



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

**Influencia de la aplicación de los dispositivos
DPS en la protección de equipos eléctricos y
electrónicos en la minera Chinalco de
Morococha 2015**

Troyes Martines Luis Overti

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing Jorge Lozano Miranda

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por darme buena salud, inteligencia, fortaleza para enfrentar los inconvenientes y vida para hacer realidad mis metas soñadas.

A la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de la Universidad Continental por haberme permitido formarme en sus aulas.

Al decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental.

Al magistrado Felipe Gutarra Meza por su valioso aporte en el desarrollo de las ciencias de la ingeniería y por su constante preocupación por motivarnos en el desarrollo de la investigación científica y engrandecimiento de la Universidad Continental.

Al asesor ingeniero Jorge Eliseo Lozano Miranda por sus acertadas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la ingeniería eléctrica, quien con su destreza y habilidades nos conduce por el camino correcto de la investigación.

A la ingeniera Rosario Marquez Espíritu por brindar su conocimiento y colaboración con acertadas sugerencias y orientaciones en el campo meteorológico de la ingeniería eléctrica.

A los ingenieros de las empresas Cosapi y Chinalco por permitirme obtener datos importantes de las pruebas efectuadas en sus instalaciones para la presente investigación.

DEDICATORIA

A mis padres, Luis Troyes Elera e Hiraida Martínez Balcázar, por ser un ejemplo a seguir, por la orientación que me dieron para ir por el camino del bien. Y también a mis hermanas, quienes me brindaron su apoyo moral y económico para hacer realidad una meta muy importante.

INDICE

PORTADA	i
ASESOR.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE GRÁFICOS.....	x
LISTA DE CUADROS	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	3
1.3.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	4
1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	4
1.3.4. IMPORTANCIA.....	5
1.3.5. DATOS DE LA EMPRESA MINERA CHINALCO	5
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	6
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	6
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	6
1.5. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	6
1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	6
1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	7
1.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.1.1. NACIONAL	12
2.1.2. INTERNACIONAL	13
2.2. BASES TEÓRICAS. APLICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DPS EN LA PROTECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	18

2.2.1.	¿QUÉ ES DPS?	18
2.2.2.	PROCEDIMIENTO para la instalación del DPS.....	19
2.2.3.	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	30
2.2.4.	CLASIFICACIÓN DE LOS DPS	44
2.2.5.	COORDINACIÓN ENTRE DPS	48
2.2.6.	COMPONENTE PRINCIPAL DEL DPS	52
2.3.	PROTECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS CONTRA SOBRETENSIÓN TRANSITORIA.....	61
2.3.1.	¿QUE ES SOBRETENSIÓN?	63
2.3.2.	SOBRETENSIÓN TRANSITORIA.....	64
2.3.3.	SOBRETENSIÓN DE ORIGEN ATMOSFÉRICO	65
2.3.4.	SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR MANIOBRAS EN LA RED.....	67
2.3.5.	SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS	68
2.3.6.	DIAGRAMA DE UNA INSTALACIÓN PROTEGIDA CONTRA LOS RAYOS Y SUS EFECTOS INDIRECTOS	69
2.3.7.	NECESIDAD DE PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA ASOCIADA	71
2.3.8.	PROTECTOR SIN PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA ASOCIADA	71
2.3.9.	PROTECTOR CON PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA ASOCIADA	72
2.4.	INFORMACIÓN GENERAL DE LOS RAYOS.....	73
2.4.1.	RIESGOS POR LA CAÍDA DE RAYOS	75
2.4.2.	CÓMO DETECTAR UNA TORMENTA ELÉCTRICA.....	76
2.4.3.	NIVEL ISOCERÁUNICO	76
2.4.4.	POLARIDAD DE LOS RAYOS.....	77
2.4.5.	PARÁMETROS DE INCIDENCIA DEL RAYO	80
2.5.	SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN PUESTA A TIERRA Y DPS	82
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		85
3.1.	MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	85
3.1.1.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	85
3.1.2.	MÉTODO UNIVERSAL	85
3.1.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	86
3.1.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	86
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	86
3.2.1.	CORRELACIONAL.....	87
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	88
3.3.1.	POBLACIÓN.....	88
3.3.2.	MUESTRA	89
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	90

3.4.1.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	90
3.4.2.	INSTRUMENTOS.....	90
3.4.3.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	90
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		91
4.1.	RESULTADO DE PRUEBA Y PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INTERRELACIÓN (TABLAS Y GRÁFICOS)	91
4.1.1.	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	91
4.1.2.	COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN (ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL DPS).....	92
4.1.3.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO MEDIANTE EL SOFTWARE SPSS	94
4.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	101
4.2.1.	HIPÓTESIS GENERAL	101
4.2.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	104
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	107
CONCLUSIONES.....		109
RECOMENDACIONES		110
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		111
ANEXOS.....		112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Secciones transversales mínimas para conexión de DPS	27
Tabla 2. Secciones del valor de kS3 según el tipo de cableado.....	30
Tabla 3. Valores de la tensión máxima continua	39
Tabla 4. Clasificación de los DPS según las normas VDE, IEC	45
Tabla 5. Número de descargas admisibles para un protector	60
Tabla 6. Tiempo de respuesta de los DPS	60
Tabla 7. Producción total de cobre por año	93
Tabla 8. Medidas estadísticas.....	97
Tabla 9. Estadísticas descriptivas: tabla de contingencia.....	102
Tabla 10. Distribución t: valores críticos t	103
Tabla 11. Pruebas de Chi cuadrado de Pearson.....	103
Tabla 12. Producción en toneladas de cobre sin DPS	104
Tabla 13. Producción en toneladas de cobre con DPS	105
Tabla 14. Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% de velocidad sin DPS	117
Tabla 15. Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2, 3 sin DPS.....	118
Tabla 16. Medición de la presión alimentada en el FIT sin el DPS	119
Tabla 17. Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% y 70% de velocidad sin DPS	120
Tabla 18. Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 70% de velocidad sin DPS	121
Tabla 19. Medición de la corriente y presión de alimentación del motor 1 y velocidad cero en los motores 2, 3 sin DPS	121
Tabla 20. Medición de la presión alimentada, corriente y tiempo de producción con sólidos al 70% sin DPS.....	122
Tabla 21. Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% de velocidad con DPS	124
Tabla 22. Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2, 3 con DPS.....	124
Tabla 23. Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 70% de velocidad con DPS	125
Tabla 24. Medición de la presión alimentada en el FIT con DPS.....	126
Tabla 25. Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2 y 3 con DPS.....	127
Tabla 26. Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2 y 3 con DPS.....	127
Tabla 27. Datos resaltantes de las pruebas sin el DPS en filtros 1, 2 y 3	128
Tabla 28. Datos resaltantes de las pruebas con el DPS en filtros 1, 2 y 3.....	129

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Dispositivo DPS	19
Gráfico 2. Instalación del DPS en paralelo y serie.....	21
Gráfico 3. Modo de conexión en serie del DPS ejemplo industria.....	21
Gráfico 4. Modo de conexión en paralelo del DPS. Ejemplo: industria	22
Gráfico 5. Modo de conexión en serie del DPS en una vivienda unifamiliar	22
Gráfico 6. Técnica conexión serie del DPS.....	23
Gráfico 7. Conexión serie correcta e incorrecta del DPS	24
Gráfico 8. Conexión en paralelo del DPS correcta e incorrecta	25
Gráfico 9. Conexión en paralelo del DPS	25
Gráfico 10. Distancia de Instalación en paralelo del DPS	26
Gráfico 11. Funcionamiento del DPS normal y ante una sobretensión	31
Gráfico 12. Esquema TT sin DPS	33
Gráfico 13. Instalación de DPS en un sistema TT	33
Gráfico 14. Esquema TN sin DPS.....	34
Gráfico 15. Instalación de DPS en un sistema TN.....	34
Gráfico 16. Esquema IT sin DPS	35
Gráfico 17. Instalación de DPS en un sistema IT sin conductor neutro integrado	35
Gráfico 18. Nivel de protección de tensión (Up)	38
Gráfico 19. Modo común	39
Gráfico 20. Modo diferencial	40
Gráfico 21. Forma de onda de tensión 1,2/50 μ s.....	41
Gráfico 22. Forma de onda de corriente 8/20 μ s	41
Gráfico 23. Forma de onda de corriente 10/350 μ s	42
Gráfico 24. Tensión residual (Ures)	43
Gráfico 25. Formas de ondas normalizadas	44
Gráfico 26. Limp para dispositivo de protección contra sobretensiones del tipo 1	46
Gráfico 27. Coordinación de dos DPS limitadores de tensión	50
Gráfico 28. Coordinación entre un DPS activado por tensión y un DPS limitador de tensión.....	50
Gráfico 29. Coordinación entre dispositivos protectores contra sobretensiones	51
Gráfico 30. Características del DPS	52
Gráfico 31. Principio de funcionamiento DPS	53
Gráfico 32. Comportamiento ante una sobretensión transitoria	53
Gráfico 33. DPS via de chispa Spark Gap	54
Gráfico 34. DPS tubo de descarga de gas.....	55
Gráfico 35. DPS varistor de óxido metálico MOV	56
Gráfico 36. DPS con diodos supresores	57
Gráfico 37. Varistor (desconexión natural).....	58
Gráfico 38. Efectos de una sobretensión temporal en un protector.....	59
Gráfico 39. Protección industrial de equipos electrónicos	62
Gráfico 40. Funcionamiento del DPS.....	62
Gráfico 41. Descargadores de sobretensión.....	63
Gráfico 42. Ejemplo de sobretensión	63
Gráfico 43. Principales características de la sobretensión	64
Gráfico 44. Sobretensiones debidas a descargas directas de rayos.....	65
Gráfico 45. Descargas directas sobre líneas de potencia aérea	66
Gráfico 46. Aumento de potencial de tierra por descargas directas en elementos físicamente cercanos	67
Gráfico 47. Campo magnético y electrostático	67

Gráfico 48. Sobretensiones originadas por maniobras	68
Gráfico 49. Diagrama de una instalación protegida contra los rayos y sus efectos indirectos.....	70
Gráfico 50. Protección magnetotérmica asociada	71
Gráfico 51. Necesidad de protección magnetotérmica asociada.....	72
Gráfico 52. Protector sin protección magnetotérmica asociada	73
Gráfico 53. Amplitud y frecuencia de los rayos.....	75
Gráfico 54. Mapa cerámico mundial	77
Gráfico 55. Descargas (rayo nube-tierra) y descargas (rayo tierra-nube)	77
Gráfico 56. Mecanismo de descarga de un rayo descendente negativo (nube-tierra)	78
Gráfico 57. Proceso de descarga de un rayo ascendente negativo (tierra-nube)	78
Gráfico 58. Proceso de descarga de un rayo ascendente positivo (tierra-nube).....	79
Gráfico 59. Mecanismo de descarga de un rayo descendente positivo (nube-tierra)	79
Gráfico 60. Mapa de nivel isocerámico, Perú	81
Gráfico 61. Área donde se ubican los DPS.....	89
Gráfico 62. Producción total de cobre por año en Minera Chinalco	94
Gráfico 63. Producción de cobre por mes sin DPS instalado	95
Gráfico 64. Producción de cobre por mes con DPS instalado.....	96
Gráfico 65. Porcentajes antes y después de la instalación del DPS	98
Gráfico 66. Comparación de producción en toneladas de cobre sin DPS.....	104
Gráfico 67. Comparación de producción en toneladas de cobre con DPS	106

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. La población está definida por la empresa Minera Chinalco, Perú.....	89
Cuadro 2. Pérdidas económicas en filtrado de cobre, por mes, sin protección del DPS	93
Cuadro 3. Correlación estadísticos descriptivos	98
Cuadro 4. Correlación sin DPS y con DPS	99
Cuadro 5. Coeficientes	101
Cuadro 6. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 2 sin DPS	117
Cuadro 7. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 2, 3 sin DPS	118
Cuadro 8. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 1, 2, 3 sin DPS	119
Cuadro 9. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtros 1, 2 sin DPS	120
Cuadro 10. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 1, 2, 3 con DPS	125
Cuadro 11. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtros 1, 2, 3 con DPS	126

RESUMEN

Este trabajo reporta un estudio aplicado, observacional de corte comparativo con un nivel de investigación descriptivo, explicativo y correlacional. Tiene como problema general: ¿En qué medida influye la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha 2015?

El objetivo general es determinar la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha 2015. Sigue la hipótesis que los dispositivos DPS influyen para mejorar significativamente el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, incrementando la productividad. El propósito de la investigación es que a base de los resultados obtenidos se propondrá sugerencias para mejorar la problemática encontrada en la unidad de análisis.

