

**Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica**

**Guía de selección de protecciones contra descargas  
atmosféricas y ruido eléctrico para equipo  
electrónico sensible en instalaciones petroleras**

*Por:*

**Leibin Alberto Arias Arias  
Carné: A90569**

**Ciudad Universitaria “Rodrigo Facio”  
Junio de 2017**

# Guía de selección de protecciones contra descargas atmosféricas y ruido eléctrico para equipo electrónico sensible en instalaciones petroleras

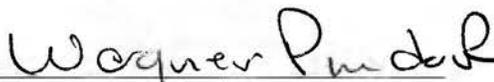
*Por:*

Leibin Alberto Arias Arias

Sometido a la Escuela de Ingeniería Eléctrica  
de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad de Costa Rica.  
como requisito parcial para optar por el grado de:  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**IE-9502 Investigación dirigida III**

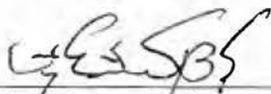
Aprobado por el Tribunal:



Lic. Wagner Pineda Rodríguez  
Representante Director, Escuela de Ingeniería Eléctrica



Lic. Tony Eduardo Delgado Carvajal  
Director, Comité Asesor



Lic. Jahaziel Acosta Guevara  
Miembro, Comité Asesor



Lic. Juan Ramón Rodríguez Solera  
Miembro, Comité Asesor



Dr. Jorge Blanco Roldán  
Miembro del Tribunal

## **DEDICATORIA**

A mis padres que siempre me han apoyado durante el proceso de elaboración de este trabajo.

## RECONOCIMIENTOS

La realización de esta investigación de tesis de licenciatura fue posible, en primer lugar, a la cooperación brindada por el Ing. Carlos González Villalobos, ingeniero de RECOPE actualmente pensionado, quien me dio asesoría y ayuda en parte del proyecto, colaborando así con mi profesor guía. En segundo lugar, se agradece al personal de RECOPE encargado en ayudarme a realizar una gira al plantel de Barranca en Puntarenas. En tercer lugar, se agradece al ingeniero Eduardo Navas de la escuela de ingeniería eléctrica por ayudarme en parte del proceso de redacción de la tesis.

Se agradece a todas aquellas personas que en forma directa o indirecta contribuyeron a que este trabajo de investigación pudiera llevarse a cabo. Por último un agradecimiento profundo a mis papás Luis y Ana, por su constante paciencia y apoyo que siempre demostraron.

# INDICE GENERAL

1	Introducción	1
1.1	Objetivos	1
1.2.1	Objetivo general	1
1.2.2	Objetivos específicos	1
1.2	Justificación	2
1.3	Planteamiento del problema	3
1.4	Metodología	5
2	Marco teórico	7
2.1	Antecedentes	7
2.2	Breve descripción e historia de RECOPE	11
2.3	Descargas directas e indirectas de los rayos	12
2.3.1	Descargas directas de los rayos	12
2.3.2	Descargas indirectas de los rayos.	16
2.4	Forma de onda de los transitorios	22
2.5	Supresores de transitorios	26
2.6	Tecnologías de supresión	27
2.6.1	Descargador de gas	27
2.6.2	Varistores de óxido metálico (MOV)	29
2.6.3	Diodos supresores de avalancha de silicio	30
2.6.4	Fusibles	30
2.6.5	Resistencias térmicas	33
2.7	Parámetros importantes de los supresores de transitorios	33
2.7.1	Nivel de supresión <b>UP</b> (clamp voltage)	34
2.7.2	Tensión nominal <b>UN</b>	34
2.7.3	Corriente máxima de descarga <b>I<sub>max</sub></b>	34
2.7.4	Corriente de choque del rayo <b>I<sub>imp</sub></b>	34
2.7.5	Corriente nominal de descarga <b>ISN</b>	35
2.7.6	Tiempo de respuesta	35
2.7.7	Tensión máxima permanente (MCOV)	35
2.8	Tipos de supresores de transitorios según IEEE C62.41	35
2.8.1	Supresor nivel C	35
2.8.2	Supresor nivel B	36
2.8.3	Supresor nivel A	36

2.9 Modelos y costos de supresores en el mercado	38
2.9.1 Modelos	38
2.9.2 Costos	39
2.10 Sistemas de pararrayos	40
2.10.1 Pararrayos ionizantes	40
2.10.3 Protección de equipos con pararrayos	42
2.10.4 Mallas de Faraday	43
2.11 Sistemas de puesta a tierra	44
2.12 Compatibilidad electromagnética (EMC)	45
3 Análisis de cableado e inmunidad al ruido para equipos electrónicos	49
3.1 Cableado necesario para interconectar equipo electrónico	49
3.2 Uso de fibra óptica	51
3.3 Distancia de separación entre cables	54
3.3.1 Elementos de un cableado estructurado según ANSI/TIA/EIA-568-B	55
3.3.1.1 Área de trabajo	55
3.3.1.2 Cableado horizontal	55
3.3.1.3 Cuarto de equipo	56
3.3.1.4 Cuarto de entrada de servicios (acometida)	56
3.3.1.5 Cableado vertical o backbone	56
3.3.2 Distancias de separación según ANSI/TIA/EIA 568-B	57
3.4 Puesta a tierra en líneas de transmisión de datos	62
3.5 Pruebas para colocar cables de instrumentación en canalizaciones con cables de potencia	63
3.6 Inmunidad al ruido en dispositivos electrónicos	64
4 Guía de selección de supresores	66
5 Análisis de conexión de transformadores de aislamiento	78
6 Análisis de ubicación para sistemas de pararrayos	81
6.1 Distancias de seguridad para PDC y Puntas Franklin	81
6.2 Método de la esfera rodante	86
6.3 Equipotencialidad según UNE 21.186	87
7 Sistemas de puesta a tierra	88
7.1 Conceptos básicos de los sistemas de puesta a tierra según EPM (2011)	88
7.1.1 Tierra de protección	88
7.1.2 Tierra de servicio	89

7.1.3 Tierra de referencia	90
7.1.4 Electrodo de tierra	90
7.1.5 Mallas de tierra	90
7.1.6 Conexión a tierra	90
7.1.7 Puesta a tierra	90
7.1.8 Resistividad de un terreno	90
7.1.9 Gradiente superficial	91
7.2 Características de los principales elementos que componen un sistema de puesta a tierra según EPM (2011).	91
7.2.1 Electroodos de tierra	91
7.2.2 Conductores de tierra	91
7.2.3 Borne principal de tierra	92
7.2.4 Valores de resistencia de puesta a tierra	92
7.2.5 Tensión de contacto	93
7.2.6 Tensión de paso	94
7.2.7 Tensión transferida	95
7.2.8 Bajante de puesta a tierra	96
7.2.9 Cruceta metálica	97
7.2.10 Elementos de fijación a postes	97
7.2.11 Vientos o retenidas	98
7.2.12 Postes de concreto	98
7.2.13 Poste metálico	99
7.2.14 Poste de fibra de vidrio y de madera	99
8 Guía resumen de selección de protecciones	100
8.1 . Cableado para interconectar equipo electrónico.	100
8.2 . Distancia de separación entre cables	100
8.3 . Puesta a tierra en líneas de transmisión de datos.	101
8.4 . Pruebas para colocar cables de instrumentación en canalizaciones de potencia.	101
8.5 . Inmunidad al ruido en dispositivos electrónicos	102
8.6 . Selección de supresores	103
8.7 . Transformadores de aislamiento	104
8.8 . Distancias de seguridad para sistemas de pararrayos	104
8.9 . Sistemas de puesta a tierra	105
9 Conclusiones y recomendaciones	106

9.1 Conclusiones	106
9.2 Recomendaciones	107
10 Bibliografía	110
11 Apéndices	114
12 Anexos	133
12.1 Anexo 1. Hoja de fabricante del supresor TVS120LC20.	133
12.2 Anexo 2. Hoja de fabricante del supresor DS210-xxxDC	134
12.3 Anexo 3. Hoja de fabricante del supresor OVR TC 24 V P	135
12.4 Anexo 4. Hoja de fabricante del supresor E280-24D3M	136
12.5 Anexo 5. Hoja de fabricante del supresor EDCO CAT6-5 POE	137
12.6 Anexo 6. Hoja de fabricante del supresor Bourns 1840 Series	138
12.7 Anexo 7. Hoja de fabricante del interruptor de nivel capacitivo de admitancia RF 651.	139
12.8 Anexo 8. Hoja de fabricante para tubos descargadores de gas.	140
12.9 Anexo 9. Hoja de fabricante para varistores de óxido metálico.	141
12.10 Anexo 10. Curva de tiempo de fusión vs corriente para fusibles ultra rápidos tipo NH-aR.	142
12.11 Anexo 11. Hoja del fabricante de cable Belden 8719.	143
12.12 Anexo 12. Hoja del fabricante de cable Belden 3051B.	144
12.13 Anexo 13. Especificación del fabricante de PLC 1762-IQ32T.	145

## Indice de Figuras

Figura 1. Polarización de la gota de agua. ....	8
Figura 2. Tipos de rayos entre la nube y tierra. ....	9
Figura 3. Valores de cresta de transitorios y su duración .....	18
Figura 4. Probabilidad de ocurrencia vs la corriente del transitorio. ....	19
Figura 5. Forma de onda de tensión característica de los rayos según .....	22
Figura 6. Forma de onda de corriente característica de los rayos según .....	22
Figura 7. Descarga de una sobretensión realizada por un SPD .....	26
Figura 8. Sistema completo de protección contra los rayos. ....	27
Figura 9. Tubo descargador de gas. ....	28
Figura 10. Varistor de óxido metálico. ....	29
Figura 11. Diodos supresores de avalancha de silicio .....	30
Figura 12. Fusibles .....	31
Figura 13. Curva tiempo vs corriente de un fusible. ....	32
Figura 14 Resistencias térmicas. ....	33

Figura 15. Ejemplo de supresor clase C.....	37
Figura 16. Ejemplo de supresor clase B.....	37
Figura 17. Ejemplo de supresor clase A.....	38
Figura 18. Pararrayo ionizante.....	41
Figura 19. Pararrayo desionizante pasivo.....	42
Figura 20. Sistema de puesta a tierra.....	44
Figura 21. Sistema de puesta a tierra de un sistema electrónico.....	45
Figura 22. Estructura del cable coaxial.....	49
Figura 23. Estructura del cable par trenzado.....	50
Figura 24. Cable par trenzado no blindado (UTP).....	
Figura 25. Cable de par trenzado apantallado o blindado (STP).....	50
Figura 26. Cable de par trenzado blindado cubierto con pantalla global (FTP).....	51
Figura 27. Fibra óptica.....	52
Figura 28. Ejemplo de bandejas de cables.....	59
Figura 29. Supresor CITELE DS210-24DC.....	67
Figura 30. Supresor OVR TC 24 V P.....	69
Figura 31. Supresor CITELE E280-24D3M.....	69
Figura 32. Supresor EDCOCAT6-5 POE.....	70
Figura 33. Especificaciones de modelos de supresores surgelogic.....	75
Figura 34. Supresor Bourns 1840 Series.....	78
Figura 35. Diagrama esquemático de un transformador de aislamiento conectado desde una UPS.....	79
Figura 36. Diagrama esquemático de transformado de aislamiento usando dos transformadores en serie.....	80
Figura 37. Pararrayo con dispositivo de cebado (PDC).....	82
Figura 38. Proyección vertical del conductor mayor a la proyección horizontal ( $A > B$ ) y viceversa ( $A < B$ ).....	83
Figura 39. Método de la esfera rodante.....	86
Figura 40. Tierra de protección con electrodo.....	89
Figura 41. Tierra de servicio.....	89
Figura 42. Tensión de contacto.....	94
Figura 43. Tensión de paso.....	94
Figura 44. Tensión transferida.....	95
Figura 45. Elevación de potencial (GPR) y corriente a tierra en función de la resistencia de puesta a tierra del poste.....	96
Figura 46. Cruceta metálica.....	97
Figura 47. Elementos de fijación a postes.....	97
Figura 48. Vientos o retenidas.....	98
Figura 49. Tanques de almacenamiento de combustible.....	114
Figura 50. Cargaderos de combustible para cisternas.....	115
Figura 51. PLC para controlar llenado y vaciado de tanque de combustible JET (para aviones).....	115
Figura 52. Sistema de tuberías para vaciado y llenado de tanque de combustible JET (para aviones).....	116
Figura 53. Transmisor de presión diferencial.....	116
Figura 54. Válvula motorizada.....	117

Figura 55. Bajante de pararrayos para punta Franklin. ....	117
Figura 56. Equipos debidamente aterrizados. ....	118
Figura 57. Válvulas y tuberías. ....	118
Figura 58. Sistema de pararrayos: catenaria. ....	119
Figura 59. Bajante de pararrayos para catenaria. ....	119
Figura 60. Sistema para conectar transmisión de presión. ....	120
Figura 61. Sistema contra incendios (tubería roja transporta agua, y tubería amarilla transporta espuma). ....	120
Figura 62. Cajas de conexión. ....	121
Figura 63. Rectificador de protección catódica. ....	121
Figura 64. Sensor de presión. ....	122
Figura 65. PLC, caja de conexión de fibra óptica, supresor RED y UPS dentro de cuarto de control de motores. ....	122
Figura 66. Supresor RED. ....	123
Figura 67. PLC. ....	123
Figura 68. Caja de conexión de fibra óptica (caja negra). ....	124
Figura 69. UPS. ....	124
Figura 70. CCM (centro de control de motores). ....	125
Figura 71. Anexo de PLC. ....	125
Figura 72. Entrada del poliducto al plantel de Barranca. ....	126
Figura 73. Tuberías para separación de combustibles provenientes del poliducto. ....	126
Figura 74. Software para control de tanques JET. ....	127
Figura 75. Especificaciones del combustible de entrada al plantel de Barranca. .	127
Figura 76. Cuarto de comunicaciones. ....	128
Figura 77. PLC dentro de cuarto de comunicaciones. ....	128
Figura 78. UPS dentro de cuarto de comunicaciones. ....	129
Figura 79. Tablero de distribución eléctrico. ....	129
Figura 80. Software de control general plantel de Barranca. ....	130
Figura 81. Cisterna cargando combustible. ....	130
Figura 82. Cajas de conexión de cables. ....	131
Figura 83. Unidad de control para cargar cisternas. ....	131
Figura 84. Supresor de transitorios en unidad de control de carga de cisternas. .	132
Figura 85. Otro supresor de transitorios en unidad de control de carga de cisternas. ....	132

## Indice de Tablas

Tabla 1. Escenarios posibles para descargas directas. ....	15
Tabla 2. Escenarios posibles para descargas indirectas. ....	17
Tabla 3. Picos de corriente con su probabilidad de ocurrencia. ....	19
Tabla 4. Modelos y costos de algunos supresores en el mercado (Datos tomados de www.ebay.com) ....	39
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la fibra óptica. ....	53

Tabla 6. Potencia y señal en diferentes conductos de acero, sin bandejas; señal: con cable par trenzado blindado cubierto con pantalla global (FTP) .....	60
Tabla 7. Potencia y señal separadas en diferentes conductos de acero, sin bandejas; señal: con cable par trenzado sin blindar (UTP) .....	60
Tabla 8. Potencia y señal en la misma bandeja, señales separadas o no con barra metálica; señal: con cable par trenzado blindado (STP) .....	60
Tabla 9. Potencia en conducto de acero; señal en bandeja con cable par trenzado blindado (STP), o potencia en bandeja; señal en conducto de acero con cable STP. ....	--
Tabla 10. Análisis de riesgos según surgelogic parte 1 .....	--
Tabla 11. Análisis de riesgos según surgelogic parte 2 .....	73
Tabla 12. Selección de supresores, según surgelogic .....	74
Tabla 13. Niveles de protección según UNE 21.186 .....	85
Tabla 14. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra .....	93

## NOMENCLATURA

CCM	centro de control de motores.
EMC	compatibilidad electromagnética.
ESD	descargas electrostáticas.
FTP	cable par trenzado blindado con pantalla global
$I_{imp}$	corriente choque del rayo.
$I_{max}$	corriente máxima de descarga.
$I_{SN}$	corriente nominal de descarga.
MCOV	tensión máxima permanente.
MOV	varistor de óxido metálico.
PLC	controlador lógico programable.
SPD	dispositivo de protección contra sobretensiones según UL-1449 3° edición.
STP	cable par trenzado blindado
$t_{10}$	tiempo que tarda la onda en alcanzar el 10 % de su amplitud máxima.
$t_{50}$	tiempo que tarda la onda en alcanzar el 50 % de su amplitud máxima.
$t_{90}$	tiempo que tarda la onda en alcanzar el 90 % de su amplitud máxima.
T	tiempo que tarda la onda en pasar del 30 % al 90 % de su amplitud máxima.
$T_1$	equivalente a $1,67 \cdot T$
$T_2$	equivalente a $t_{50} - t_{10}$ para la onda de tensión y $t_{50}$ para la onda de corriente.
$U_N$	tensión nominal.
$U_P$	nivel de supresión.
UPS	sistema de alimentación ininterrumpida.
UTP	cable par trenzado sin blindar

## RESUMEN

Este proyecto presenta un estudio sobre protecciones contra descargas atmosféricas, además se presenta un análisis de cableado y ruido eléctrico para equipo electrónico sensible. El objetivo primordial del trabajo es la elaboración de una guía o material de referencia que facilite a los ingenieros de RECOPE el poder discernir adecuadamente el tipo de protecciones que se debe utilizar para proteger equipos electrónicos susceptibles presentes en los planteles de RECOPE, además de poder tener una idea más clara de diferentes condiciones de cableado y de ruido eléctrico que deben tomarse en cuenta al interconectar equipo electrónico. Esto es de gran importancia, dado que normalmente no se tiene ninguna guía a disposición que sirva de referencia sobre el tema. Para realizar el estudio, se procedió a investigar normas técnicas americanas y europeas relacionadas con equipo electrónico, ruido eléctrico y descargas atmosféricas, se consultó material bibliográfico, hojas del fabricante de dispositivos de protección contra sobretensiones, hojas del fabricante de equipos electrónicos y hojas del fabricante de diferentes tipos de cables. Con base en lo investigado, se redactó un informe que presenta recomendaciones de normas técnicas y diferentes autores de libros, sobre cableado, interconexión de equipo electrónico, uso de sistemas de pararrayos, sistema de puesta a tierra, uso de transformadores de aislamiento, y finalmente se indican una serie de pasos para elegir adecuadamente supresores de transitorios.

# **1 Introducción**

## **1.1 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

- Elaborar una guía de selección de supresores y un conjunto de recomendaciones para proteger equipo electrónico susceptible a los transitorios eléctricos.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Realizar un análisis sobre el cableado de los equipos electrónicos susceptibles considerando tipos de cables, distancia de separación de cables (que manejan diferentes tipos de señales) en las canalizaciones eléctricas (normalmente enterradas), ruido en cables, aterrizamiento de cables y factibilidad de colocar líneas de datos en canalizaciones con cables de potencia.
- Elaborar una guía de selección de supresores para proteger equipos alimentados a 24 V y 120 V, e investigar si es necesario proteger equipos alimentados por fibra óptica.
- Describir cómo instalar un transformador de aislamiento alimentado por una UPS, para la protección de equipo sensible.
- Analizar si las puntas Franklin utilizadas en RECOPE están correctamente ubicadas y si los equipos electrónicos cercanos a las puntas Franklin se ven afectados o no.

## 1.2 Justificación

Muchos ingenieros de RECOPE deben realizar diseños de sistemas para diferentes instalaciones de combustible en diferentes puntos del país. En estas labores se consideran muchos equipos sensibles de instrumentación que son esenciales para la empresa, ya que un fallo en los mismos puede generar pérdidas millonarias. Ahora bien, resulta que esos equipos, son susceptibles a los transitorios de voltaje que pueden ser causadas por descargas atmosféricas u otros fenómenos naturales o artificiales.

Cuando un equipo es tan importante para un sistema y a su vez puede dañarse fácilmente, surge la inquietud de cómo impedir que esos equipos fallen por culpa de los transitorios, sin embargo a la hora de buscar posibles soluciones se encuentran una serie de problemas que obstaculizan el trabajo, lo que hace inseguro invertir en un producto específico. Por ejemplo, si un fabricante sugiere un equipo supresor para proteger un equipo, es necesario que se tenga la seguridad de que realmente el equipo electrónico debe ser protegido, y luego garantizar que la protección realmente es la requerida, esto para no realizar gastos innecesarios.

Con base en lo expuesto, se considera que es importante abordar el problema de este trabajo, ya que en RECOPE no hay guías de selección de supresores, ni recomendaciones que permitan aclarar algunas interrogantes que pueden plantearse sobre la protección de equipos electrónicos.

### 1.3 Planteamiento del problema

Muchas empresas poseen equipos muy costosos, indispensables o muy delicados, que son utilizados para realizar muchas de sus funciones. Estos equipos requieren de un suministro eléctrico de calidad, con la menor cantidad de fallas posibles.

Muchos equipos electrónicos, se caracterizan por operar a valores muy bajos de potencia e intensidad de corriente, estas características provocan que el equipo sea altamente sensible al ruido. Una fuente muy común de ruido son los transitorios eléctricos causados por los rayos.

Las tormentas eléctricas han existido en la naturaleza desde tiempos inmemorables, y se espera que siempre estén presentes principalmente en la época lluviosa. Las descargas atmosféricas provocan ondas electromagnéticas, que cuando ocurren cerca de líneas de transmisión o distribución, generan corrientes inducidas en líneas de transmisión conocidos como transitorios, o incluso puede darse el caso que un rayo impacte de forma directa un equipo y destruirlo, o que impacte una línea de transmisión y provoque un transitorio (Bolaños, 2008). Si la zona donde se encuentra el equipo, indispensable para la empresa, posee alta densidad de tormentas, es muy probable que ocurran transitorios eléctricos, los cuales son muy dañinos para los equipos (Bolaños, 2008).

Para efectos de este trabajo, RECOPE posee equipos de instrumentación en zonas con abundantes descargas atmosféricas, y muchas veces se trata de equipos de mucha importancia para la empresa, de forma que si se dañan se pueden generar pérdidas millonarias. Por lo explicado anteriormente, es esencial proteger los equipos contra las descargas atmosféricas. Debido a esto, será de gran utilidad elaborar una guía de selección de supresores, y explicar que requerimientos mínimos debe tener un supresor para proteger adecuadamente un equipo electrónico.

Hay muchos supresores en el mercado, pero no todos tienen el mismo costo ni capacidad, en RECOPE necesitan tener una guía de cómo seleccionar un supresor que presente un balance adecuado entre calidad y costo, o sea no es

conveniente elegir un supresor muy costoso, si se puede escoger uno de menor costo que también funcione adecuadamente, o lo contrario, escoger un supresor muy barato que al final no proteja lo que se requiere. En la empresa a su vez, necesitan una garantía de que el producto es el adecuado, para eso se ocupa que el supresor cumpla con normas de mucho prestigio como la IEEE o la IEC, y que satisfaga ciertos requisitos mínimos para proteger según sea el caso.

Es necesario aclarar que la mayoría de los instrumentos a proteger se encuentran instalados en el campo abierto. Se encuentran separados por distancias importantes de los equipos de proceso de las señales, e interconectados con los mismos con cables en canalizaciones generalmente enterradas y en tubería PVC (en un gran porcentaje) y tubo rígido galvanizado (en tramos pequeños). Las protecciones, que normalmente se ofrecen en el mercado son para equipos instalados en edificios, donde las normas son más claras sobre los niveles de protección que se requieren. Ahora bien, si el equipo de instrumentación está en el campo abierto y posee las condiciones de instalación indicadas anteriormente, en este caso las normas no son tan claras sobre los niveles de protección adecuados, lo cual se convierte en un problema a la hora de buscar protecciones. Para solucionar este problema, es necesario investigar más para determinar el tipo de protección más adecuado.

A la hora de proteger un equipo, también debe considerarse si es necesario agregar sistemas de pararrayos que complementen la labor de los supresores de transitorios y mejoren la eficiencia de la protección.

Por lo descrito anteriormente, se considera que realizar un estudio de este tipo es de mucha importancia, ya que las empresas no pueden darse el lujo de perder millones por mala o nula protección. Se considera por tanto que se le puede hacer un aporte muy positivo a RECOPE con este estudio.

Para solucionar el problema planteado se pretende a lo largo de este proyecto realizar un trabajo de investigación que permita responder algunas interrogantes planteadas por RECOPE sobre la protección de equipos electrónicos.

## 1.4 Metodología

En RECOPE tienen un conjunto de equipos susceptibles (equipos de instrumentación) a los transitorios de los rayos y ruido provocado por otros fenómenos, ubicados en el campo abierto o en el interior de alguna edificación. La idea principal de este trabajo consiste en una investigación de cómo proteger esos equipos. Para cumplir los objetivos se pretende realizar lo indicado a continuación.

- Seleccionar el tipo de cable que debe utilizarse (en tubería PVC) para interconectar equipo electrónico.
- Investigar la distancia de separación de los cables (de diferentes tipos de señales: potencia, control, analógicas, entre otros) en las canalizaciones eléctricas normalmente enterradas, y buscar respuestas a algunas interrogantes como estas: ¿la distancia depende de la corriente de los cables de alimentación?, ¿se puede disminuir la distancia recomendada en algunas condiciones, sin poner en peligro la integridad de la señal del instrumento?, ¿líneas de comunicación de datos requieren separación y de cuánto es esa distancia?.
- Los equipos que reciben las señales de los cuartos de tableros tienen ciertas características de rechazo al ruido, es necesario analizar cómo interpretar esta información y en qué forma puede afectar esto el diseño de los ingenieros de RECOPE, además se ocupa explicar si se puede mejorar este diseño solicitando ciertas características de los equipos de proceso de las señales.
- En RECOPE tienen clara la recomendación de aterrizar solo un lado de la pantalla del cable de conexión, esto para señales analógicas, hay que estudiar cuál es la recomendación para cables de comunicación de datos, e indagar si esto depende de la frecuencia de transmisión de la señal.
- Estudiar qué pruebas deben realizarse para colocar cables de instrumentación en una canalización existente que posee cables de potencia, y cuáles son los resultados esperados.

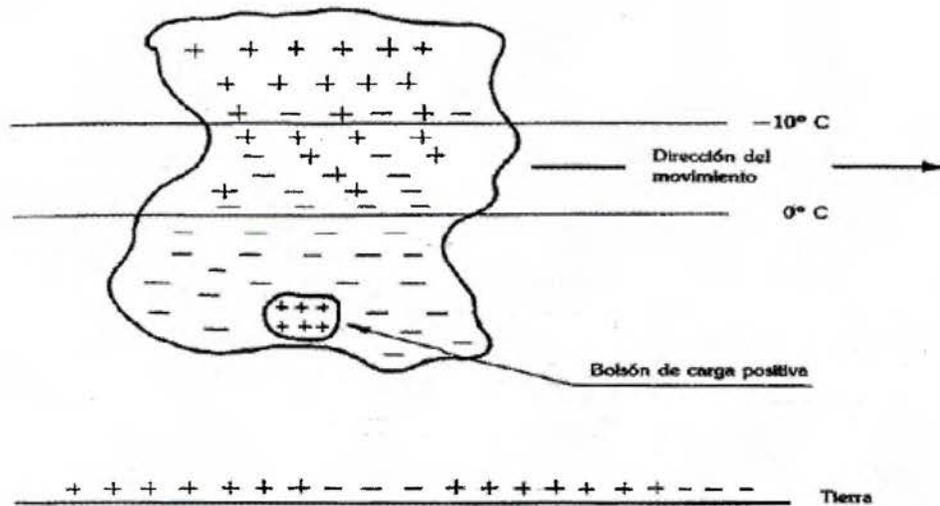
- Analizar cuál es la forma correcta de conectar un transformador de aislamiento alimentado desde una UPS.
- Elaborar una guía de selección de supresores de transitorios, para equipos alimentados a 120 V y 24 V y estudiar si deben colocarse cerca de los equipos a proteger en el campo abierto.
- Investigar en diferentes catálogos de productos comerciales modelos de supresores y analizar cuáles pueden proteger adecuadamente los equipos electrónicos de RECOPE.
- Describir cómo se comporta un sistema instalado en el campo abierto conectado al cuarto de control por medio de fibra óptica, y explicar si se requieren supresores de transitorios.
- Analizar el uso de puntas Franklin cerca de los centros de carga de combustible, evaluar si es necesario acercar o alejar las puntas Franklin de los equipos electrónicos, o dejarse en la misma posición, esto implica estudiar el efecto sobre los equipos electrónico de tener puntas Franklin en áreas cercanas.
- Describir las características necesarias del sistema de puesta a tierra requerido para aumentar la eficiencia de la protección.
- Realizar al menos una gira a algunos de los planteles de RECOPE.
- Elaborar y redactar el informe escrito bajo las directrices del profesor tutor.
- Presentar y defender el trabajo realizado.

## **2 Marco teórico**

### **2.1 Antecedentes**

Costa Rica posee un clima tropical lluvioso, donde es común que ocurran descargas atmosféricas. Una descarga eléctrica es el flujo de corriente a través de un medio conductor, en el caso de los rayos ese medio sería el aire, la descarga ocurre porque hay una diferencia de potencial muy alta entre la nube y tierra, a tal grado que el aire pasa de ser un aislante a un conductor eléctrico.

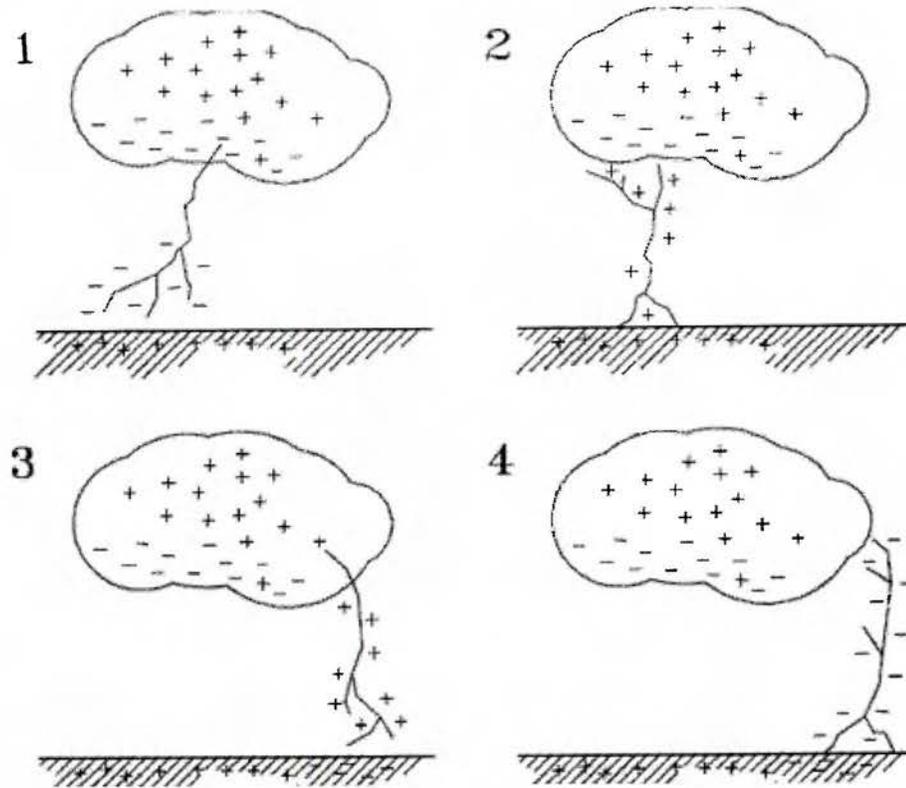
Según Gamboa (2005), los rayos son descargas eléctricas que se producen en la atmósfera debido a la polarización del campo eléctrico entre una nube y tierra. En condiciones normales, existe en la atmósfera un equilibrio entre las cargas positivas y negativas, en que la tierra está cargada más negativamente que el aire y los elementos situados sobre el suelo. A su vez, Gamboa (2005) manifiesta en su estudio que las nubes de tormenta inicialmente son iguales en su estructura a cualquier nube que se halle en la atmósfera, la polarización de las partículas en la nube empieza a ocurrir como consecuencia del fenómeno de inducción debido al campo magnético de la Tierra, la mayor parte de las cargas negativas se condensan en la parte inferior de la nube, ya que las gotas de agua durante su caída rechaza los iones positivo y realiza captura de los negativos. Este proceso se observa en la Figura 1.



