomendada d_1 permite desacoplar los protectores contra sobretensiones y, por lo tanto, evita que pase demasiada energía directamente al dispositivo de protección contra sobretensiones secundario con el riesgo de destruirlo.[10]

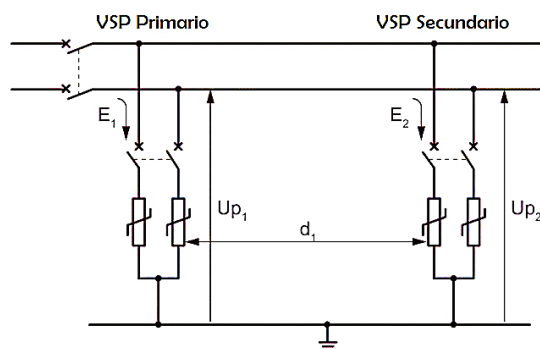


Fig. 12. Coordinación de SPD

En la Fig. 12, los dos protectores contra sobretensiones idénticos con $U_p: 2 \text{ kV}$ y $I_{m\acute{a}x}: 70 \text{ kA}$, se pueden instalar sin el requerimiento de la distancia d_1 la energía se repartirá en partes iguales entre los dos dispositivos de protección contra sobretensiones. Pero dos dispositivos de protección contra sobretensiones diferentes con, $U_p: 2 \text{ kV}/I_{m\acute{a}x}: 70 \text{ kA}$ y $U_p: 1.2 \text{ kV}/I_{m\acute{a}x}: 15 \text{ kA}$, deben estar separados por al menos 8 m para evitar que se exija demasiado al segundo protector contra sobretensiones.

Si no se precisa, se toma d_1 min en metros como el 1% de la diferencia entre U_{p1} y U_{p2} en voltios. Es así que:

$U_{p1} = 2,0 \text{ kV}$ y $U_{p2} = 1,2 \text{ kV}$

$d_1 = 8 \text{ m}$ mínimo ($2000 - 1200 = 800 \Rightarrow 1\% \text{ de } 800 = 8\text{m}$)

Por otro lado, si:

$U_{p1} = 1,4 \text{ kV}$ y $U_{p2} = 1,2 \text{ kV} \Rightarrow d_1 = 2 \text{ m}$ mínimo.

IV DISCUSIÓN

Las instalaciones eléctricas con respecto a la protección contra el rayo nunca proporcionan una protección total de personas y bienes. Las medidas adoptadas pretenden reducir estadísticamente los riesgos con respecto a los elementos considerados, pero hay que recordar que inevitablemente se basarán en parte en la práctica.

Las normas técnicas describen los principios generales de protección general de estructuras y equipos internos contra rayos. Las siguientes partes proporcionan información específica para la evaluación del riesgo de rayos teniendo en cuenta los conceptos de daños previsible y aceptables y los requisitos económicos, protección contra daños físicos relacionados con las estructuras y daños a las instalaciones eléctricas o electrónicas.

Dependiendo de la normativa nacional, la aplicación de estas normas es obligatoria para la protección de sectores de servicios públicos, transporte, seguridad civil o militar, etc., o sitios de alto riesgo para el medio ambiente y para las personas. Se tienen como referencia para la realización de estudios de instalaciones complejas como industria, aeropuertos, etc., sin embargo, en ausencia de requisitos nacionales que estipulen su aplicación, la protección contra sobretensiones se puede implementar de acuerdo con la norma IEC 61643-12 o equivalentes nacionales.[6]

Por lo tanto, cuando se instalan dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) sin tomar en consideración el concepto de zonas y métodos de protección contra rayos, el equipo a proteger puede dañarse a pesar de la perfecta coordinación energética de los SPD. Esta falla y deterioro es inducido por los efectos de reflexión en el cable que conecta un SPD externo y la carga protegida. En este contexto los efectos de reflexión dependen de las especificaciones de la salida del SPD externo, la conexión de las cargas y los cables entre la carga y el SPD externo. Es así que, el SPD debe tener una distancia de protección segura de acuerdo a la condición de la carga instalada y el nivel de protección de voltaje específico del SPD. En el presente proyecto se ha dado alternativa de solución efectiva y segura donde se analizaron dualmente en referencia de la operación de la onda generada de sobretensión de los equipos con diferentes características de carga y SPD, así como los diferentes niveles de protección de tensión como se muestran en la Fig. 11. Por otro lado, podemos precisar que la influencia del nivel de protección de voltaje en la distancia de protección es efectiva de acuerdo a las consideraciones planteadas. Así mismo, se ha evaluado en función a la distancia de protección segura del SPD con la instalación en paralelo y cascada con un nivel de protección de voltaje diferente. La propuesta y los resultados y analizados muestran que la longitud y distancia de protección efectiva es demasiado grande siempre en cuando la impedancia

del equipo es cercana o menor que la impedancia característica del cable de conexión.