El método de investigación es el cualitativo, con un diseño de investigación correlacional, aplicativo. Se tendrá en cuenta la aplicación de la observación y la información recopilada de la influencia de los dispositivos DPS y la productividad en la Minera Chinalco de Morococha 2015.

Las principales conclusiones son: la aplicación de los dispositivos DPS mejoran significativamente la productividad de concentrado de mineral de la Minera Chinalco de Morococha 2015. El uso de los dispositivos DPS influyen también en la reducción de costos por mantenimiento en su unidad de producción para el año 2015.

PALABRAS CLAVES: Dispositivo DPS, Producción, Costos de operación, Costos de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, "Influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en el protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha 2015", se elaboró para obtener el título profesional de ingeniero electricista, según el estatuto vigente emanado por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental.

La importancia de entender el comportamiento de las descargas atmosféricas y los daños que pueden causar resalta la importancia que tiene la protección para los sistemas eléctricos y electrónicos fundamentalmente para el hombre, sin tomar en cuenta las pérdidas económicas que las descargas atmosféricas o sobretensiones causan a los sistemas.

Este trabajo se enfoca, en su mayor parte, en la protección del sistema de control para motores e instrumentos. También de las personas que están en contacto con estos equipos, desde una breve introducción a los conceptos necesarios para la instalación de diferentes componentes importantes, como los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS). Es un dispositivo protector que limita las subidas transitorias de sobretensiones, descargando los picos de tensión producida por descargas eléctricas atmosféricas o por la parada y arranque de motores de alta potencia. Su función principal es mitigar las sobretensiones. Tiene en cuenta la aplicación de las normas establecidas por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) y National Electrical Code (NEC), requeridas para la instalación de un buen sistema de puesta a tierra.

La instalación de una puesta a tierra tiene como principal función conducir a tierra todas las corrientes de fuga producidas por una falla de aislamiento que haya energizado las carcasas de los equipos eléctricos o por descargas de diferente índole. Contribuye, así, a la seguridad de las personas que están en contacto con equipos energizados, pero no protege a los equipos eléctricos y electrónicos de las sobretensiones. Para proteger a los equipos del retorno de las descargas de alta potencia como las atmosféricas, se tiene que adicionar el dispositivo DPS.

Se ha organizado la tesis en cinco capítulos:

Capítulo I. Trata del planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general y específico, justificación e importancia de la investigación. Se revisa la problemática actual que ocasiona las tormentas atmosféricas, transitorias. Se expone la necesidad de protección para los equipos electrónicos sensibles que son el cerebro de los motores eléctricos de potencia.

Capítulo II. Se presenta el marco teórico, antecedentes del estudio, bases teóricas y aspectos generales del área de estudio que son mecanismos indicadores por metodología. Tras estudiar las diversas alternativas para resolver los objetivos planteados, se propone un análisis teórico para elegir las técnicas y metodologías más adecuadas para este proyecto. Así, se minimizan las consecuencias que ocasionan las sobretensiones.

Capítulo III. Comprende la metodología de la investigación, el nivel y el tipo de investigación, el método y diseño de investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de la información, los procedimientos para la validez y confiabilidad de los instrumentos, descripción de la población y muestra, las técnicas empleadas para el procesamiento de la información.

Capítulo IV. Denominado presentación, interpretación y análisis de los resultados, que, a su vez, contiene la interpretación de los resultados. Utiliza los fundamentos teóricos, que conllevan a la interpretación de los resultados de ambas variables, como la influencia de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos contra las sobretensiones transitorias.

Para terminar, se presentan las conclusiones relevantes. Asimismo, la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Minera Chinalco. Concluye que sí influye positivamente los DPS, lo que permite mejoras en la productividad y reducción cuantiosa por mantenimiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas han surgido inconvenientes con respecto a la protección de los equipos electrónicos, que son de mucha importancia para los equipos eléctricos. La gran pregunta que se hacen los proyectistas del área de ingeniería de Minera Chinalco es: ¿Se conectan a la puesta a tierra principal o no?

Algunos fabricantes sugieren un sistema de puesta a tierra separado. Es decir, solo para los equipos electrónicos que son sensibles. La respuesta encontrada en tesis de diversos países es que se tiene que conectar todos los equipos eléctricos y electrónicos a un solo sistema de puesta a tierra (SPT) y no en puesta a tierra (PAT), diferentes. Porque se trata de conseguir una equipotencialidad casi perfecta en todo el sistema, necesaria para evitar que surja diferencia de potenciales, inducidos por corrientes estáticas y atmosféricas contribuyendo a la inseguridad del personal y equipo. El concepto válido es el uso de una tierra única y equipotencial, con la unión de todas las partes metálicas al sistema.

La equipotencialidad asegura que todos los objetos conductores no vinculados eléctricamente estén a un mismo potencial. Mantienen un nivel de seguridad requerido y necesario para el personal y equipo de trabajo. Sin la equipotencialidad apropiada y el requerimiento mínimo del valor de la resistencia, los sistemas de protección no trabajan adecuadamente.

Una señal eléctrica de alimentación es comúnmente afectada por causas como ruido eléctrico, descargas electromagnéticas, descargas electrostáticas y atmosféricas, que interfieren con el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos afectando a la fuente que los alimenta.

Un ejemplo: Una señal limpia es de gran importancia para la alimentación de equipos electrónicos, que si no trabajan con su tensión nominal podrían variar su funcionamiento y como consecuencia los resultados nos darán falsas lecturas y un mal proceso de la planta industrial. Un buen sistema de puestas a tierra con otros métodos, como la instalación de pasivos en paralelo, blindaje en el cableado y dispositivos DPS, reduciría la deformación de las señales eléctricas que degradan el buen funcionamiento de nuestro sistema de control.

Estos fenómenos electromagnéticos son, en la mayoría de los casos, perturbaciones causadas por descargas electrostáticas y atmosféricas, ambas básicamente productos de cargas acumuladas, ya sea por la presencia eléctrica estacionaria de los mismos o a su interacción con otros equipos eléctricos. Esto lleva a diseñar y desarrollar un sistema de protección adecuado contra cualquier tipo de interferencia electromagnética que se nos presente en nuestro sistema. Con una mala instalación al SPT y la ausencia del DPS, se puede ocasionar daños irreparables en los equipos, o un mal funcionamiento entre ellos, pero, lo más importante, es que puede ocasionar accidentes personales.

De continuar operando en estas condiciones, las empresas tendrán pérdidas económicas por el deterioro de sus equipos, pero la pérdida económica más grande es afectar la producción y tener un personal expuesto al riesgo de muerte.

Como se observa, los sistemas de conexión a tierra requerida actualmente difieren de las épocas anteriores y requieren una actualización constante en su desarrollo tecnológico de los especialistas y constructores.

Con la relación oportuna de datos e información proporcionada por los fabricantes de equipos e instituciones especializadas en esta actividad, es posible obtener resultados importantes en la protección de equipos electrónicos.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS, en la protección de equipos eléctricos, y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015?

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Establecer la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos sin el dispositivo DPS.
- b) Establecer la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La seguridad humana en instalaciones eléctricas es un requisito primordial para cualquier institución seria que se interesa por la seguridad de personas ante cualquier eventualidad que signifique un riesgo para la salud. Un riesgo que fácilmente podría causar la muerte si no pensamos en un buen SPT, que nos proteja de estos fenómenos electromagnéticos que en la mayoría de los casos son perturbaciones causadas por descargas electroestáticas y descargas atmosféricas.

Contribuir a un mejor desempeño de los sistemas de protección evita incendios provocados por cortocircuitos y materiales volátiles o la combustión de gases al proveer un camino efectivo y seguro para la circulación de corrientes de falla, descargas atmosféricas, estáticas, arcos eléctricos y elevadas temperaturas en los

equipos eléctricos que pueden provocar tales incendios. Ello ocasionaría pérdidas humanas y materiales.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La presencia de alta cantidad de componentes electrónicos como microprocesadores y transistores en los equipos eléctricos ha incrementado su susceptibilidad a disturbios eléctricos como son los transitorios. La importancia de implementar equipos de protección radica en que cualquier tipo de daño puede ocasionar la interrupción en el servicio de una máquina y esto, a su vez, detener la operación de un proceso completo.

En cuanto a equipos, como forma de protección, es importante utilizar dispositivos de protección que ayuden a mantener la vida útil de estos y evitar efectos por variaciones de tensión eléctricas de diversos orígenes que ocasionan falsas lecturas, mal funcionamiento, deterioro inmediato y para la sustitución de algún equipo electrónico deteriorado o defectuoso, ocasionado por descargas atmosféricas o diferencia de potencial. Así, se tiene que detener parte del proceso o toda la planta industrial, lo que generaría pérdidas económicas. Para evitar todo lo descrito, se debe realizar un buen sistema de puesta a tierra y la instalación del DPS.

Estas son las razones, entre otras, de la necesidad de un buen sistema de puesta a tierra y una protección adicional para los equipos sensibles, así como para su mantenimiento.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El deterioro electrónico es el desgaste de componentes electrónicos debido al efecto acumulativo y paulatino de las sobretensiones eléctricas de bajo y alto nivel. Por lo general, estos daños o deterioros se producen en industrias que carecen de protección adecuada contra sobretensiones y en viviendas que no cuentan con la protección para descargas internas como externas.

Sin embargo, con frecuencia los circuitos industriales se encuentran contaminados severamente con perturbaciones eléctricas producidas por descargas, tanto por motores de potencia industrial como por descargas atmosféricas que ocasionan la

apertura de circuitos y la paralización inesperada de equipos de control de alta sensibilidad, a la vez, de todo el sistema de procesos. Ello ocasionaría grandes pérdidas en la producción de la planta industrial o minera.

Con el sistema de protección planteado, se estaría evitando la paralización de la planta y, así, reduciríamos las pérdidas económicas que afectan a la empresa.

1.3.4. IMPORTANCIA

El proyecto presentará una investigación técnico-productiva ordenada en cuanto a la influencia del DPS en equipos eléctricos y electrónicos, detallando cuáles se emplearán en el diseño del sistema de protección para equipos sensibles del proyecto minero Toromocho de la Minera Chinalco.

La investigación tiene importancia académica debido a que los resultados obtenidos contribuirán de una manera u otra a servir de antecedente para otros investigadores en el área de operaciones en la planta de procesos de minerales.

1.3.5. DATOS DE LA EMPRESA MINERA CHINALCO

Minera Chinalco

¿Quiénes somos?

Aluminium Corporation of China Chinalco:

Empresa minera más grande de China

Tercer productor mundial de aluminio

Chinalco en cifras:

Ventas globales: US\$ 21 mil millones (2009)

Subsidiarias (sedes u oficinas): 34

Operaciones en diez países

Más de 200 mil trabajadores

Ubicación en el Perú

Toromocho se ubica en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín.

La región donde se encuentran las concentraciones presenta una topología inclinada accidentada, con altitudes sobre el depósito que varía entre 4.500 y 5.000 metros de altitud.

A 142 kilómetros de Lima por vía terrestre y a 32 kilómetros de La Oroya.

Los valles en el área son circundantes, tienen origen glaciar.

1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de los dispositivos DPS influye positivamente en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- a) La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es mala.
- b) La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena.

1.5. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

El DPS es un protector que limita intencionalmente el incremento de tensiones y/o corrientes transitorias. Descarga los picos de tensión producida por descargas eléctricas atmosféricas o por la parada y arranque de motores de alta potencia. Su función principal es mitigar las sobretensiones.

El Surge Protective Device (SPD) se conoce también como supresor de transientes o supresor de picos. Operacionalmente, el DPS o supresor de picos debe evitar el

daño que produce una onda de rayo Lighting Electromagnetic Impulse (LEMP), en castellano impulsos electromagnéticos de rayo, los cuales poseen energía destructiva capaz de fusionar y causar averías a su paso.

Asimismo, debe controlar, evitar o limitar las sobretensiones Switching Electromagnetic Puls (SEMP), en castellano, impulsos electromagnéticos de conmutaciones o maniobras conocidos también como sobretensiones transitorias (voltaje Surge), también destructivo, peligroso. Trae poca energía, pero un elevado nivel de tensión eléctrica de varios kilovoltios, el cual supera varias veces el aislamiento eléctrico de los equipos electrónicos. Su ocurrencia en algunas instalaciones es superior a doscientas veces por día. Es producido por las conmutaciones eléctricas del sistema. Cada vez que se abre o se cierra un circuito eléctrico nace con una onda de tensión peligrosa del tamaño de hasta 15 kilovoltios.

1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Operación normal de los equipos electrónicos

Un equipo electrónico consiste en una combinación de componentes electrónicos organizados en circuitos, destinados a controlar y aprovechar las señales eléctricas. Los equipos electrónicos a diferencia de los eléctricos utilizan la electricidad para el almacenamiento, transporte o transformación de información.