**Figura 1. Polarización de la gota de agua. (Gamboa, 2005)**

La polaridad de la nube y la de las gotas de agua genera un dipolo eléctrico, durante este proceso de distribución de cargas es posible que se produzcan rayos entre nubes como consecuencia de que se rompa la barrera dieléctrica. Una vez dispuestas las cargas en las nubes se genera una alta diferencia de potencial, con respecto a tierra lo que provoca que haya una descarga de la nube hacia tierra (es lo más común) por lo que se rompe la barrera dieléctrica del aire, el cual pasa de ser un aislante para convertirse en un conductor eléctrico por un pequeño intervalo de tiempo. Gamboa (2005), propone un conjunto de prácticas que deben acatarse para mitigar el riesgo y efectos de los fenómenos atmosféricos.

Según Bolaños (2008), existen diferentes tipos de descargas atmosféricas, donde el 90 % de ellas corresponden a descargas negativas (categoría 1), y el 10 % corresponde a descargas positivas (categoría 3), e incluso existen descargas desde tierra hasta la nube (categorías 2 y 4) aunque estas últimas son muy raras que ocurran y suceden normalmente en zonas de mucha altitud. En la Figura 2, se observan estos tipos de descargas.



**Figura 2. Tipos de rayos entre la nube y tierra. (Bolaños, 2008)**

En su estudio, Bolaños (2008) menciona que el 50 % de los rayos poseen magnitudes inferiores de los 20 KA, mientras que sólo un 5 % tiene intensidades de corriente de hasta 160 KA, habiéndose registrado descargas de hasta 400 KA. La magnitud de la corriente se eleva en cuestión de microsegundos, y su duración también está en microsegundos. Bolaños (2008), indica los mismos tipos de pararrayos que Ramírez (2013).

Otro autor que habla sobre las descargas atmosféricas es Ramírez (2013), que realizó un análisis de riesgos contra descargas atmosféricas para la escuela de ingeniería eléctrica, el menciona la presencia de descargas directas de los rayos y descargas indirectas de los rayos (transitorios). Luego, menciona diferentes tipos de pararrayos para aumentar la protección, se mencionan los siguientes: pararrayos ionizantes semi-activos, pararrayos ionizantes activos, mástiles, jaula de Faraday, y cables colgantes. A su vez, se explica la necesidad de utilizar un sistema de puesta

a tierra cuyo objetivo es proveer de una vía de baja impedancia para que las corrientes de falla o las que son producidas por fenómenos transitorios, como los rayos, sean descargadas a tierra. También se mencionan algunas tecnologías de supresores de transitorios: varistor de óxido metálico, diodos de avalancha y tubos de gas.

Un autor que realizó un estudio de un sistema de protección en una empresa fue Araya (2011), en este caso la investigación se realizó en la central telefónica del ICE en San José, en este caso menciona algunos tipos de tecnologías de supresores de transitorios, algunos criterios de cómo instalar los supresores, explica los efectos de las descargas atmosféricas y se estableció una metodología para establecer los pasos a seguir para localizar, estudiar y poder contrarrestar diferentes disturbios en la red eléctrica perjudiciales para los dispositivos destinados a brindar los servicios de telecomunicaciones con el sustento de las recomendaciones internacionales dadas por la IEEE.

Lo indicado anteriormente, son las propuestas que se han encontrado de diferentes autores, se considera que hay puntos importantes que no han sido planteados por los mismos, como por ejemplo, cómo entender los parámetros de los supresores de la hojas del fabricante, como elegir adecuadamente un supresor, como proteger equipos de muy baja tensión, entre otros, por tanto queda para esta investigación poder responder estas interrogantes.

## 2.2 Breve descripción e historia de RECOPE

RECOPE es una compañía petrolera estatal de Costa Rica. Fue constituida el 16 de diciembre de 1961 como sociedad anónima de capital privado. A continuación se explicará un poco de historia con lo que se entenderá la función que tiene RECOPE en Costa Rica, esta información ha sido tomada de la página oficial de RECOPE ([www.recope.go.cr](http://www.recope.go.cr)).

Mediante la Ley número 5508 publicada en la Gaceta en 1974 se autorizó a RECOPE a tomar las medidas necesarias para la distribución eficiente y económica de todos los derivados del petróleo así como su producción e importación.

Mediante la ley número 6588 publicada en la Gaceta en el año 1981 se define como objetivos de RECOPE: refinar, transportar, comercializar a granel el petróleo crudo y sus derivados y mantener y desarrollar las instalaciones necesarias para ello. A partir de esta ley se inicio el proyecto de construcción de un plantel de distribución en Barranca, Puntarenas, que concluye en 1995. (Se pueden observar fotos de este plantel en el Apéndice 10.1).

Mediante Decreto Ejecutivo número 14874-MIEM publicado en la Gaceta en 1983 se autorizó a RECOPE a comercializar el petróleo y sus derivados en el exterior, siempre y cuando que el abastecimiento nacional se mantenga garantizado y a que se fije las condiciones de venta de acuerdo con los mercados internacionales.

Mediante la ley número 7356 publicada en la Gaceta en el año 1993 se declara monopolio del Estado la importación, refinación y distribución al mayoreo de petróleo crudo y sus derivados, que comprenden combustibles, asfaltos y naftas para satisfacer la demanda nacional, además se concede la administración de este monopolio a RECOPE en tanto su capital accionario pertenezca en su totalidad al Estado. En este mismo año se aprobó un préstamo con España para financiar el proyecto de ampliación y modernización de la refinería. Dicho proyecto consistía en elevar la capacidad de carga a los 25 mil barriles por día y automatizar los sistemas de control y verificación, la primera fase del proyecto inició en el año 1998. Por tanto,

con ayuda de este proyecto RECOPE podría refinar hasta 25 mil barriles de petróleo.

En el año 1999 finalizó la primera etapa en la construcción del poliducto entre Limón y la Garita.

La demanda de petróleo ha crecido de tal forma con los años, que los 25 mil barriles que RECOPE refinaba llegaron a no ser suficientes para abastecer la demanda del país, esto influyó para que en RECOPE se decidiera dejar de refinar en el año 2011 e importar todo el producto necesario para abastecer a todo el país.

En el año 2012 iniciaron las obras de ampliación de la terminal portuaria petrolera hacia el área de rompe olas en Moín de Limón, con instalaciones modernas y con una estructura que permitirá atracar naves con hasta 80 mil toneladas de petróleo. Además se inauguró un plantel en el Aeropuerto Juan Santa María.

Actualmente, RECOPE posee diferentes planteles a lo largo de todo el país, como el de Barranca, el de Ochomogo, el Alto de Guadalupe, Moín, entre otros. Cada plantel posee muchísimos equipos electrónicos que controlan el transporte y distribución de cada tipo de combustible ya sea hacia los tanques de almacenamiento o desde los tanques hacia los cargaderos para cisternas que a su vez poseen sistemas automatizados.

## **2.3 Descargas directas e indirectas de los rayos**

La descarga de un rayo sobre cualquier cable conductor de electricidad, tanto en líneas eléctricas como en líneas de transmisión de datos, provocan fenómenos transitorios de corta duración, rápido crecimiento y valores de cresta elevados. (Araya, 2011). Existen dos tipos de descargas de rayos, descargas directas e indirectas.

### **2.3.1 Descargas directas de los rayos**

Este tipo de descarga es aquella donde un rayo cae sobre un equipo (pueden ser equipos de potencia o equipos electrónicos más sensibles) o sobre las líneas de transmisión de forma directa. Este tipo de descargas no son muy

frecuentes pero son muy destructivos. Según Bolaños (2008), este tipo de descargas puede provocar transitorios con valores de hasta 100 kA instantáneos, lo cual introduce enormes esfuerzos dinámicos y térmicos en las instalaciones. Según Araya (2011), este tipo de eventos pueden llegar a provocar transitorios, incluso de 200 kA y las ondas poseen tiempos de subida del orden de los microsegundos.

En caso de que un rayo impacte de forma directa una línea de transmisión, lo primero que sucederá es la destrucción parcial o total de los cables, y luego una onda de tensión importante se propagará naturalmente a lo largo de los conductores hasta alcanzar los equipos conectados a la línea, es un efecto indirecto de las descargas directas de los rayos (Araya, 2011). La importancia de los daños dependerá de la distancia de los equipos al lugar donde se dio el impacto.

Si un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión, se generará un transitorio cuya magnitud de corriente dependerá de la energía del rayo y la distancia del impacto al equipo a proteger. Entre más energía tiene el rayo más potentes son las ondas electromagnéticas que inducen corrientes en las líneas, por lo que los transitorios serán más peligrosos, y lo contrario si el rayo no posee mucha energía en comparación con otros rayos, puede ser que el transitorio generado sea mucho menor.

Así como pueden haber transitorios muy destructivos de 200 KA, pueden haber transitorios que no sobrepasen los 10 KA, por ejemplo: un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión, pero el punto de impacto está muy lejos del equipo a proteger. Si se considera que los transitorios se atenúan con el tiempo, es posible que el transitorio que llegue al equipo susceptible tenga una menor intensidad o se desaparezca con el tiempo antes de afectar el equipo. En cambio, si el punto de impacto ocurre muy cerca del equipo, el transitorio puede ser muy destructivo.

Existen 4 escenarios posibles para una descarga directa, que se observan en la Tabla 1. Se observa que el peor escenario posible es el caso 4, ya que las consecuencias negativas son mayores que para los demás casos, el equipo se dañará si no tiene una protección. El caso más favorable de una descarga directa

es el caso 1, las consecuencias sobre el equipo son pequeñas o nulas. La severidad del impacto directo aumenta conforme se baja en la tabla.

Algunas normas como la IEC 1312-1:19995, menciona que este tipo de transitorios tienen una duración aproximada de 350  $\mu$ s.

**Tabla 1. Escenarios posibles para descargas directas.**

Escenarios posibles	Ejemplo	Consecuencias
1. Impacto directo lejano, la intensidad del rayo es pequeña en comparación con otros rayos	Un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión a 60 Km del equipo a proteger. Su energía no es muy grande.	El impacto ocurre muy lejos, y el rayo no tiene mucha energía, el transitorio se atenuará con el tiempo, no llegará al equipo o tendrá baja intensidad.
2. Impacto directo lejano, la intensidad del rayo es grande en comparación con otros rayos	Un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión a 60 Km del equipo a proteger. Su energía es muy grande.	El rayo tiene mucha energía, se provoca un fuerte transitorio, pero el impacto ocurre muy lejos, el transitorio se atenuará con el tiempo, no llegará al equipo o tendrá baja intensidad, su magnitud será mayor que para el caso 1.
3. Impacto directo cercano, la intensidad del rayo es pequeña en comparación con otros rayos	Un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión a 50 m del equipo a proteger. Su energía no es muy grande	El rayo tiene poca energía, el transitorio no será muy grande, pero el impacto ocurre muy cerca del equipo, no se atenúa en tan poca distancia, puede dañar el equipo. Su magnitud será mayor que para los casos 1 y 2.
4. Impacto directo cercano, la intensidad del rayo es grande en comparación con otros rayos	Un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión a 50 m del equipo a proteger. Su energía es muy grande	El rayo tiene mucha energía, el transitorio será muy grande y el impacto ocurre muy cerca del equipo, no se atenúa en tan poca distancia, Es un transitorio muy destructivo, su intensidad es mayor que para el caso 3.

### **2.3.2 Descargas indirectas de los rayos.**

Este tipo de descarga ocurre cuando un rayo cae relativamente cerca de las líneas de alimentación de un equipo, por ejemplo líneas de transmisión, líneas aéreas o subterráneas. El impacto no golpea las líneas de transmisión ni a equipos de forma directa, pero si genera ondas electromagnéticas que generan corrientes inducidas en las líneas provocando transitorios eléctricos. La intensidad del transitorio es inversamente proporcional a la distancia del impacto a las líneas.

En este caso existen 4 escenarios posibles que se muestran en la Tabla 2. En esta ocasión, el escenario menos favorable es el caso 4 donde se genera un fuerte transitorio, pero solo puede dañar al equipo si la distancia del punto donde inicia el transitorio hasta el equipo no es muy grande, de lo contrario se atenuará con el tiempo. El escenario más favorable es el caso 1, pues el equipo no se verá afectado.

En la Tabla 1 se indicó diferentes escenarios para descargas directas y en la Tabla 2 diferentes escenarios para descargas indirectas, existe la posibilidad de que un escenario de la Tabla 2 sea menos favorable que un escenario de la Tabla 1, o viceversa. Lo anterior dependerá de dos factores: la energía del rayo y la distancia del punto donde inicia el transitorio al equipo a proteger. Por ejemplo: El caso 4 de la Tabla 2, puede tener un transitorio de mayor intensidad que el caso 3 de la Tabla 1, o podría ser alrevez, dependiendo de los 2 factores indicados anteriormente.

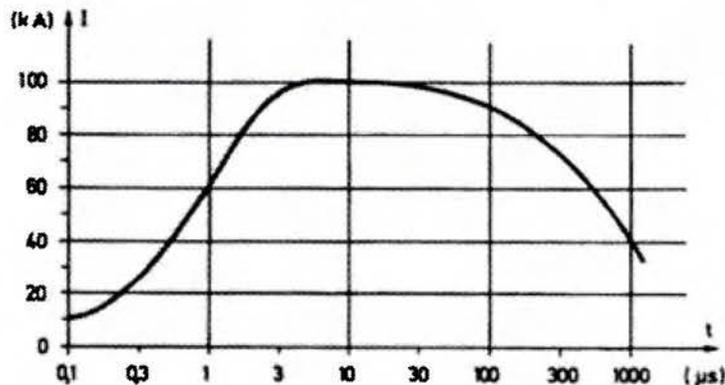
Según la norma IEC 1312-1:19995, este tipo de transitorios tienen una duración aproximada de 20  $\mu$ s.

La diferencia principal entre un transitorio consecuencia de una descarga directa y un transitorio consecuencia de una descarga indirecta, radica en la duración de ese transitorio que puede tardar 350  $\mu$ s para descargas directas y 20  $\mu$ s para descargas indirectas. (IEC 1312-1:19995)

**Tabla 2. Escenarios posibles para descargas indirectas.**

Escenarios posibles	Ejemplo	Consecuencias
1. Impacto indirecto lejano, la intensidad del rayo es pequeña en comparación con otros rayos	Un rayo impacta un árbol a 60 Km de una línea de transmisión. Su energía no es muy grande.	El impacto ocurre muy lejos, y el rayo no tiene mucha energía, si se forma un transitorio en la línea será de muy baja intensidad o no se formará, el equipo no corre peligro.
2. Impacto indirecto lejano, la intensidad del rayo es grande en comparación con otros rayos	Un rayo impacta un árbol a 60 Km de una línea de transmisión. Su energía es muy grande.	El impacto ocurre muy lejos. Aunque el rayo tiene mucha energía, si se forma un transitorio en la línea será de muy baja intensidad o no se formará, pero se espera que sea más fuerte que para el caso 1. El equipo no corre peligro.
3. Impacto indirecto cercano, la intensidad del rayo es pequeña en comparación con otros rayos	Un rayo impacta sobre una llanura a 50 metros de la línea de transmisión.	El transitorio no será muy grande pero mayor que el caso 1 y 2. Del punto donde inicia el transitorio hasta el equipo hay cierta distancia, si es muy grande se atenuará el transitorio con el tiempo, si es pequeña el equipo puede verse afectado.
4. Impacto indirecto cercano, la intensidad del rayo es grande en comparación con otros rayos	Un rayo impacta de forma directa una línea de transmisión a 50 m del equipo a proteger. Su energía es muy grande	El rayo tiene mucha energía, el transitorio será muy grande mayor que para el caso 3. Del punto donde inicia el transitorio hasta el equipo hay cierta distancia, si es muy grande se atenuará el transitorio con el tiempo, si es pequeña el equipo puede verse afectado.

Según Balcells (1991), la mayoría de transitorios pueden tener valores entre 0 y 100 KA y tener duración entre 0 y 1000  $\mu$ s, como se observa en la Figura 3, en este caso un transitorio de 20 KA puede tener una duración de 0,3  $\mu$ s, mientras que un transitorio de 100 KA puede tener una duración de 10  $\mu$ s. Hay que tener en cuenta que también a veces se reportan transitorios superiores a los 100 KA pero no son muy comunes. La Figura 3 no solo aplica para los transitorios consecuencia de descargas indirectas sino también para los transitorios consecuencia de descargas directas.



**Figura 3. Valores de cresta de transitorios y su duración. (Balcells,1991)**

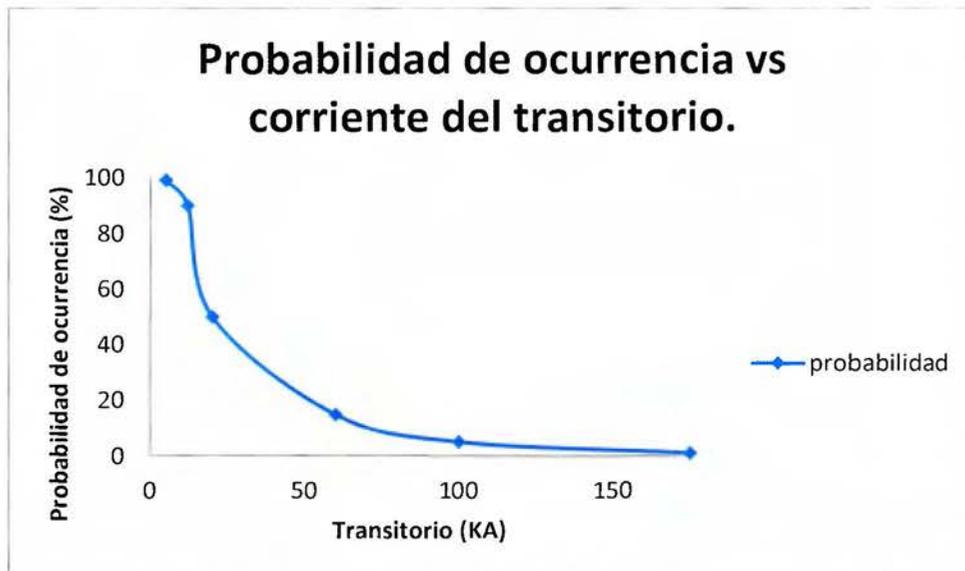
Existen diferentes probabilidades de ocurrencia que tienen los transitorios de diferentes magnitudes, como se observa en la Tabla 3. En este caso, un transitorio de 20 KA o menos tiene una probabilidad de ocurrencia de un 50 %, mientras que un transitorio de 175 KA o menos tiene una probabilidad de un 1% (Balcells, 1991).

**Tabla 3. Picos de corriente con su probabilidad de ocurrencia.**

Corriente de pico KA	Probabilidad de ocurrencia (%)
175	1
100	5
60	15
20	50
12	90
5	99

Se deduce que es muy probable que ocurran transitorios menores de 20 KA. Efectivamente, Ramírez (2013) menciona que un transitorio de 5 KA puede tener una probabilidad aproximada de ocurrencia de un 99 %, mientras que un transitorio de 12 KA puede tener una probabilidad de ocurrencia de un 90 %, por tanto queda claro que la mayoría de transitorios no sobrepasan los 20 KA.

Si se grafica en excel los datos indicados en la Tabla 3 se obtiene el resultado mostrado en la Figura 4.



**Figura 4. Probabilidad de ocurrencia vs la corriente del transitorio. (Imagen creada por Leibin Arias)**

Como se observa en la Figura 4, la probabilidad de ocurrencia tiende a aumentar conforme disminuye la corriente del transitorio, y tiende a cero conforme se aumenta la corriente del transitorio.

La suma de todas las probabilidades de la Tabla 3 (mostradas en la Figura 4) no es del 100 %, esto se debe a un concepto importante de estadística: la variable aleatoria continua, pero antes se explicará el otro tipo de variable aleatoria: la discreta, esto para entender mejor la diferencia.

Una variable aleatoria discreta asume sólo valores aislados de forma que existe una probabilidad específica de que la variable posea cualquiera de esos valores aislados, cada uno con su probabilidad específica. Por ejemplo, si se lanza una moneda 10 veces y desea saberse la cantidad de escudos que pueden obtenerse, la variable discreta puede asumir valores desde 0 hasta 10, o sea pueden obtenerse 3 escudos, 4 escudos, 10 escudos, ningún escudo, entre otros. La probabilidad de obtener cualquier cantidad de escudos será un valor definido, lo cierto es que la suma de todas las probabilidades es de un 100 %. (Quintana, 1996)

Una variable aleatoria continua es aquella que en un determinado intervalo de medición, la variable puede tomar cualquier valor entre un número infinito de posibles valores del intervalo. Debido a esto, la probabilidad de que asuma un valor en particular dentro del intervalo es cero, ya que se trata de un caso favorable dentro de un número infinito de casos posibles:  $P(x = x_0) = \frac{1}{\infty} = 0$ . Por tal razón, la variable aleatoria continua debe definirse considerando intervalos, o sea la probabilidad no se calcula en un punto, como sería por ejemplo  $P(x = a)$ , sino en un intervalo como sería:  $P(a \leq x \leq b)$ , donde se recomienda que  $a$  y  $b$  sean datos cercanos a  $x$ . Por tanto, una variable aleatoria continua es aquella para la cual existe una determinada probabilidad de que tome valores en cada uno de los intervalos en su campo total de variación. (Quintana, 1996)

Si se grafican los valores continuos se obtiene una curva continua, como la mostrada en la Figura 4. Si se quiere determinar la probabilidad entre dos valores de un intervalo, la misma corresponde al área debajo de la curva en el rango

establecido por el intervalo, sabiendo que el área total bajo la curva de toda la gráfica es igual a 100 %. (Quintana, 1996)

Los valores de probabilidad indicados en el eje "y" de la Figura 4, al sumarse no dan el 100 %, porque lo que suma 100 % es el área total bajo la curva.

Ahora bien, las descargas atmosféricas poseen energía variable de un caso a otro, por lo que los transitorios generados a su vez son variables. Si se registran transitorios entre 0 y 20 KA, es posible que todos sean distintos en cuanto a la intensidad de corriente, puede ser que sean similares, pero no exactamente iguales, por ejemplo pueden registrarse transitorios de 18 KA, o 18,3 KA, o 18,1 KA. Esto significa, que en un intervalo de 0 a 20 KA pueden registrarse infinitos valores posibles de transitorios, por esta razón se concluye que los transitorios eléctricos se comportan como variables aleatorias continuas, por lo que la probabilidad debe medirse por intervalos como ya se explicó.

Por ejemplo, en la Figura 4 se observa que en el intervalo de 100 KA a 175 KA, el área bajo la curva no es muy grande, de aquí se deduce que la probabilidad de que un rayo se encuentre entre 100 KA y 175 KA no será muy grande, en cambio para el intervalo entre 0 y 20 KA el área bajo la curva es más grande, se espera que la probabilidad de que un rayo tenga 20 KA o menos sea muy alta. Si lo que se quiere saber es qué probabilidad existe de que un rayo tenga valores cercanos a 20 KA, entonces se elige un intervalo cercano a los 20 KA, por ejemplo de 15 KA a 25 KA, el área bajo la curva de ese intervalo daría una probabilidad cercana al 50 % (ver Figura 4).

## 2.4 Forma de onda de los transitorios

Existen diferentes tipos de ondas de los rayos. La forma de onda de tensión característica de rayos se muestra en la figura 5. La forma de onda de corriente característica de los rayos se muestra en la Figura 6.

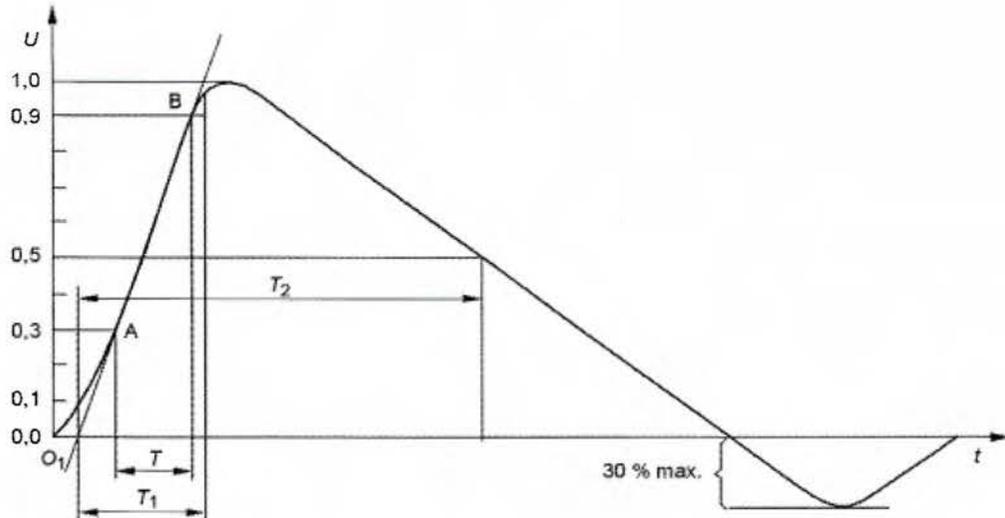


Figura 5. Forma de onda de tensión característica de los rayos según norma IEC 61000-4-5.

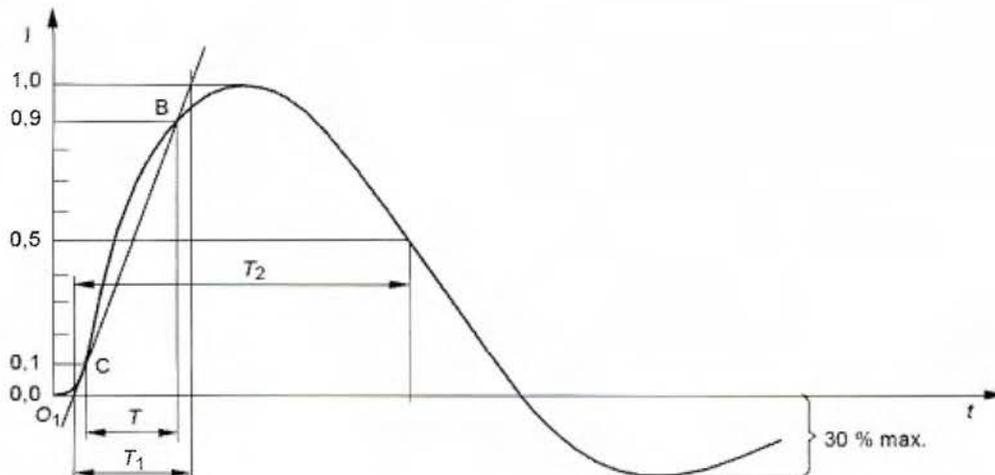


Figura 6. Forma de onda de corriente característica de los rayos según norma IEC 61000-4-5.

En la Figura 5, se observan parámetros como  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T$ . Según norma IEC 61000-4-5:

- $T$  es el tiempo que tarda la onda en pasar del 30% al 90% de su amplitud máxima de tensión, entonces  $T = t_{90} - t_{30}$ .
- $T_1 = 1,67 \cdot T = 1,67 \cdot (t_{90} - t_{30})$
- $T_2 \approx t_{50} - t_{10}$
- "U" corresponde a la tensión que alcanza el transitorio del rayo.
- $t_{50}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 50 % de su amplitud máxima.
- $t_{10}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 10 % de su amplitud máxima.
- $t_{30}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 30 % de su amplitud máxima.
- $t_{90}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 90 % de su amplitud máxima.

En la Figura 6, se observan parámetros como  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T$ . Según norma IEC 61000-4-5:

- $T$  es el tiempo que tarda la onda en pasar del 10% al 90% de su amplitud máxima de tensión, entonces:  $T = t_{90} - t_{10}$ .
- $T_1 = 1,25 \cdot T = 1,25 \cdot (t_{90} - t_{10})$ .
- $T_2 \approx t_{50}$ .
- "I" corresponde a la corriente que alcanza el transitorio del rayo.
- $t_{50}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 50 % de su amplitud máxima.
- $t_{10}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 10 % de su amplitud máxima.
- $t_{90}$  es el tiempo que tarda la onda en alcanzar el 90 % de su amplitud máxima.

Según norma IEC 61000-4-5, para facilitar las pruebas de componentes y equipos se establece un conjunto de impulsos estándar de prueba que producen prácticamente los mismos efectos que las corrientes o tensiones que se desea simular (del rayo). En los impulsos estándar de prueba se establecen los tiempos  $T_1$  y  $T_2$ . En el caso de las Figuras 5 y 6, la onda es del tipo  $T_1/T_2$  o  $T_1 \times T_2$ , ambas son simbologías utilizadas en diferentes normas, donde  $T_1$  es el tiempo de subida

de la onda y  $T_2$  es el tiempo de duración de la onda. Los símbolos "/" y "x", se utilizan para separar ambos tiempos, pero significan lo mismo en diferentes normas, no es una operación matemática.

Según norma IEC 61000-4-5, la onda de derivación de corriente de prueba típica de los rayos es de 8/20  $\mu\text{s}$  con una amplitud máxima de 2 KA (corriente de corto circuito), en este caso  $T_1=8 \mu\text{s}$  y  $T_2 = 20 \mu\text{s}$ , y la amplitud de corriente de la onda es de 2 KA, la forma de la onda es  $T_1/T_2 = 8/20 \mu\text{s}$ .

Según norma IEC 61000-4-5, la forma de onda de prueba de tensión de 1,2/50  $\mu\text{s}$ , típica de los rayos, se utiliza para pruebas de equipos de protección con una amplitud máxima de 4 KV en vacío, en este caso  $T_1=1,2 \mu\text{s}$  y  $T_2 = 50 \mu\text{s}$ , y la amplitud de tensión de la onda es de 4 KV, la forma de la onda es  $T_1/T_2 = 1,2/50 \mu\text{s}$ .

La norma IEC 60060-1 menciona formas de onda de 10/700  $\mu\text{s}$  que corresponde a una onda de tensión, y 5/320  $\mu\text{s}$  que corresponde a una onda de corriente, ambos casos se refiere a ensayos de alta tensión.

Una forma de onda de 10/350  $\mu\text{s}$  es usada para simular el impacto directo de un rayo (el transitorio generado por ese impacto), mientras que una onda de 8/20  $\mu\text{s}$  es usada para simular el impacto indirecto de un rayo. La intensidad es aproximadamente 20 veces mayor en la onda de 10/350  $\mu\text{s}$  que en la de 8/20  $\mu\text{s}$ . Estos tipos de ondas se mencionan en la norma IEC 1312-1:19995.

Una forma de onda de 10/1000  $\mu\text{s}$ , puede observarse en algunas hojas del fabricante como en la del supresor EDCOCAT6-5 POE (ver anexo 5) o en la hoja del fabricante de un supresor Bourns 1840 Series (ver anexo 6). El significado de este tipo de onda es que posee un tiempo de subida de 10  $\mu\text{s}$  y una duración de 1000  $\mu\text{s}$ . En comparación con la onda de 10/350  $\mu\text{s}$  o 8/20  $\mu\text{s}$ , es una onda de larga duración.

Una onda de corta duración (8/20  $\mu\text{s}$ ) y una onda de larga duración (10/1000  $\mu\text{s}$ ) con la misma magnitud de corriente, tienen efectos distintos sobre los supresores de transitorios. Por ejemplo, si un supresor soporta un transitorio de 10 KA con una duración de 20  $\mu\text{s}$ , puede ser que no soporte un transitorio de la misma magnitud pero con una duración de 1000  $\mu\text{s}$ .