Por lo tanto, la instalación de dispositivos SPD es muy importante en la protección de equipos eléctricos e instalaciones eléctricas de baja tensión contra sobretensiones. En el proyecto se consideró el caso, cuando la instalación práctica y real de un motor eléctrico protegido por dos SPD una distancia adecuada, el cual se instaló en el tablero general de distribución de baja tensión ubicada después del suministro de energía eléctrica por parte de la empresa concesionaria, y el otro SPD se instaló dentro del motor y en el interruptor termomagnético. Con respecto a la coordinación de los dos SPD en conectados en cascada se analizó considerando diferentes tensiones y formas de onda de impulso. Con el método planteado en el presente proyecto, se midieron las características de impedancia del estado operativo del motor de inducción y se obtuvieron los circuitos equivalentes y se encontró que las selecciones de parámetros para diferentes formas de onda de impulso son indispensable e importantes para la protección contra sobretensiones.

V CONCLUSIÓN

En este artículo se presenta un análisis que permite entender de forma sencilla y clara la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD), debido a que es importante para la protección de las instalaciones electromecánicas y equipos contra sobretensiones.

Se demostró la importancia de las protecciones en los sistemas de redes de baja tensión, específicamente en paneles de distribución, para que se considere y tome en cuenta en el diseño de las redes eléctricas que permitirá garantizar el funcionamiento y la integridad correcta de los equipos

Se determinó la distancia de protección efectiva que debe tenerse en cuenta para la instalación para evitar la influencia del fenómeno de oscilación, en los equipos, donde las características de impedancia de sus terminales son más complejas y dependen de la frecuencia, y para algunos equipos electrodomésticos, las características de impedancia son diferentes en estado operativo y no operativo.

Los resultados obtenidos en la investigación se pueden utilizar para la coordinación y determinación de los métodos estándares para las zonas de protección contra sobrecorrientes, que son importantes en la instalación para seguridad y la optimización de costos y técnicos en la protección contra sobretensiones. En instalaciones donde no se pueda obtener una protección óptima contra las sobretensiones, se deben proponer y analizar las posibles soluciones, ya que se requiere mayor precisión en la medida que tecnológicamente las instalaciones mejoran tecnológicamente.

REFERENCIAS

[1] Z. He y Y. Du, «SPD Protection Distances to Household Appliances Connected in Parallel», *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 56, n.º 6, pp. 1377-1385, dic. 2014, doi: 10.1109/TEM.2014.2356400.

[2] «Power Guide_No7.pdf». Accedido: 3 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.legrand.nl/sites/default/files/2017-10/PowerGuide_No7.pdf

[3] M. Li, J. Yuan, y Z. Zhao, «Low-voltage SPD coordination analysis», en *2011 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning*, nov. 2011, pp. 913-916. doi: 10.1109/APL.2011.6111045.

[4] «Distancia de protección de los dispositivos de protección contra sobretensiones en sistemas de distribución de baja tensión | SpringerLink». Accedido: 23 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12204-008-0477-x>

[5] O.A. Silva Gaona. «Evaluación de la ubicación óptima de los supresores de sobrevoltaje transitorios SPD en redes de baja tensión» IEL1-XIII-052 2006 *Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería, Eléctrica* oct. 2006.

[6] K.-H. Lee y M.-S. Kang, «Evaluation of the Impacts of SPD Connecting Lead Lengths and SPD Protection Distance to the Apparatus in Apartments», *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, vol. 25, n.º 10, pp. 94-101, 2011, doi: 10.5207/JIEIE.2011.25.10.094.

[7] S. Škuletić y V. Radulović, «Analysis of surge protection performance in low-voltage AC systems with capacitive load», en *45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010*, ago. 2010, pp. 1-6.

[8] J. He, «Discussions on factors influencing the effective protection distance of SPD to loads», en *2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, may 2015, pp. 420-423. doi: 10.1109/APEMC.2015.7175369.

[9] Jungwoo Lee y Yongtaek Oh, «Evaluación de la distancia de protección efectiva de los dispositivos de protección contra sobretensiones de bajo voltaje», *Actas de la Conferencia de la Sociedad Coreana de Ingenieros Eléctricos*, pp. 146-148, oct. 2011.

[10] «A Field Study of Lightning Surges Propagating through Low-voltage Electric Appliances». https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/131/7/131_7_637/_article/-char/ja/ (accedido 23 de febrero de 2022).