Los controladores lógicos programables (PLC) son empleados en todas las industrias manufactureras en las más variadas formas. Los microprocesadores aparecen incorporados en máquinas de producción industrial, alarmas de seguridad, alarmas contra incendios, sensores ultrasónicos, transmisor identificador de flujo (FIT) y en las más variadas aplicaciones. Sus componentes son cada vez más eficientes, pero muy sensibles a alteraciones eléctricas de diferente índole.

Sin embargo, con frecuencia, los circuitos industriales se encuentran contaminados severamente con perturbaciones eléctricas producidas por ruido industrial, cierre y apertura de circuitos y por descargas atmosféricas.

Para proveer protección integral y eficiente a los equipos electrónicos que son el sistema de control programable indispensable para motores de diferente potencia en ambientes industriales, se debe hacer uso del DPS, el cual brinda protección contra sobretensiones transitorias, y así evitar un mal funcionamiento o deterioro inmediato del equipo.

1.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable Independiente (x): Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS). (Cuadro de operacionalización de variable)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE												
<p>Conceptualmente se define como: Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) es un dispositivo protector que limita intencionalmente el incremento de tensiones y/o corrientes transitorias, descargando los picos de tensión producida por descargas eléctricas atmosféricas o por la parada y arranque de motores de alta potencia, su función principal es mitigar las sobretensiones.</p>	<p>Operacionalmente el DPS o supresor de picos debe evitar el daño que produce un LEMP (Lighting Electromagnetic Impulse), en castellano impulsos electromagnéticos de rayo, los cuales poseen energía destructiva capaz de fusionar y causar averías a su paso.</p> <p>Asimismo, debe controlar, evitar o limitar las sobretensiones SEMP (Switching Electromagnetic Puls), en castellano impulsos electromagnéticos de conmutaciones o maniobras conocidos también como sobretensiones transitorias.</p>	<p>Protección contra impulsos electromagnéticos del rayo</p> <p>Protección contra impulsos electromagnéticos de conmutaciones</p> <p>Protección contra sobretensiones transitorias temporales</p>	<p>Índice derivado al dispositivo protector contra sobretensiones del tipo 1 (DPS OVR T1), montado en el tablero eléctrico principal de entrada de la instalación, es capaz de desviar la energía de una descarga directa de un rayo.</p> <p>Aquí se debe utilizar un dispositivo protector contra sobretensiones del tipo 2 (DPS OVR T2), en coordinación con el protector contra sobretensiones de entrada. Finalmente, la protección adecuada para líneas telefónicas o de transmisión de datos se debe utilizar el (DPS OVR TC) para mitigar totalmente algún rezago de sobretensión.</p>	<p>Las categorías diagnósticas consideradas por el instrumento en los laboratorios de ensayos ABB, se basan en las puntuaciones directas del instrumento y tomando como valores válidos la forma de onda de las sobretensiones y el tipo de dispositivo de protección que se utilizarán en la Minera Chinalco de Morococha. 2015</p> <p>Categorías diagnósticas:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DPS</th> <th>Rango de protección</th> <th>Forma de onda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo I</td> <td>Muy Alta</td> <td>10/350 μs kA</td> </tr> <tr> <td>Tipo II</td> <td>Alta</td> <td>8/20 μs kA</td> </tr> <tr> <td>Tipo III</td> <td>Baja</td> <td>1,2/50 μs kA</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las formas de onda se describen en la pág. 57, 58</p>	DPS	Rango de protección	Forma de onda	Tipo I	Muy Alta	10/350 μ s kA	Tipo II	Alta	8/20 μ s kA	Tipo III	Baja	1,2/50 μ s kA
DPS	Rango de protección	Forma de onda														
Tipo I	Muy Alta	10/350 μ s kA														
Tipo II	Alta	8/20 μ s kA														
Tipo III	Baja	1,2/50 μ s kA														

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESCALA DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p>TÉCNICAS: Observación</p> <p>INSTRUMENTOS: Ficha de observación</p>	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado según la diferencia de observación entre un equipo con protección (DPS) y otro sin protección en la Minera Chinalco de Morococha.</p>	<p>VARIABLE: Correlacional. Cuantitativa</p>	<p>Nominal</p>	<p>-Se utilizó la información de pruebas realizadas en laboratorio por la empresa ABB, para definir el tipo de DPS.</p> <p>-Registros de averías en los equipos electrónicos de la Empresa Minera Chinalco</p>

Variable dependiente (x): Equipos eléctricos y electrónicos. (Cuadro de operacionalización de variable)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE
<p>Conceptualmente se define como:</p> <p>Equipo electrónico a una combinación de componentes electrónicos organizados en circuitos destinados a controlar y aprovechar las señales eléctricas.</p> <p>Para proveer protección integral y eficiente a los equipos electrónicos que son el sistema de control programable, indispensable para motores de diferente potencia. En ambientes industriales se debe usar el DPS, el cual brinda protección contra sobretensiones transitorias y así evitar un mal funcionamiento o deterioro inmediato del equipo.</p>	<p>Operacionalmente, los controladores lógicos programables (PLC) son empleados en todas las industrias manufactureras en las más variadas formas. Los microprocesadores aparecen incorporados en máquinas de producción industrial, alarmas de seguridad, alarmas contra incendios sensores ultrasónicos, transmisor identificador de flujo (FIT) y en las más variadas aplicaciones. Sus componentes son cada vez más eficientes, pero muy sensibles a alteraciones eléctricas de diferente índole.</p>	<p>Frecuencia de fallas en los equipos electrónicos</p> <p>Horas promedio de fallas</p> <p>Tiempo de reparación</p> <p>Operación</p>	<p>Diagnosticar el funcionamiento de los equipos electrónicos para determinar las causas que generan fallas y desviaciones en las actividades operativas y funcionales de los mismos.</p> <p>Es el indicador que pone de manifiesto el tiempo en que los equipos presentan fallas por sobretensión</p> <p>El tiempo de reparación comprende la localización de la falla, la eliminación de la falla y el restablecimiento del servicio.</p> <p>El indicador manifiesta el tiempo medido en horas o meses, que los equipos están activos y trabajando efectivamente.</p>	<p>Es importante tener en cuenta que se debe realizar el mantenimiento a todos los equipos, aunque estos no presenten fallas, para obtener un diagnóstico escrito de cada uno y así prevenir las fallas antes de que se produzcan.</p> <p>Obtener menor frecuencia de fallas por sobretensión en equipos sensibles, demostrando un comparativo del valor actual y los valores de periodos anteriores.</p> <p>Asegurar que el equipo no volverá a repararse por esta misma causa, porque se ha incluido protección adicional.</p> <p>Obtener resultados positivos en la producción.</p>

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESCALA DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p>TÉCNICAS: Observación</p> <p>INSTRUMENTOS: Ficha de observación</p>	<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado según la diferencia de observación entre un equipo con protección (DPS) y otro sin protección en la Minera Chinalco de Morocochoa.</p>	<p>Variable: Correlacional. Cuantitativa</p>	<p>Nominal</p>	<p>Registros de fallas y/o protocolos de pruebas antes y después, o sea, sin DPS y con DPS, indicando el rango de confiabilidad de ambas pruebas y con cuál de estas trabajarán mejor los equipos electrónicos.</p>

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. NACIONAL

Noé Rondón (2009), en su tesis “Propuestas de diseño del sistema de protección contra fallas de origen atmosférico en estaciones de comunicaciones” (capítulo 2, 2.5, pág. 28), nos menciona que la protección interior es un tema que muy poco se trata en nuestro país debido a que la mayoría de diseñadores y especialistas asumen que con una protección exterior es suficiente (un buen pararrayos). Sin embargo, cuando los componentes más sensibles fallan o se “queman”, recién pensamos en colocar algún “filtro”. Si con ello no se arregla el problema, entonces la culpa es de la puesta a tierra. Para que las instalaciones tengan una efectiva protección integral, debemos considerar cada parte involucrada (protección interior, exterior, bajantes, puesta a tierra, etcétera). De lo contrario, el sistema no cumplirá su labor de protección.

El sistema de protección interior evita que ocurran descargas eléctricas peligrosas que podrían presentarse en el interior de la estructura a causa de la circulación de corrientes del rayo en el sistema de protección interno o en otras partes conductoras de la estructura.

Para evitar estas descargas peligrosas, empleamos los sistemas equipotenciales y el aislamiento eléctrico entre las partes. Uno de los medios de utilización para ello es el DPS.

Un dispositivo contra sobretensiones, tal como se indica en las definiciones, limita el nivel de la sobretensión, mediante la absorción de la mayor parte de la energía transitoria. Minimiza la transmitida a los equipos y refleja la otra parte hacia la red.

Yanque Tomasevich (2009), en su tesis “Medidas de resistividad del suelo, resistencia de puesta a tierra y potenciales de toque y paso”, aborda los conceptos de base, la reproducción analítica, la apreciación de los métodos, la interpretación de las aplicaciones y la evaluación de los datos obtenidos de las distintas técnicas de medición de los parámetros eléctricos del suelo. Asimismo, del desempeño de los sistemas de puesta a tierra, cuya importancia actual y futura, en todo tipo de infraestructura e instalaciones atendidos por energía eléctrica, se asocia tanto a la seguridad de las personas como a la confiabilidad de la operación y los procesos y a la seguridad de los equipos. En especial, de BT y electrónicos.

La motivación y el posicionamiento para este trabajo cuidadoso al estado de la tecnología actual y que requiere compenetración técnica, ejecutoria de campo y experiencia, se resumen en la introducción (capítulo I). Fueron resultado de casi cinco años de actividades y labores en consultoría especializada. En el primer capítulo se presenta el propósito del trabajo, la situación técnica del tema, la importancia de los sistemas de puesta a tierra para el funcionamiento de los sistemas eléctricos y su relación con el suelo donde están instalados.

2.1.2. INTERNACIONAL

Castiblanco Pardo (2011), en su tesis “Estudio técnico para el sistema de protección contra descargas atmosféricas”, señala que el rediseño del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas se fundamenta en el análisis de riesgo que se realiza a la instalación.

Para el estudio de nivel de riesgo realizado en el cuarto capítulo, concluye que no es determinante la instalación de DPS en la infraestructura eléctrica de la Universidad de La Salle. Sin embargo, para las instalaciones de esta universidad en cada tablero principal que atiende cargas críticas se dimensionará un DPS con las características que apliquen para el nodo donde se realizará la instalación.

La caída de rayos son descargas eléctricas que van de las nubes a la tierra. Sus corrientes son de amplia variedad. Virtualmente el 99.98% son de menos de 220

kiloamperios (kA) y cerca del 50% es de menos de 18 kA según estudios realizados en países como Estados Unidos.

Basándonos en IEEE 780, la magnitud de los rayos puede ser de unos pocos kA a valores medios de 20 kA a 30 kA, que puede ser el caso colombiano. Únicamente el 5% de las descargas exceden 100 kA [Horacio Torres (2008)].

Por lo tanto, la magnitud de las corrientes de los rayos es irrelevante cuando especificamos supresores de transitorios, porque cuando un rayo golpea una línea de potencia o la entrada del edificio, este sigue la línea de menor resistencia.

Mucha de esta energía es aterrizada a través del supresor instalado en el transformador por el proveedor de energía. Otra parte se va a través de las líneas del sistema de distribución de baja tensión y otra a través de los supresores instalados a la entrada del edificio, la estructura de este, sus sistemas de tubería y/o varillas de tierra. La energía remanente, por ahora, es una pequeña fracción de la energía del rayo que cayó inicialmente, entrando a la fuente generadora por medio de acoplamientos inductivos o capacitivos.

Grisales García y Moriano Cárdenas (2013), en su tesis “Diseño de un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas”, tienen como función primordial realizar el diseño del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas en el bloque E de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con este diseño, se pretende brindar seguridad al bloque tomando en cuenta el cumplimiento de la norma técnica colombiana NTC 4552-1-2-3.

Para el diseño de protección externa contra descargas eléctricas atmosféricas, se utilizó el software de diseño Autocad y riesgo. Se consideraron las indicaciones de las normas ya mencionadas.

De la mano con el diseño del proyecto, se inspeccionó el sistema de puesta a tierra para certificar que dicho sistema se encuentra en un estado competente que permita hacer una conexión con los terminales de captación y sus debidas bajantes.

Palabras claves: SIPRA, sistema de protección externa, sistemas de protección interna, DPS, puesta a tierra, terminales de captación, descarga eléctrica atmosféricas, nivel de riesgo, sistemas de bajantes, esfera rodante.