Muchos supresores pueden soportar fuertes transitorios, pero solo por intervalos de tiempo muy pequeños ( $20 \mu\text{s}$ ). En caso de que el transitorio tenga larga duración ( $1000 \mu\text{s}$ ), el supresor tiende a soportar magnitudes más pequeñas de corriente del transitorio. Por esta razón, las hojas del fabricante de algunos supresores muestran como el equipo soporta mayores corrientes para ondas de  $8/20 \mu\text{s}$  que para ondas de  $10/1000 \mu\text{s}$ .

En el caso del supresor Bourns 1840 series (ver anexo 6), el fabricante menciona que puede soportar un transitorio de  $1000 \mu\text{s}$  siempre y cuando la magnitud de corriente sea menor que  $1 \text{ KA}$ , mientras que puede soportar un transitorio de  $20 \mu\text{s}$  de hasta  $20 \text{ KA}$ .

Muchos supresores son diseñados para poder soportar varios transitorios sin dañarse, a diferencia de los supresores desechables que solo pueden soportar un transitorio. Los fabricantes de muchos supresores mencionan que un supresor puede soportar muchas veces un transitorio de baja corriente, y puede soportar pocas veces un transitorio de mucha corriente. Por ejemplo, para el supresor Bourns 1840 series (ver anexo 6), el fabricante menciona que puede soportar un transitorio de  $10 \text{ KA}$  con una duración de  $20 \mu\text{s}$ , pero solo 10 operaciones en un minuto, mientras que para un transitorio de  $20 \text{ KA}$  de la misma duración, solo soporta 5 operaciones en un minuto, si esto se supera el supresor se puede dañar.

Normalmente, una onda de  $10/1000 \mu\text{s}$  no aplica para los transitorios normales de los rayos que en muchas ocasiones superan  $1 \text{ KA}$  y tienen duraciones menores a  $1000 \mu\text{s}$ , aunque puede aplicar para otras señales de ruido causadas por otras razones. El fabricante del supresor Bourns 1840 series menciona que este dispositivo puede soportar ondas de  $1000 \mu\text{s}$  de duración siempre y cuando sean ondas de  $60 \text{ A}$ ,  $100 \text{ A}$ ,  $500 \text{ A}$  o incluso  $1 \text{ KA}$ .

En caso de que se encuentre una onda de la forma  $1/40 \mu\text{s}$ , se considera que la misma es muy similar a una onda de  $1,2/50 \mu\text{s}$ , correspondiente a una onda de tensión.

## 2.5 Supresores de transitorios

Los sistemas de protección basados en supresores de transitorios (SPD, según norma UL-1449), permiten realizar un esquema de defensa contra sobre voltajes en diferentes puntos de la red de distribución eléctrica, esto para contrarrestar el aumento de tensión provocados por agentes externos o internos en la red eléctrica. Bajo condiciones normales un SPD posee una muy alta impedancia a tierra, pero durante un fenómeno transitorio, el supresor inmediatamente baja su impedancia facilitando el flujo del exceso de energía directamente a tierra, en la Figura 7 se ilustra este procedimiento.

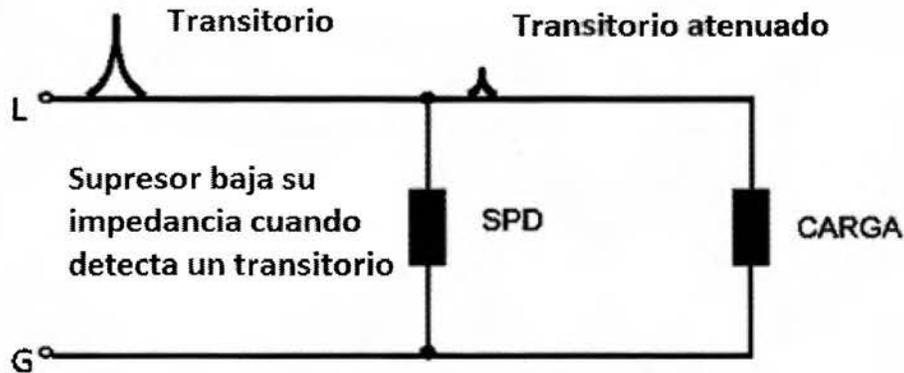
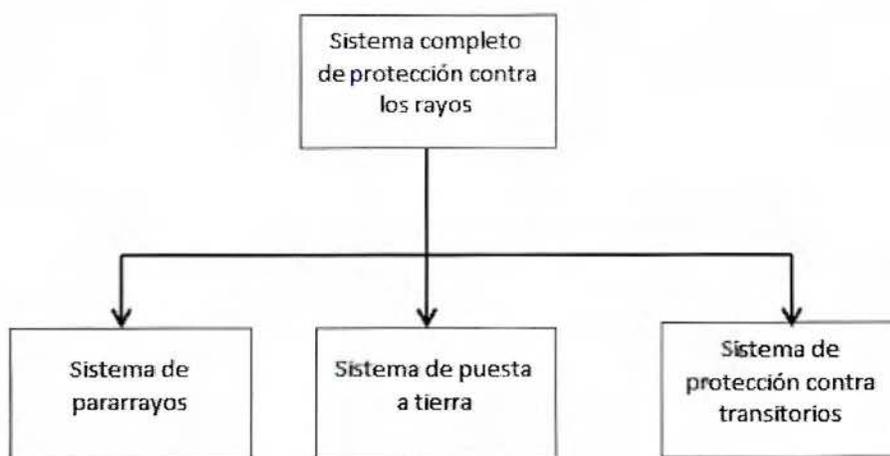


Figura 7. Descarga de una sobretensión realizada por un SPD. (Araya, 2011)

Los supresores permiten drenar los excesos de corriente a tierra, y recortar el nivel de tensión de forma que el equipo no se dañe. A la hora de proteger un equipo con un SPD es necesario considerar, que debe existir un sistema de puesta a tierra y sería ideal que haya un sistema de pararrayos, como se observa en la Figura 8.



**Figura 8. Sistema completo de protección contra los rayos. (Imagen creada por Leibin Arias)**

## 2.6 Tecnologías de supresión

Existen diferentes tecnologías con las que son construidos los supresores de transitorios, entre las más utilizadas pueden mencionarse: tiristores, triacs, diodos zener, descargadores gaseosos, varistores de óxido metálico, resistencias térmicas y fusibles. Estos pueden combinarse en circuitos híbridos que combinan o coordinan las características de dos o más tecnologías.

Según Méndez (2010), estas tecnologías se utilizan para las siguientes aplicaciones, y poseen las siguientes características:

### 2.6.1 Descargador de gas

- Protección primaria para telecomunicaciones, datos.
- Protección para líneas de radio frecuencia.
- Algunos fabricantes: CITEL, EPCOS.



**Figura 9. Tubo descargador de gas. (Tomado de <http://goo.gl/XGrP6L>)**

El descargador gaseoso es más conocido como tubo descargador de gas (ver Figura 9), el funcionamiento ocurre cuando el gas se ioniza y la diferencia de potencial a través del tubo excede la tensión de chispa, se produce un arco entre los electrodos derivando la corriente a tierra, la línea de entrada se cortocircuita hasta que la tensión a través del tubo llegue al nivel de extinción.

Cuando el arco se extingue, la tensión normal permanecerá en la línea protegida y el descargador de gas queda listo para funcionar nuevamente. El tiempo de respuesta se encuentra en la región baja de los microsegundos, pueden conducir grandes cantidades de corriente y tienen una vida limitada baja, por ejemplo un modelo GDT CD120 puede drenar hasta 10 KA a tierra y solo soporta un transitorio, o sea es desechable (ver anexo 8). Una desventaja que poseen es que cuando circula corriente alterna de forma prolongada, puede desarrollar altas temperaturas en su interior, por lo que deben utilizarse combinados con fusibles, dispositivos de conmutación de sobrecargas (Méndez, 2010).

### 2.6.2 Varistores de óxido metálico (MOV)

- Protección para líneas de baja tensión y líneas de alimentación de los equipos.
- Algunos fabricantes: CITEL, EPCOS, CIRPROTEC.

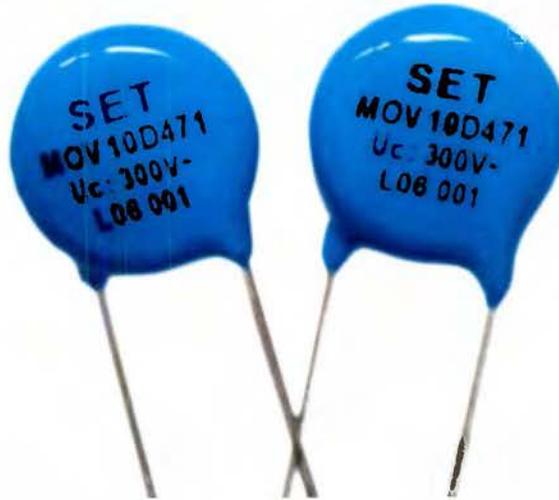


Figura 10. Varistor de óxido metálico. (Tomado de <http://bit.ly/2wrbFkb>)

La resistencia del varistor disminuye conforme aumenta la tensión, se conectan en paralelo con la carga a proteger, por tanto cuando la tensión incrementa el varistor baja su resistencia impidiendo cualquier elevación adicional de sobretensión, poseen un tiempo de respuesta alrededor de 25 nanosegundos. Tienen la desventaja que no pueden resistir el bombardeo repetitivo de transitorios, se degradan con el uso y están expuestos a problemas de dispersión térmica, debido a una alta corriente de fuga. (Méndez, 2010). Un ejemplo sería el modelo MOV-14D220K que puede drenar 1 KA, o el modelo MOV-14D182K que puede drenar 4,5 KA a tierra. (Ver anexo 9) En la Figura 10 se observa un ejemplo de varistor de óxido metálico.

### 2.6.3 Diodos supresores de avalancha de silicio

- Protección secundaria para telecomunicaciones y datos.
- Algunos fabricantes: CITEL, EPCOS.

Los diodos supresores recortan el nivel de tensión a un cierto valor, lo cual permite al diodo conducir grandes corrientes a tierra sin sufrir daños, por ejemplo 10 KA. (Ver Figura 11)



Figura 11. Diodos supresores de avalancha de silicio. (Tomado de <http://bit.ly/2vi6HRS>)

### 2.6.4 Fusibles

- Protección secundaria de redes externas (líneas de telecomunicaciones).
- Algunos fabricantes: CITEL, EPCOS.



**Figura 12. Fusibles. (Tomado de <http://bit.ly/2xIwRUS>)**

Los fusibles se conectan en serie con las líneas de alimentación y operan cuando circula una corriente excesiva. Los fusibles normales poseen un hilo conductor de sección uniforme que se funde al pasar una corriente en un tiempo determinado. Suministran una buena capacidad de sobrecarga y una baja resistencia, se señala como desventaja que pueden generar ruido y fallas en la desconexión. (Méndez, 2010). Un ejemplo de fusible se observa en la Figura 12. Muchos fusibles se pueden utilizar una sola vez, lo cual se convierte en una desventaja de utilizar este tipo de protección.

Para seleccionar un fusible se utiliza la curva de corriente y tiempo del fusible, como se observa en la Figura 13 que es proporcionada por el fabricante del fusible, donde el eje “x” corresponde a la corriente del transitorio eléctrico, el eje “y” corresponde al tiempo que tarda el fusible en fundirse ante esa corriente, y se observan diferentes curvas para diferentes capacidades de fusibles. Por ejemplo, el punto A de la Figura 13 señala una corriente del transitorio de 150 A, se traza una línea recta vertical de este punto hasta intersectar la curva del fusible más cercana, en este caso donde se observa el punto B, que es un punto de la curva de un fusible de 30 A, luego se traza una línea horizontal hasta intersectar el eje del tiempo en el punto C, por tanto este fusible de 30 A, se fundiría ante un transitorio de 150 A en un tiempo de 10 segundos. Si el transitorio eléctrico fuera de 7000 A, se realiza el

mismo procedimiento, se observa por tanto que se ocuparía un fusible de 600 A, y el mismo se fundiría en un tiempo de 0,1 segundos.

Muchos fusibles limitan la corriente a un valor mucho menor, además muchos son más rápidos que otros en fundirse. La norma IEC 60269-1 menciona que según su velocidad de respuesta los fusibles se dividen en: ultra rápidos, rápidos, lentos y muy lentos. Esta norma recomienda utilizar fusibles ultra rápidos para proteger equipos electrónicos, y fusibles más lentos para proteger equipos de mayor potencia como motores. Un fusible ultra rápido se puede fundir en un tiempo de hasta 0,001 segundos como se observa en la hoja del fabricante de diversos fusibles de este tipo (ver Anexo 10).

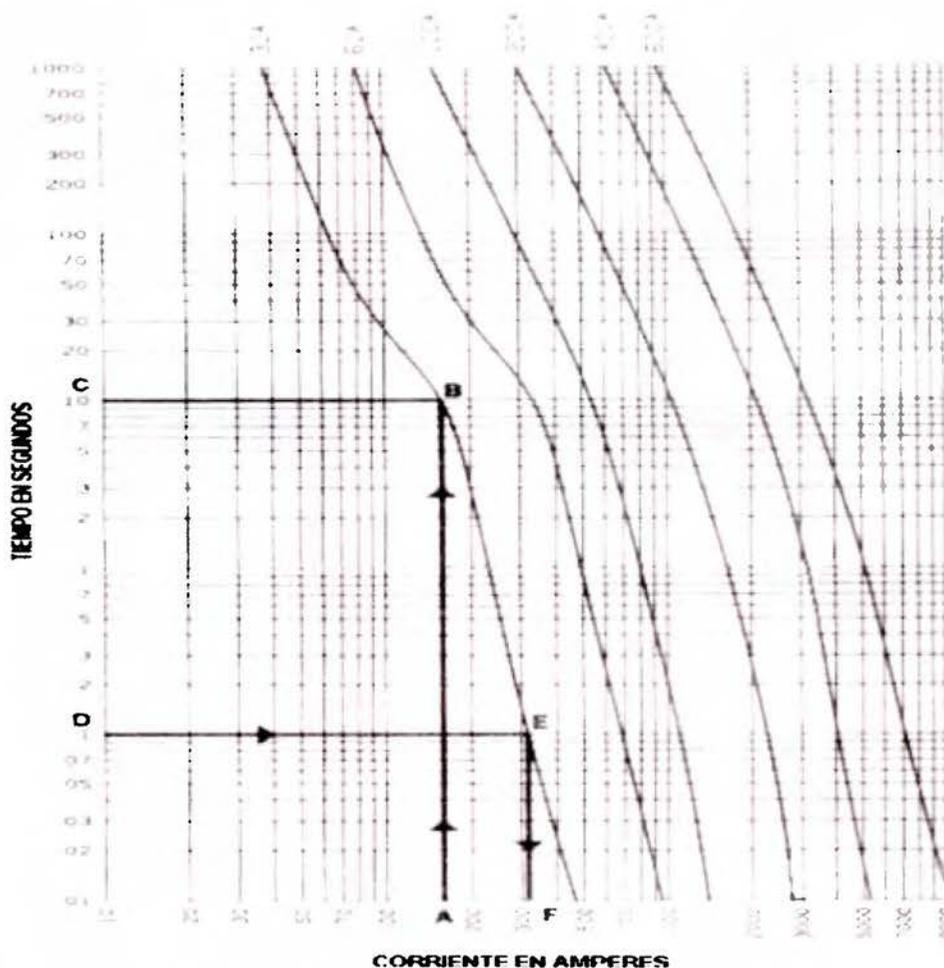


Figura 13. Curva tiempo vs corriente de un fusible (Tomado de hoja del fabricante de fusible NH-aR)

### 2.6.5 Resistencias térmicas

- Protección secundaria de redes externas (líneas de telecomunicaciones).
- Algunos fabricantes: CITEL, EPCOS.

Este tipo de termistores (ver Figura 14), son resistencias semiconductoras sensibles a la temperatura, de forma que cuando se incrementa la temperatura, su resistencia aumenta y disminuye la corriente hasta un determinado valor de fuga (Méndez, 2010).



Figura 14. Resistencias térmicas. (Tomado de <http://bit.ly/2wrrian2>)

## 2.7 Parámetros importantes de los supresores de transitorios

Cuando se desea seleccionar un supresor, primero hay que revisar la hoja del fabricante de los mismos, pero normalmente poseen algunos parámetros sobre características importantes del supresor, pero no se explican detalladamente. Ahora se indicarán algunos de esos parámetros y se explicará su significado.

### **2.7.1 Nivel de supresión $U_p$ (clamp voltage)**

También se le llama voltaje de protección (VPR), según norma UL-1449 3° edición. Es la tensión eléctrica de corte del supresor. Cuando se produce una sobretensión por encima del umbral de tensión admisible de la instalación que se va a proteger, el dispositivo de protección conduce de forma violenta la corriente de sobretensión a la tierra limitando la tensión al nivel de protección  $U_p$  deseado (Shneider electric, s.f).

Cuando ocurre un transitorio que el supresor es capaz de soportar sin dañarse, dicha onda podría tener mucha tensión eléctrica y dañar el equipo. El supresor recorta ese nivel de tensión a un nivel indicado por el fabricante llamado nivel de supresión o voltaje de corte. Normalmente, el supresor se conecta en paralelo con la carga (ver Figura 7), en este caso, el máximo voltaje que llegaría a la carga luego del transitorio, corresponde al nivel de supresión  $U_p$ .

El valor del nivel de supresión  $U_p$  que se requiere para proteger el equipo depende de diferentes factores, como el tipo de equipo que se desea proteger, la alimentación eléctrica que posee ese equipo, si se trata de líneas de baja o alta tensión, o de líneas de datos. Según la norma UL 1449, el nivel de supresión VPR se obtiene a partir de una onda de prueba de 6 KV y 3KA. La anterior norma, se creó para dispositivos con tensión nominal de 1 KV o menos.

### **2.7.2 Tensión nominal $U_N$**

Esta tensión corresponde a la tensión nominal del sistema que se desea proteger. Los supresores deben ser elegidos de forma que su voltaje nominal esté acorde con el voltaje del sistema eléctrico a proteger (Shneider electric, s.f).

### **2.7.3 Corriente máxima de descarga $I_{max}$**

Es el valor máximo de corriente de choque 8/20  $\mu$ s (onda normal de los transitorios indirectos de los rayos), que el aparato puede derivar a tierra de forma segura al menos una vez (Shneider electric, s.f).

### **2.7.4 Corriente de choque del rayo $I_{imp}$**

Es la corriente de choque de rayo con forma de onda 10/350  $\mu$ s (onda normal de los transitorios directos de los rayos) que un descargador puede derivar

más de una vez sin dañarse. Esta forma de onda posee una energía muy superior de la forma de onda de 8/20  $\mu$ s (Shneider electric, s.f).

### **2.7.5 Corriente nominal de descarga $I_{SN}$**

Es la corriente para lo que está dimensionado el aparato de protección contra sobretensiones. Se ha descrito que es la corriente que puede soportar el descargador al menos 20 veces sin dañarse con una forma de onda de 8/20  $\mu$ s (Shneider electric, s.f). La norma UL 1449 3ª edición menciona corrientes nominales de descarga para supresores entre 3 KA y 20 KA.

### **2.7.6 Tiempo de respuesta**

Determina el tiempo en que los elementos de un descargador son capaces de accionar ante un sobre voltaje transitorio. Entre más pequeño sea este tiempo, más rápido podrá reaccionar el supresor ante una descarga de un rayo.

### **2.7.7 Tensión máxima permanente (MCOV)**

Es posible encontrarse en hojas del fabricante este parámetro, es la tensión máxima de operación que puede aplicarse de forma ininterrumpida entre las terminales del descargador. (Gómez, s.f).

Las sobretensiones que superen el MCOV del descargador producen un incremento de la corriente que da lugar al aumento de pérdidas y la temperatura del aparato, afectando su estabilidad.

## **2.8 Tipos de supresores de transitorios según IEEE C62.41**

Existen diferentes tipos de supresores, según la norma IEEE C62.41 existen supresores tipo A, B, y C. Existen diferentes tipos de tecnologías según el fabricante, por tal razón es posible encontrar supresores de diferentes capacidades en el mercado, en este caso se utilizará como ejemplo supresores surgelologic de shneider electric.

### **2.8.1 Supresor nivel C**

Es el nivel de mayor exposición a transitorios externos, por lo general es el área de acometida, alimentadores aéreos, subestaciones y tableros generales en

baja tensión. Los equipos colocados en este nivel deben ser de alta capacidad de supresión, ya que están expuestos a transitorios destructivos, por lo general se utilizan equipos que van de 160 KA a 480 KA de supresión. Es preferible también que el supresor de esta zona sea modular, porque al haber más transitorios externos es común que alguna fase se vea más afectada que las otras. Un supresor de este tipo se observa en la Figura 15.

### **2.8.2 Supresor nivel B**

Es el nivel de exposición media. Se cuenta con cableado y equipos de distribución, así como nuevas fuentes de transitorios internos como compresores, soldadoras, entre otros. Es el área de tableros subgenerales, alimentadores, UPS, CCM, transformadores de alumbrado, así como las cargas finales de gran potencia dentro de la instalación. El supresor instalado en esta área es de construcción modular, aunque ya no de tan altas capacidades de supresión, por lo general van de 120 kA a 240 kA de supresión. Un supresor de este tipo se observa en la Figura 16.

### **2.8.3 Supresor nivel A**

Es el nivel de exposición más bajo. Son los tableros de distribución terminales que alimentan a las cargas finales, también se encuentran los circuitos derivados que alimentan cargas críticas como PLC's, computadoras, servidores, cargas críticas altamente electrónicas. En este nivel se cuida más el filtrado que la supresión debido a que si se cuenta con equipos supresores en los niveles anteriores, el rizo del transitorio llega minimizado. En este nivel los supresores son del orden de 40 a 120 kA de supresión. Para este nivel también se encuentran disponibles supresores que se conectan en serie entre la fuente y la carga que se desea proteger. Un supresor de este tipo se observa en la Figura 17.



## SERIE EMA

Figura 15. Ejemplo de supresor clase C. (Tomado de: catálogo surgelogic de Square D)



## SERIE EBA

Figura 16. Ejemplo de supresor clase B. (Tomado de: catálogo surgelogic de Square D)



**Figura 17. Ejemplo de supresor clase A. (Tomado de: catálogo surgelogic de Square D)**

Básicamente, los supresores clase A son los que se conectan al tomacorriente donde se conectan los equipos delicados, los clase B se instalan en tableros secundarios, y los clase C en la acometida principal. (Square D, s.f)

Es conveniente que existan equipos supresores en los diferentes niveles de exposición de la red eléctrica, de esta forma los equipos trabajan como un sistema que abate el transitorio cerca al lugar en que se produce y evita la propagación del mismo en la red y los daños en los equipos electrónicos. (Square D, s.f)

## **2.9 Modelos y costos de supresores en el mercado**

### **2.9.1 Modelos**

Algunos modelos de supresores se pueden observar en la sección de anexos con sus hojas del fabricante. Algunos ejemplos: supresor TVS120LC20 de surgelogic, supresor DS210-xxxDC de CITEL, OVR TC 24 V P de ABB, E280-24D3M de CITEL, 1840 series de Bourns, entre otros.

### 2.9.2 Costos

Algunos costos de supresores en el mercado se muestran en la Tabla 4, estos datos de precios sirven de referencia para tener una idea del valor aproximado para hacer comparaciones a futuro. Los supresores pueden variar de precio dependiendo del modelo y del fabricante del producto, pero en esta sección se darán algunos ejemplos.

**Tabla 4. Modelos y costos de algunos supresores en el mercado (Datos tomados de [www.ebay.com](http://www.ebay.com))**

Modelo de supresor	Costo total más envío e impuestos (\$)
Supresor TVS120LC20	\$250
OVR Tc 48v	\$30
CITEL ds210-130dc	\$56
Transtector APEX series (120-240)	\$300
TVS4EMA12A	\$1171
Ma41ma24 (Shneider electric)	\$530
Tvs4xw100c	\$550

## **2.10 Sistemas de pararrayos**

Un pararrayo es un instrumento cuyo objetivo es atraer el rayo para de esta forma conducir la descarga hacia tierra. Su principal importancia es evitar que un rayo impacte de forma directa un equipo de vital importancia para una empresa. Un sistema de protección de pararrayos, debe capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito llamado terminal aérea, conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia y debe disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

Según Bolaños (2008), existen dos tipos de pararrayos: pararrayos ionizantes (pasivos y semi-activos) y pararrayos desionizantes pasivos.

### **2.10.1 Pararrayos ionizantes**

Son pararrayos que ionizan el aire y atraen la descarga del rayo, son electrodos acabados en una o varias puntas, están instalados en la parte más alta de las instalaciones y están conectados a tierra. Se dividen en pararrayos ionizantes pasivos (ejemplo: puntas Franklin) y semi-activos (ejemplo: pararrayos de cebado) (Bolaños, 2008). Este tipo de pararrayos se observa en la Figura 18.



Figura 18. Pararrayo ionizante. (Tomado de <http://bit.ly/2viHCpz>)

### **2.10.2 Pararrayos desionizantes pasivos**

Se destacan por ser de forma esférica, están ubicados en la parte más alta de la instalación y conectados a tierra, se puede observar en la Figura 19. Se caracteriza por transferir la carga electrostática antes de la formación del rayo anulando el fenómeno de ionización. (Ejemplo: pararrayos con sistema de transferencia de carga) (Bolaños, 2008).



**Figura 19. Pararrayo desionizante pasivo. (Tomado de: <http://bit.ly/2virWCT>)**

### **2.10.3 Protección de equipos con pararrayos**

Es importante derivar el rayo hacia tierra de forma segura. Según Méndez (2008), esto se puede lograr empleando cables de cobre desnudo de  $50 \text{ mm}^2$ , que bajan aislados de la estructura de la torre mediante separadores laterales. La tierra es el medio que disipa la energía eléctrica sin cambiar su potencial, la capacidad de la tierra de aceptar la energía depende de la resistencia del suelo y la humedad en la localización particular donde cae el rayo.

Cuando se produce una descarga atmosférica, se crean campos electromagnéticos que inducen corrientes en las superficies conductoras próximas. En el caso de los sistemas de pararrayos, las corrientes se pueden generar en el cable coaxial y de esta forma dañar los equipos electrónicos, la solución es emplear protectores de línea, que van ubicados entre el cable coaxial y los equipos electrónicos del sistema. Cuando el protector de línea detecta un cambio importante de tensión, deriva la corriente a tierra, mediante uno de sus terminales que se encuentra conectado al sistema de puesta a tierra.

Según Méndez (2008), algunas recomendaciones a la hora de colocar un sistema de pararrayos son las siguientes:

- Sistema de prevención de descargas atmosféricas con puntas Franklin, aunque el área a cubrir no es muy grande pero son más económicos que los pararrayos de cebado o los no ionizantes).
- Dos sistemas de puesta a tierra, uno para los pararrayos y otro para el sistema de comunicaciones, pero ambos deben estar únicos entre sí mediante un cable de cobre de baja resistencia ( $50 \text{ mm}^2$ ). En el caso de los cerros, donde es sumamente difícil conseguir dos puestas a tierra de baja resistencia, se sugiere fabricar un único pozo a tierra que rodee toda la instalación.
- Protector de línea: ubicado en el cable coaxial de la antena para proteger los equipos de comunicación ante la inducción de corrientes en el cable coaxial producidas por descargas atmosféricas.
- Colocar una barra máster que es una barra de cobre que sirve para poner al mismo potencial los equipos de comunicación, energía y sistemas de comunicaciones.
- Aislar la punta Franklin de la estructura mediante una base aislante entre la estructura de la torre y el pararrayos.
- Aislar el cable de bajada del pararrayos de la estructura de la torre mediante separadores laterales y aisladores de carrete.
- Instalar la barra máster lo más cerca posible de los equipos de comunicaciones y cómputo, y los cables que van conectados a esta barra deben estar aislados para evitar falsos contactos con las estructuras que se encuentran alrededor.

#### **2.10.4 Mallas de Faraday**

De los sistemas ionizantes pasivos, la mejor estrategia utilizada es la conocida como jaula de Faraday. Este efecto consiste en que el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio es nulo, anulando el

efecto de los campos externos. Los pararrayos con sistema de jaula de Faraday están constituidos por una red de conductores, dispuestos por todo el exterior del edificio a proteger. Las instalaciones quedan como dentro de una jaula de conductores que se interconectan entre sí y luego al sistema de puesta a tierra. Por tanto, por el principio de la jaula de Faraday se anula el campo magnético en el interior de la jaula provocando que las descargas atmosféricas exteriores al edificio no afecten los equipos dentro de la instalación (Farina,2015).

## 2.11 Sistemas de puesta a tierra

Según Martínez (2013), un sistema de puesta a tierra está formado por uno o varios conductores metálicos (electrodos) unidos entre sí, enterrados en contacto directo con el terreno y conectados con la instalación eléctrica a través de la línea de tierra, como se observa en la Figura 20. Este sistema permite posibilitar el paso al terreno de corrientes peligrosas como sobretensiones de orígenes atmosféricos, produciéndose en el terreno distribuciones de potencial peligrosas que pueden afectar la seguridad de las personas que se encuentren en el lugar o en zonas cercanas.

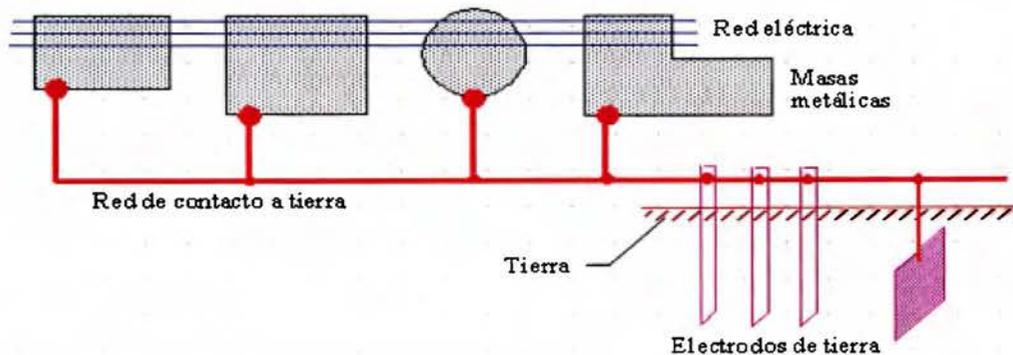


Figura 20. Sistema de puesta a tierra. (Tomado de: <http://bit.ly/2x6pi5r>)

También es posible proteger un equipo electrónico con un sistema de puesta a tierra como se observa en la Figura 21. En este caso la puesta a tierra

posee un conjunto de electrodos conectados al edificio, para esto se utilizan normalmente barras de cobre.

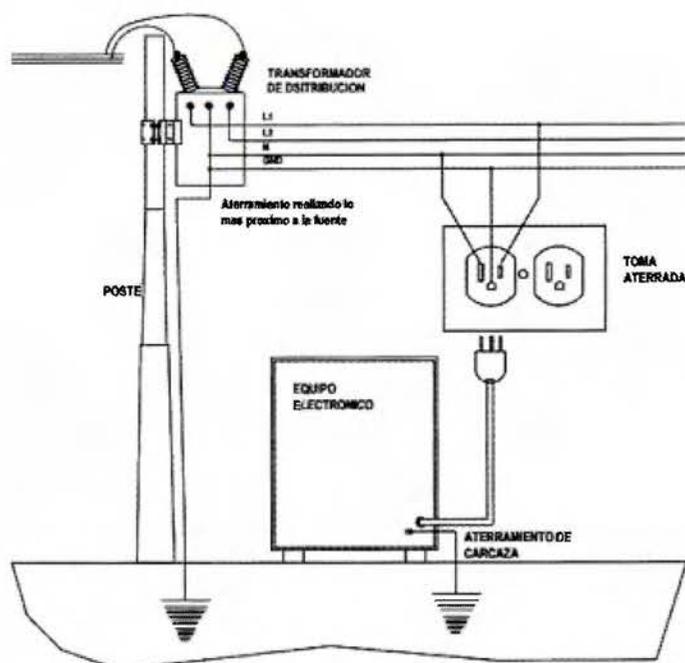


Figura 21. Sistema de puesta a tierra de un sistema electrónico. (Rojas, s.f)

Por tanto, si ocurre una descarga atmosférica cerca de un equipo a proteger, y ese terreno posee un sistema de puesta a tierra, una malla de electrodos conectados entre sí, los excesos de sobrecorriente son drenados a tierra. La resistencia a tierra en cualquier punto del sistema debe ser muy pequeña para garantizar la máxima eficiencia del sistema. Si la resistencia es muy grande, los excesos de corriente no podrán drenarse a tierra, por eso la resistencia del material utilizado como electrodo debe ser muy pequeña. Según Rojas (s.f), esa resistencia no debe ser mayor a  $10 \Omega$  siempre y cuando no se proteja equipo electrónico donde es mejor que esa resistencia no sea mayor a  $2 \Omega$ .