Hernández Morales, Rodríguez Garcia y Zamudio Gómez (2009), en la tesis “Sistema de tierras para equipos eléctrico y electrónico”. Con la llegada de los circuitos integrados y microprocesadores en los modernos equipos eléctricos y electrónicos, surgieron nuevos inconvenientes relacionados con su sensibilidad y operación, los cuales se agravan por la creciente integración de sus componentes. La tecnología actual los ha hecho más densos y susceptibles a perturbaciones eléctricas, como las interferencias electromagnéticas (EMI), interferencias de radiofrecuencias (RFI), descargas electrostáticas (ESD) y a todo tipo de ruidos y perturbaciones de la onda sinodal.

Los equipos electrónicos modernos son cada vez más sensibles a los ruidos eléctricos producidos, ya sea por motores, sistemas de aire acondicionado, así como por los mismos equipos analógicos y digitales. Una de las mayores demandas en la actualidad es el conocimiento de las tecnologías de protección (sistema de electrodos de tierra, sistemas de protección contra descargas atmosféricas, equipos supresores de sobrevoltaje transitorio, etcétera), todo para seleccionar la protección adecuada para nuestros sistemas y equipos. Se estima que el 80% de los problemas en las redes de distribución que afectan a los equipos electrónicos sensibles los causa una conexión a tierra deficiente o incorrecta y problemas de cableado.

Ya desde 1883 Carl August Steinheil comprobó que la tierra conducía también la electricidad y que, por lo tanto, podía ser utilizada como un circuito de retorno de esta. Esto ayudó en el desarrollo de la telegrafía por hilo y sentó las bases para iniciar la técnica de puesta a tierra, en un principio, en el campo de las comunicaciones eléctricas.

Fue hasta junio de 1918 que C. S. Peters presentó un instructivo relativo a los sistemas eléctricos, el cual ahora se consideraría muy rudimentario, pero que entonces impulsó la integración de una normalización para intentar resolver ordenadamente los problemas relacionados con la puesta a tierra.

Así, pues, la puesta a tierra se ocupa del eficiente, seguro y económico traspaso de corrientes eléctricas de distinta naturaleza, hacia la tierra en los diferentes tipos de instalaciones donde se utiliza la energía eléctrica. El correcto diseño del sistema de tierra y su posterior conexión es primordial para la seguridad de las personas y de los equipos eléctricos y electrónicos, además de un buen desarrollo de los procesos a seguir, tanto a nivel industrial como doméstico.

Otras razones importantes para que se deban tomar en cuenta la existencia de los sistemas de tierra son evitar que se produzcan diferencias de potencial entre distintos puntos de la instalación a ocurrir cualquier falla eléctrica. Aunado a esto, los sistemas de tierra deben estar planteados según las normas y reglamentos públicos en vigor. La puesta a tierra del neutro del sistema permite la operación de diversos sistemas de protección basados en la detección de corrientes que circulan por este conductor, aislándose así la falla para evitar dañar al equipo que se encuentre operando en el momento de la falla y que esta se propague.

Pérez Díaz (2007), en su tesis “Diseño del sistema de puesta a tierra del Centro Médico Docente La Trinidad”. El objetivo principal es presentar los requerimientos básicos y criterios de diseño del sistema de puesta a tierra del Centro Médico Docente La Trinidad. Estos criterios se fundamentaron en prácticas recomendadas del IEEE, de normas del Código Eléctrico Nacional y del IEC.

El diseño abarca diversas áreas de la instalación, como quirófanos, transformadores, sistema de respaldo de energía, conjunto de oficinas, centro de datos y el sistema de protección contra descargas atmosféricas. También se hacen recomendaciones acerca de las previsiones que se deben tomar en materia de puesta a tierra en los diversos cuartos destinados al cuidado de pacientes. El diseño se basa principalmente en el reconocimiento de los requerimientos de cada área y aplicar los criterios definidos mediante los documentos anteriormente nombrados.

Además, este proyecto involucra el diseño de lo que podría ser considerado la parte más elemental e importante, el electrodo. Aquí se presentan todas las ecuaciones empleadas y criterios que llevaron a la selección de la configuración y ubicación del mismo.

Se realizó la ingeniería de detalle representada por planos, esquemas, especificaciones, etcétera, efectuando la selección de conductores, tipos de conexiones y equipos a emplear para lograr un diseño completo del sistema de puesta a tierra.

Parada Ortiz y Orrala Arias (2010), con su tesis “Sistemas de puesta a tierra de computo bloque A y D nuevo campus”. Como se aprecia, en los diferentes capítulos se han ido definiendo algunas consideraciones y palabras ya mencionadas que intentan definir el tema, entre ellas tierra física, tierra masa, tierra del circuito, conductor de tierra, conductor de conexión a tierra, conductor del electrodo de tierra,

tierra de seguridad, tierra del equipo, protección de tierra, tierra aislada, tierra separada, tierra de señal, tierra de referencia.

Manejar apropiadamente estos conceptos es de gran importancia porque el objetivo fundamental de un sistema de puesta a tierra es asegurar la seguridad de las personas. Así también asegurar el cuidado de los equipos eléctricos y componentes electrónicos, ante la presencia de sobrecorrientes a tierra mediante la limitación del voltaje a tierra.

Además, se tiene como función principal el correcto funcionamiento del sistema eléctrico y, por ende, una buena operación de los dispositivos de protección, así como también la actuación de los sistemas de supervisión y control, los cuales usan los sistemas de tierra como una buena referencia operacional.

Adquirir los conocimientos fundamentales y avanzados para realizar labores de diagnóstico, inspección y mantenimiento de instalaciones de puesta a tierra de instalaciones eléctricas, son motivos muy importantes, por el cual se realizan las auditorías necesarias para analizar con exactitud la situación actual en la que se encuentran los sistemas eléctricos y las conexiones de puesta a tierra. Además se darán las posibles soluciones para realizar con seguridad y garantizar un buen funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia.

Es evidente que en el diseño y construcción de los sistemas eléctricos de potencia y las conexiones de sistemas de puesta a tierra se usan las normas y estándares establecidas por el NEC. Esto hace que la utilización de los equipos, dispositivos y materiales correspondientes, además de contribuir con la seguridad y la calidad, se garantice un buen desarrollo del proyecto sin causar anomalías ni daños a futuro.

Electropol (2013), www.electropol.com.co (especialista contra rayos y sobretensiones transitorias mediante dispositivos de protección DPS), Bogotá, Colombia. Con la introducción de la electrotécnica como parte fundamental de los equipos y teniendo en cuenta los fenómenos transitorios en las subestaciones y, en general, en los ambientes industriales, hay que dar la importancia que tienen a las tomas de tierra de esos equipos, dado que, como se demostrará, las frecuencias que existen en estos ambientes pueden llegar a valores muy elevados y ser, por lo tanto, muy perjudiciales para los equipos electrónicos.

Para que el lector de este artículo pueda discernir qué es un DPS Clase I, para qué sirve, dónde lo debe instalar, qué especificaciones son deseables, qué exigir de un

DPS y, principalmente, cómo distinguir entre un DPS Clase I para protección contra corriente de rayo y un DPS contra sobretensiones.

Según su aplicación, los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), ya sea para instalarlos en las redes de alimentación en baja tensión como para instalarlos en las redes de telecomunicaciones, se subdividen en:

- a) Descargadores de corriente de rayo con especificación de onda 10/350 μ s y corriente de impulso de rayo en kA limp.
- b) Descargadores de sobretensión, con especificación de onda 8/20 μ s y corriente nominal de descarga en kA In.

2.2. BASES TEÓRICAS. APLICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DPS EN LA PROTECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

2.2.1. ¿QUÉ ES DPS?

El dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) es un protector que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias y desvía las sobrecorrientes transitorias. Busca mitigar las interferencias electromagnéticas. Contiene, por lo menos, un componente no lineal. Su función es proteger de las sobretensiones a los equipos eléctricos, electrónicos e instalaciones y establecer conexiones equipotenciales.

Este protector fue bautizado DPS (en inglés, Surge Protective Device, SPD). Se conoce también como supresor de transientes o transitorios, corta picos o protector de picos.

Operacionalmente, el DPS o supresor de picos debe evitar el daño que produce una onda de rayo Lighting Electromagnetic Impulse (LEM), en castellano impulsos electromagnéticos de rayo, los cuales poseen energía destructiva capaz de fusionar y causar averías a su paso, romper el aislamiento eléctrico de los conductores y dejar inservible el equipo electrónico. Estamos hablando de energía destructiva varios millones de Joules por ohmio.

Asimismo, debe controlar, evitar o limitar las sobretensiones SEMP (Switching Electromagnetic Puls), en castellano impulsos electromagnéticos de conmutaciones o maniobras conocidos también como sobretensiones transitorias (voltaje Surge), también destructivo, peligroso, trae poca energía, pero un elevado nivel de tensión

eléctrica de varios kilovoltios, el cual supera varias veces el aislamiento eléctrico de los equipos electrónicos. Su ocurrencia en algunas instalaciones es superior a doscientas veces por día. Es producida por las conmutaciones eléctricas del sistema, cada vez que se abre o se cierra un circuito eléctrico nace con una onda de tensión peligrosa del tamaño de hasta 15 kV.

Gráfico 1.
Dispositivos DPS



Fuente: Empresa Clamper (protección contra picos eléctricos).

2.2.2. PROCEDIMIENTO para la instalación del DPS

En la instalación de los DPS se presenta la mayor parte de las fallas, porque instalar un DPS depende de las características de la red y donde se ubicará. Además, se deben evitar lazos, largas distancias que permitan la inducción de sobretensiones y un correcto dimensionamiento de los conductores de conexión.

El DPS protegerá los equipos:

Si la corriente de descarga en el punto de instalación $> I_n$ (DPS), la U_p será mayor y $U_{P/F}$ podrá exceder la U_w (equipos) y no continuarán protegidos. Por tanto, I_n (DPS), tendrá que seleccionarse \geq corriente de descarga esperada en este punto de la instalación.

$$U_{P/F} (U_P + \Delta U) < U_w \text{ Ecu. (1)}$$

Donde:

UP/F: El nivel de protección y eficaz

In: Corriente nominal del equipo

Up: Nivel de tensión de protección

In (DPS): Corriente nominal del DPS

Uw (equipos): Tensión de soporte a impulso de los equipos a proteger.

ΔU : Tensión de longitud de los conductores de conexión entre el DPS y el equipo.

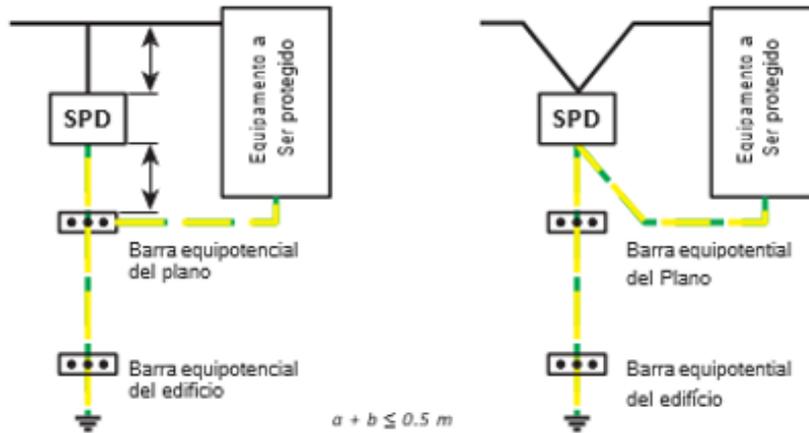
La selección de un DPS con un Up inferior que la Uw de los equipos produce menor estrés a los mismos, lo que puede resultar no solo en una probabilidad de daño más baja, sino también en una vida de operación más larga.

2.2.2.1. Instalación de los DPS

Para garantizar la protección proporcionada por el DPS, es necesario tomar una serie de precauciones durante la instalación, que se presentan a continuación.

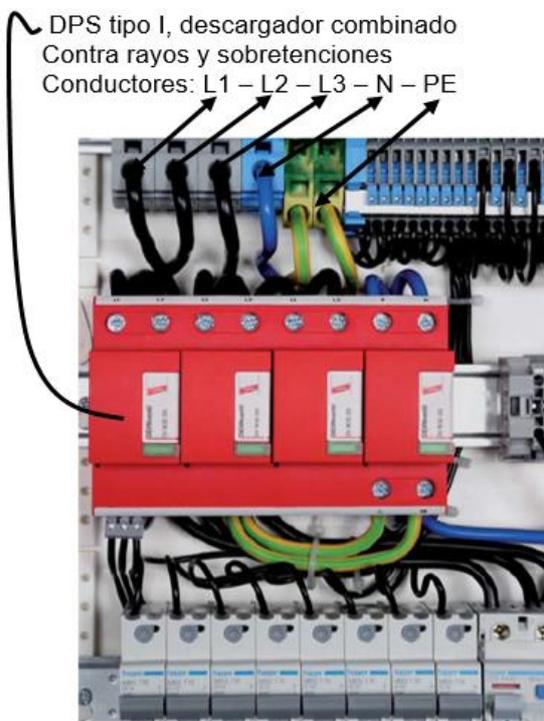
El equipo por proteger debe estar conectado a la barra equipotencial donde va el DPS, y no a una barra equipotencial cualquier presente en el edificio, "porque ambos están conectados a tierra" (gráfico 2). Por otra parte, la longitud de los cables del DPS no debe ser mayor de 50 centímetros. Es necesario a la conexión de entrada y la salida, lo que siempre es recomendable, pues hace que la contribución ΔU sea insignificante. La conexión de entrada y salida (conexiones en serie o V) de los cables del DPS y conexión en paralelo se debe colocar separador de fase debido a la capacidad de carga térmica y así evitar arcos eléctricos. Esto se aplica a DPS de tipo 1, cuando se ven afectadas por Iimp (10/350).

Gráfico 2.
Instalación del DPS en paralelo y serie

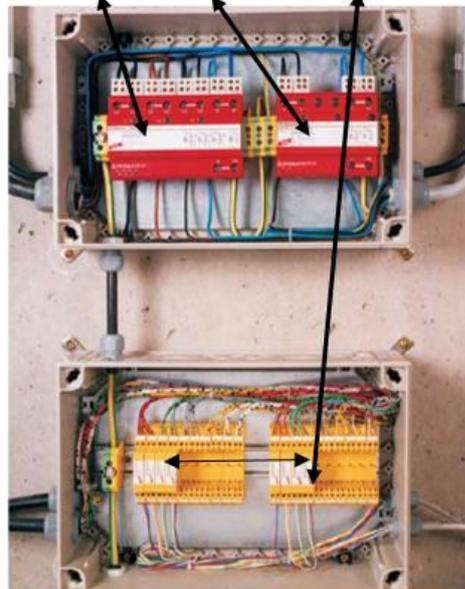


Fuente: Empresa Finder (guía-DPS).

Gráfico 3.
Modo de conexión en serie del DPS ejemplo industria



Compensacion de potencial de
 Proteccion contra rayo para equipos
 Electronicos
 DPS tipo II, DPS tipo III, DPS tipo IV



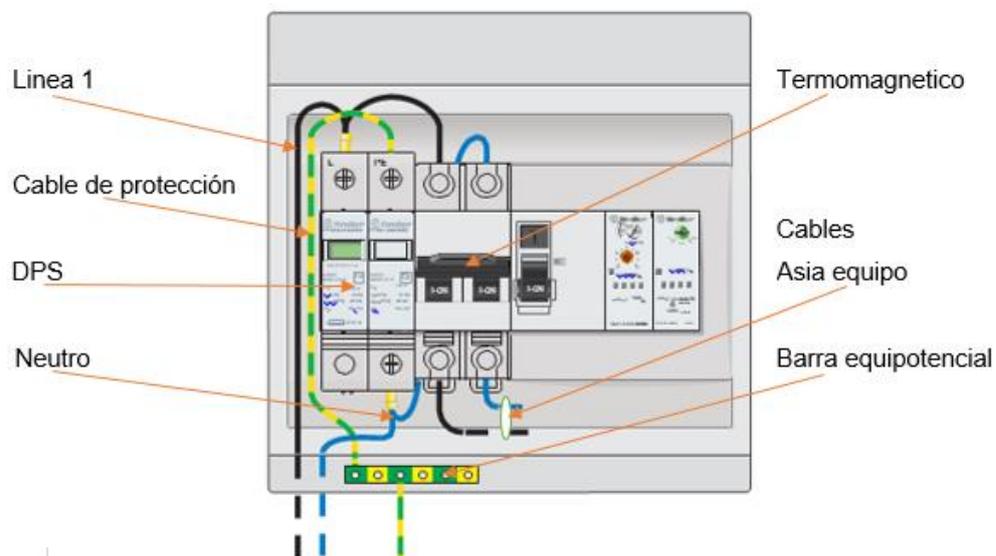
Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

Gráfico 4.
Modo de conexión en paralelo del DPS. Ejemplo: industria



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

Gráfico 5.
Modo de conexión en serie del DPS en una vivienda unifamiliar



Fuente: Empresa Finder (guía-DPS).

2.2.2.2. Instalación serie y paralelo

Tras asegurar que la ubicación y las distancias de protección son las adecuadas, se deben considerar la técnica de conexión acorde con el DPS.

Existen las siguientes técnicas de conexión:

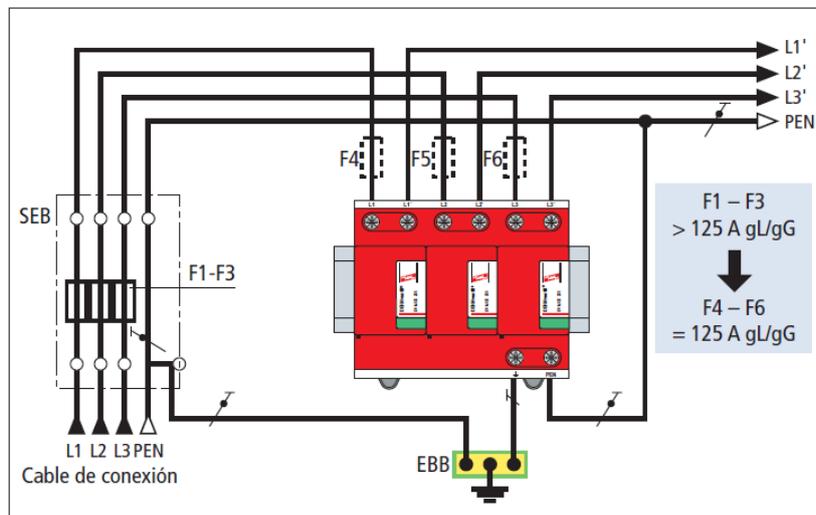
a) Conexión en serie o en V

La conexión en serie o V se utiliza cuando el nivel de protección del equipo (U_p) coincide con el nivel de protección del DPS y la capacidad térmica de los bornes de conexión es tal que soporta la corriente nominal de la instalación. Esta configuración garantiza que las longitudes de conexión sean mínimas.

El cableado de conexión en serie o en V es válido hasta un valor máximo de 125 A, debido a la capacidad de carga térmica de las bornes dobles que incorpora el descargador. Se debe emplear una regleta de peine o separador de fase, para evitar arcos eléctricos entre fases.

Para el caso de sobrecorrientes de instalación > 125 A, la conexión de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes debe hacerse en paralelo.

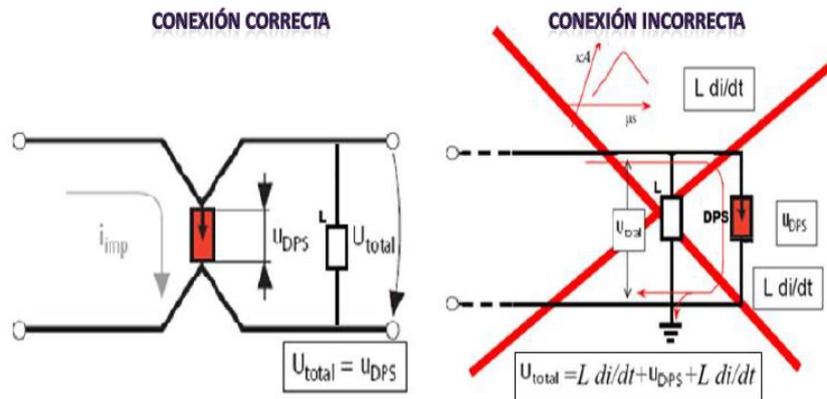
Gráfico 6.
Técnica conexión serie del DPS



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

En el gráfico 7 se muestra la forma correcta e incorrecta de realizar la conexión serie o conexión V.

Gráfico 7.
Conexión serie correcta e incorrecta del DPS



Fuente: Dehn, Manual de protección contra rayos capítulo 8.

Donde:

i_{imp} : Corriente de impulso derivada.

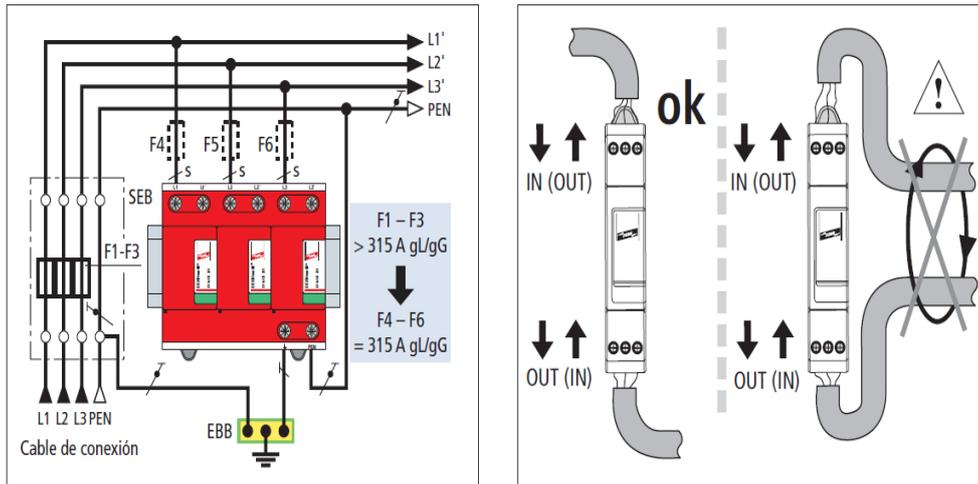
U_{DPS} : Tensión de limitación de los DPS.

U_{total} : Tensión de limitación aplicada en el equipo final.

b) Conexión en paralelo

Un DPS se conecta en paralelo porque los bornes de conexión serie no son capaces de soportar la corriente nominal de servicio o porque no es viable su instalación a causa del número de fusibles que deben instalarse como protección del equipo y del DPS.

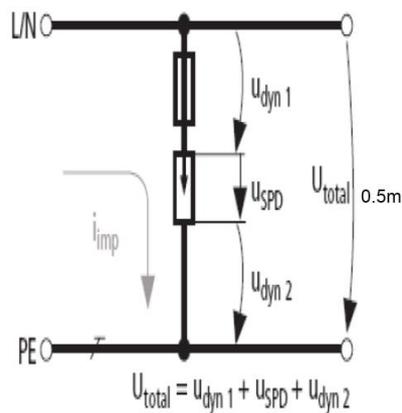
Gráfico 8.
Conexión en paralelo del DPS correcta e incorrecta



Fuente: Dehn Manual de protección contra rayos, capítulo 8.

En esta conexión es necesario tener especial cuidado con la longitud de los cables de conexión y la separación entre estos, según norma IEC 60364-5-53/A2 (E DIN VDE 0100-4530). El gráfico 9 muestra un cableado paralelo y se recomienda que no sea mayor a 0,5 metros.

Gráfico 9.
Conexión en paralelo del DPS



Fuente: Dehn, Manual de protección contra rayos, capítulo 8.

Donde:

I_{limp} : Corriente de impulso derivada.

U_{DPS} : Tensión de limitación de los DPS.

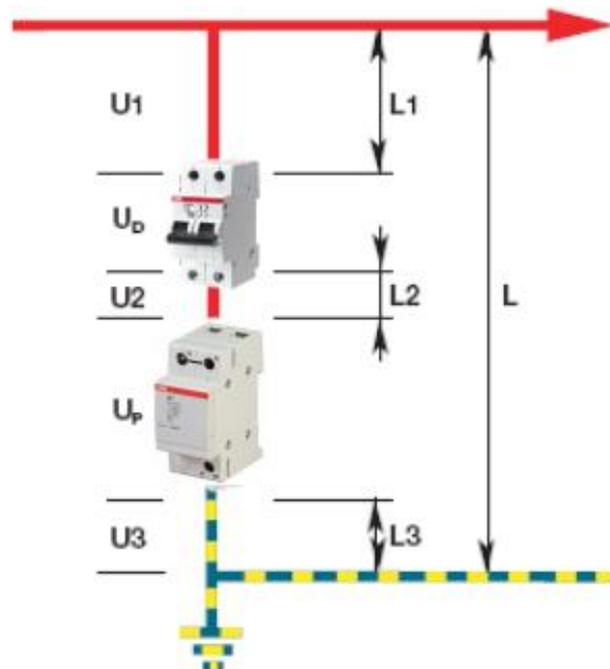
U_{total} : Tensión de limitación aplicada en el equipo final.

U_{dyn1} : Caída de tensión en la conexión en el lado de fase del dispositivo de protección.

U_{dyn2} : Caída de tensión en la conexión en el lado de tierra del dispositivo de protección.

Para que las cargas estén sometidas a la misma tensión posible durante la sobretensión (gráfico 10), la suma de $L1 + L2 + L3$ no debe superar los 50 centímetros. Si no se respeta esta distancia, se debe elegir un protector con una corriente residual U_p inferior.