## 2.12 Compatibilidad electromagnética (EMC)

La norma IEC-61000-1-1 define la compatibilidad electromagnética como "la capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma

satisfactoria en su entorno electromagnético sin provocar perturbaciones electromagnéticas sobre cualquier cosa de ese entorno".

Actualmente, los productos electrónicos requieren satisfacer una serie de estándares y regulaciones gestionadas por agencias gubernamentales y privadas. Estas regulaciones cubren la EMC (compatibilidad electromagnética) y otros requerimientos esenciales en la seguridad del producto. Se pretende que los productos cumplan una serie de normas, para que puedan funcionar adecuadamente en el mundo de las interferencias electromagnéticas, la electricidad estática y rayos.

Los productos no solamente tienen que sobrevivir a las interferencias, sino que está limitada por ley la cantidad de interferencias que estos pueden producir en el entorno. El estudio y la resolución de estos problemas entran dentro de la disciplina de la compatibilidad electromagnética (EMC). La EMC también incluye el análisis de las descargas electrostáticas (ESD) y los daños producidos por rayos, en los sistemas electrónicos. Los productos deben ser compatibles con su entorno electromagnético.

La EMC garantiza que cualquier dispositivo electrónico no va a propagar interferencias hacia su entorno, con niveles superiores a los establecidos. Debe asegurar también que estos dispositivos electrónicos tendrán una funcionalidad correcta si se hallan expuestos a altos niveles de interferencia. (López, 2010)

Según López (2010), las regulaciones conocidas como EMC garantizan la compatibilidad del producto en entornos perturbados por interferencias electromagnéticas (inmunidad electromagnética), además de garantizar la no aportación de nuevas interferencias a ese entorno (emisiones electromagnéticas). El incumplimiento de las normas EMC puede ocasionar serias consecuencias en el funcionamiento del producto electrónico, además de la prohibición de la venta del mismo en los grandes mercados internacionales.

El nivel máximo de emisiones permitidas o el mínimo de inmunidad está definido en las normativas. Si se cumple con estos niveles se cumple con las normativas. Cumplir las normativas de EMC garantiza que exista seguridad funcional en el producto electrónico.

Hay tres elementos que deben estar presentes para que exista un problema de interferencia electromagnética (EMI): fuente de ruido, el medio por el que se propaga el ruido y el receptor del ruido. Si uno de estos tres elementos es eliminado, los problemas por interferencia electromagnética dejan de existir. (López, 2010)

Existen fuentes de ruido internas en el circuito y fuentes de ruido externas al circuito. En este caso se analizará las posibles fuentes de ruido externas que pueden provenir en forma de perturbaciones electromagnéticas, según López (2010), algunos ejemplos serían:

- Transmisores de radio, televisión y telefonía móvil.
- Líneas de alta tensión y estaciones transformadoras.
- Motores eléctricos y electrodomésticos.
- Ruido galvánico al unir dos metales distintos.
- Rayos, ruido solar y ruido cósmico.
- Descargas electrostáticas.
- Radares.

El ruido puede propagarse como una interferencia radiada (del tipo magnético, eléctrico o electromagnético) o a través de cables o elementos metálicos.

Por receptor del ruido se entiende a los componentes o circuitos que reciben las señales no deseadas de interferencia.

Un ejemplo de la EMC en los datos del fabricante, se da con un interruptor 651 RF (se adjunta hoja del fabricante en anexo 7). En este caso, cuando en las instrucciones del fabricante aparece un dato técnico como por ejemplo, un dispositivo que puede proteger hasta 1 KV de línea de un transitorio, EMC, el término EMC indica que el dispositivo cumple con los requerimientos de compatibilidad electromagnética, o sea que cumple con las normativas de compatibilidad. En este caso, se menciona que el equipo puede drenar 1 KV a tierra, o sea el equipo puede funcionar satisfactoriamente en un entorno electromagnético que provoque un transitorio máximo de 1 KV. Si este límite se supera, el equipo puede fallar. Considerando que los transitorios muchas veces

superan 1 KV, sería recomendable agregar una protección adicional a este interruptor.

La fuente de ruido, sería el transitorio del rayo, el medio de propagación del ruido sería el cable que transmite el transitorio, y el receptor sería el equipo que recibe las señales del ruido. En este caso, se observa que se cumplen los elementos básicos para que se presente una interferencia electromagnética. Según el ejemplo mencionado, el equipo podría soportar 1 KV sin dañarse ni provocar interferencias en otros equipos.

Hay que considerar que cuando se trabaja con equipo electrónico existe el peligro de que haya descargas electrostáticas, es otra posible fuente de ruido, se da cuando hay objetos cercanos al equipo con electricidad estática. Es posible que se presenten descargas aéreas, las instrucciones del fabricante de un equipo debería indicar, en caso de que exista un riesgo, la capacidad del equipo para soportar descargas electrostáticas sin dañarse. Las descargas electrostáticas también tienen relación con la EMC.

## 3 Análisis de cableado e inmunidad al ruido para equipos electrónicos

### 3.1 Cableado necesario para interconectar equipo electrónico

Algunos tipos de cables utilizados en la industria son el cable coaxial, que posee un conductor central de cobre (ver Figura 22), y el cable par trenzado que tiene alambres de cobre aislado que se trenzan (ver Figura 23). Algunos ejemplos de cable par trenzado son los cables UTP que es cable par trenzado no blindado (ver Figura 24), STP que es cable par trenzado apantallado o blindado (shield) (ver Figura 25) y FTP que es cable par trenzado con pantalla global (ver Figura 26).

Según Fowler, R (1994), el apantallamiento de un cable sirve para aislar a los conductores de campos electromagnéticos en los alrededores del cable. Lo anterior, es muy útil principalmente cuando existe la presencia de señales de poca corriente que son fácilmente alterables con cualquier perturbación externa. Debido a esta característica, los cables blindados poseen mayor eficiencia que los no blindados, ya que impiden que señales externas de ruido ingresen al cable. A pesar de esto, hay que tener presente que no son inmunes a las descargas atmosféricas, que pueden llegar a tener temperaturas de hasta 24000 °C y potencia de hasta 3,4 mil millones de KW (Fallas, 2015), lo suficiente para dañar este tipo de cables, además de que poseen alto voltaje y altas corrientes suficientes para provocar fuertes transitorios electromagnéticos.

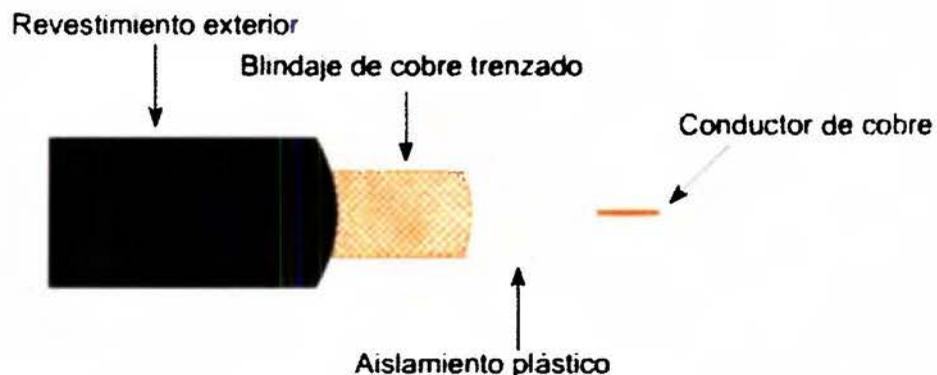


Figura 22. Estructura del cable coaxial. (Tomado de: <http://bit.ly/2wrOnug>)

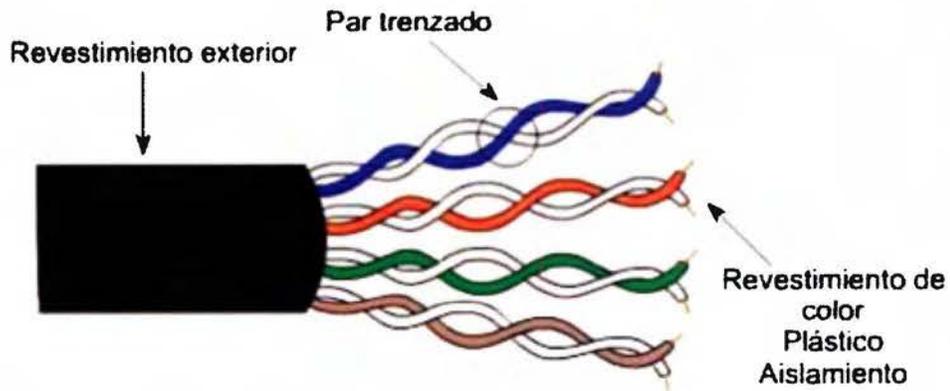


Figura 23. Estructura del cable par trenzado. (Tomado de: <http://bit.ly/2wrOnug>)

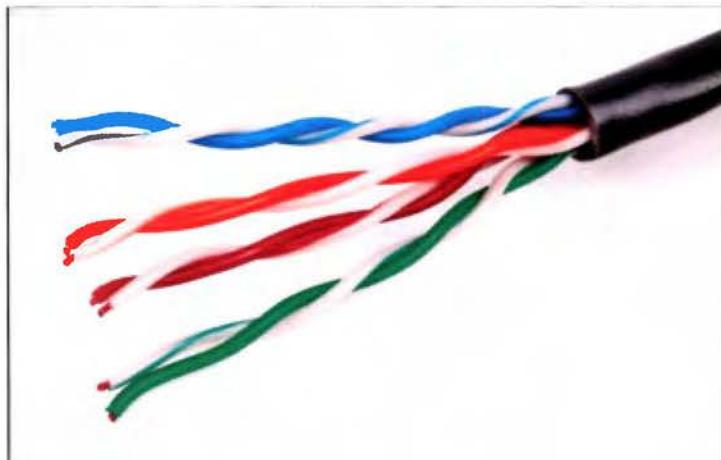


Figura 24. Cable par trenzado no blindado (UTP). (Tomado de: <http://bit.ly/2wi24M3>)

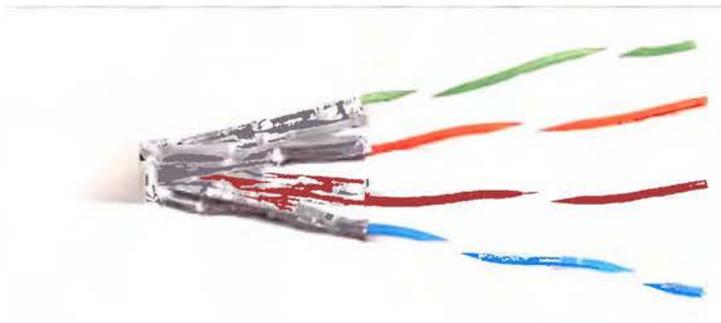
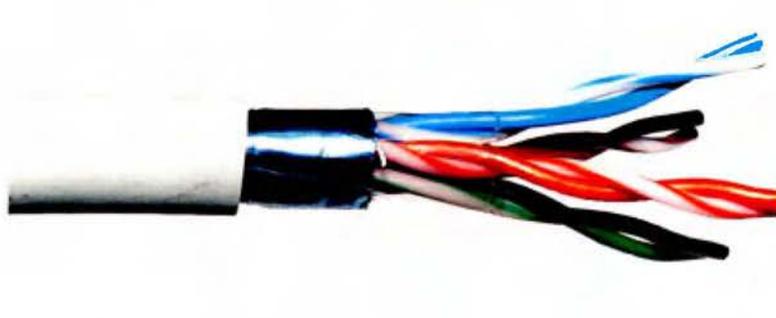


Figura 25. Cable de par trenzado apantallado o blindado (STP). (Tomado de: <http://bit.ly/2x6S0mH>)

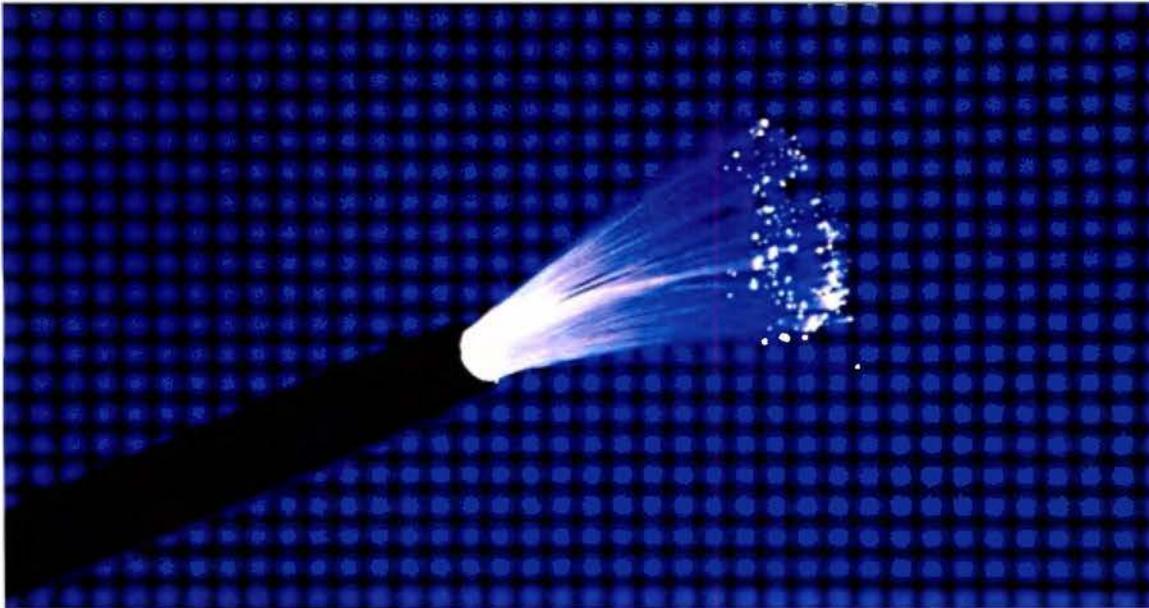


**Figura 26. Cable de par trenzado blindado cubierto con pantalla global (FTP).  
(Tomado de: <http://bit.ly/2vTm2vB>)**

En RECOPE se utilizan cables belden 8719 (*UL AWM Style 20253*) y belden 3051B (*UL Style 2464*), para interconectar equipo electrónico. En el mercado se pueden encontrar cables belden con calibres de hasta #16 AWG (es difícil encontrar cables con calibres mayores a 16 AWG). Estos cables, pueden soportar una corriente máxima de 18 A, y son cables par trenzado blindados. Los equipos de instrumentación poseen señales de pocos mA, por tanto se deduce que el tipo de cables utilizado es el adecuado, pues se encuentran blindados y a su vez soportan una corriente máxima muy superior a la requerida. Además, hay que tomar en cuenta que entre mayor es el calibre del cable más barato es el precio. Las hojas del fabricante de los cables indicados se muestran en los Anexos 11 y 12.

### **3.2 Uso de fibra óptica**

Además del cable coaxial o par trenzado, existe un método adicional de transmisión: la fibra óptica. Según Rodríguez (2009), las líneas de fibra óptica son filamentos de vidrio o plástico, del espesor de un cabello. Llevan mensajes en formas de haces de luz que realmente pasan a través de ellos, se puede observar en la Figura 27.



**Figura 27. Fibra óptica. (Tomado de: <http://bit.ly/2vXiNlf>)**

Según Rodríguez (2009), el principio en el que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total, la luz que viaja por el centro o núcleo de la misma, incide sobre la superficie externa y se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra, así la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Con unos kilogramos de vidrio pueden fabricarse aproximadamente 43 kilómetros de fibra óptica. Consiste en una o varias hebras delgadas de vidrio o de plástico con un diámetro de 50 a 125  $\mu\text{m}$ , posee un revestimiento que protege el núcleo de la fibra, lo cual a su vez está cubierto por un forro de plástico u otros materiales que protegen la fibra contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno.

La fibra óptica consiste en un sistema donde existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en el otro extremo del circuito se encuentra otro componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la energía óptica en energía electromagnética similar a la señal original.

Según Rodríguez (2009), algunas ventajas y desventajas de la fibra óptica se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5. Ventajas y desventajas de la fibra óptica.**

<b>Ventajas de la fibra óptica</b>	<b>Desventajas de la fibra óptica.</b>
Permiten navegar a velocidades muy altas de internet	El costo de instalación es elevado.
Transmiten video y sonido en tiempo real	Fragilidad de las fibras.
Es fácil de instalar	Dificultad para reparar un cable de fibras dañado en el campo.
Es inmune al ruido y a las interferencias.	Disponibilidad limitada de conectores.
Carece de señales eléctricas, pues está hecho de materiales aislantes que no conducen la electricidad	El costo es alto en la conexión con fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en megabytes.
Son convenientes en ambientes explosivos pues es anti inflamable.	Solo pueden subscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.
Las fibras no pierden luz por lo que la transmisión es segura sin sufrir perturbaciones	
La materia prima con la que se fabrica es abundante en la naturaleza.	
Es compatible con la tecnología digital.	

Algunas aplicaciones de la fibra óptica son: para conectarse a internet, se emplean en redes de comunicaciones, telefonía, para transmitir información de diferentes tipos, entre otros.

Debido a que la fibra óptica no conduce la electricidad según lo indica la Tabla 5, no conduce transitorios electromagnéticos, por lo que si un rayo cae cerca de la misma no se generaran corrientes inducidas. Si un rayo impacta de forma directa una fibra óptica puede dañar la misma dado que es muy frágil, aunque si se entierra en canalizaciones subterráneas no hay peligro ni de transitorios ni de ruido, ni de ser dañada por un impacto directo del rayo. Hay que considerar que la fibra

óptica posee un costo más elevado que el cable coaxial. No se requieren supresores de transitorios pues la fibra óptica no conduce electricidad. Sólo hay problemas de transitorios en aquellos casos donde sea necesario convertir la luz en electricidad o viceversa varias veces en una distancia determinada, pues en los tramos donde hay conductores eléctricos si pueden ocurrir transitorios electromagnéticos que alterarían la información que se desea transmitir, en estos casos será necesario utilizar un supresor de transitorios adecuado en los puntos donde se transforma la energía eléctrica en lumínica.

### **3.3 Distancia de separación entre cables**

Actualmente, existen recomendaciones de cableado estructurado que permiten definir algunas distancias de separación entre cables. Antes de proceder a indicar las distancias se explicará algunos conceptos básicos de cableado estructurado

El cableado estructurado es un sistema que considera todas las necesidades de cableado del cliente y después las combina en un solo paquete de cableado. Por ejemplo, un cliente puede necesitar un cableado para sus aplicaciones telefónicas y de datos. Se crearía un sistema de cableado estructurado para que los cables de telefonía y datos se tiendan al mismo tiempo. El cableado estructurado tiene el objetivo de integrar en un mismo sistema los servicios de voz, datos y video. También se busca integrar los sistemas de control y automatización de un edificio.

El estándar de cableado principal que se aplica en todo el mundo es el ISO 11801. El estándar de diseño principal para Estados Unidos es el ANSI/TIA/EIA 568-B. En la Unión Europea el estándar más relevante es el EN 50173. En Canadá el estándar más relevante es el CAN/CSA T529.

### **3.3.1 Elementos de un cableado estructurado según ANSI/TIA/EIA-568-B**

#### **3.3.1.1 Área de trabajo**

Un área de trabajo es un término que se utiliza para describir un área a la que brinda servicio una determinada sala de telecomunicaciones, o el área donde funciona la misma. En la mayoría de casos, un área de trabajo ocupa un piso o una parte de un piso de un edificio. Normalmente, en el área de trabajo se encuentra el closet de comunicaciones que es el punto donde se concentran todas las conexiones que se necesitan en el área de trabajo. En el área de trabajo se encuentra el personal trabajando con las computadoras, impresoras, entre otros, y se instalan los nodos de datos, telefonía y energía eléctrica.

#### **3.3.1.2 Cableado horizontal**

Es aquel que viaja desde el área de trabajo donde se encuentra el usuario hasta el closet de comunicaciones. Hace uso de las rutas y espacios horizontales, como pisos o techos. Permite distribuir y soportar cable horizontal por medio de contenedores. Generalmente, se utiliza cables par trenzado aunque si se desea un mayor rendimiento puede usarse fibra óptica. Normalmente contiene más cables que el cableado vertical y es menos accesible. Se han diseñado para transmisión de datos, como audio y video, así como señales de control. Según las normas indicadas no se permiten empates (múltiples apariciones del mismo par de cables en diferentes puntos de distribución). La distancia horizontal máxima permitida es de 90 metros, aunque se permiten 10 metros adicionales para la distancia combinada de cables de empate (utilizados para la configuración en el closet de comunicaciones) y cables utilizados para conectar los equipos en el área de trabajo, de forma que la distancia total no debe sobrepasar los 100 metros en cableado horizontal.

Los tipos de cable aceptados son:

- Par trenzado, cuatro pares sin blindaje (UTP) de 100 ohms
- Par trenzado, dos pares, con blindaje (STP) de 150 ohms
- Fibra óptica, dos fibras, multimodo 62.5 / 125 mm
- Actualmente ya no se aplica el cable coaxial

#### **3.3.1.3 Cuarto de equipo**

En este cuarto se concentran los servidores de la red, el conmutador telefónico, entre otros y normalmente es de acceso restringido.

#### **3.3.1.4 Cuarto de entrada de servicios (acometida)**

Es el punto donde entran los servicios al edificio y se les realiza una adaptación para unirlos al edificio y hacerlos llegar a los diferentes lugares del edificio en su parte interior (no necesariamente líneas de datos, pueden ser líneas telefónicas o cableado vertical de otro edificios).

#### **3.3.1.5 Cableado vertical o backbone**

Es aquel que une dos redes entre si. El cableado vertical ofrece interconexión entre el cuarto de entrada de servicios, el cuarto del equipo, así como los closet de comunicaciones. Además debe ofrecer interconexión entre los equipos localizados en diferentes edificios si es necesario. Debe ser planeado para soportar un gran flujo de datos. En el cableado vertical la fibra óptica se ha convertido en el medio que da mejor rendimiento.

Los tipos de cable aceptados son:

- Par trenzado UTP de 100 ohms para transmisión de voz (distancia máxima de 800 metros).
- Par trenzado, UTP de 150 ohms, para transmisión de datos (distancia máxima de 90 metros).

- Fibra óptica monomodo 62,5/125 micras, para transmisión de datos (distancia máxima de 3000 metros).
- Fibra óptica multimodo 8,3/125 micras, para transmisión de datos (distancia máxima de 2000 metros).

### **3.3.2 Distancias de separación según ANSI/TIA/EIA 568-B**

Según la norma ANSI/TIA/EIA 568-B, para cableado vertical y horizontal deben cumplirse las siguientes distancias de separación entre cables, que se refiere a cables para transmisión de señales digitales (datos, control) y cables de potencia. No aplica para señales analógicas.

- Un cable con señales digitales no debe pasar cerca de motores eléctricos grandes o transformadores.
- En caso de que existan líneas de potencia cerca al cableado vertical u horizontal, debe existir una distancia mínima de separación de 13 cm para cables de 2 KVA o menos, una distancia de 30 cm para cables entre 2 y 5 KVA, y una distancia de 91 cm para cables con más de 5 KVA.
- Los cables UTP no deben circular junto a cables de energía en la misma tubería por más corto que sea el trayecto.

El cableado estructurado permite colocar en la misma tubería diferentes señales de datos, de control u otra señal digital de bajo voltaje y las normas lo permiten, lo cual implica que no hay problemas de interferencias en las señales de instrumentación. El problema radica cuando se colocan estas líneas cerca de líneas de potencia.

La distancia de separación recomendada aumenta conforme sube la potencia transmitida por el cable, pues la corriente es mayor y puede provocar interferencias electromagnéticas en las líneas de bajo voltaje, por esta razón, la distancia de separación si depende de la corriente de los cables de alimentación.

En caso de que existan líneas de potencia es riesgoso para líneas de bajo voltaje que la distancia de separación disminuya con respecto a lo recomendado.

Es necesario que se cumpla los requisitos de estas normas para que no se vea afectada la señal de instrumentación.

En el caso de señales analógicas de 4-20 mA, hay que tener presente que son señales muy susceptibles al ruido, por tal razón hay que utilizar cable par trenzado apantallado o blindado. El cableado estructurado no permite transmitir señales analógicas, pero existen dos métodos para conocer las distancias de separación, uno es utilizando normas técnicas y la otra es usando convertidores analógico digital (CAD) y convertidor digital analógico (DAC), el convertidor CAD permite convertir la señal analógica de 4-20 mA, a una señal digital de datos, y al final se vuelve a convertir en una señal analógica con ayuda de un convertidor DAC. Al usar este tipo de convertidores pueden usarse las reglas de cableado estructurado para transmitir estas señales, de forma que las distancias de separación serían las mismas que las que indican las normas para cableado estructurado, o sea puede ir cerca de otros cables con datos, pero con cables de potencia hay que tener el cuidado de mantener la distancia requerida indicada anteriormente. A pesar de lo anterior, los convertidores pueden resultar muy costosos si se requiere comprar una gran cantidad de estos, se pueden utilizar si son pocos los convertidores necesarios.

Otro modo de conocer las distancias de separación para señales analógicas es por medio de normas técnicas. Existe una norma que lo menciona: API RP 552. La norma API RP 552 advierte que no se deben colocar cables de potencia AC junto con cables de señales DC en la misma tubería, sino que deben ir en diferentes tuberías. Estos datos se muestran en las Tablas 5, 6, 7 y 8.

Los datos de la Tabla 6, corresponden a distancias de separación entre señales de potencia y señales analógicas de 4-20 mA ó 10-50 mA (ambas señales en conductos de acero). La señal analógica es transportada por un cable par trenzado blindado con pantalla global (FTP). En este caso, no hay bandejas de cables. Un ejemplo de una bandeja de cables se muestra en la Figura 28 donde hay cables de potencia (derecha) y de datos (izquierda) en una misma bandeja.



**Figura 28. Ejemplo de bandejas de cables. (Tomado de: [http //bit.ly/2uZR8Tg](http://bit.ly/2uZR8Tg))**

Los datos de la Tabla 7, corresponden a distancias de separación entre señales de potencia y señales analógicas de 4-20 mA ó 10-50 mA (ambas señales en conductos de acero). La señal analógica es transportada por un cable par trenzado sin blindar (UTP). Esta tabla no considera bandejas de cables.

La Tabla 8 considera cables de potencia y señales analógicas de 4-20 mA en la misma bandeja, algo similar a lo mostrado en Figura 28. Para la señal analógica se usa cable par trenzado blindado (STP). La Tabla 8 muestra la separación de ambos tipos de señales dentro de una misma bandeja.

La Tabla 9 considera cables de potencia en bandeja y señales analógicas de 4-20 mA en conductos de acero, o señales analógicas en bandeja y señales de potencia en conductos de acero. Para la señal analógica se usa cable par trenzado blindado (STP). La Tabla 9 muestra la separación entre una señal en la bandeja y la otra señal en conductos de acero fuera de la bandeja.

La norma API RP 552 hace algunas aclaraciones sobre estas tablas (6, 7, 8 y 9): se aclara que los circuitos de 120 V para alarmas, solenoides y circuitos similares se tienen que considerar como circuitos de potencia. Estas tablas aplican para distancias paralelas de hasta 500 pies de largo (152 metros) punto a partir del cual debe aumentarse la distancia de separación de forma directamente

proporcional a la distancia que aumenten las líneas paralelas. La norma indica también que los datos de estas tablas se han obtenido basados en la experiencia.

**Tabla 6. Potencia y señal en diferentes conductos de acero, sin bandejas; señal: con cable par trenzado blindado cubierto con pantalla global (FTP)**

Potencia del cable	mADC (4-20 mA ó 10-50 mA)
Más de 125 V @20 A	No es requerida la separación
125 a 500 V@200 A	6 pulgadas=15,24 cm
Más de 500 V	18 pulgadas=45,72 cm

**Tabla 7. Potencia y señal separadas en diferentes conductos de acero, sin bandejas; señal: con cable par trenzado sin blindar (UTP)**

Potencia del cable	mADC (4-20 mA ó 10-50 mA)
Más de 125 V @20 A	4 pulgadas=10,16 cm
125 a 500 V@200 A	8 pulgadas=20,32
Más de 500 V	24 pulgadas=61 cm

**Tabla 8. Potencia y señal en la misma bandeja, señales separadas o no con barra metálica; señal: con cable par trenzado blindado (STP)**

Potencia del cable	mADC (4-20 mA ó 10-50 mA)
Más de 125 V @20 A	15 pulgadas=38,1 cm
125 a 500 V@200 A	30 pulgadas=76,2 cm
Más de 500 V	96 pulgadas=243,84 cm

**Tabla 9. Potencia en conducto de acero; señal en bandeja con cable par trenzado blindado (STP), o potencia en bandeja; señal en conducto de acero con cable STP.**

Potencia del cable	mADC (4-20 mA ó 10-50 mA)
Más de 125 V @20 A	15 pulgadas=38,1 cm
125 a 500 V@200 A	15 pulgadas=38,1 cm
Más de 500 V	30 pulgadas=76,2 cm

Como se observa en las Tablas 6, 7, 8 y 9 las distancias recomendadas pueden reducirse dependiendo del tipo de cable utilizado para transportar la señal analógica, además hay que considerar si hay bandejas de cables o no. Por ejemplo, en la Tabla 6 se indica que con cable UTP para la señal analógica, se requiere una separación con los cables de potencia (125 V @20 A) de 10 cm, esta distancia no será necesaria si se usa cable FTP, siempre y cuando se encuentren en conductos de acero separados. Es necesario respetar los valores indicados por las tablas para que la señal que llega al equipo de instrumentación no se vea afectada.

### 3.4 Puesta a tierra en líneas de transmisión de datos

Una técnica muy utilizada para transmitir datos es el cableado estructurado, en especial el cableado vertical y horizontal. En la Sección 3.3 se indicó que para cableado vertical y horizontal los cables más utilizados son STP, UTP y fibra óptica. La fibra óptica no transmite la electricidad, únicamente luz, por tal razón no requiere ser aterrizado sin importar la frecuencia de la señal que se desea transmitir. En cambio, los cables UTP y STP si transmiten la electricidad. La norma ANSI-J-STD-607-A indica que tanto los cables UTP (par trenzado sin blindar) como los cables STP (par trenzado blindado) deben ser aterrizados. Las normas ANSI/TIA-568-B.1 y ISO/IEC 11801:2002 establecen que el blindaje de cables debe estar unido a la barra de conexión a tierra para telecomunicaciones en el cuarto de telecomunicaciones. Según estas normas las líneas de datos deben ser aterrizadas al igual que las líneas con señales analógicas.

La norma ANSI -J-STD-607-A recomienda que la pantalla de los cables STP debe ser conectado a tierra en el distribuidor de cableado horizontal, mediante la unión a la barra de tierras del cuarto de telecomunicaciones.

Estas normas recomiendan aterrizar estos cables, pero no mencionan la frecuencia de la señal, pero se sabe que a mayor frecuencia la interferencia electromagnética es mayor, pero esto no quiere decir que a baja frecuencia no haya interferencia o ruido eléctrico, la interferencia puede estar presente a bajas y altas frecuencias, por esta razón se deduce que es importante aterrizar sin importar la frecuencia de la señal.