Gráfico 10.
Distancia de Instalación en paralelo del DPS



Fuente: ABB (protección descargadores).

Deducimos, pues, que hacer conexiones muy largas, ya sea hacia el DPS o el equipo a proteger, crea valores de tensión que no pueden ser conocidos y se añadirán al protector contra sobretensiones U_p , haciendo cambiar o, incluso, eliminar la capacidad de protección ofrecido por el DPS.

2.2.2.3. Técnicas de instalación

Tras el análisis de las características estructurales y funcionales de los DPS, se deben conectar entre los conductores activos y la barra equipotencial principal. Es decir, en modo común entre las partes activas y la tierra: fase/tierra o neutro/tierra.

2.2.2.4. Longitud de los conductores de conexión del DPS

Los conductores de conexión del DPS no deben generar en los equipos a proteger sobretensiones por inducción u oscilaciones de tensión. Según lo anterior, la longitud de los cables para la conexión debe ser lo más corta posible. Se recomienda que la longitud no sea mayor a 0,5 metros. Los conductores deben tener la mínima sección transversal posible. En la tabla 1 se encuentra la sección transversal de los conductores según la clase de DPS.

Tabla 1.
Secciones transversales mínimas para conexión de DPS

Componente de unión		Material	Sección transversal mm ²
Conductores de tierra al DPS (que llevan toda o una parte significativa de la corriente del rayo)	Clase I	Cu	16
	Clase II		6
	Clase III		1
	Otros DPS		1

Fuente: Aplicaciones tecnológicas. Especialistas en rayos y supresores de picos (www.at3.com).

Equivalencias de calibre

Clase I, 16 mm² = 6 AWG

Clase II, 6 mm² = 10 AWG

Clase III, 1 mm² = 18 AWG

Otros DPS, 1 mm² = 18 AWG

- a) Distancia de protección debido al fenómeno oscilatorio: cuando la distancia de separación es muy larga, se origina oscilación que incrementan las sobretensiones hasta el doble de su valor inicial ocasionando fallas en los equipos. Por lo tanto, se debe considerar la distancia de protección debido a oscilaciones como la mayor distancia permisible del circuito.

A continuación, se presentan los criterios de evaluación de la distancia de protección debido a las oscilaciones:

Criterio 1:

Distancia de separación menor a 10 metros.

Nivel de protección es menor a la mitad de la capacidad de protección del equipo.

$$U_p < \frac{U_w}{2}$$

Ecu. (2)

En este caso la distancia de protección debido a oscilaciones (dpo) puede ser despreciada.

Criterio 2:

Distancia de separación es mayor a 10 metros.

El nivel de protección mayor que la mitad de la capacidad de protección.

$$U_p > \frac{U_w}{2}$$

Ecu. (3)

En este caso, la distancia de protección, debido a oscilaciones (dpo), se considera con la siguiente expresión, en que k es igual a 25V/m.

$$d_{po} = \frac{[U_w - U_p]}{k} (m)$$

Ecu. (4)

- b) Distancia de protección según el fenómeno inductivo: los rayos pueden inducir sobretensiones que se incrementan si los lazos de protección son demasiado extensos. Debido a estas circunstancias, la distancia de protección contra inducciones entre el DPS y el equipo debe ser minimizada. Los criterios de evaluación son:

Si existen apantallamientos espaciales, según las zonas de protección contra rayos (ZPR) o las líneas son apantalladas, la distancia de protección por inducciones es despreciable.

Si no existen apantallamientos la distancia de protección inducida (dpi) se calcula según la siguiente expresión:

$$d_{pi} = \frac{[U_w - U_p]}{h} (m)$$

Ecu. (5)

Donde:

$h = 300kS1kS2kS3$; para impactos cercanos a la estructura.

$h = 30000kS0kS2kS3$; para impactos directos a la estructura.

$kS1 = 0,12w$

$kS2 = 0,12w$

W: es el ancho en metros de la cuadrícula del escudo especial o el ancho de la malla o de los conductores bajantes o de la distancia

entre las columnas en sistemas que utilizan la estructura de concreto reforzado como sistema natural de protección contra rayos.

kS3 se escoge según la siguiente tabla:

Tabla 2.
Secciones del valor de kS3 según el tipo de cableado

Tipo de cableado	Ks3
Cables sin pantalla-Sin precaución de evitar lazos en la ruta ¹	1
Cables sin pantalla- Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta ²	0,2
Cables sin pantalla- Con precaución de evitar lazos en la ruta ³	0,02
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $5 < R_s \leq 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $1 < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,0002
Cable apantallado con resistencia de pantalla ⁴ $R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,0001
<p>1 Lazo de conductores formado por diferentes rutas a largo de edificaciones largas (lazo del orden de 50 m²)</p> <p>2 Lazo formado por conductores alojados en el mismo ducto con diferentes rutas en edificaciones pequeñas (lazo del orden de 10 m²)</p> <p>3 Lazo forma por conductores alojados en el mismo cable (lazo del orden de 0,5 m²)</p> <p>4 Cable con resistencia de pantalla R_s unida al barraje equipotencial en ambos extremos y equipo conectada al mismo barraje.</p> <p>Nota: para cableado en conduit metálico aterrizado en sus extremos al barraje equipotencial; los valores de k_{S3} deben multiplicarse por 0,1.</p>	

Fuente: (Icontec, Norma NTC 4552-2, 2008).

2.2.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

La operación de un DPS se relaciona también con el nivel de protección al que será sometido y su diferente zona de protección. Estos parámetros hacen que la selección del DPS sea más rigurosa y compleja, porque cada uno tendría en cuenta qué equipos y dispositivos protegerán, la intensidad de descargas atmosféricas a la que estarán expuestos y la capacidad frente a los efectos primarios y secundarios del rayo.

Teniendo en cuenta esto, se podría afirmar que la forma en que opera un DPS se relaciona con tres parámetros en general, que se deben tener en cuenta cuando se diseña y se utiliza un sistema de protección contra rayos.

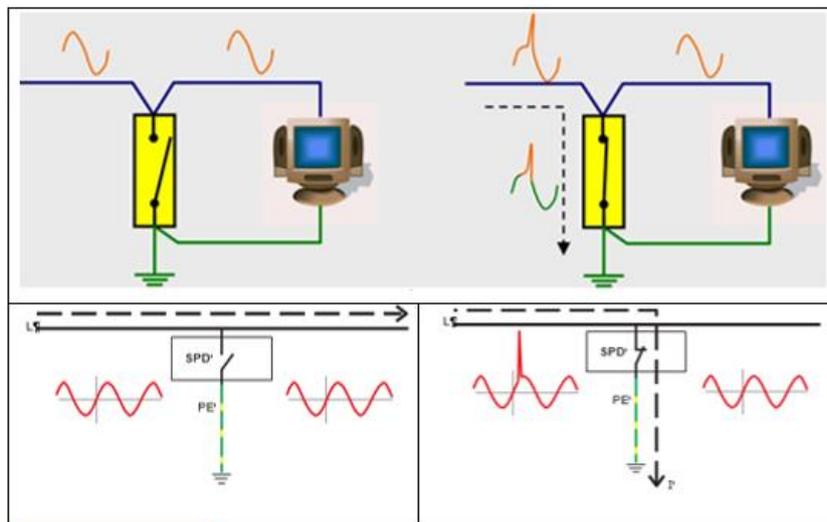
- Un DPS actúa como un interruptor controlado por tensión.
- En estado normal el DPS está en alta impedancia transparente a la instalación.
- Si la tensión es mayor que la máxima nominal de la línea a proteger el DPS se comporta como una baja impedancia y deriva a tierra.

Para entender el funcionamiento del DPS, supongamos que tenemos un DPS ideal, cuyo funcionamiento se puede describir a continuación:

Compare la operación ideal del DPS con lo real.

El DPS ideal puede ser descrito como una caja cuyo contenido no conocemos, conectado, por ejemplo, entre L1 y PE, cuya impedancia (Z) es infinito, no cambia el funcionamiento del sistema.

Gráfico 11.
Funcionamiento del DPS normal y ante una sobretensión



Fuente: Empresa Finder (guía-DPS).

Ingeniero Favio Casas Ospina.

La llegada de una sobretensión disminuye rápidamente a 0Ω de impedancia en los terminales de la caja, lo que permite "absorber" la corriente asociada con el borne. Cuanto mayor es la sobretensión, menor es la impedancia y mayor es la corriente de drenaje. Por lo tanto, podemos imaginar un interruptor abierto dentro de la caja que se cierra en presencia de una sobretensión, poniendo en cortocircuito existente

después de que el interruptor proteja el circuito. Drenando la sobrecorriente, mantiene una tensión constante en los bornes de la caja. Si esta tensión es compatible con el nivel de inmunidad y el aislamiento de los equipos, no será deteriorado. Por tanto, podemos identificar tres fases de funcionamiento del DPS.

- a) Fase inicial. Supongamos que se instala nuestro equipo electrónico entre un conductor activo y tierra (que también se puede instalar entre dos fases o entre fase y neutro). En los terminales hay una tensión nominal del sistema (U_n), que, pasado el tiempo, puede variar dentro de un rango de tolerancia en función de la distribuidora de energía eléctrica (en el Perú $\pm 5.0\%$). Por lo tanto, se proporciona para una tensión de funcionamiento continuo U_c , que, en relación con la banda de tolerancia, asegura que el DPS no se activa.

Vamos a anticipar el concepto de “tensión de funcionamiento continuo” U_c . Este es el valor de la tensión que se puede aplicar al DPS indefinidamente y que evitará que se dispare.

Para los sistemas TT y TN es $U_c \geq 1,1.U_n$

Para los sistemas IT es $U_c \geq \sqrt{3}.U_n$

Donde:

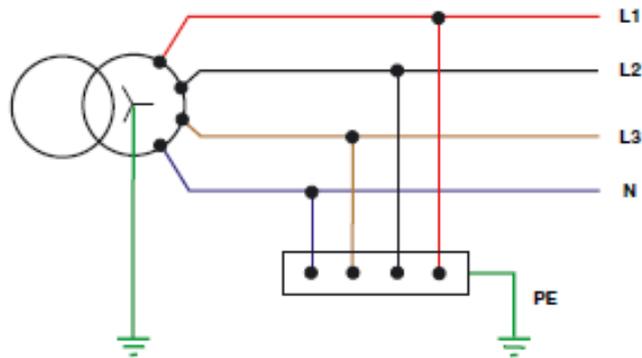
TT

T = Tierra para el transformador

T = Tierra para las masas metálicas

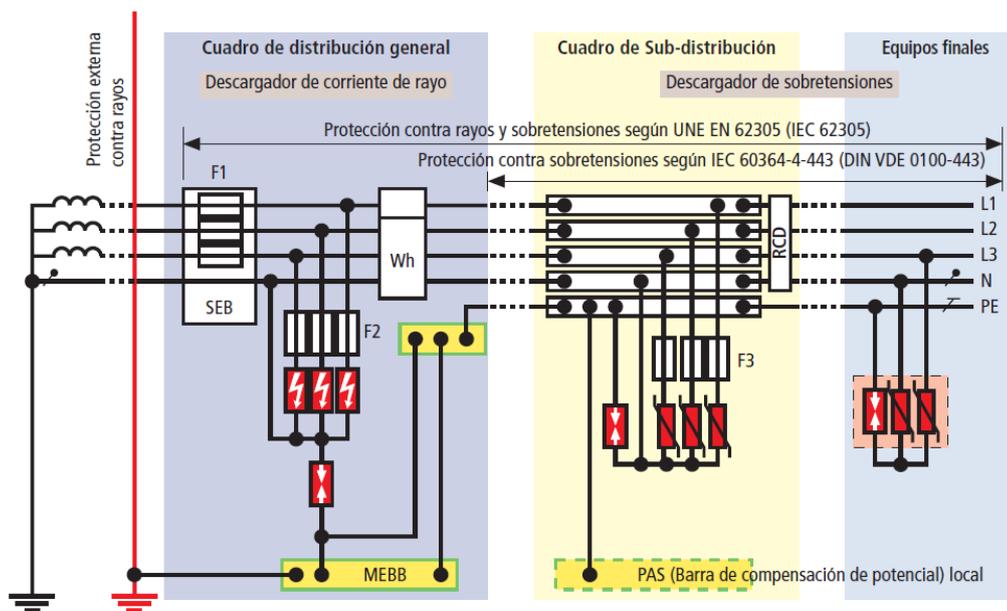
Es el esquema de conexión más empleado en la mayoría de las instalaciones por poseer una excelente característica y un buen costo operacional, el neutro de la alimentación están conectadas a tierra. Las masas de la instalación se conectan a una barra a tierra separada.