### **3.5 Pruebas para colocar cables de instrumentación en canalizaciones con cables de potencia**

Si se utiliza fibra óptica como líneas de instrumentación, no es necesario realizar pruebas pues la misma no conduce la electricidad, por lo que perfectamente puede colocarse fibra óptica y cables de potencia en la misma canalización. Si se utiliza cable par trenzado como líneas de instrumentación, según se indicó en la Sección 3.3, no se debe colocar ambos tipos de cables en la misma tubería, pues la señal de instrumentación puede verse afectada por interferencias electromagnéticas, y puede aumentar el ruido eléctrico. Según la norma API RP 552 es posible que ambos tipos de cables se coloquen en la misma canalización siempre y cuando se cumplan las distancias mínimas de separación establecidas anteriormente según la potencia del cable de energía y el tipo de cable utilizado para alimentar los equipos de instrumentación, de lo contrario habrá interferencias electromagnéticas en los cables de instrumentación.

Algunas de las pruebas requeridas se muestran a continuación:

- Revisar el correcto funcionamiento de los cables de potencia. La norma IEEE STD 400.2-2004 menciona que un cable de potencia se puede probar si se somete a una tensión de 3 veces su tensión nominal durante 15 minutos, si el cable resiste es apto para el servicio.
- Revisar que las canalizaciones de potencia se encuentren debidamente aterrizadas.
- Analizar que se mantenga la distancia de separación indicada por la norma API RP 552 entre cables de potencia y líneas de instrumentación.

### 3.6 Inmunidad al ruido en dispositivos electrónicos

Algunos equipos electrónicos que reciben señales en los cuartos de tableros, tienen ciertas características de rechazo o inmunidad al ruido eléctrico o transitorios electromagnéticos. Un ejemplo serían algunos controladores lógicos programables (PLC), como algunos de los siguientes modelos: 1762-IQ32T, 1762-OB32T, y 1762-OV32T. En el Anexo 13 se adjuntan especificaciones del fabricante del PLC modelo 1762-IQ32T donde se observan las características de inmunidad al ruido, y se observa como cumplen con la norma IEC 61000-4-5.

Según manual de usuario de Allen-Bradley (2011), los PLC tienen una inmunidad a transitorios electromagnéticos de 1 KV (línea-línea) conectado en modo diferencial y 2 KV (línea-tierra) conectado en modo común, en los puntos donde recibe las señales, y cumple con la norma IEC 61000-4-5. Lo anterior quiere decir que estos dispositivos pueden soportar ruidos eléctricos con voltajes de 1 KV en modo diferencial, o 2 KV en modo común. Hay que tener presente que no es lo mismo interferencia electromagnética (EMI) que descarga electrostática (ESD), como se explicó en la Sección 2.11. Este manual de usuario también indica que los PLC poseen inmunidad a descargas electrostáticas de hasta 4 KV (descarga de contacto), o 8 KV (descargas aéreas), y cumple con la norma IEC 61000-4-5 pero ocurre por la energía estática, no tiene relación con el ruido eléctrico, esto se menciona por si se encuentra este dato en especificaciones del fabricante.

La norma IEC 61000-4-5 menciona que en ambientes con circuitos electrónicos debe haber protección de hasta 4 KV, eso quiere decir que a pesar de que ciertos equipos tengan características de rechazo al ruido como la de algunos PLC, debe existir una protección adicional con supresores de transitorios. Para seleccionar el supresor, se ocupa tomar en cuenta el costo del equipo electrónico, la frecuencia de tormentas, si el equipo es indispensable para diferentes labores.

El dato de inmunidad, a ciertos niveles de ruido, no protege al 100 % un equipo electrónico, sino que lo protege ante niveles bajos de ruido eléctrico. Se han registrado transitorios de muchísima corriente y voltaje, por lo que siempre existe la probabilidad de transitorios que sobrepasen incluso la capacidad de los supresores de transitorios. Si el equipo no es tan indispensable o no es tan costoso, perfectamente se podría agregar una protección (supresor) de baja capacidad y costo, pero si el equipo se encuentra en una zona de alta densidad de tormentas eléctricas y además de eso es muy costoso e indispensable para la empresa, debe agregarse la mejor protección posible, la norma IEC 61000-4-5 indica un mínimo de 4 KV. Basado en esto se recomienda a los ingenieros de RECOPE, tener presente la necesidad de proteger con supresores los equipos electrónicos aunque tengan características de rechazo al ruido. El dato de inmunidad para cada equipo electrónico depende del fabricante del producto, es posible solicitar equipos con mejores características de inmunidad al ruido, pero no se recomienda tenerlo sin protección.

## 4 Guía de selección de supresores

En este capítulo se explica cómo seleccionar adecuadamente un supresor para proteger equipo electrónico sensible.

Hay que considerar una serie de elementos para elegir supresores de transitorios, que se muestran a continuación:

- Es necesario considerar la tensión nominal  $U_N$  del equipo a proteger. El supresor debe ser capaz para trabajar a una tensión nominal igual que la del equipo a proteger, o sea si un equipo funciona a 120 V, el supresor debe poder funcionar a 120 V.
- Una vez determinado la tensión nominal del equipo, es necesario revisar si las líneas de alimentación del mismo son líneas de potencia de mucha corriente, o si son líneas de datos de baja corriente como 4-20 mA, lo anterior debido a que se utilizan cierto tipos de supresores dependiendo del tipo de líneas (potencia, analógicas, entre otros)
- La norma IEC 61000-4-5 menciona diferentes condiciones de prueba que permiten simular el transitorio de un rayo. Lo anterior, permite probar los supresores de transitorios, que deben cumplir con la norma para poder utilizarse. Según esta norma, si un equipo se encuentra en un entorno donde las interconexiones (incluyendo cables al aire libre junto con el cable alimentación) se utilizan para aplicaciones de electrónica y circuitos eléctricos, la instalación debe ser capaz de soportar una condición de prueba de 4 KV. Por ejemplo, si algún fabricante recomienda utilizar un supresor, que pueda drenar 1 KV del transitorio del rayo, y se desea proteger equipo electrónico en el campo abierto, no es recomendable utilizar un supresor de este tipo, pues la norma aconseja que el supresor soporte 4 KV sin dañarse.
- Luego, es necesario determinar el nivel de tensión  $U_p$  requerido por el supresor para poder proteger adecuadamente el equipo. En este caso, se explicará cómo seleccionar adecuadamente un  $U_p$  para proteger equipo electrónico. Para lograr lo anterior, es recomendable revisar las instrucciones del fabricante de

diferentes productos para revisar si ese equipo cumple con los requerimientos deseados. A continuación, se mencionarán algunos ejemplos, la información es obtenida de las instrucciones del fabricante.

1. Un supresor modelo TVS120LC20 de surgeologic (ver Figura 17), es una tecnología híbrida que ofrece protección contra transitorios y filtración de ruido en una unidad compacta de alto desempeño que incluye inductores en serie. Es un equipo ideal para proteger cargas críticas finales, equipos de control, controladores lógicos programables (PLC). La conexión serie da como resultado que la tensión de corte ( $U_p$ ), reconocida por la norma UL 1449, sea de 330 V y 800 V para equipos de tensión nominal de 120 V Y 230 V, respectivamente. Por ejemplo, si se requiere proteger un PLC que está alimentado a 120 V, sería recomendable utilizar un supresor de este tipo, y tendría un nivel de supresión  $U_p$  de 330 V. La hoja del fabricante se observa en el Anexo 1.
2. Un supresor modelo DS210-xxxDC de CITEL (ver Figura 29) se utiliza para alimentaciones continuas de 0 a 130 VDC, posee un nivel de supresión  $U_p$  de 350 V. Este equipo puede drenar hasta 6 KA de corriente del transitorio del rayo. La hoja del fabricante se observa en el Anexo 2.



**Figura 29. Supresor CITEL DS210-24DC (Tomado de: Hoja del fabricante de supresor DS210-24dc)**

3. Existen modelos de supresores con niveles de supresión  $U_p$  más altos que los indicados anteriormente. Según la norma IEC 61643, se requiere un  $U_p = 4$  KV para equipos muy robustos (grandes motores, aire acondicionado), un  $U_p = 1,5$  KV (equipos poco sensibles, normalmente equipos de potencia, o que ya cumplan las normas en su fabricación e instalación), pero cuando se trata de proteger equipo electrónico muy sensible, esta norma recomienda que el supresor tenga un  $U_p < 1,0$  KV.
4. Existe la posibilidad de que un equipo esté alimentado a una tensión inferior que 120 V. Por ejemplo, existe equipo de instrumentación muy sensible que está alimentado por líneas de 24 V, con corrientes de 4-20 mA. Este tipo de equipos no funcionaría adecuadamente con un supresor con un  $U_p = 330$  V, debido a que una tensión de 330 V es suficiente para dañar un equipo tan sensible de este tipo. Un rayo puede provocar transitorios con voltajes incluso superiores a 1 KV, lo suficientemente grande para dañar el equipo. En estos casos, se requieren supresores con un  $U_p$  muy pequeño. Un ejemplo sería un supresor modelo OVR TC 24 V P (ver Figura 30), posee una tensión nominal de 24 V ( $U_N = 24$  V), funciona para proteger equipos alimentados por líneas de transmisión de 4-20 mA, de largas distancias. Este equipo posee un nivel de supresión  $U_p = 35$  V, lo cual sería ideal para poder proteger equipo de instrumentación muy sensible, un supresor de este tipo podía drenar hasta 10 KA de corriente del transitorio, para una onda de 8/20  $\mu$ s, que es una onda común de un rayo. Según se indicó anteriormente, existe una probabilidad de hasta 99 % de que existan transitorios de 10 KA o menos, esto permite que un supresor de este tipo funcione adecuadamente. La hoja de fabricante se observa en el Anexo 3.



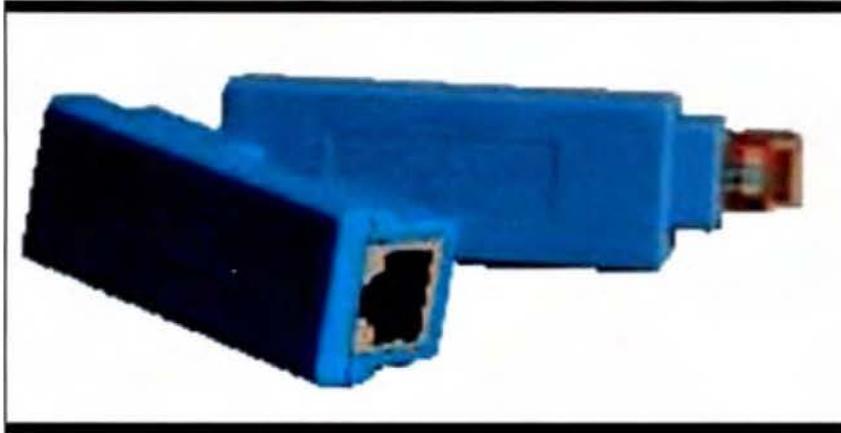
Figura 30. Supresor OVR TC 24 V P. (Tomado de: <http://bit.ly/2wrlxKS>)

5. Otro ejemplo, es un supresor modelo E280-24D3M de CITELE (ver Figura 31), su tensión nominal es de 24 V, es especial para proteger equipo conectado a líneas de 4-20 mA, posee un nivel de supresión  $U_p = 40 V$ , puede drenar hasta 10 kA de corriente a tierra. La hoja del fabricante se observa en el Anexo 4.



Figura 31. Supresor CITELE E280-24D3M. (Tomado de: <http://bit.ly/2wrvrfx>)

6. Un supresor del tipo EDCOCAT6-5POE, (ver Figura 32) posee un nivel de supresión  $U_p = 65 V$ , y posee una tensión nominal de 60 V. Un supresor del tipo EDCOCAT6-5 POE, permite filtrar posibles señales de ruido que hayan quedado después de que el transitorio del rayo haya sido suprimido por equipos más potentes, u otras señales de ruido por otras causas. Puede soportar un pico de corriente de 60 A, esto permite garantizar que el equipo no se vea afectado por transitorios, el pico de corriente no es muy alto ya que se asume que en esta etapa de filtrado no llegan transitorios de mucha corriente debido a que los mismos ya han sido suprimidos totalmente o en un gran porcentaje. La hoja del fabricante se observa en el Anexo 5.



**Figura 32. Supresor EDCOCAT6-5 POE. (Tomado de: <http://bit.ly/2fYKBBE>)**

- Además del nivel de supresión  $U_p$ , es necesario determinar cuál sería el nivel adecuado de corriente que el supresor debe ser capaz de drenar a tierra. Para poder saber esto, se puede realizar un análisis de riesgos estadísticos, existen diferentes formas de hacer este análisis, depende del fabricante del producto. Como por ejemplo, si la zona posee alta o baja densidad de tormentas, si el equipo a proteger es muy costoso no lo es, entre otros. La capacidad del supresor se realiza mediante un análisis estadístico como el que se indica en las Tablas 10 y 11 (basado en la norma IEEE C62.41), lo anterior es el procedimiento sugerido por el fabricante surgeologic.

- Es posible que el lector se cuestione cómo elegir un análisis de riesgos para elegir la capacidad requerida de un supresor, en caso de que diferentes fabricantes ofrezcan diferentes análisis de riesgos para el supresor que ellos ofrecen. Para responder esta pregunta hay que tener presente la Tabla 3 en el capítulo 2 de este documento sobre riesgos estadísticos para transitorios electromagnéticos, y tener presente que no hay un supresor que garantice al 100 % la protección de un equipo. Por tanto, tampoco existe un análisis de riesgos que brinde verdad absoluta sobre la eficiencia de un supresor. Lo que se sabe es que hay supresores que brindan mayor protección que otros y se pueden conectar en cascada para aumentar la protección, pero no existe un sistema de protección perfecto. En la Tabla 3 se puede observar como un transitorio de 12 KA tiene una probabilidad de ocurrencia de un 90 %, o sea es muy probable que la mayoría de transitorios sean inferiores a los 12 KA, por tanto si un fabricante ofrece un supresor con una capacidad superior a los 12 KA, ya se puede considerar para proteger un equipo sin importar cuál fabricante sea. Sin embargo, hay que tener presente que pueden haber transitorios incluso mayores a 150 KA, por lo que si se posee un equipo a proteger de muchísima importancia que afectaría seriamente a una empresa si se daña, entonces ahí si es importante considerar supresores que ofrezcan altas capacidades como las indicadas por el fabricante surgeológico de Shneider Electric, para reducir el riesgo lo más cercano a cero posible. Se puede observar otro ejemplo de análisis de riesgos de la empresa Data Center Consultores en la siguiente página web:

<http://www.datacenterconsultores.com/disenio-de-una-red-de-supresores-de-transientes>

**Tabla 10. Análisis de riesgos según surgelologic parte 1**

Ubicación geográfica de la aplicación	
<b>Nivel Isocerámico</b>	<b>Puntos</b>
<i>Alto</i>	18
<i>Medio</i>	10
<i>Bajo</i>	2
<i>Nota: Días de tormentas al año: Alto= 30 o más. Medio=15 a 30. Bajo=0 a15.</i>	
Ubicación respecto a otras actividades	
<b>Ambiente</b>	<b>Puntos</b>
<i>Rural</i>	11
<i>Sub-urbano</i>	6
<i>Urbano</i>	1
<i>Nota: Un ambiente rural corresponde a un espacio abierto, aislado o en una colina. Un ambiente sub-urbano corresponde a un área en crecimiento, por ejemplo un parque industrial extendido. Un ambiente urbano corresponde a un área densamente poblada, con estructuras adyacentes.</i>	
Ubicación respecto a otras construcciones	
<b>Construcción</b>	<b>Puntos</b>
<i>El más alto</i>	11
<i>Mediano</i>	6
<i>El más pequeño</i>	1
<i>Nota: ¿Cuál es la altura del inmueble en que se desea hacer la aplicación en comparación con otras construcciones vecinas, considerando antenas, depósitos aéreos, entre otros? La respuesta de esta pregunta es lo que debe analizarse en este punto.</i>	
Histórico de disturbios	
<b>Disturbios</b>	<b>Puntos</b>
<i>Frecuentes</i>	11
<i>Ocasionales</i>	6
<i>Escasos</i>	1
<i>Nota: ¿Se dañan con frecuencia las tarjetas electrónicas de los equipos (computadoras, PLC, disco duro, entre otros)? , la respuesta de esta pregunta es lo que determinará qué puntaje debe asignarse, ya sea que los daños sean frecuentes, ocasionales o escasos.</i>	

Tabla 11. Análisis de riesgos según surgeológico parte 2

Tipo de acometida.	
<b>Acometida</b>	<b>Puntos</b>
Último cliente	11
Clientes múltiples	6
Independiente	1

*Notas: Este criterio debe ser visto en comparación con los vecinos. El último cliente es el servicio más alejado de una distribución radial. Clientes múltiples son varios usuarios similares en potencia, en el mismo alimentador, ejemplos: parque industrial, plaza comercial, departamentos, entre otros. Cliente independiente es un alimentador para un usuario exclusivo.*

*Un sistema de distribución radial tiene una fuente de energía para un grupo de clientes. Si existe una falla de suministro de energía, todo el grupo se encuentra sin energía, además una falla de circuito en algún lugar del sistema podría significar una interrupción de suministro de energía a la totalidad del sistema.*

Costo de reparación del equipo que se daña.	
<b>Reparación</b>	<b>Puntos</b>
Costosa	19
Moderada	11
Económica	3

*Nota: ¿Qué tan costoso resulta reparar el equipo si se daña? ¿Cuánto tiempo toma conseguir las reparaciones? ¿Cuánto cuesta que el equipo esté fuera de servicio? Se considera que la reparación es costosa si el total de posibles daños supera los 15 mil dólares, si es inferior de 4 mil dólares se considera reparación económica.*

Importancia del equipo que va a ser protegido	
<b>Equipos</b>	<b>Puntos</b>
Indispensable	19
Medios	11
Pueden detenerse	3

*Nota: Se considera que el equipo es indispensable si el mismo desarrolla una función crítica o esencial y debe operar continuamente debido a su importancia en la producción, administración, entre otros. Se considera media jerarquía si el equipo que se daña implica pérdidas de producción y ganancias para la empresa pero que no es estrictamente necesario que pase continuamente en funcionamiento, o las posibles pérdidas no son tan altas. El equipo se puede detener en caso de que existan múltiples equipos presentes en la empresa, que puedan realizar la misma función.*

Debe asignarse un puntaje a cada una de las condiciones que se cumplen en el lugar donde se desea colocar un supresor, según lo indican las Tablas 10 y 11. Al final todos los puntajes que se asignaron deben sumarse, según el resultado obtenido así será el supresor requerido, según lo indica la Tabla 12.

**Tabla 12. Selección de supresores, según surgeologic**

Considere:

- La categoría de aplicación según IEEE C62.41 y
- El índice de exposición calculado.

IEEE C62.41	ÍNDICE DE EXPOSICIÓN CALCULADO					
	DE 12 a 24	DE 25 a 38	DE 39 a 55	de 56 a 75	de 76 a 100	
<b>Categoría C</b>	120kA	160kA	240kA	320kA	480kA	1a opción
Acometida	120kA	120kA	160kA	240kA	320kA	2a opción
<b>Categoría B</b>	50kA	80kA	120kA	160kA	240kA	1a opción
Distribución	36kA	50kA	80kA	120kA	160kA	2a opción
<b>Categoría A</b>		36kA	50kA	80kA	120kA	1a opción
Derivados			36kA	50kA	80kA	2a opción

**Criterio de selección:**

La 1ra. Opción se elige cuando sólo se instala **un SURGELOGIC en la aplicación**

La 2da. Opción se elige cuando se instalan **varios SURGELOGIC en cascada**

**NOTAS:**

Para la categoría C se recomienda el uso de equipos Modulares por fase tipo EMA.

Para cargas críticas finales muy sensibles, se recomienda el equipo LC.

Para uso residencial, ver equipos LC y QO en el catálogo.

Por ejemplo, en las instalaciones de RECOPE se desea proteger un PLC en el campo abierto, lo anterior se refiere únicamente a la alimentación de 120 V del PLC. Debido a la zona en la que se encuentra ubicado, se realiza el siguiente análisis según las Tablas 10 y 11.

→ Nivel isocerámico: Alto, puntaje=18 (más de 30 días de tormentas al año)

→ Ubicación respecto a otras actividades: Sub-urbano, puntaje=6

→ Ubicación respecto a otras construcciones: El más pequeño, puntaje=1.

→ Acometida: Independiente, puntaje=1

→ Histórico de disturbios: Frecuentes, puntaje=11

→ Costo de reparación del equipo que se daña: Costosa, puntaje=19

→ Importancia del equipo que va a ser protegido: Indispensable, puntaje=19

Ahora se suman todos los puntajes obtenidos, y se obtiene un total de 75 puntos. Revisando la Tabla 12 se sabe que es recomendable poner un supresor clase C de por lo menos 240 KA, un supresor clase B de por lo menos 120 KA y un supresor clase A de por lo menos 50 KA, es necesario colocar los tres supresores en cascada en los diferentes niveles (A, B y C).

Es necesario considerar que este análisis sirve para proteger equipos alimentados a 120 V o más, en la Figura 33 se muestran algunos tipos de supresores surgelogic, clase A, B y C. Se observa que la tensión nominal es superior a 120 V, y los niveles de supresión son superiores a 330 V, esto quiere decir que el análisis indicado no aplica para equipos alimentados por una línea de baja tensión (24 V, por ejemplo), ya que el nivel de supresión es grande comparado con lo requerido con el equipo electrónico sensible.

Característica	EMA	EBA	HWA	NQOD-NF	I-Line	QD-Logic	LC	SDSA
Principal Aplicación	Subestaciones Acometidas	Alimentadores Cargas Ppales	Ctos Derivados Cargas finales	Site de Computo Servidores	Tab General Tab Subgeneral	Tab. General Tab Subgeneral	Cargas finales muy sensibles	Ctos. Derivados Cargas finales
Standards	UL 1449 UL 1449 2d.Ed UL 1283	UL 1449 UL 1449 2d.Ed. UL 1283	UL 1449 UL 1449 2d Ed UL 1283	UL 1449 UL 1449 2d Ed. UL 1283 UL 67	UL 1449 UL 1449 2d.Ed UL 1283 UL 67	UL 1449 UL 1449 2d.Ed UL 1283 UL 891	UL 1449 UL 1449 2d Ed UL 1283 IEC 61643-1	UL 1449 UL 1449 2d.Ed. UL 1283
Capacidad de supresión por fase	480kA 320kA 240kA 160kA 120kA	240kA 160kA 120kA	120kA 80kA 50kA	240kA 160kA 120kA	240kA 160kA 120kA	480kA* 320kA* 240kA 160kA 120kA	40kA Conexion serie Corrente Nominal = 5, 10, 15 y 20 A	360kA
UL 1449 nivel de Supresion [ Volts ]								
120/240V~	400	400	400	400	400	400	330 800	500
230V~ 1F								
208Y/120V~	400	400	400	400	400	400	No Aplica	500
480Y/277V~	800	800	800	800	800	800	No Aplica	1525
Ciclo de pruebas, mínimo número de eventos que soporta ante impulso ANSI C82.41 10kA,20kV								
Impulsos	5000	5000	5000	5000	5000	5000		1,5kA 8/20 μA 2500
UL Capacidad interruptiva (NEC Art. 285)								
	200 kA	200 kA	200 kA	200 kA	200 kA	200 kA	200 kA	200 kA
Modos de Protección	L-N, L-G N-G, L-L	L-N, L-G N-G, L-L	L-N, L-G N-G, L-L	L-N, L-G N-G, L-L	L-N, L-G N-G, L-L	L-N, L-G N-G, L-L	L-N, L-G N-G,	L-N, L-G L-L

Figura 33. Especificaciones de modelos de supresores surgelogic. (Tomado de catálogo surgelogic de Square D)

Para saber la corriente que debería drenar un supresor para proteger un equipo muy sensible en el campo abierto (conectados a líneas de 24 V por ejemplo), no se encontró, en estos casos, un manual del fabricante que permita seleccionar de manera adecuada el supresor, pero basados en diferentes elementos estudiados se puede con un criterio estadístico aproximar que tipo de supresor se puede utilizar. Primero que nada, los transitorios poseen diferentes magnitudes que pueden variar según la energía del rayo, según la Tabla 3 un transitorio de 5 KA posee una probabilidad de ocurrencia del 99 %, un transitorio de 12 KA posee una probabilidad del 90 %, un transitorio de 20 KA posee una probabilidad del 50 %, un transitorio de 60 KA posee una probabilidad de un 15 %, y un transitorio de 175 KA posee una probabilidad de un 1 %. Por tanto, no existe un supresor que garantice al 100 % la protección contra un transitorio pues siempre existe la probabilidad de transitorios muy potentes. A pesar de esto, basado en los datos de probabilidad indicados se deduce que la gran mayoría de los transitorios de los rayos no sobrepasan valores de 20 KA, y solo en casos excepcionales ocurren descargas muy potentes de hasta más de 100 KA.

Segundo, según el fabricante de supresores BAW, un suministro de corriente a través de una línea aérea posee un mayor riesgo de transitorios por caída de rayos que en el caso de cables subterráneos. Por tanto si se utilizan líneas subterráneas, el riesgo de transitorios destructivos es menor, o sea se recomiendan supresores de menor capacidad que en el caso de las líneas aéreas, debido a que el costo es más barato y pueden funcionar adecuadamente.

Tercero, entre mayor sea la distancia de las líneas mayor es el riesgo, se recomienda utilizar sistemas de pararrayos cuando haya presencia de líneas de larga distancia.

Cuarto, hay que analizar si el equipo a proteger es indispensable (no puede detenerse) y costoso (más de 15 mil dólares), y si hay alta densidad de tormentas (más de 30 días de tormenta al año) ya que esto significa que la protección debe ser lo más eficaz posible, en caso de que el equipo a proteger no sea tan costoso, o indispensable o la densidad de tormentas sea baja se puede utilizar supresores de menor capacidad.

En el caso de RECOPE, posee líneas de 24 V que alimentan equipo muy sensible de instrumentación, son líneas subterráneas, de larga distancia, se sabe que al ser líneas subterráneas es menos probable que hayan transitorios muy destructivos como ocurre en las líneas aéreas, y basado en lo indicado anteriormente, se espera que la mayoría de transitorios no sobrepasen los 20 KA.

Luego, se revisa hojas del fabricante de productos. Un supresor modelo OVR TC 24 V P o uno DS210D-120 de CITEL, pueden drenar hasta 10 KA de corriente para ondas 8/20  $\mu$ s según el fabricante y un  $U_p$  de 35 V. Un modelo Bourns 1840 Series (ver Figura 34) puede drenar hasta 20 KA para ondas 8/20  $\mu$ s, y posee un nivel de supresión  $U_p$  de 30 V, y su nivel de tensión nominal es de 24 V, los datos anteriores han sido obtenidos del fabricante (ver Anexo 6). Los transitorios de los rayos de 12 KA o menores ocurren con una probabilidad de ocurrencia de un 90 % según la Tabla 3. Basados en esta probabilidad se determinaría que un supresor que proteja 10 KA sería suficiente para proteger un equipo sensible, sin embargo, se sabe que cuando el equipo a proteger es muy costoso e indispensable, se debe garantizar que la probabilidad de daños sea lo más pequeña posible. Entre un supresor de 10 KA y uno de 20 KA, se recomienda utilizar un supresor de 20 KA, si se requiere proteger equipo de vital importancia para la empresa, además de esto, se recomienda que alrededor de las líneas hayan sistemas de pararrayos, esto aumenta la protección del equipo. No se encontró, en hojas del fabricante, supresores para líneas de 24 V que puedan drenar más de 20 KA. El más indicado que se encontró es un supresor modelo Bourns 1840 Series que drena 20 KA.

Finalmente, los transitorios son bidireccionales, o sea si se posee equipo electrónico a ambos lados de una línea, ambos equipos pueden dañarse con un transitorio, por tanto se recomienda que se protejan ambos equipos, y que el supresor esté lo más cerca posible del equipo a proteger.

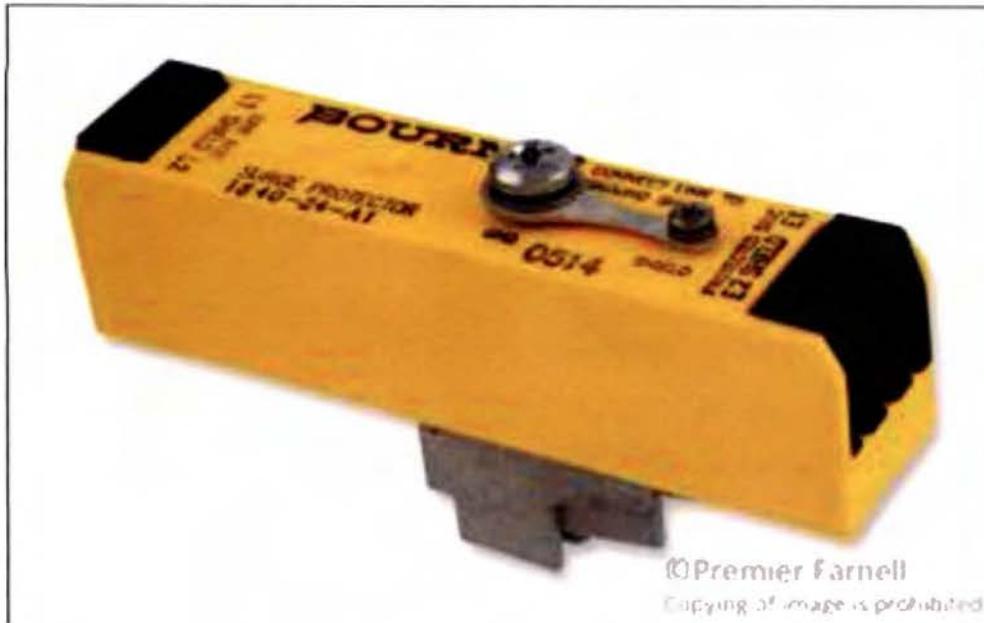


Figura 34. Supresor Bourns 1840 Series. (Tomado de: <http://bit.ly/2ijFV6>)

## 5 Análisis de conexión de transformadores de aislamiento

Todo transformador tiene la capacidad de transferir energía sea reductor o elevador de voltaje, tiene la particularidad de transferir energía entre sus bobinados, por inducción electromagnética y sin que exista entre ellos conexión eléctrica alguna, por tal razón un transformador mantiene aislado el bobinado primario del bobinado secundario del transformador. Según Balcells (1991), el término transformador de aislamiento se refiere exclusivamente a los transformadores con una relación de vueltas de 1:1 , o sea que tanto el bobinado primario como el secundario poseen la misma cantidad de espiras o vueltas de alambre de conductor. En algunas tiendas de electrónica o electricidad se comercializan este tipo de transformadores, pero en caso de no encontrarlos se pueden fabricar conectando en serie el secundario de dos transformadores idénticos.