Gráfico 12.
Esquema TT sin DPS



Fuente: ABB (protección descargadores).

Gráfico 13.
Instalación de DPS en un sistema TT



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

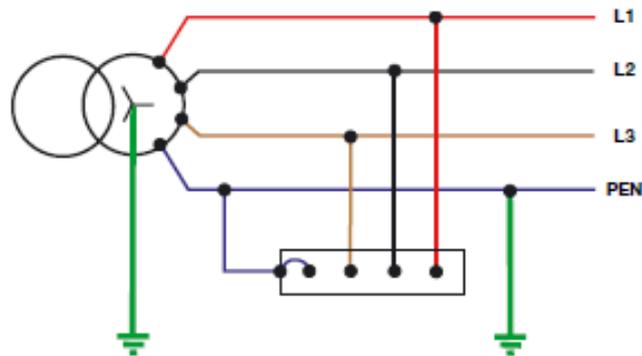
TN

T = Tierra

N = Neutro

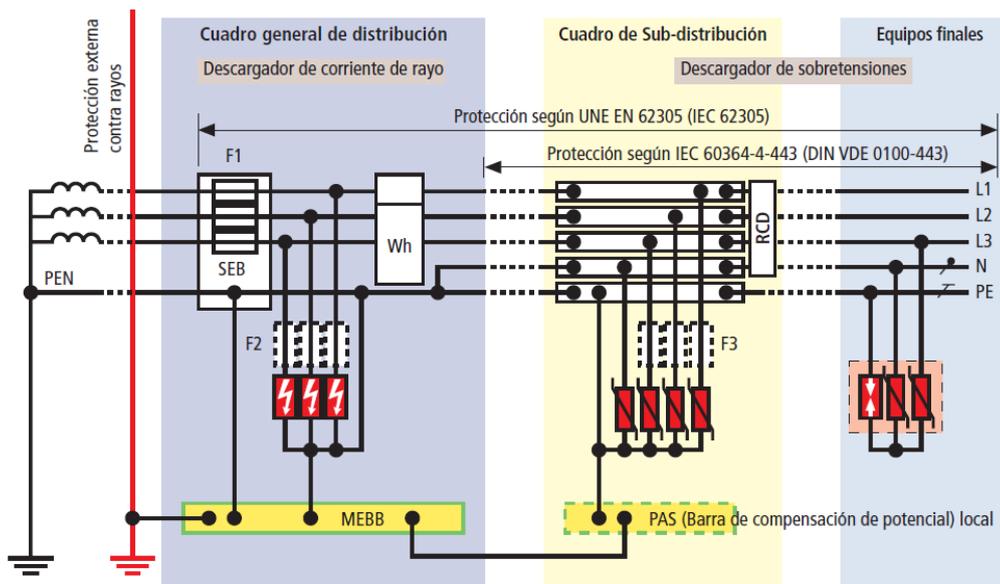
En este esquema los conductores de protección se conectan directamente al conductor de protección neutro (PEN).

Gráfico 14.
Esquema TN sin DPS



Fuente: ABB (protección descargadores).

Gráfico 15.
Instalación de DPS en un sistema TN



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

IT

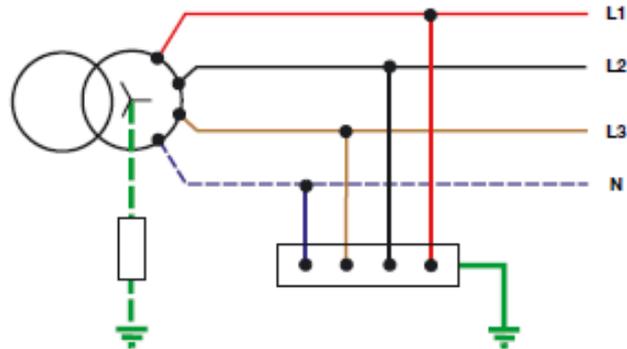
I = Independiente

T = Tierra

Este esquema es el preferido en aplicaciones en las que la continuidad del servicio es crítica como en quirófanos o en industrias con procesos sensibles. El neutro del transformador está aislado de tierra o conectado, pero a través

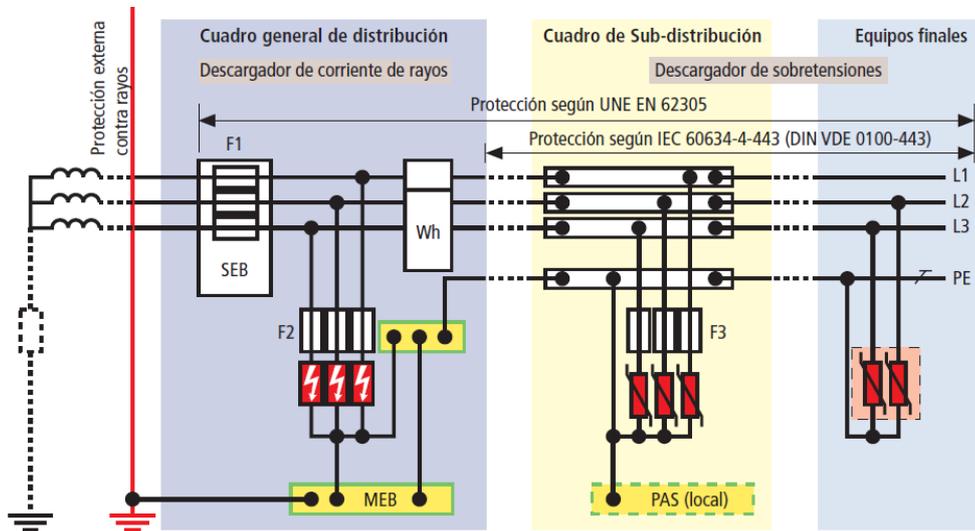
de una impedancia de un elevado valor (de 1.000 a 2.000 Ohmios) y las masas conectados a una toma de tierra exclusiva. Se requiere de una toma de tierra totalmente independiente de otras instalaciones.

Gráfico 16.
Esquema IT sin DPS



Fuente: ABB (protección descargadores).

Gráfico 17.
Instalación de DPS en un sistema IT sin conductor neutro integrado



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

- b) Durante los picos de tensión. El DPS reduce la impedancia a su propia corriente de drenaje y mantiene constante la tensión en los terminales.

En esta etapa, es importante el valor de la tensión residual (U_{res}), medida en los terminales de DPS durante el accionamiento. Este valor está identificado por U_p : el nivel de protección.

El nivel de protección es un valor seleccionado en un rango de valores normalizados inmediatamente por encima de U_{res} (ejemplo, $U_{res} = 970 \text{ V}$, $U_p = 1000 \text{ V}$). Es importante que U_p sea menor que la tensión de la resistencia de aislamiento del dispositivo que se protegerá. Este valor de tensión es relativo a la corriente de descarga nominal, que para el tipo de prueba asume una forma de onda de 8/20 μs .

En esta etapa son datos importantes sobre la corriente nominal de descarga: I_n , siendo la I_n el valor pico de corriente que el DPS es capaz de soportar sin inconvenientes. Se define testeando el DPS con una forma de onda de 8/20 μs . Otro factor importante es la I_{max} , que corresponde al valor de pico de la corriente máxima que el DPS es capaz de tener en cuenta al menos una vez, sin ser averiado. En general, es la relación: $I_{max} / I_n = 2$

- c) Fenómeno de la fase de extinción. Al final de su intervención, el DPS es atravesado por la corriente a 50/60 Hz proporcionada por el circuito de la que forma parte la corriente posterior. Es posible que el DPS no pueda volverse a abrir (característica típica de los DPS de disparo). La norma de producto estándar define al ISX como la corriente máxima que el dispositivo es capaz de soportar y extinguir, solo en el primer cruce de la media onda cero. Este valor actual, típico de los descargadores de aplicación general en la conexión entre N y PE, debe ser mayor o igual a 100 A. El ISX es una corriente que el DPS es capaz de realizar de forma autónoma. Si la corriente de cortocircuito del sistema donde está instalado el DPS supera ISX, el DPS debe ser protegido mediante dispositivos adecuados (por ejemplo, fusibles) para asegurar la extinción del arco.

2.2.3.1. Características eléctricas y aplicación práctica del DPS

Para elegir el tipo de DPS que se debe instalar en un sistema, es necesario conocer sus características eléctricas.

- a) Tensión nominal (U_n): tensión nominal de la fuente de alimentación (por ejemplo, 230 V). Es necesario conocer el valor de la tensión nominal de la instalación a proteger y verificación de la $U_n < U_c$, aunque estos datos no se encuentran en la placa de un DPS, pero si en la hoja técnica de instalación, indica el nivel de protección y el tipo de equipo a proteger.
- b) Corriente de operación continua (I_c): corriente que fluye a través de cada modo de protección del DPS, cuando es energizado a la tensión máxima de operación continua U_c para cada modo.
- c) Resistencia a la sobretensión temporal (UT): es el valor de sobretensión eficaz o continua máxima que el DPS puede resistir y que sobrepasa la U_c para un tiempo específico de duración.
- d) Densidad de descargas de rayos N_g : expresa el número de descargas de rayos sobre el suelo por kilómetros cuadrado y por año.
- e) Nivel de protección de tensión (U_p): este parámetro caracteriza el funcionamiento del DPS limitando la tensión a través de sus terminales. Este valor debe ser superior que el más valor alto de la tensión limitante medida en la instalación que se protegerá. El (U_p) es el máximo valor instantáneo de un equipo conectado después de un DPS. El nivel de protección determina el lugar de instalación del dispositivo de protección en redes de energía.

Los valores más comunes para una red de 230/400 V son: 1 kV - 1,2 kV - 1,5 kV - 1,8 kV - 2 kV - 2,5 kV.

Fundamentos de productos

Según la coordinación del aislamiento de los equipos en sistema de baja tensión.

Gráfico 18.
Nivel de protección de tensión (Up)

Material electrotécnico	Material eléctrico Conteniendo electrónica Poco sensible	Material electrónico sensible	Material electrónico muy sensible
			
Sistemas de maniobra y corte	Electrodomésticos: Lavadora, frigoríficos- HIFI, televisor, DVD. Ofimática: Ordenadores, impresoras. Maquinas: Herramientas automatas.	Redes y salas informaticas: Centrales de alarma. Cajeros automaticos Sistemas domesticos y de transmisión (modem)	Servidores informáticos: Camaras de vigilancia Basculas electrónicas profesionales: equipos medicos Sistemas de alimentación ininterrumpida
Nivel de protección definido Up 1.8 a 2.5 kV	Nivel de protección definido Up 1.5 a 1.8 kV	Nivel de protección definido Up 1 a 1.5 kV	Nivel de protección definido Up 0.5 a 1 kV

Fuente: ABB (protección descargadores).

- f) Tensión máxima continua (UC): es la tensión por debajo del cual no se activa el DPS y debe ser al menos igual a 110% de la tensión nominal del sistema (Un). Por ejemplo, Uc DPS Clase II es igual a 275 V (250 V + 10%).

Este parámetro es el primer criterio para la elección del DPS y está conectado a la tensión nominal de la red, como se indica en la tabla 3 (Norma IEC 64-8 / 2), que tiene el menor valor de la Uc como una función del sistema de distribución.

Según los sistemas de conexión a tierra: La tensión máxima continua Uc de un limitador de sobretensiones no debe ser inferior a la tensión de funcionamiento nominal de sus terminales.

Tabla 3.
Valores de la tensión máxima continua

Esquemas de regímenes de neutro	TT	TN-S	TN-C	IT
Valor de la U_c en modo común	$\geq 1.5 U_0$	$\geq 1.1 U_0$	$\geq 1.1 U_0$	$\geq 1.732 U_0$
Valor de la U_c en modo diferencial	$\geq 1.1 U_0$	$\geq 1.1 U_0$	-	$\geq 1.1 U_0$

U_c : Tensión simple de la red entre fase y neutro (230/240 V).
 U_0 : Tensión máxima de régimen permanente.

Fuente: Empresa Schneider Electric (protección contra sobretensiones).

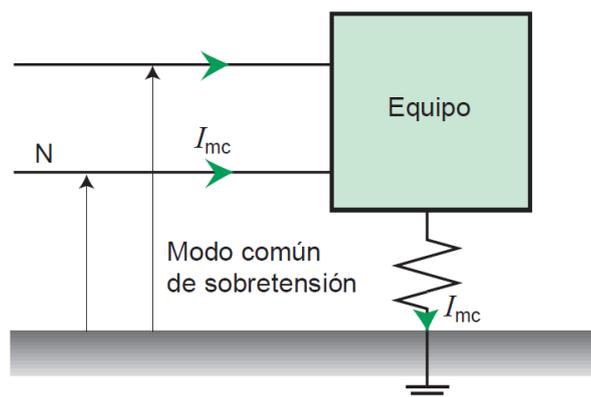
Definición modo común y diferencial:

Modo común

Las sobretensiones en modo común se producen entre las partes activas y la tierra: fase/tierra o neutro/tierra.