Esta particularidad resulta muy útil cuando se quiere alimentar un aparato eléctrico o electrónico desde la red eléctrica o una UPS. Esto se debe a que entre la red eléctrica y tierra siempre existe una diferencia de potencial. El cuerpo humano al estar formado en su mayor parte por agua es un buen conductor de la

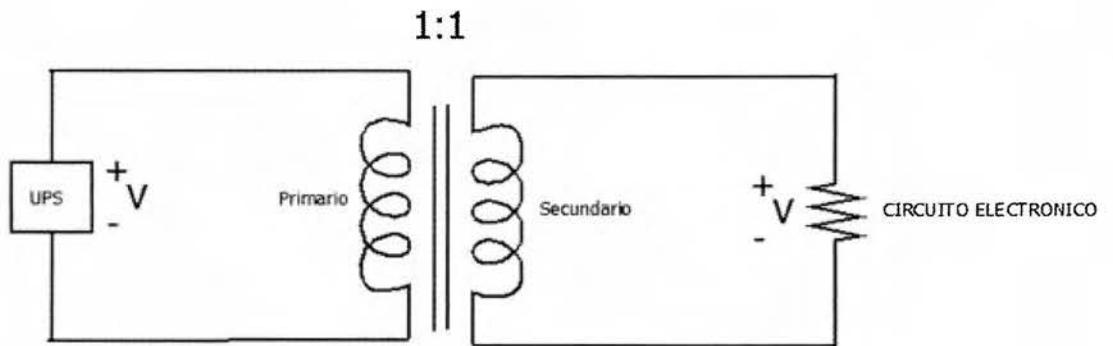
electricidad. Si el humano entra en contacto con la red eléctrica o con cualquier circuito conectado directamente a ella puede ocurrir una diferencia de potencial entre línea y tierra que provoque una corriente eléctrica que circule por el cuerpo humano y podría ser letal. Cuando se coloca un transformador de aislamiento entre la red eléctrica y el circuito que se está manipulando, este recibirá el mismo voltaje requerido para su funcionamiento, pero estará aislado de la diferencia de potencial existente entre la línea de distribución eléctrica o la UPS y tierra.

Según Balcells (1991), otras ventajas del transformador de aislamiento son las siguientes:

- Elimina el contenido de armónicos en el extremo de la carga para ofrecer un mejor suministro eléctrico.
- Cuando el UPS falla protege las cargas conectadas y refuerza la función de protección contra cortocircuitos.

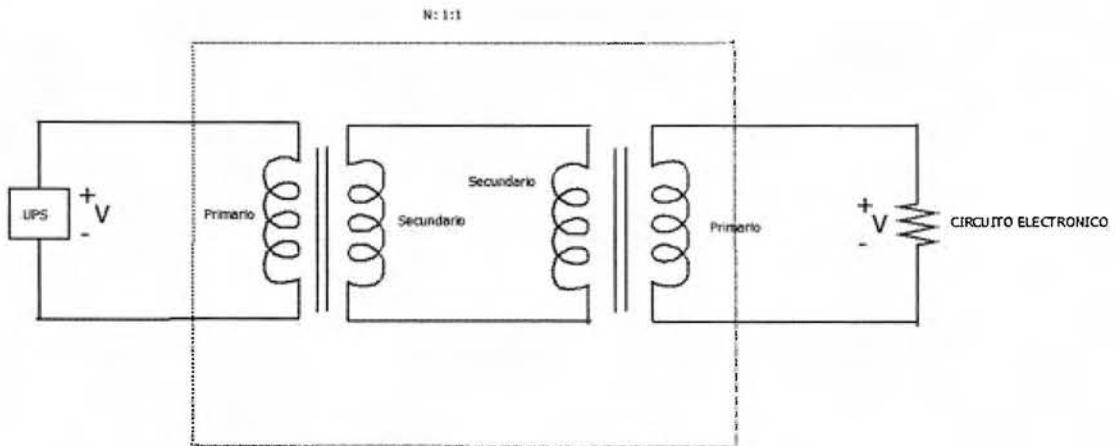
El transformador de aislamiento se instala generalmente a la salida del inversor de la UPS.

Para conectar el transformador de aislamiento al equipo electrónico, se puede utilizar el diagrama de la Figura 35.



**Figura 35. Diagrama esquemático de un transformador de aislamiento conectado desde una UPS. (Imagen creada por Leibin Arias)**

Al ser una relación de vueltas de 1:1, el voltaje del primario y el secundario es el mismo, de forma que al equipo electrónico llega el mismo voltaje suministrado por la UPS. En caso de que no se pueda encontrar un transformador con relación 1:1, se puede utilizar el diagrama de la Figura 36.



**Figura 36. Diagrama esquemático de transformado de aislamiento usando dos transformadores en serie. (Imagen creada por Leibin Arias)**

En la Figura 36 se observan dos transformadores idénticos (elevadores o reductores), donde el secundario de uno está conectado directamente con el secundario del otro, esta configuración es equivalente a la del transformador 1:1. De esta forma se conecta un transformador de aislamiento a un circuito electrónico alimentado desde una UPS. No hay que olvidar que el transformador debe ir aterrizado.

## 6 Análisis de ubicación para sistemas de pararrayos

### 6.1 Distancias de seguridad para PDC y Puntas Franklin

Al utilizar sistemas de pararrayos, aparece la inquietud de la adecuada distancia de separación que debe haber entre estos sistemas y otros cables conductores o equipo electrónico. Dos normas que permiten responder esta interrogante son las normas europeas Une 21.185 que se refiere a pararrayos sin dispositivo de cebado y la norma Une 21.186 que se refiere a pararrayos con dispositivos de cebado.

Según la norma Une 21.186, debe existir una distancia de seguridad mínima  $d_s$  entre el conductor de bajada del pararrayos (por donde baja la corriente del rayo) y cualquier masa conductora próxima unida a tierra (cables conductores o equipo electrónico), esto para que no ocurran chispas peligrosas. Esta distancia depende del nivel de protección elegido, el número de conductores bajantes del pararrayos, la distancia entre la masa conductora considerada y la toma de tierra, y el tipo de elemento sólido o gaseoso presente entre el conductor bajante y la masa conductora (aire, o algún material sólido). Al pasar la corriente del rayo por el conductor de bajada, aparecen diferencias de voltaje entre el mismo y las masas metálicas conectadas a tierra que se encuentran próximas, lo que provoca esas chispas peligrosas, esto ocurre sin importar el tipo de pararrayos que se utilice. Basado en lo anterior, se sabe que es necesario que en un centro de carga de combustible exista una distancia de seguridad mínima que separe las puntas Franklin u otro tipo de pararrayos, de los equipos electrónicos que al ser susceptibles a las interferencias electromagnéticas pueden dañarse si ocurre una chispa por una alta diferencia de voltaje. A su vez, hay que tener precaución con los conductores bajantes del sistema de pararrayos, o incluso con la puesta a tierra del sistema de pararrayos.

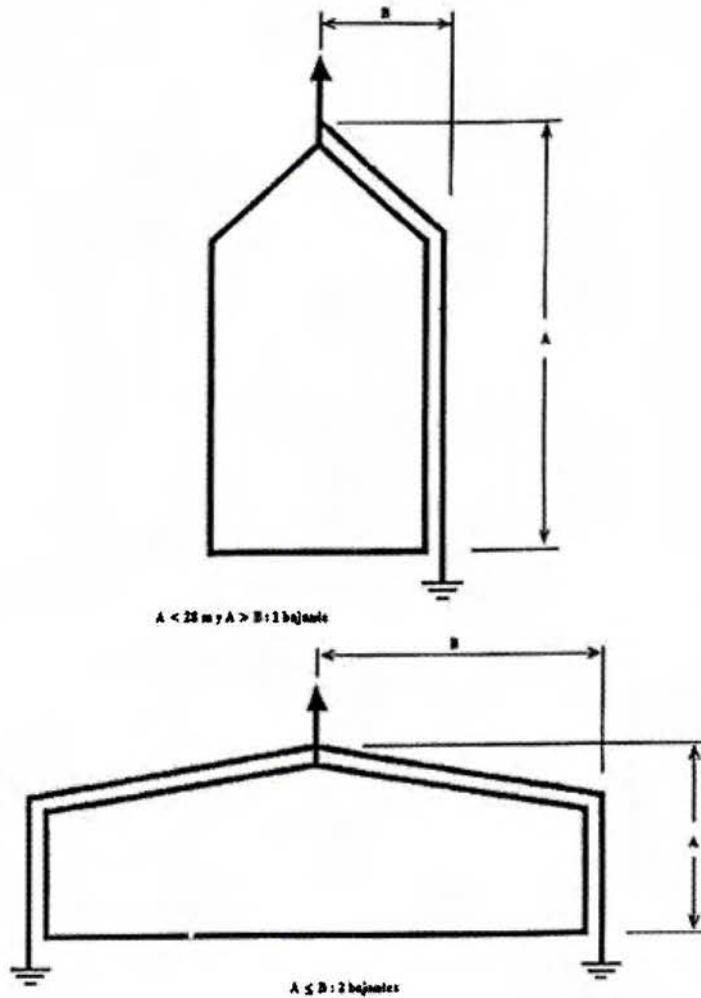
La norma Une 21.186 indica que el tipo de pararrayos ideal para áreas abiertas o campo abierto es el pararrayos con dispositivo de cebado (PDC). En la Figura 37 se muestra un ejemplo de PDC. Esta norma menciona que la punta de

un PDC debe encontrarse al menos dos metros por encima de la zona que protege, incluyendo antenas, torres de enfriamiento, techos, depósitos, entre otros. Los PDC que protejan áreas abiertas deben instalarse sobre soportes específicos, tales como postes de iluminación, pilares o cualquier otra estructura cercana que permita al PDC cubrir la zona a proteger.

La norma Une 21.186 indica que cada PDC estará unido a tierra por al menos un conductor bajante, excepto cuando se desea proteger estructuras con altura mayor a 28 metros, o si la proyección horizontal del conductor es superior a la vertical (ver Figura 38), donde deben existir al menos dos bajantes.



**Figura 37. Pararrayo con dispositivo de cebado (PDC). (Tomado de: <http://bit.ly/2vTd2Xu>)**



**Figura 38.** Proyección vertical del conductor mayor a la proyección horizontal ( $A > B$ ) y viceversa ( $A < B$ ). (Tomado de: Norma Une 21.186)

En la Figura 38, se observa en la parte superior que si la altura de una estructura es menor que 28 metros y la proyección vertical del cable es mayor que la proyección horizontal, entonces solo se requiere un conductor bajante, de otro modo se requieren dos conductores bajantes o más, como se observa en la parte inferior de esta figura.

Según la norma Une 21.186 la distancia de seguridad  $d_s$  está definida por una ecuación, que a su vez es equivalente con la ecuación de la distancia de seguridad indicada en la norma Une 21.185, lo cual significa que se puede utilizar esta ecuación sin importar si el pararrayos posee o no un dispositivo de cebado, por lo que se puede aplicar para un PDC o para puntas Franklin. Lo que cambia en las normas es la simbología utilizada, pero el significado y el valor numérico de las variables es el mismo. La distancia de seguridad mínima  $d_s(m)$  sería:

$$d_s(m) = a_n \cdot \frac{K_i}{K_m} \cdot l$$

Donde:

$$\rightarrow a_n = \begin{cases} 1 & \text{si hay solo un conductor bajante} \\ 0.6 & \text{si hay dos conductores bajantes} \\ 0.4 & \text{si hay tres o más bajantes} \end{cases}$$

$$\rightarrow K_i = \begin{cases} 0.1 & \text{para el nivel I} \\ 0.075 & \text{para el nivel II} \\ 0.05 & \text{para el nivel III y IV} \end{cases}$$

$$\rightarrow K_m = \begin{cases} 1 & \text{si existe aire entre el bajante y la masa conductora próxima} \\ 0.5 & \text{si hay material sólido entre el bajante y la masa conductora} \end{cases}$$

$\rightarrow l$  es la distancia vertical entre el punto donde se considera la proximidad hasta la toma de tierra o la unión equipotencial más próxima (normalmente enterrada).

Los niveles de protección I, II, III y IV para calcular  $K_i$  se indican en la Tabla

**Tabla 13. Niveles de protección según UNE 21.186**

<b>Eficiencia calculada E</b>	<b>Nivel de protección correspondiente</b>	<b>Corriente de cresta máxima I (KA)</b>	<b>Distancia de cebado D (m)</b>
$0.95 < E \leq 0.98$	I	2.8	20
$0.80 < E \leq 0.95$	II	9.5	45
$0 < E \leq 0.80$	III y IV	14.7	60

Por ejemplo, si se posee una estructura a proteger, de una altura menor a 28 metros, entonces se requiere un único conductor bajante, entonces  $a_n = 1$ . Si se quiere proteger para una corriente de cresta máxima de 14,7 KA (corriente que el pararrayo PDC puede drenar a tierra sin dañarse), entonces el nivel de protección requerido es el nivel III, entonces  $K_i = 0.05$ . Si entre el conductor bajante y la masa conductora solo hay aire, entonces  $K_m = 1$ . Un valor típico de  $l$  dentro del piso de una estructura o enterrado en el campo abierto es  $l = 3$  m. Usando los datos indicados, se obtiene una distancia de seguridad requerida de  $d_s = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$ . Esto significa que la distancia de seguridad debe ser mayor a 15 cm. En la Tabla 13, se observa en una columna diferentes valores de eficiencia. Esto significa, que no hay un sistema de pararrayos que garantice al 100 % la protección, sino que el rendimiento es muy óptimo, pero no es perfecto. También se menciona la distancia de cebado, que se explicará más adelante.

## 6.2 Método de la esfera rodante

El incremento de eficiencia de los PDC en relación con otros pararrayos, se fundamentan en la teoría de la esfera rodante y el incremento de la distancia de cebado (radio de la esfera rodante). Las distancias de cebado recomendadas por la norma UNE 21.186 para diferentes niveles de protección, se observan en la Tabla 13.

Una vez que se posee el radio de la esfera rodante o distancia de cebado, se aplica el método de la esfera rodante que consiste en hacer rodar una esfera ficticia con el radio indicado sobre la estructura a proteger. Aquellos puntos donde la esfera rodante toca a las diferentes partes de la estructura y el suelo son susceptibles de ser alcanzadas por la descarga atmosférica, mientras que los puntos de la estructura que no son tocados por la esfera al rodar, quedan protegidos, como se observa en la Figura 39. La idea de la protección con este método es posicionar las puntas de los pararrayos de forma que la esfera rodante solo toque las puntas captadoras y no toque ningún punto de la estructura, de este modo la protección de la misma será total.

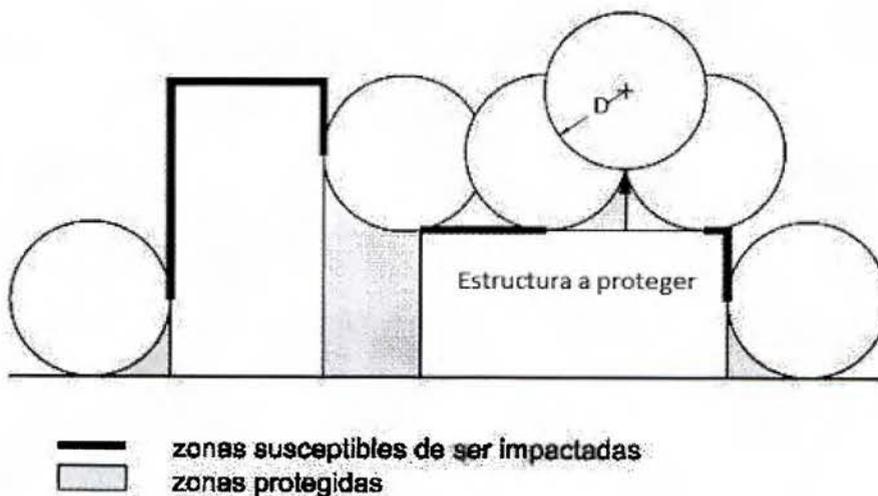


Figura 39. Método de la esfera rodante. (Tomado de norma Une 21.186)

### 6.3 Equipotencialidad según UNE 21.186

Si un edificio o la zona a proteger dispone de una toma de tierra para las instalaciones eléctricas, las tomas de tierra de las instalaciones de pararrayos se unirán a ella mediante un conductor y deberá existir la posibilidad de desconexión para controles posteriores. Hay que tomar en cuenta que los elementos que constituyen una toma de tierra del pararrayos deben distar al menos 2 metros de toda canalización metálica o eléctrica enterrada que no se encuentre conectada a la unión equipotencial principal del edificio. Si la resistividad de un terreno es mayor a  $500 \Omega$  esa distancia será de al menos 5 metros.

O sea, puede haber en el sistema diferentes tomas de tierra, pero la recomendación es que todas se encuentren debidamente unidas equipotencialmente, y que exista la posibilidad de una fácil desconexión para la comprobación. Esta unión se puede realizar a nivel del suelo o de forma subterránea.

En la mayoría de los casos, es posible una unión directa mediante conductores de equipotencialidad, sin embargo si esto no es posible o no existe autorización para realizarlo, se puede lograr la unión mediante protectores contra sobretensiones. La unión equipotencial se debe realizar en el punto de mayor proximidad entre el conductor de bajada, y la masa conductora. Si ocurre que la masa conductora próxima no se encuentra debidamente conectada a su toma de tierra y no se puede realizar unión equipotencial, entonces se debe mantener la distancia de separación de dos metros.

## **7 Sistemas de puesta a tierra**

Un sistema de puesta a tierra es un conjunto de elementos formados por electrodos, cables, conexiones, platinas y líneas de tierra física de una instalación eléctrica, que permiten conducir, drenar y disipar a tierra una corriente no deseada. Sin este sistema ante una descarga atmosférica o un corto circuito, las personas estarían expuestas a una descarga eléctrica y estaría en riesgo la seguridad de los equipos eléctricos o electrónicos y su buen funcionamiento. La IEEE define un sistema de puesta a tierra como una conexión conductora, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conectan a tierra o algún cuerpo conductor de dimensiones relativamente grande que cumple la función de tierra.

La norma NFPA y la IEEE recomiendan un valor de 5 ohms o menos para la resistencia de puesta a tierra.

### **7.1 Conceptos básicos de los sistemas de puesta a tierra según EPM (2011)**

#### ***7.1.1 Tierra de protección***

La tierra de protección es un sistema de protección al usuario de los aparatos conectados a la red eléctrica. Consiste en una pieza metálica conocida como pica, electrodo o jabalina, enterrada en el suelo con poca resistencia y si es posible conectada también a las partes metálicas de la estructura de un edificio. Se observa en la Figura 40.

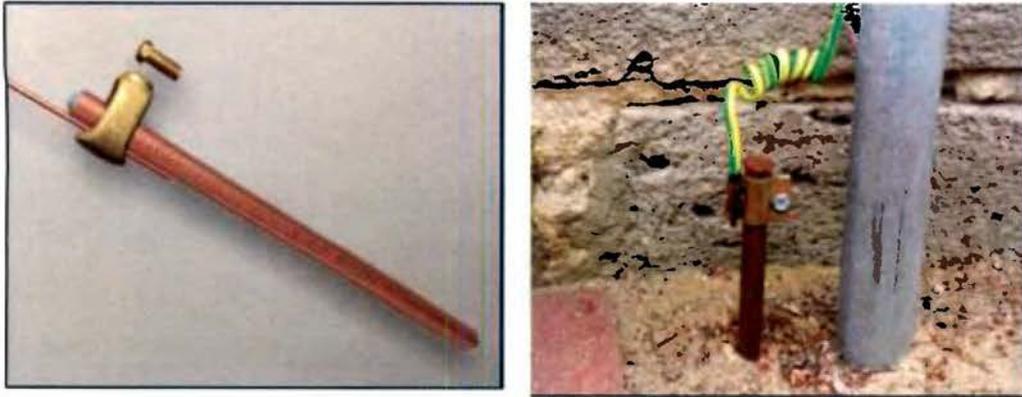


Figura 40. Tierra de protección con electrodo. (Tomado de: <http://bit.ly/2xlvLZi>)

### 7.1.2 Tierra de servicio

Es una protección que se realiza mediante mallas que son enterradas, donde el conductor neutro de cada instalación de consumo deberá conectarse a una puesta a tierra de servicio, este tipo de tierra se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Tierra de servicio. (Tomado de <http://bit.ly/2xlvLZi>)

### **7.1.3 Tierra de referencia**

Se le llama tierra de referencia a la tierra que se le asigna potencial igual a cero.

### **7.1.4 Electrodo de tierra**

Es un conductor (cable, barra, tubo, placa) enterrado en contacto directo con la tierra o en contacto con un medio conductor particular como el cemento, en contacto eléctrico con la tierra.

### **7.1.5 Mallas de tierra**

Es un conjunto de electrodos unidos eléctricamente entre sí.

### **7.1.6 Conexión a tierra**

Es la conexión eléctrica entre una malla o electrodo en tierra y una parte exterior.

### **7.1.7 Puesta a tierra**

Cuando un equipo o instalación está conectado eléctricamente a una malla o electrodo de tierra.

### **7.1.8 Resistividad de un terreno**

Es la relación entre la tensión de la malla con respecto a la tierra de referencia y la corriente que pasa a través de la malla. La resistividad de un terreno (resistencia que posee 1  $m^3$  de terreno) es un dato importante pues permite definir en donde se pueden poner sistemas de puesta a tierra y donde no es conveniente.

La misma puede ser variada por varios factores como humedad, temperatura, salinidad, naturaleza del terreno, entre otros.

### **7.1.9 Gradiente superficial**

Es la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de la superficie del terreno, distantes entre sí en un metro.

## **7.2 Características de los principales elementos que componen un sistema de puesta a tierra según EPM (2011).**

### **7.2.1 Electrodo de tierra**

Los materiales utilizados como electrodos de tierra son aquellos que soportan la corrosión y tienen una adecuada resistencia. Entre estos materiales se utiliza cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y acero con recubrimiento de cobre.

Los electrodos se pueden usar de forma individual o conectarse con otros electrodos. Se recomienda utilizar electrodos del mismo material para evitar la corrosión. No deben usarse canalizaciones metálicas de agua, gas, calefacción como electrodos de tierra, pero si debe realizarse su conexión equipotencial a la barra principal de tierra. Según el reglamento de la UTE se recomiendan electrodos con las siguientes medidas: barra de cobre (14 mm de diámetro o 154  $mm^2$ ), conductor desnudo multifilar (35  $mm^2$ ), cinta o pletina de cobre (35  $mm^2$ ), cable de acero galvanizado (95  $mm^2$ ).

### **7.2.2 Conductores de tierra**

El reglamento de baja tensión de UTE establece como sección mínima para el mismo 35  $mm^2$  en cobre. Estos cables drenan las corrientes no deseadas a tierra, ya sea proveniente de un sistema eléctrico o electrónico o de un pararrayos.

### **7.2.3 Borne principal de tierra**

En toda instalación se requiere un borne o barra principal de tierra para la conexión de los conductores de tierra, conductores de conexión equipotencial principal y conductores de protección que no estén conectados a este terminal a través de otros conductores de protección. Los conductores de protección proveen la conexión a tierra de todas las masas de la instalación. Los conductores de protección deben tener una sección aproximada de  $16 \text{ mm}^2$  o menos si los conductores de fase de la instalación tienen una sección de  $16 \text{ mm}^2$  o menos, y los conductores de protección deben tener  $16 \text{ mm}^2$  o más si la sección de los conductores de fase es mayor a  $16 \text{ mm}^2$ .

### **7.2.4 Valores de resistencia de puesta a tierra**

La resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas, se pueden tomar como referencia los siguientes valores de resistencia de puesta a tierra según las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552. Estos valores se observan en la Tabla 14.

**Tabla 14. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra**

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra
Estructuras de líneas de transmisión y estructuras metálicas	20 $\Omega$
Subestaciones de alta tensión	1 $\Omega$
Subestaciones de media tensión	10 $\Omega$
Protección contra rayos	10 $\Omega$
Neutro de acometida en baja tensión	25 $\Omega$

Se debe buscar que las tensiones de paso, de contacto y transferidas en caso de una falla a tierra no superen las máximas permitidas.

### **7.2.5 Tensión de contacto**

Si durante una inyección de corriente a tierra una persona hace contacto con una superficie metálica puesta a tierra, la persona queda sometida entre el punto de contacto (posiblemente su mano) y el punto de apoyo en el suelo (posiblemente sus pies) a una tensión de contacto. Por tanto, la tensión de contacto es aquella que se aplica al cuerpo al tocar un equipo de puesta a tierra, estando la persona parada en el suelo, cuando se disipa corriente a tierra en las cercanías. Lo anterior, se ilustra en la Figura 42.

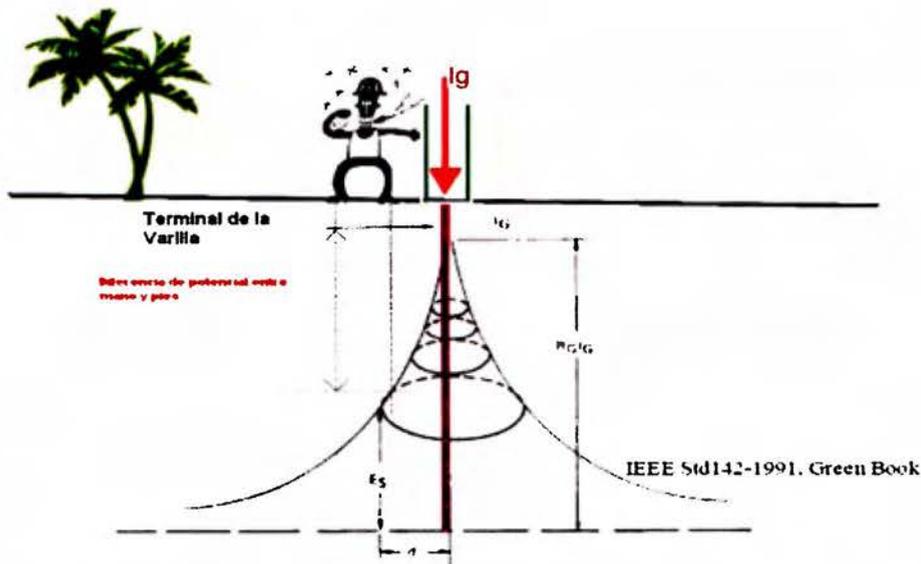


Figura 42. Tensión de contacto. (Tomado de: <http://bit.ly/2fZFgKt>)

### 7.2.6 Tensión de paso

Es la tensión a la que quedaría sometida una persona al dar un paso, mientras se está inyectando corriente en el área en que se desplaza, dados los gradientes de potencial en la superficie del suelo. Esto se ilustra en la Figura 43.

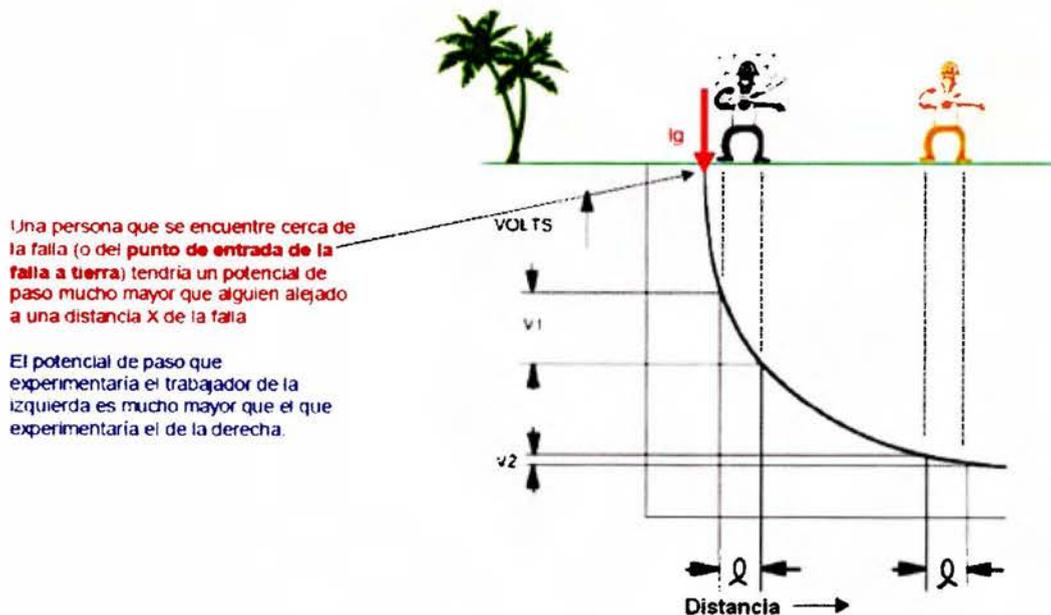


Figura 43. Tensión de paso. (Tomado de: <http://bit.ly/2uZVTfA>)

### 7.2.7 Tensión transferida

Son tensiones de contacto que aparecen en puntos alejados del sistema de puesta a tierra, debido a una transferencia de GPR (Ground potencial rise: elevación de potencial a tierra) a través de un medio conductor, como tuberías metálicas, cables de control, neutros de baja tensión. Durante las fallas, las estructuras de puesta a tierra son elevadas a un voltaje relativamente alto, el cual puede exceder los valores de voltaje tolerables por los humanos que se encuentren en contacto con el equipo de puesta a tierra. El voltaje GPR es transferido a la puesta a tierra de la instalación a la cual está conectado un panel que no está debidamente aterrizado. Una persona tocando el panel puede sufrir una tensión de toque transferida. Esto se ilustra en la Figura 44.

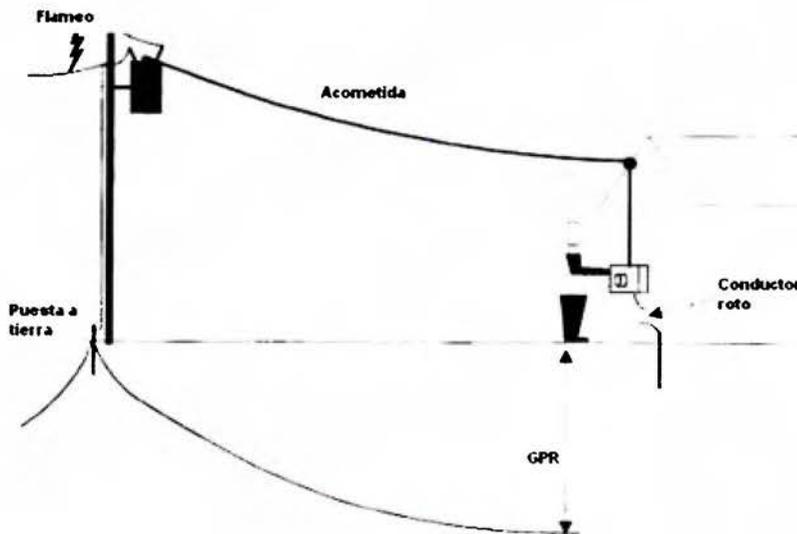


Figura 44. Tensión transferida. (Tomado de: <http://bit.ly/2vT3KdV>)

El valor de GPR esperado así como la corriente asociada a la resistencia de puesta a tierra del circuito se observa en la Figura 45. Por ejemplo, si la resistencia de puesta a tierra es de  $5 \Omega$ , la corriente asociada a la resistencia de puesta a tierra será de aproximadamente 150 A, y el GPR esperado sería de 700 V.

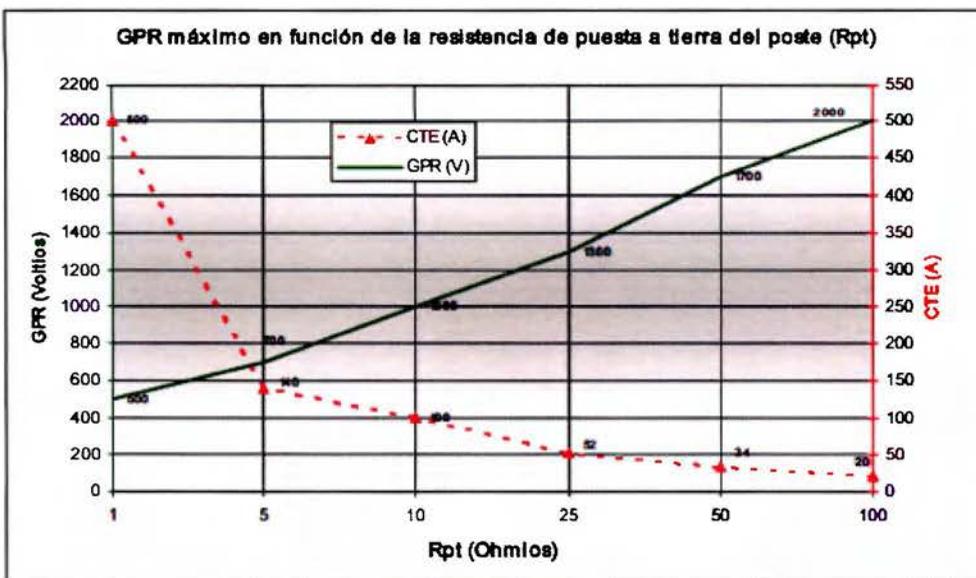


Figura 45. Elevación de potencial (GPR) y corriente a tierra en función de la resistencia de puesta a tierra del poste. (Tomado de: <http://bit.ly/2xlxVrS>)

Para un correcto aterrizamiento de las estructuras deberá utilizarse los conectores adecuados y ponerse mucho cuidado con los siguientes elementos: bajante de puesta a tierra (cable para conectar al sistema de puesta a tierra), cruceta metálica, tornillos y anillos espaciadores, viento o retenidas, tipo de poste (concreto, fibra de vidrio, metálico, madera), configuración de puesta a tierra.

### 7.2.8 Bajante de puesta a tierra

El bajante de puesta a tierra deberá ser un cable de alambre de acero recubierto de cobre de calibre #4 AWG y con un espesor de 2,8 mm. No se debe instalar cable conductor desnudo por seguridad de las personas. Este bajante deberá ser continuo, sin interruptores o medios de desconexión y cuando se

empalmen, deben quedar mecánica y eléctricamente seguros por medio de conectores debidamente certificados.

### **7.2.9 Cruceta metálica**

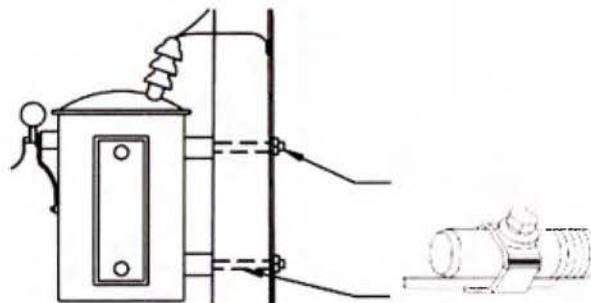
La cruceta metálica deberá conectarse con el cable de la bajante de puesta a tierra con el fin de equipotencializar la estructura durante sobretensiones transitorias generadas por descargas atmosféricas, para tal fin deberá usarse un conector apropiado. Se observa en la Figura 46.



**Figura 46. Cruceta metálica. (Tomado de: <http://bit.ly/2xlxVrS>)**

### **7.2.10 Elementos de fijación a postes**

Los elementos de fijación (como tornillos y anillos espaciadores), ensamble o acople de herrajes a postes deberán conectarse al cable o bajante de puesta a tierra en el poste con el fin de equipotencializar la estructura durante sobretensiones transitorias provocadas durante descargas atmosféricas. Se ilustra en la Figura 47.



**Figura 47. Elementos de fijación a postes. (Tomado de: <http://bit.ly/2xlxVrS>)**

### 7.2.11 Vientos o retenidas

Los vientos o retenidas deberán equipotencializarse mediante su conexión al cable o bajante de puesta a tierra con el fin de garantizar seguridad a las personas y animales. La retenida es un elemento estructural utilizado para equilibrar fuerzas mecánicas desbalanceadas, está compuesto por los siguientes elementos: alambre de acero, aislador de retenida y ancla de retenida. Se ilustra en la Figura 48.

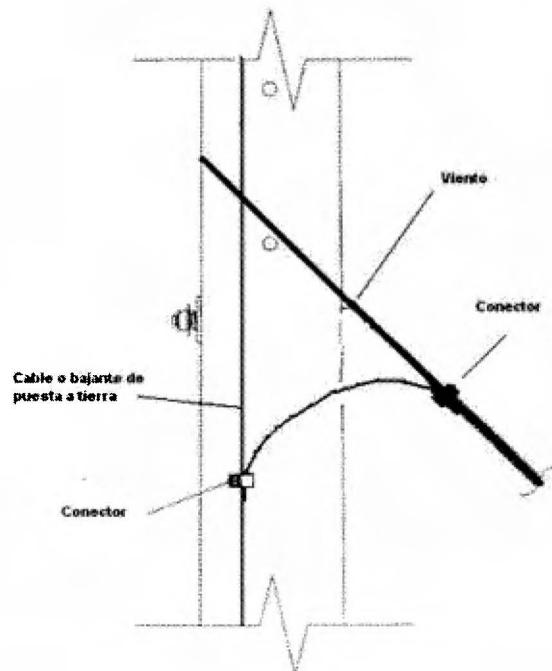


Figura 48. Vientos o retenidas. (Tomado de: <http://bit.ly/2xlxVrS>)

### 7.2.12 Postes de concreto

En el caso de los postes de concreto, es necesario que los mismos tengan los herrajes y conectores para su puesta a tierra efectiva dado que tienen componentes metálicos que no transportan corriente.

### **7.2.13 Poste metálico**

Para evitar diferencias de potencial entre la estructura metálica y el cable de bajante de puesta a tierra, deberá realizarse una conexión firme entre estos a través del perno de conexión que posee el poste para tal fin. El perno debe permitir conectar y/o sujetar alambres de cobre o acero recubierto de cobre protegidos de calibres 6 ó 4awg.

### **7.2.14 Poste de fibra de vidrio y de madera**

Dada las características eléctricas que posee estos tipos de postes, no requiere equipotencializar su estructura.

## **8 Guía resumen de selección de protecciones**

### **8.1 . Cableado para interconectar equipo electrónico.**

Existen diferentes tipos de cables que permiten interconectar dos equipos electrónicos, sin embargo no todos poseen la misma eficiencia. Considerar la eficiencia del cable es de suma importancia, principalmente cuando los equipos son sensibles a interferencias electromagnéticas. En RECOPE suelen utilizarse diferentes tipos de cables, en el siguiente punto se explica cuál es el más adecuado:

- El mejor método para interconectar equipos electrónicos es mediante el uso de fibra óptica, pero en caso de que deba utilizarse cable coaxial, la recomendación es utilizar cable blindado. En RECOPE se utilizan los cables belden 8719 (UL AWM Style 20253) y belden 3051B (UL Style 2464) que son cables par trenzados blindados, los cuales se consideran adecuados, pues aíslan de forma adecuada las señales del cable de interferencias externas. Pero no protegen contra descargas atmosféricas.

### **8.2 . Distancia de separación entre cables**

En RECOPE y otras instalaciones petroleras es común encontrar muchos equipos eléctricos y electrónicos que funcionan con diferentes tipos de señales, sin embargo, es posible que un cable pueda provocar interferencias electromagnéticas en otros cables cercanos, para poder saber la distancia de separación requerida, y cuáles tipos de cables requieren separación, es necesario considerar los siguientes puntos:

- Se pueden colocar señales de datos, control u otra señal de bajo voltaje en la misma tubería sin que existan problemas de interferencias.
- No se deben colocar señales de potencia y analógicas en la misma tubería.
- Las señales de potencia y analógicas deben estar separadas cierta distancia según lo indican las tablas 6 a 9, que cumplen con la norma API RP 552.

- Se pueden poner señales de potencia y analógicas en la misma bandeja siempre y cuando se respete la distancia de separación entre cables.
- No se requiere separación entre cables de potencia y fibra óptica.

### **8.3 . Puesta a tierra en líneas de transmisión de datos.**

Los sistemas de puesta a tierra permiten muchas veces drenar a tierra corrientes peligrosas que pueden dañar el equipo electrónico, que muchas veces son alimentados por líneas analógicas o digitales. Según diferentes tipos de normas como las indicadas a continuación, es importante aterrizar todo tipo de cable analógico o digital, sin importar si está apantallado o no:

- Las normas ANSI/TIA-568-B.1 y ISO/IEC 11801:2002 establecen que el blindaje de cables debe estar unido a la barra de conexión a tierra para telecomunicaciones en el cuarto de telecomunicaciones.
- Tanto las líneas de señales digitales como analógicas deben ser aterrizadas sin importar la frecuencia de la señal.

### **8.4 . Pruebas para colocar cables de instrumentación en canalizaciones de potencia.**

Muchas veces por razones de espacio, o distancia u otras razones, es necesario colocar cables de instrumentación y de potencia en la misma canalización, sin embargo una falla eléctrica de un cable de potencia podría provocar interferencias en cables de instrumentación lo que podría dañar equipos muy sensibles y costosos. Para evitar que esto pase existen algunas pruebas a realizar para garantizar la máxima eficiencia posible:

- Si se usa fibra óptica para transmitir señales de instrumentación, no se requiere realizar pruebas, pues la fibra óptica no se ve afectada por interferencias electromagnéticas externas.

Si se utiliza cable coaxial para transmitir las señales de instrumentación, las pruebas requeridas se muestran a continuación:

- Revisar el correcto funcionamiento de los cables de potencia. La norma IEEE STD 400.2-2004 menciona que un cable de potencia se puede probar si se somete a una tensión de 3 veces su tensión nominal durante 15 minutos, si el cable resiste es apto para el servicio.
- Revisar que las canalizaciones de potencia se encuentren debidamente aterrizadas.
- Analizar que se mantenga la distancia de separación indicada por la norma API RP 552 entre cables de potencia y líneas de instrumentación.

### **8.5. Inmunidad al ruido en dispositivos electrónicos**

Algunos equipos electrónicos poseen en su hoja del fabricante un dato de inmunidad al ruido, que significa que pueden tolerar cierta cantidad de ruido, pero muchas veces el fabricante no indica si a pesar de eso es necesaria o no una protección adicional con algún supresor de transitorios. En los siguientes puntos se muestra la respuesta de esta interrogante:

- La norma IEC 61000-4-5 menciona que en ambientes con circuitos electrónicos debe haber protección de hasta 4 KV. Si un equipo electrónico posee características de rechazo o inmunidad al ruido inferiores a los 4 KV, se debe proteger con supresores de transitorios.
- El dato de inmunidad para cada equipo electrónico depende del fabricante del producto, es posible solicitar equipos con mejores características de inmunidad al ruido, pero si la inmunidad es inferior a los 4 KV, no se recomienda tenerlo sin protección.

## 8.6. Selección de supresores

Para elegir un supresor de transitorios es necesario considerar una serie de factores: la tensión de alimentación del equipo a proteger, la tensión de corte del supresor y la corriente máxima de descarga del supresor obtenido mediante un análisis de riesgos estadísticos.

Los pasos para elegir un supresor son los siguientes:

- Es necesario considerar la tensión nominal del equipo a proteger: 120, 240, 24 V, entre otros. El supresor debe ser capaz para trabajar a una tensión nominal igual que la del equipo a proteger.
- La norma IEC 61000-4-5 menciona que en ambientes con circuitos electrónicos debe haber protección de hasta 4 KV de tensión.
- Revisar la tensión de corte  $U_p$  del supresor en hojas del fabricante de supresores.  $U_p$  es la tensión máxima que dejará pasar el supresor y llegará al equipo electrónico. El equipo electrónico debe ser capaz de soportar esta tensión de corte  $U_p$ . A la tensión de corte también se le llama nivel de supresión.
- Para equipos conectados a 120 V y 240 V: Se debe determinar la corriente máxima que debe drenar el supresor mediante un análisis de riesgos estadísticos, según lo proponen algunos fabricantes, se observa un ejemplo en la Tabla 11. Mediante el análisis de riesgos se asigna un puntaje a diferentes factores, al final se suman los resultados obtenidos y se comparan con una Tabla suministrada por el fabricante (un ejemplo es la Tabla 12), de donde se obtiene la capacidad de corriente que el supresor debe ser capaz de drenar a tierra. En la Figura 33, se observa un ejemplo donde se observan diferentes modelos de supresores surgelologic, se observa la corriente máxima que pueden drenar y el nivel de supresión  $U_p$  de los mismo
- Si la tensión nominal del equipo a proteger es inferior a 120 V, el nivel de supresión  $U_p$  requerido suele ser muy bajo, además de esto es complicado encontrar un fabricante que haga análisis de riesgos estadísticos para proteger este tipo de equipos. Sin embargo, se puede estimar un análisis de riesgos similar al utilizado para equipos de 120 y 240 V, analizando factores como el

costo del equipo, la importancia del equipo, la ubicación del equipo, y existe la restricción de que los mejores supresores (que poseen bajos niveles de supresión  $U_p$ ), suelen drenar a tierra un máximo de 20 KA. Luego, según lo indicado en secciones anteriores, un supresor de 20 KA se puede considerar adecuado, debido a que en RECOPE, las líneas de menos de 120 V, son líneas subterráneas, y existe una probabilidad de un 99 % de que un transitorio posea 5 KA o menos de corriente. Aun así, existe un riesgo de que ocurra un transitorio destructivo, por lo que, si la línea se encuentra en el campo abierto, se recomienda utilizar sistemas de pararrayos que aumente la eficiencia de la protección.

### **8.7. Transformadores de aislamiento**

- Es importante utilizar transformadores de aislamiento cuando se quiere alimentar un aparato eléctrico o electrónico desde la red eléctrica o una UPS. Se puede observar el diagrama de conexión en las Figuras 35 y 36. El transformador debe ir aterrizado.

### **8.8. Distancias de seguridad para sistemas de pararrayos**

Cuando existe la presencia de sistemas de pararrayos, es importante considerar que las corrientes que el sistema de pararrayos drena a tierra pueden llegar a ser muy peligrosas para equipos electrónicos cercanos, por tal motivo es de suma importancia respetar una distancia de seguridad entre los bajantes de los sistemas de pararrayos y los equipos electrónicos, a continuación, se muestra como determinar esta distancia de seguridad:

- Según la norma Une 21.186, debe existir una distancia de seguridad mínima  $d_s$  entre el conductor de bajada del pararrayos (por donde baja la corriente del rayo) y cualquier masa conductora próxima unida a tierra. La distancia de seguridad

mínima  $d_s(m)$  se calcula utilizando una fórmula según se mostró en la sección 6.1.

- Si se posee equipo electrónico y hay presencia de puntas Franklin o dispositivos de cebado, se debe respetar la distancia mínima de seguridad como lo indica la norma Une 21.186.

## 8.9. Sistemas de puesta a tierra

Los sistemas de puesta a tierra son esenciales donde haya presencia de muchos equipos eléctricos o electrónicos, esto permite garantizar la seguridad de los humanos y evitar que algunos equipos electrónicos se dañen. Los principales puntos a considerar a la hora de colocar un sistema de puesta a tierra son los siguientes:

- Es esencial la presencia de un sistema de puesta a tierra.
- Es importante medir la resistividad del terreno para saber los puntos donde es conveniente poner un sistema de puesta a tierra y donde no.
- Los electrodos de tierra deben tener las siguientes medidas (reglamento UTE):  $35 \text{ mm}^2$  (pletina de cobre),  $95 \text{ mm}^2$  (acero galvanizado) y  $154 \text{ mm}^2$  (barra de cobre).
- Los conductores de tierra deben tener un área mínima de  $35 \text{ mm}^2$  en cobre.
- Todo sistema de puesta a tierra debe tener una barra principal de tierra para la conexión de los conductores de tierra, conductores de conexión equipotencial principal y conductores de protección que no estén conectados a este terminal a través de otros conductores de protección.
- El sistema de puesta a tierra debe diseñarse tomando en cuenta los conceptos de tensión de paso, tensión de contacto y tensión transferida, como protección de los equipos y de la vida humana.
- Para sistemas donde existe la línea de neutro es esencial utilizar mallas de puesta a tierra.

## 9 Conclusiones y recomendaciones

### 9.1 Conclusiones

- No existe ningún supresor de transitorios en el mercado que sea 100 % efectivo contra cualquier tipo de descarga atmosférica, debido a que la energía de las descargas atmosféricas es variable, y en ocasiones alcanza valores sumamente altos, lo que provoca transitorios más potentes, sin embargo si es posible tener un alto grado de protección, que será más alto si se usan supresores en los tres niveles de protección: A, B y C, según lo indica la norma IEEE C621.41.
- Para elegir un supresor de transitorios es necesario elaborar un análisis de riesgos, si el riesgo es bajo, se pueden utilizar supresores de bajo costo y de baja capacidad, pero si el riesgo es alto se requieren supresores de alta capacidad, aunque su costo sea más alto, pues en estos casos se ocupa la protección más óptima posible.
- La fibra óptica es el medio de transmisión más eficiente, pues no conduce la electricidad por lo que se no se ve afectado por interferencias ni transitorios electromagnéticos. En caso de utilizarse cableado, es importante que sea blindado, si se usan para transmitir señales analógicas o de datos es importante que se mantenga una adecuada separación con cables de potencia.
- Los sistemas de puesta a tierra son esenciales para proteger equipo electrónico, y a las personas que tengan contacto con esos equipos. Es posible que haya equipo electrónico o sistemas de pararrayos conectados a la puesta a tierra, en tal caso la unión equipotencial es importante para proteger los equipos y la vida de los humanos.
- Los sistemas de pararrayos drenan la corriente del rayo a tierra, evitando así descargas directas sobre equipos electrónicos, además de que se evitan muchos transitorios. Producto de campos electromagnéticos generados con las descargas atmosféricas, los equipos electrónicos deben guardar cierta separación con los parrayos. Además, los sistemas de pararrayos no son

suficientes para proteger equipo electrónico en el campo abierto, donde es de gran importancia el uso del sistema completo de protección compuesto por sistemas de pararrayos, sistemas de puesta a tierra y los supresores de transitorios.

- En el campo abierto son más eficientes los pararrayos con punta de cebado PDC, aunque también pueden usarse puntas Franklin comunes.
- Cuando se desea alimentar equipos electrónicos con UPS en el campo abierto, y es de vital importancia darles un frecuente mantenimiento, es importante proteger la vida de quien revisa esos equipos. Al colocar transformadores de aislamiento entre el sistema de distribución y el equipo electrónico, se evitan diferencias de potencial entre el sistema de distribución y la persona que revisa al equipo, protegiendo así la vida humana, el voltaje no se ve afectado pues sería el mismo, dado que la relación e vueltas del transformador es 1:1.

## 9.2 Recomendaciones

- Es importante que el supresor de transitorios se encuentre cerca de la carga a proteger. En caso de que el supresor esté retirado de la carga y se presente un transitorio con frente de onda muy pronunciado, es posible que el mismo llegue al equipo sensible y lo dañe.
- En caso de que un cable interconecte dos equipos eléctricos o electrónicos a larga distancia, es importante proteger ambos equipos con supresores de transitorios, sin importar si se utilizan líneas analógicas, digitales, de control, de potencia, entre otros. La única excepción es utilizar fibra óptica, ya que no conduce la electricidad.
- Es importante respetar las categorías de ubicación para los supresores de transitorios en circuitos de alimentación de baja tensión. Por ejemplo, en la acometida principal o una subestación, debe utilizarse un supresor clase C según lo indica la norma IEEE C62.41. Los supresores clase A, B y C deben utilizarse según lo indica esta norma.

- Se recomienda utilizar supresores clase A, B y C en cascada en los diferentes niveles de supresión para aumentar la protección de los equipos.
- Es muy importante respetar las distancias de separación entre cables indicadas anteriormente, en especial cuando hay presencia de cables de potencia, esto para evitar interferencia de señales susceptibles en líneas de señales analógicas o digitales.
- Se recomienda agregar sistemas de pararrayos, cuando existan líneas de larga distancia que alimentan equipos en el campo abierto, en lugares donde haya alta densidad de tormentas eléctricas. Además, es importante mantener la distancia de seguridad especificada anteriormente entre el pararrayos y los equipos electrónicos, para evitar que ocurran diferencias de potencial en los equipos electrónicos que lo dañen.
- Se recomienda hacer un análisis de riesgos antes de seleccionar un supresor, dependiendo de los riesgos así será el supresor requerido, no sólo se trata de riesgos atmosféricos sino de riesgos económicos, o sea se debe analizar la probabilidad de que un equipo se dañe con descargas atmosféricas, pero también si el daño de ese equipo puede perjudicar gravemente la economía a la empresa. En presencia de un equipo indispensable y costoso, es recomendable usar supresores de transitorios de buena capacidad aunque sean más costosos.
- Es recomendable que todos los equipos eléctricos y electrónicos se encuentren debidamente aterrizados y conectados a un sistema de puesta a tierra, es importante que aunque se utilicen varias tomas de tierra, se encuentren unidas equipotencialmente, lo que se consigue uniendo las tomas de tierra con varillas metálicas. Es importante que aun la toma de tierra del sistema de pararrayos esté unida equipotencialmente a las tomas de tierra de los aparatos electrónicos.
- En caso de que no se utilice fibra óptica se recomienda utilizar cable par trenzado blindado y con pantalla global (FTP), ya que protege señales de interferencias externas, aunque no protegen contra descargas atmosféricas.

- Se recomienda utilizar transformadores de aislamiento (relación de vueltas 1:1) entre la red de distribución y un conjunto de equipos electrónicos indispensable a proteger (en caso de que no se utilicen), pues al equipo llegará el mismo voltaje, pero se protege de armónicos y se protege la integridad física de quienes requieran entrar en contacto con los circuitos eléctricos y electrónicos, por ejemplo un técnico reparador que debe trabajar en aparatos cuyos circuitos electrónicos están directamente conectados desde la red eléctrica.

## 10 Bibliografía

- ABB. (s.f). *Selection Guide: Overvoltage protection, low current surge arrester range*. Tomado de: <http://sistemamid.com/preview.php?a=75562>
- Allen-Bradley (2011). *Micrologix 1200 Programmable Controllers (User Manual)*. Rocwell Automation. United States
- ANSI/TIA/EIA-568-B. (1998). *Commercial building telecommunications cabling estándar*. United States.
- ANSI-J-STD-607-A. (2002). *Commercial building grounding (earthing) and bonding requirements for telecommunications*. United States.
- Araya, K. (2011). *Diseño del sistema de protección contra distorsiones en la red de distribución eléctrica para la central telefónica de San José del Instituto Costarricense de Electricidad (Tesis de graduación de licenciatura en ingeniería electrónica)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Balcells, J. (1991). *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*. Editorial Marcombo. Barcelona, España.
- Baw. (s.f) *Sobretensiones transitorias*. ETA ELECTRO S.A. Recuperado de: <http://www.velayoselectricidad.com.ar/files/baw%20%20sobretensiones.pdf>
- Bolaños, C. (2008) *Protecciones contra descargas atmosféricas. Teoría y normativa (Proyecto eléctrico de bachillerato en ingeniería eléctrica)*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- CITEL. (2013). *Catálogo: Protección sobretensión*. Novena edición. Recuperado de:  
[http://www.pararrayosupresores.com.mx/Documentacion/supresores\\_picos/CATALOGO%20GENERAL%20SUPRESORES%20DE%20PICOS.pdf](http://www.pararrayosupresores.com.mx/Documentacion/supresores_picos/CATALOGO%20GENERAL%20SUPRESORES%20DE%20PICOS.pdf)
- Eaton. (s.f) *Fundamentos de distribución eléctrica*. Cutler-Hammer. Recuperado de:  
<http://www.demsacr.com/informacion/informacion-tecnica?download=3:modulo-3-distribucion-electrica>

- EPM. (2011). *RAE6-010: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica*. Área de ingeniería distribución. Medellín, Colombia.
- Fallas, J. (2015). *Guía del curso de fenómenos atmosféricos RP-2102 (UCR)*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Farina, A (2015). *Riesgo eléctrico*. Editorial Alsina. Buenos Aires, Argentina.
- Fowler, R. (1994). *Electricidad: principios y aplicaciones*. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Gamboa, A. (2005). *Normativa para protecciones y puesta a tierra de equipos de telecomunicaciones y guía didáctica para su aprendizaje (Proyecto eléctrico de bachillerato en ingeniería eléctrica)*. Universidad de Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- IEC. (1993). *International Standard IEC 60060-1: High-voltage test techniques*. Second Edition. Geneva, Switzerland.
- IEC. (2005). *International standard IEC 61000-4-5: Electromagnetic Compatibility*. Second Edition. Geneva, Switzerland.
- IEC. (2006). *International Standard IEC 60269-1: Low voltage fuses*. Fourth Edition. Geneva, Switzerland.
- IEC. (2012). *IEC 61643-21: Low voltage surge protective devices*. Geneva, Switzerland.
- IEEE. (2009). *IEEE C62.41: Guide on the surge environment in low-voltage (1000 V and less) AC Power Circuits*. New York. United States.
- IEEE. (2004). *IEEE 400.2-2004: Guide for field testing of shielded power cable systems using very low frequency (VLF)*. New York. United States.
- ISO/IEC 11801. (2002). *Generic cabling for customer premises*. Geneva, Switzerland.
- López, J. (2010) *Compatibilidad electromagnética y seguridad funcional en sistemas electrónicos*. Editorial Marcombo, S.A. Barcelona, España.
- Martínez, J. (2013). *Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión*. McGraw Hill, España.

- Méndez,E. (2008). *Redes inalámbricas para zonas rurales*. GTR-PUCP. Madrid, España.
- Méndez,C. (2010). *Metodología para la protección integral contra las sobretensiones y sobrecorrientes en sitios de telecomunicaciones*. Editorial: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- NEC. (2008) *Artículo 285: Dispositivos protectores contra sobretensiones 1 KV o menos*. IEEE Sección Panamá.
- Quintana,C. (1996). *Elementos de interferencia estadística*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Ramírez, S. (2013). *Diagnóstico de riesgo y vulnerabilidad ante descargas atmosféricas del sistema eléctrico del edificio EIE, y propuesta de diseño de soluciones (Proyecto eléctrico de bachillerato en ingeniería eléctrica)*. Universidad de Costa Rica. San Jose, Costa Rica.
- Rodríguez, Y. (2009). *Fibra óptica*. Editorial el Cid Editor. Colombia
- Rojas, G. (s.f) *Manual de sistemas de puesta a tierra*. Recuperado de: <https://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>
- Shneider Electric. (s.f) *Catálogo de protección contra sobretensiones*. Recuperado de: [http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/distribucion\\_electrica/guia\\_instalaciones\\_electricas/capitulo-j-proteccion-sobretensiones.pdf](http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/distribucion_electrica/guia_instalaciones_electricas/capitulo-j-proteccion-sobretensiones.pdf)
- Gómez, P. (s.f) *Coordinación de protecciones: catálogo de shneider electric*. Recuperado de : <http://www.schneider-electric.com.co/documents/press-release/coordinacin-de-protecciones-bt.pdf>
- Square D. (s.f). *Catálogo técnico comercial Surgelogic: supresores de sobretensiones transitorias*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/60648092/Surgelogic-CT-04-09>
- Une 21.185. (1995). *Protección de las estructuras contra el rayo y principios generales*. Editorial AENOR. Madrid, España.

- Une 21.186. (1996). *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado*. Editorial AENOR. Madrid, España.
- Underwriters laboratories. (2006). *UL 1449: Standard for safety, surge protective devices*. Third Edition. Illinois, United States.

## 11 Apéndices

### 11.1 Imágenes tomadas por Leibin Arias en la gira realizada a uno de los planteles de RECOPE en Barranca, Puntarenas



Figura 49. Tanques de almacenamiento de combustible.



Figura 50. Cargaderos de combustible para cisternas.



Figura 51. PLC para controlar llenado y vaciado de tanque de combustible JET (para aviones).



**Figura 52. Sistema de tuberías para vaciado y llenado de tanque de combustible JET (para aviones).**



**Figura 53. Transmisor de presión diferencial.**



Figura 54. Válvula motorizada.



Figura 55. Bajante de pararrayos para punta Franklin.



**Figura 56. Equipos debidamente aterrizados.**



**Figura 57. Válvulas y tuberías.**



Figura 58. Sistema de pararrayos: catenaria.



Figura 59. Bajante de pararrayos para catenaria.



Figura 60. Sistema para conectar transmisión de presión.



Figura 61. Sistema contra incendios (tubería roja transporta agua, y tubería amarilla transporta espuma).



Figura 62. Cajas de conexión.



Figura 63. Rectificador de protección catódica.



**Figura 64. Sensor de presión.**



**Figura 65. PLC, caja de conexión de fibra óptica, supresor RED y UPS dentro de cuarto de control de motores.**



Figura 66. Supresor RED.



Figura 67. PLC.



Figura 68. Caja de conexión de fibra óptica (caja negra).



Figura 69. UPS.



Figura 70. CCM (centro de control de motores).



Figura 71. Anexo de PLC.



**Figura 72. Entrada del poliducto al plantel de Barranca.**



**Figura 73. Tuberías para separación de combustibles provenientes del poliducto.**

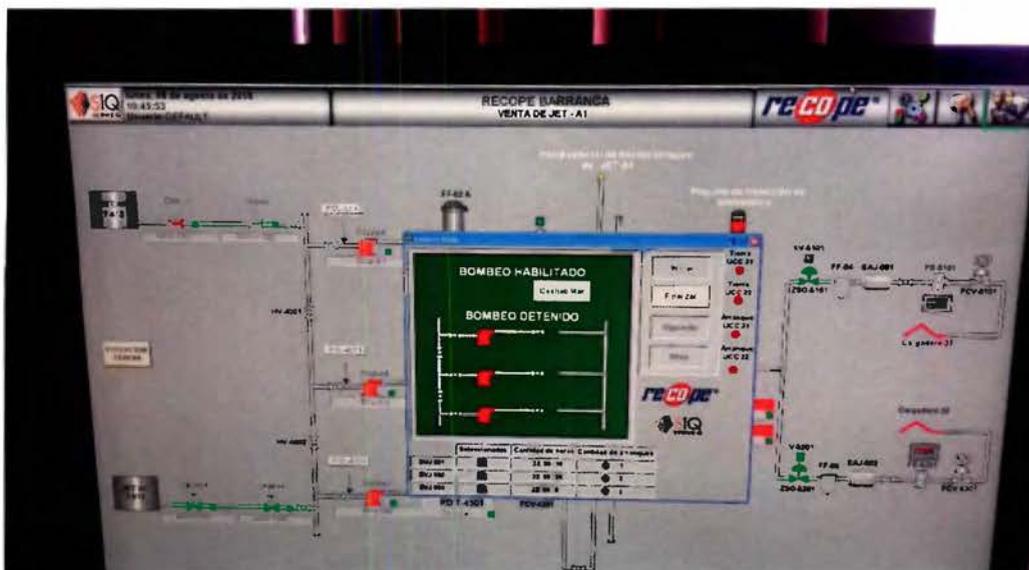


Figura 74. Software para control de tanques JET.

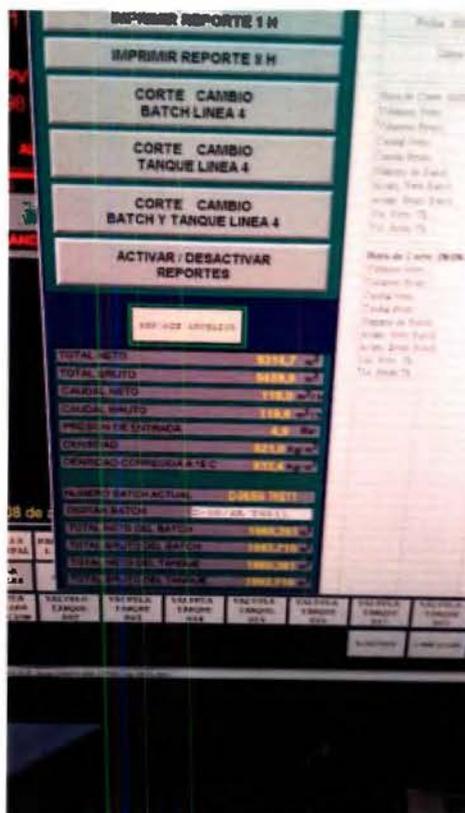


Figura 75. Especificaciones del combustible de entrada al plantel de Barranca.



Figura 76. Cuarto de comunicaciones.



Figura 77. PLC dentro de cuarto de comunicaciones.



**Figura 78. UPS dentro de cuarto de comunicaciones.**



**Figura 79. Tablero de distribución eléctrico.**



Figura 80. Software de control general plantel de Barranca.



Figura 81. Cisterna cargando combustible.



Figura 82. Cajas de conexión de cables.



Figura 83. Unidad de control para cargar cisternas.



Figura 84. Supresor de transitorios en unidad de control de carga de cisternas.



Figura 85. Otro supresor de transitorios en unidad de control de carga de cisternas.

## 12 Anexos

### 12.1 Anexo 1. Hoja de fabricante del supresor TVS120LC20.



#### SurgeLogic LC

El SurgeLogic LC es una tecnología híbrida que ofrece protección contra transitorios y filtración de ruido en una unidad compacta de alto desempeño que incluye inductores en serie. Por lo que es un equipo ideal para proteger cargas críticas finales: equipo de control, PLC's.

El supresor da protección contra transitorios de hasta 40kA y con el sistema de seguimiento de forma de onda y el circuito filtrante permite filtrar el ruido hasta -75dB. Por lo que el SurgeLogic tipo LC hace el trabajo fino para cargas muy críticas.

La conexión en serie da como resultado que la tensión de corte reconocida por UL sea de 330V y 800V para equipos de tensión nominal de 120V y 230V respectivamente.

#### Las ventajas del SurgeLogic LC son:

- Previene la interrupción en la producción
- Aumenta la rentabilidad y vida útil de los equipos
- Previene la pérdida de datos y fallas de memoria dañada
- Reduce las llamadas de servicio y costo de mantenimiento
- Previene las fallas inesperadas de los equipos

#### Algunas características de este equipo son:

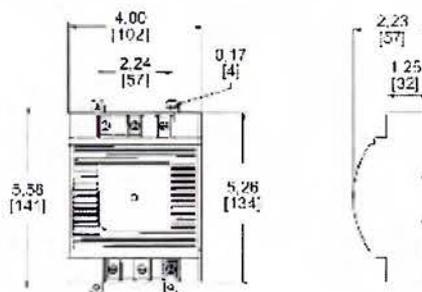
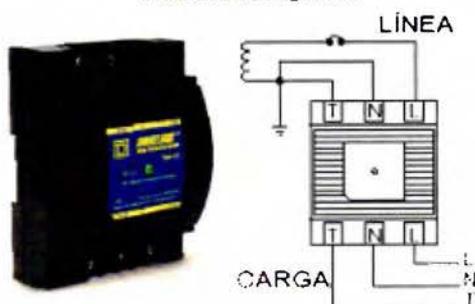
- Conexión en serie con el equipo para mejor filtrado del ruido
- Montaje en riel Din de 35mm y zapatas atornillables
- Exclusivos fusibles térmicos "Lightning Temp" que protegen contra fuertes transitorios y al final de la vida útil del equipo
- Indicador de estado por medio de Led: Encendido = OK, Apagado = Reemplazar. Con opción a Contactos Secos
- Cumplimiento con UL y cUL, UL 1449 2d Edition, UL 1283, CSA C22.2 No. 0-M91 y No. 8-M1989 IEC61643-1

#### Las especificaciones técnicas son:

- Tensión: 120V y 230V
- Sistema: 1 Fase, 2 Hilos + Tierra
- Corriente nominal: 5, 10, 15, o 20 A.
- Tipo de conexión: en serie con la carga
- Tipo de Construcción: híbrido
- Gabinete: abierto
- Montaje: Riel DIN
- Zapatas para cable #22 a #14 AWG (0.34 a 3.31mm<sup>2</sup>)
- Temperatura de operación: -40 a +60 °C
- Temperatura de Almacenamiento: -40 a +70 °C
- Altura de operación: 3.658 msnm

#### Aplicación Principal

- Tableros de control
- Telecomunicaciones
- UPS, PLC's, PC's
- Equipo Electrónico Industrial
- Gabinetes de automatización
- Control de movimiento
- Control de equipo médico
- Panel de control de tráfico
- Sistemas de seguridad



Tensión y Sistema	Corriente Nominal	Número de Catálogo
120V 1F,2H+T	5A	TVS120LC5
	10A	TVS120LC10
	15A	TVS120LC15
	20A	TVS120LC20
230V 1F,2H+T	5A	TVS230LC5
	10A	TVS230LC10
	15A	TVS230LC15
	20A	TVS230LC20

Opción de contactos secos, adicione C al final

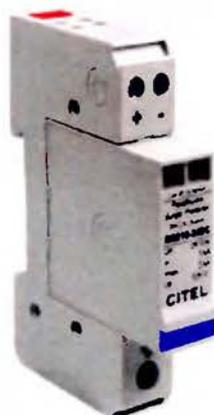
Capacidad de Supresión	L-N	L-G	N-G
40 kA/Fase	20kA	20kA	20kA

#### UL 1449 Nivel de Supresión [ V ]

Tensión nominal	L-N&L-G	N-G	MCOV*
120V,1F,2H+T	330V	330V	150V
230V,1F,2H+T	800V	700V	320V

MCOV\* = Tensión Máxima de operación continua de Línea a Tierra

## 12.2 Anexo 2. Hoja de fabricante del supresor DS210-xxxDC



DS210-24DC

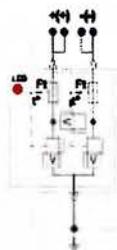
- Protección para alimentaciones continuas
- De 12 a 130VDC
- Corriente de descarga -  $I_{max}$  : 2 a 6 kA
- Módulo desenchufable
- Indicador de desconexión

DS210-xxxDC



### Dimensiones y Esquema

(en mm)



V: Varistor

Fi: Fusible térmico

S\*: Sistema de desconexión térmica

LED: Indicador de desconexión

### Características

Referencias CITELE	DS210-12DC	DS210-24DC	DS210-48DC	DS210-75DC	DS210-95DC	DS210-110DC	DS210-130DC
Tensión nominal continua	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc	75 Vdc	95 Vdc	110 Vdc	130 Vdc
Tensión máxima alterna	18 Vac	15 Vac	40 Vac	40 Vac	75 Vac	95 Vac	115 Vac
Tensión máxima continua	15 Vdc	30 Vdc	50 Vdc	85 Vdc	100 Vdc	125 Vdc	150 Vdc
Corriente de descarga nominal 15 impulsos 8/20 $\mu$ s	1 kA	1 kA	1 kA	2 kA	2 kA	2 kA	2 kA
Corriente de descarga máxima 1 impulso 8/20 $\mu$ s	$I_{max}$ 2 kA	2 kA	2 kA	6 kA	6 kA	6 kA	6 kA
Nivel de protección (a In)	Up 85 V	105 V	180 V	250 V	300 V	350 V	400 V

## 12.3 Anexo 3. Hoja de fabricante del supresor OVR TC 24 V P

### Electrical characteristics

	OVR TC 6 V P 2CTB804820R0000	OVR TC 12 V P 2CTB804820R0100	OVR TC 24 V P 2CTB804820R0200	OVR TC 48 V P 2CTB804820R0300	OVR TC 200 V P 2CTB804820R0500	OVR TC 200 FR P 2CTB804820R0400
Number of conductors protected	1 pair	1 pair	1 pair	1 pair	1 pair	1 pair
Test category	C2	C2	C2	C2	C2	C2
Maximum permanent voltage $U_p$	7 V	14 V	27 V	53 V	220 V	220 V
Limitation voltage $U_p$	15 V	20 V	35 V	70 V	700 V	400 V
$C_p$ nominal discharge current $I_p$ (8/20)	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA
Maximum discharge current $I_{max}$ (8/20)	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
Alternating current endurance	10 A	10 A	10 A	10 A	/	10 A
Rated current $I_n$	140 mA	140 mA	140 mA	140 mA	/	140 mA
Series resistance	10 $\Omega$	10 $\Omega$	10 $\Omega$	10 $\Omega$	/	10 $\Omega$
Shielding - earth connection	Connected	Connected	Connected	Connected	Connected	Connected

### Mechanical characteristics

Maximum line sections	1.5 mm <sup>2</sup>
Length of line stripping	6 mm
Line coupling torque	0.2 Nm
Maximum shielding section	2.5 mm <sup>2</sup>
Length of shielding stripping	7 mm
Shielding coupling torque	0.4 Nm
Status indicator *	No

### Miscellaneous characteristics

Protection level	IP 20
Storage temperature	-40 °C to +80 °C
Operating temperature	-40 °C to +80 °C
Maximum height	2,000 m
Box material (cartridge socket)	PC grey RAL
Fire resistance as per UL 94	V0
Reference standard	CEI / EN 61643-21
Weight	50 g

### Maintenance

	OVR TC 6 V C 2CTB804821R0000	OVR TC 12 V C 2CTB804821R0100	OVR TC 24 V C 2CTB804821R0200	OVR TC 48 V C 2CTB804821R0300	OVR TC 200 V C 2CTB804821R0400	OVR TC 200 FR C 2CTB804821R0500
Replacement cartridges						

\*The OVR TC... P lightning arrester is considered obsolete when there is loss of transmission

## 12.4 Anexo 4. Hoja de fabricante del supresor E280-24D3M

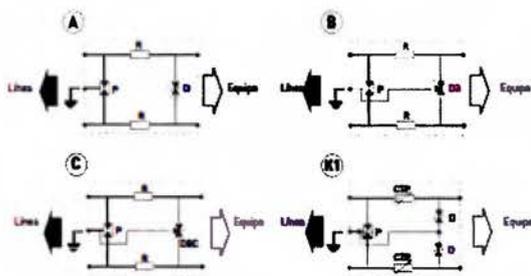
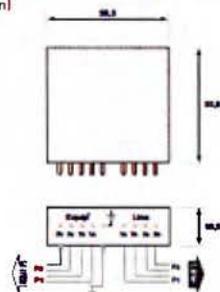
### Gama E280



- Módulo enchufable 2 pares
- Modularidad y mantenimiento optimizados
- Adaptable a todos los tipos de líneas
- Montaje en soportes adaptados
- Homologación UL 497A

### Dimensiones y Esquemas

(en mm)



P : Descargador tripolar  
R : Resistor  
D : Diodo limitador  
D3 : Diodo limitador tripolar  
DBC : Diodo tripolar baja capacidad  
CTP : Termistor

### Características

Referencias CITEC	E280-TM	E280-K2B	E280-48D3M	E280-24D3M	E280-12D3M	E280-64D3M	E280-64DBC
Utilización típica	Red conmutada ADSL, SDSL, SHDSL	Red conmutada K20	RNIS TD Télex	LS 4-10 mA	RS232	RS422 RS485	MIC/T2 10BaseT
Tensión nominal de línea (Un)	150 V	150 V	48 V	34 V	14 V	6 V	6 V
Tensión máxima de línea (Uc)	170 V	190 V	53 V	25 V	15 V	8 V	8 V
Corriente máx. de línea (I <sub>L</sub> )	300 mA	150 mA	300 mA	300 mA	300 mA	300 mA	300 mA
Frecuencia máx.	> 10 MHz	> 3 MHz	> 3 MHz	> 3 MHz	> 3 MHz	> 3 MHz	> 20 MHz
Nivel de protección (Up)	2,0 V en onda B/20µs 5kA	2,0 V	70 V	40 V	30 V	20 V	25 V
Corriente de descarga nominal (In)	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA	5 kA
en onda B/20µs 10 impulsos							
Corriente de descarga máx. (Imax)	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
en onda B/20µs - 1 impulso							
Corriente de impulso (Imp)	2,5 kA	2,5 kA	2,5 kA	2,5 kA	2,5 kA	2,5 kA	2,5 kA
en onda 10/250µs 2 impulsos							
Tipo de esquema	A	K1	B	B	B	B	C
Final de vida	corto-circuito	stop y rearmar	corto-circuito	corto-circuito	corto-circuito	corto-circuito	corto-circuito

## 12.5 Anexo 5. Hoja de fabricante del supresor EDCO CAT6-5 POE

### Edco CAT6-5 POE

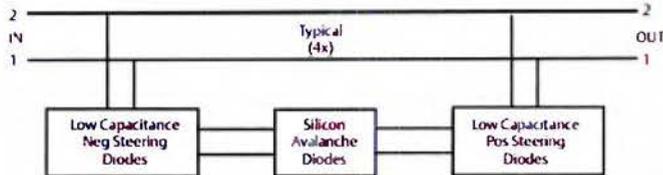
CAT6/CAT5 Power-Over-Ethernet

The Edco CAT6 5 POE Series is designed to work on Category 5 Power-Over-Ethernet transmission lines as well as Category 6 applications. Ideal to protect expensive equipment against surges and transients entering a building on exposed transmission lines.

#### General Technical Specifications

Operating Voltage	60 VDC
Clamping Voltage	65 VDC
Operating Current	300 mA
Peak Surge Current	60 A (10 x 1000 $\mu$ s)
Frequency Range	0 to 250 MHz
Insertion Loss	< 0.1 dB at 20 MHz
SPD Technology	Silicon Avalanche Diode (SAD)
Connection Type	Female-Female RJ-45 jacks
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Dimensions (in / mm)	0.8" H x 1.0" W x 2.3" L [20.3 x 25.4 x 58.4 mm]
Weight (oz / kg)	1 oz [0.02 kg]
Warranty	1 year

#### Installation Instructions



#### Features

- Exceeds CAT5 & 6 transmission values
- CAT5 POE compatible
- CAT6 compatible
- Applications up to 60 VDC @ 300 mA
- 1 year warranty

#### Ordering Information

RJ-45 (Female-Female) CAT6-5POE-FF

#### **⚠ DANGER!**

Only qualified personnel should install or service this system. Electrical safety precautions must be followed when installing or servicing this equipment. To prevent risk of electrical shock, turn off and lock out all power sources to the unit before making electrical connections or servicing.

Seulement le personnel qualifié doit installer ou maintenir ce système. Des précautions de sécurité en électricité doivent être suivies lors de l'installation ou de la maintenance de cet équipement. Pour éviter tout risque de choc électrique, débranchez et verrouillez toutes les sources d'alimentation de cet équipement avant de.

## 12.6 Anexo 6. Hoja de fabricante del supresor Bourns 1840 Series



### Features

- Low peak clamping voltage even during severe current surges
- Ability to repeatedly protect against high surge currents up to rated limits
- Convenient mounting and grounding to any flat surface or to DIN-1 (TS-32) or DIN-3 (TS-35) rail
- Cable shields are passed through and may be either grounded or arc-protected to ground
- Vibration-resistant screw-type clamp terminals
- Flame-resistant epoxy-filled housing

### 1840 Series – Signal and Dataline Protector

The Bourns® 1840 Series Signal and Dataline Protectors are designed to protect sensitive electronic circuits and components from damaging surge voltages and currents. Their extremely fast response and low clamping voltages make them particularly suitable for the protection of sensitive signal and datelines associated with computer, data communication, instrumentation, broadcasting and industrial controls. They may be used directly with EIA standard interfaces RS-232, RS-422, RS-423, RS-485 and with 4-20 mA and 50 mA instrumentation loops. The Model 1840 Series Signal and Dataline Protectors are fast, rugged and capable of protecting against fast rising voltage transients as well as the severe current surges associated with lightning discharges, in each case up to rated limits.

#### Method of Operation

The Bourns® 1840 Series are heavy-duty, multi-staged protectors. A solid-state 3rd stage protection component intercepts the leading edge of the surge within sub-nanosecond response time. Within microseconds, a primary stage 3-electrode common chambered heavy-duty gas discharge tube capable of handling 20,000 ampere lightning currents operates and crossbars the majority of the surge energy to ground. The Model 1840 also utilizes Bourns' TBUP® High-Speed Protector (HSP) technology as a key 2nd stage. Any current through the protector exceeding 300 mA will cause the TBUP® HSP to quickly transition into a high impedance state, thus isolating any harmful voltage and/or current from damaging the protected equipment. The gas discharge tube protector remains in the crossbar state until the surge has passed and line voltages return to safe levels. The TBUP® HSP then automatically restores the line to normal operation by resetting to a low impedance state. There is no need for resetting a breaker or replacing a fuse to address a transient surge event.

#### Application

Protectors are generally placed at each end of a signal, dateline or current loop. In the case of daisy-chain configurations (such as RS-485), protectors are placed at each node.

#### Related Bourns® Protectors

For outdoor applications with 1/2-inch NPT posts (such as field-mounted 4-20 mA transmitters) please refer to the Bourns® Model 1869 Series Protector. In this application, the mixed use of a Model 1840 Series Protector at the controller and a Model 1869 Series Protector at the field is recommended.

#### Characteristics @ 25 °C

Standard Model	1840-05	1840-12	1840-24
Maximum Breakdown Voltage (L-L) and (L-G)	8 V	15 V	30 V

#### Surge Life

100 Amps 10 x 1000 µsec	300 operations min.
100 Amps 10 x 1000 µsec	300 operations min.
500 Amps 10 x 1000 µsec	50 operations min.
1000 Amps 10 x 1000 µsec	10 operations min.
3 kA, 6 kV / 8 x 20 µsec Combination Wave	100 operations min.
10 kA / 8 x 20 µsec	10 operations min.
20 kA / 8 x 20 µsec	5 operations min.

#### Breakdown Voltage

ESD @ 8 kV	See table*
Shield ARC Protection 8 kV / 3 kA	10 operations min.
	5 operations min.

#### Capacitance @ 1 MHz

	L/G: 45 pF, L/L: 36 pF
--	------------------------

#### Series Resistance

	12 Ω typical
--	--------------

#### Maximum Load Continuous Current

	220 mA
--	--------

#### DC Leakage Current at Rated L/G Voltage

	< 10 µA
--	---------

#### Blocking Current

	300 mA; typical 450 mA
--	------------------------

#### Signal/Data Attenuation

	3 db @ 30 MHz with 50 Ω termination
--	-------------------------------------

#### Operating Temperature

	-40 °C to +60 °C
--	------------------

#### Response Time

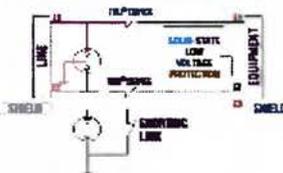
	< 1 µsec
--	----------

#### Wire Size

	20 AWG
--	--------

\*Custom voltages are available upon request. Please visit [www.bourns.com/data/global/pdfs/SMBL.pdf](http://www.bourns.com/data/global/pdfs/SMBL.pdf) for custom allowable voltage. Lead-time may be extended for some custom voltages.

#### Circuit Diagram



### BOURNS®

#### Asia-Pacific:

Tel: +886-2 2562-4117

Fax: +886-2 2562-4118

#### EMEA:

Tel: +36 88 520 390

Fax: +36 88 520 211

#### The Americas:

Tel: +1-951 781-5500

Fax: +1-951 781-5700

[www.bourns.com](http://www.bourns.com)

Specifications are subject to change without notice. The device characteristics and parameters in this data sheet are and do vary in different applications and actual device performance may vary over time. Users should verify actual device performance in their specific applications.

## 12.7 Anexo 7. Hoja de fabricante del interruptor de nivel capacitivo de admitancia RF 651.

### 651 Single-Point RF Switch

The 651 provides basic, single-point switching for use as an alarm or indicator. It's virtually immune to process coatings on the probe, making it a useful solution for many tough level applications. This immunity, combined with the absence of any moving parts, makes the 651 well suited for applications that are difficult for other technologies.

#### Features

- Economical point sensing
- Suitable for 12 VDC service
- FM Approved, CSA Certified hazardous locations, IEC Certified
- Field-selectable failsafe



#### Product Specifications

Input Power - Line	120 VAC, 50/60 Hz 240 VAC, 50/60 Hz 24 VDC 12 VDC	Response Time	0.5 seconds
Input Power - Loop	12-28 VDC	Enclosure	NEMA 4X; IP65
Output Type - Line	10A DPDT, 250 VAC 10A DPDT, 30 VDC DC rating shown for resistive loads 5A DPDT for 12 VDC input power	Environmental Rating	
Output Type - Loop	8 mA (alarm), 16 mA (normal)	Electrostatic Discharge Protection	8000 volts (Line) 4000 volts (Loop)
Loop Resistive	780 ohms maximum @ 24 VDC	Line Surge Suppression	1000 volts line voltage EMC
Adjustment Range	0 to 1000 pF	Conduit Connection	3/4" NPT
Sensitivity	0.5 pF	Ambient Temperature Range	-40 to 160°F (-40 to 71°C)
Repeatability	0.5%	Process Temperature Range	Probe Dependent
Failsafe	Field-selectable	Maximum Process Pressure	Probe Dependent
Maximum Current Draw (line power)	12 VDC - 100 mA 24 VDC - 50 mA 120 VAC - 20 mA 240 VAC - 10 mA	Weight	2.5 lbs. (1.2 kg)

## 12.8 Anexo 8. Hoja de fabricante para tubos descargadores de gas.

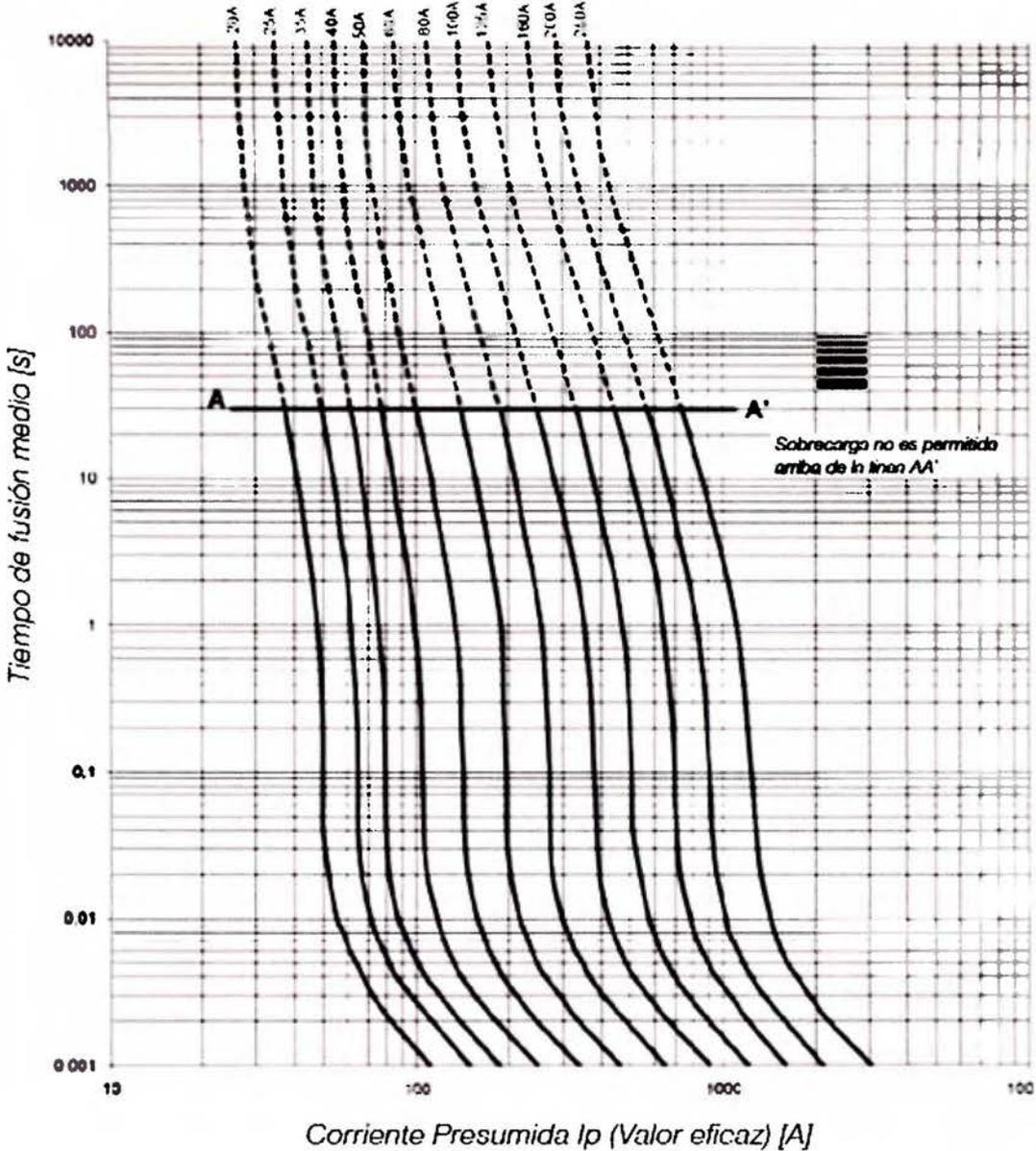
Electrical Characteristics														
Part Number	Device Dimension Type	Device Specifications (at 25°C)						Life Ratings						
		DC Breakdown in Volts @ 50 Hz			Impulse Break-down in Volts		Insulation Resistance	Capacitance @ 117 Hz	Arc Voltage for surge voltage @ 1A rms Min	Max Follow On Current <sup>1</sup>	Nominal AC Discharge Current <sup>2</sup> (10 sec @ 50-60Hz)	AC Discharge Current (1 x 50Hz 9 cycles)	Nominal Impulse Discharge Current <sup>3</sup> @ 50 Hz	Max Surge Current <sup>4</sup> @ 50 Hz
		Min	Typ	MAX	MAX	MAX								
AC120 <sup>1</sup>	A	230	285	340	500	550	10 GΩ (at 100V)	<1.5 pf	~ 25 V	200 Amps	5 A	65 A	10 shots 5kA	1 shot 10kA
AC240 <sup>1</sup>	A	480	600	720	1100	1200								
CG3 1.0 <sup>1</sup>	A	800	1000	1200	1400	1500	10 GΩ (at 100V)	<1.5 pf	~ 25 V	200 Amps	N/A	N/A	10 shots 5kA	1 shot 10kA
CG3 1.1 <sup>1</sup>	A	880	1100	1320	1600	1700								
CG3 1.2 <sup>1</sup>	A	960	1200	1440	1700	1800								
CG3 1.3 <sup>1</sup>	A	1040	1300	1560	1800	1900								
CG3 1.5 <sup>1</sup>	A	1200	1500	1800	1800	2000								
CG3 2.0 <sup>1</sup>	A	1600	2000	2400	2500	2750								
CG3 2.5 <sup>1</sup>	A	2000	2500	3000	3200	3500								
CG3 2.7 <sup>1</sup>	A	2160	2700	3240	3600	4000								
CG3 3.0 <sup>1</sup>	A	2400	3000	3600	4000	4200								
CG3 3.3 <sup>1</sup>	A	2640	3300	3960	4600	4700								
CG3 4.0 <sup>2</sup>	B	3200	4000	4800	5800	6000								
CG3 4.5 <sup>2</sup>	B	3600	4500	5400	6150	6500								
CG3 5.0 <sup>2</sup>	B	4000	5000	6000	7500	8000								
CG3 6.2 <sup>2,3</sup>	B	4960	6200	7440	8100	9500								
CG3 6.5 <sup>2,3</sup>	B	5200	6500	7800	9500	10000								
CG3 7.5 <sup>2,3,4</sup>	B	6000	7500	9000	10000	10600								

## 12.9 Anexo 9. Hoja de fabricante para varistores de óxido metálico.

Electrical Characteristics (@ T<sub>A</sub> = 25 °C Unless Otherwise Noted)

Bourns Part No.	Max. Continuous Voltage (V)		Voltage @ 1 mA DC (V)			Voltage @ Class Current (8/20 μs)		Max. Peak Current (8/20 μs)	Max. Energy (J)	Max. Cap. (pF)
	r.m.s.	d.c.	Min.	Nom.	Max.	Class Current (A)	Max. Clamping Voltage (V)	One Time	8/20 μs	1 kHz
								8/20 μs		
MOV-14D180K	11	14	16	18	20	10	36	1000	4.0	11100
MOV-14D220K	14	18	20	22	24	10	43	1000	5.0	9100
MOV-14D270K	17	22	24	27	30	10	53	1000	6.0	7400
MOV-14D330K	20	26	30	33	36	10	65	1000	7.5	6100
MOV-14D390K	25	31	35	39	43	10	77	1000	8.6	5100
MOV-14D470K	30	38	42	47	52	10	93	1000	10.0	4300
MOV-14D560K	35	45	50	56	62	10	110	1000	11.0	3600
MOV-14D680K	40	56	61	68	75	10	135	1000	14.0	2900
MOV-14D820K	50	65	74	82	90	50	135	4500	22.0	2400
MOV-14D101K	60	85	90	100	110	50	165	4500	26.0	2000
MOV-14D121K	75	100	108	120	132	50	200	4500	32.0	1700
MOV-14D151K	95	125	135	150	165	50	250	4500	40.0	1300
MOV-14D181K	115	150	162	180	198	50	300	4500	50.0	1100
MOV-14D201K	130	170	185	200	225	50	340	4500	57.0	1000
MOV-14D221K	140	180	198	220	242	50	360	4500	60.0	900
MOV-14D241K	150	200	216	240	264	50	395	4500	63.0	830
MOV-14D271K	175	225	243	270	297	50	455	4500	70.0	740
MOV-14D301K	190	250	270	300	330	50	500	4500	77.0	680
MOV-14D331K	210	275	297	330	363	50	560	4500	85.0	610
MOV-14D361K	230	300	324	360	396	50	595	4500	93.0	560
MOV-14D391K	250	320	351	390	429	50	650	4500	100.0	510
MOV-14D431K	275	350	387	430	473	50	710	4500	115.0	460
MOV-14D471K	300	385	423	470	517	50	775	4500	125.0	430
MOV-14D511K	320	415	459	510	561	50	845	4500	125.0	390
MOV-14D561K	350	460	504	560	616	50	925	4500	125.0	360
MOV-14D621K	385	505	558	620	682	50	1025	4500	125.0	320
MOV-14D681K	420	560	612	680	748	50	1120	4500	130.0	290
MOV-14D751K	460	615	675	750	825	50	1240	4500	143.0	270
MOV-14D781K	485	640	702	780	858	50	1290	4500	148.0	260
MOV-14D821K	510	670	738	820	902	50	1355	4500	157.0	240
MOV-14D911K	550	745	819	910	1001	50	1500	4500	175.0	220
MOV-14D102K	625	825	900	1000	1100	50	1650	4500	190.0	200
MOV-14D112K	680	895	990	1100	1210	50	1815	4500	213.0	180
MOV-14D152K	750	990	1080	1500	1320	50	1990	4500	339.0	150
MOV-14D182K	1100	1465	1620	1800	1980	50	2970	4500	337.0	100

12.10 Anexo 10. Curva de tiempo de fusión vs corriente para fusibles ultra rápidos tipo NH-aR.



## 12.11 Anexo 11. Hoja del fabricante de cable Belden 8719.

### Detailed Specifications & Technical Data

ENGLISH MEASUREMENT VERSION



#### 8719 Multi-Conductor - Single-Pair Cable

For more Information  
please call

1-800-Belden1



#### General Description:

16 AWG stranded (19x29) TC conductors, polyethylene insulation, twisted pair, overall Beldfoil® shield (100% coverage), 18 AWG stranded TC drain wire, PVC jacket.

#### Physical Characteristics (Overall)

Conductor

AWG:

# Pairs	AWG	Stranding	Conductor Material
1	16	19x29	TC - Tinned Copper

Total Number of Conductors:

2

## 12.12 Anexo 12. Hoja del fabricante de cable Belden 3051B.

### Detailed Specifications & Technical Data

ENGLISH MEASUREMENT VERSION



#### 3051A Multi-Conductor - 300V Power-Limited Tray Cable



For more Information  
please call

1-800-Belden1

#### General Description:

16 AWG pairs stranded (7x24) bare copper conductors, twisted pairs, individually shielded plus an overall Beldfoil shield (100% coverage), PVC insulation, PVC jacket.

#### Physical Characteristics (Overall)

Conductor

AWG:

# Conductors	# Pairs	AWG	Stranding	Conductor Material
	16	18	7x24	BC - Bare Copper
1		22	7x30	BC - Bare Copper

Total Number of Conductors:

33

## 12.13 Anexo 13. Especificación del fabricante de PLC 1762-IQ32T.

MicroLogix 1762-IQ32T DC Input Module

---

### Environmental Specifications

Attribute	Value
EFT/B immunity	IEC 61000-4-4: ±2 kV at 5 kHz on signal ports
Surge transient immunity	IEC 61000-4-5: ±1 kV line-line(DM) and ±2 kV line-earth(CM) on signal ports
Conducted RF immunity	IEC 61000-4-6: 10V rms with 1 kHz sine-wave 80% AM from 150 kHz...80 MHz