Resultan especialmente peligrosas para los dispositivos cuyas estructuras (masa) se encuentren conectadas a tierra, debido al riesgo de defecto dieléctrico.

Gráfico 19.
Modo común

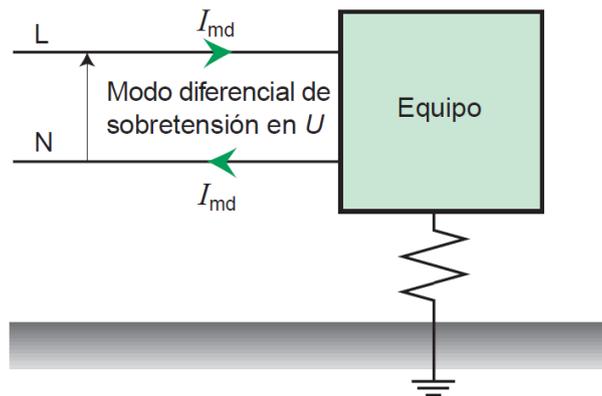


Fuente: Empresa Schneider Electric (protección contra sobretensiones).

Modo diferencial

Las sobretensiones en modo diferencial circulan entre los conductores activos de fase/fase o fase/neutro. Resultan especialmente peligrosas para los equipos electrónicos, los equipos informáticos sensibles, etcétera.

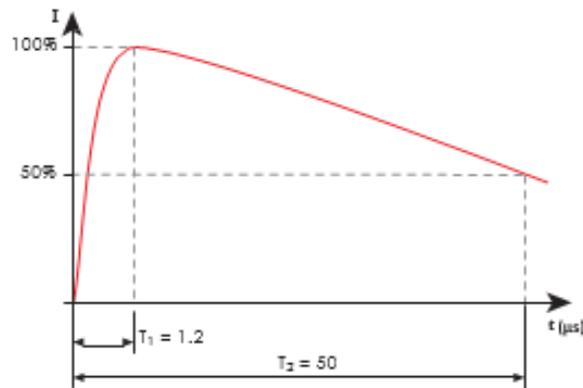
Gráfico 20.
Modo diferencial



Fuente: Empresa Schneider Electric (protección contra sobretensiones).

- g) Tensión en vacío (U_{oc}): Este parámetro es característico de DPS Clase III y corresponde al valor máximo de la tensión en vacío del generador de ensayo de tipo combinado que tiene forma de onda de 1,2 / 50 Kv/ μ s (gráfico 21), capaz de proporcionar una forma de onda de corriente con los 8/20 ns (gráfico 22). El generador de patrones de tipo combinado se utiliza para la clasificación de rendimiento Clase III DPS.

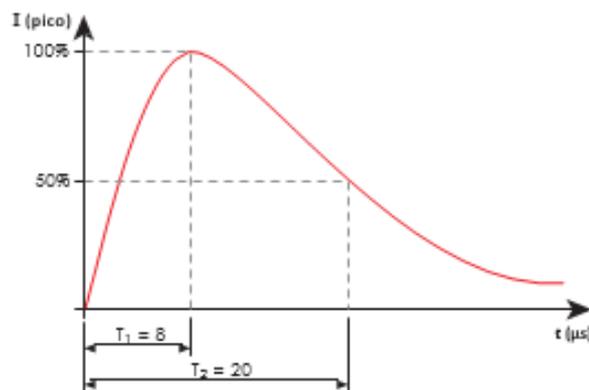
Gráfico 21.
Forma de onda de tensión 1,2/50 μ s



Fuente: Empresa FINDER (guía-DPS).

- h) Corriente de descarga nominal (I_n 8/20): Es el valor de pico de la corriente que fluye a través del DPS cuando se prueba con una forma de onda de 8/20 KA/ μ s. Las normas de la serie europea EN 62305 prescriben esta forma de onda para simular las corrientes inducidas por la caída de rayos en las líneas de energía y la prueba característico de los DPS de Clase II.

Gráfico 22.
Forma de onda de corriente 8/20 μ s

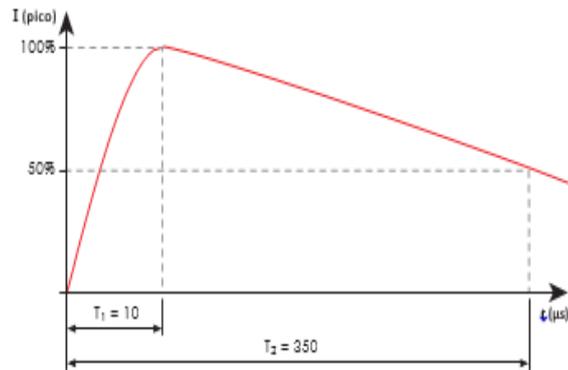


Fuente: Empresa FINDER (guía-DPS).

- i) Corriente de descarga máxima (I_{max} 8/20): Valor pico de la forma de onda de corriente máxima de 8/20 kA/ μ s que el DPS puede descargar, al menos, una vez sin romper la corriente del pulso [Iimp

10/350]. Corresponde con el valor de pico del pulso en forma de onda 10/350 KA/ μ s con el que se prueba el DPS Clase I. Esta forma de onda se utiliza para simular el impacto de un primer rayo.

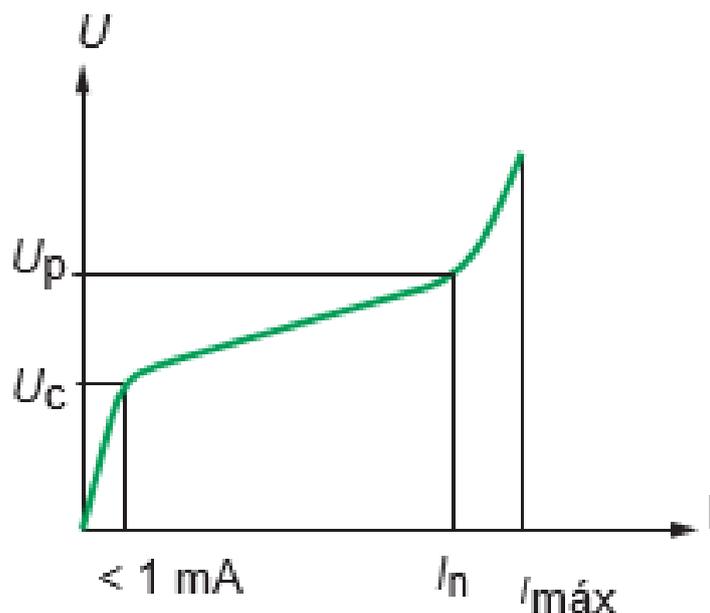
Gráfico 23.
Forma de onda de corriente 10/350 μ s



Fuente: Empresa Finder (guía-DPS).

- j) Corriente de impulso de rayo (Iimp): Es una curva de corriente de choque normalizada con la forma de onda 10/350 kA/ μ s. Esta corriente con sus parámetros reproduce los esfuerzos propios de las corrientes de rayos naturales. Los aparatos de descargadores de corrientes de rayo deben derivar repetidas veces estas corrientes, sin resultar destruidos.
- k) Tensión residual (Ures): Se trata del valor máximo de cresta de la tensión que aparece en los bornes de un DPS debido al paso de una corriente de descarga. El limitador de sobretensiones se caracteriza por U_c , U_p , I_n y $I_{m\acute{a}x}$ (véase gráfico 24).

Gráfico 24. Tensión residual (Ures)



Fuente: Empresa Schneider Electric (protección contra sobretensiones).

l) Sobretensión temporal (UT): Es el valor de sobretensión eficaz o continua máxima que el DPS puede soportar y que excede la UC para un tiempo de duración específico.

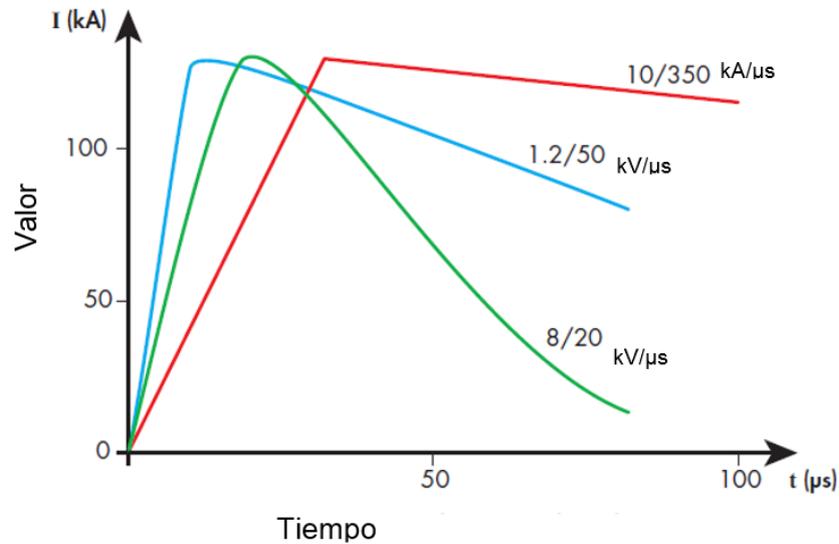
m) Corriente de seguimiento Lfi: (solo para tecnología de cámara apaga chispas).

Corriente de cortocircuito post-sobretensión que el descargador puede llegar a interrumpir por sí mismo.

n) Formas de ondas transitorias

A continuación, se representan las características de formas de onda transitoria que protegen los DPS. Haciendo referencia al gráfico 25 se observa que la contribución de energía representada, por el área bajo la curva, es mayor para la forma de onda 10/350 (típicamente la primera viga de impacto).

Gráfico 25.
Formas de ondas normalizadas



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Corriente con forma de onda de 8/20 μ s

T1 = 8 KA/ μ s es el tiempo requerido para pasar de 10 a 90% del valor ascendente en KA.

T2 = 20 μ s es el tiempo requerido para alcanzar 50% del valor descendente en microsegundos.

1,2/50 μ s, es decir, onda con tiempo de subida hasta el valor de cresta es de 1,2 μ s y tiempo de bajada hasta el 50% del valor de cresta es de 50 μ s y valores de cresta muy elevados (hasta varias centenas de kV).

2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS DPS

Los DPS se pueden clasificar por sus características, los tipos de DPS, la zonificación de los ambientes y el valor de la resistencia a los impulsos de aparatos apoyados en la electrónica. Información útil para comprender mejor el mundo de los DPS.

Los dispositivos de protección contra rayos y sobretensiones para baja tensión están regulados por la Norma Internacional Electrónica Comisión (IEC) 61643-1

segunda edición 2005/03, la Federación Alemana de Industrias (VDE 0675-6, ya retirada) y la norma europea (EN) 61643-11. Según estas normas, los DPS se subdividen según el test de prueba en tres categorías indicadas a continuación.

Tabla 4.
Clasificación de los DPS según las normas VDE, IEC

Norma Tipo/Denominación	E DIN VDE 0675-6 con A1, A2etc. (Ya retirada)	IEC 61643-1 2005	EN 61643-11 2002
Descargador de corriente de rayo – Descargador Combinado	Descargador de clase de exigencia B	DPS clase I	DPS tipo 1
Descargador de sobretensión para cuadros de distribución, sub distribución, instalación fija	Descargador de clase de exigencia C	DPS clase II	DPS tipo 2
Descargador de sobretensión para tomas de enchufe/Equipo final	Descargador de clase de exigencia D	DPS clase III	DPS tipo 3

Fuente: Manual de protección contra rayos (www.DEHN.de).

Clase I: A esta clase pertenecen los DPS probados por el fabricante con un generador de forma de onda de 10/350 μ s. Esta forma de onda se utiliza para simular el impacto de una primera actuación descargando la corriente del rayo, en función de la corriente del impulso de rayo I_{imp} . Se instala como protección primaria de cabecera de la instalación. Punto de entrada entre el transformador y el primer medio de desconexión (en tableros de distribución principales a la salida del transformador).

Se prueban por medio de 20 sobretensiones, de las cuales 15 son de onda 8/20 μ s de magnitud igual a la corriente nominal del equipo y 5 son de onda 10/350 μ s, la misma magnitud que la corriente pico del rayo dimensionado para el equipo. Se requieren en edificios equipados con pararrayos.

Para dimensionar este DPS, se divide el 50% la corriente pico del rayo entre el número de fases de la acometida, así:

$$DPS \text{ clase I }_{dim} = \frac{0,5 I_{imp}}{n_f} \quad \text{Ecu. (6)}$$

Donde:

limp: Es la corriente de impulso del rayo, depende del nivel de protección de la instalación.

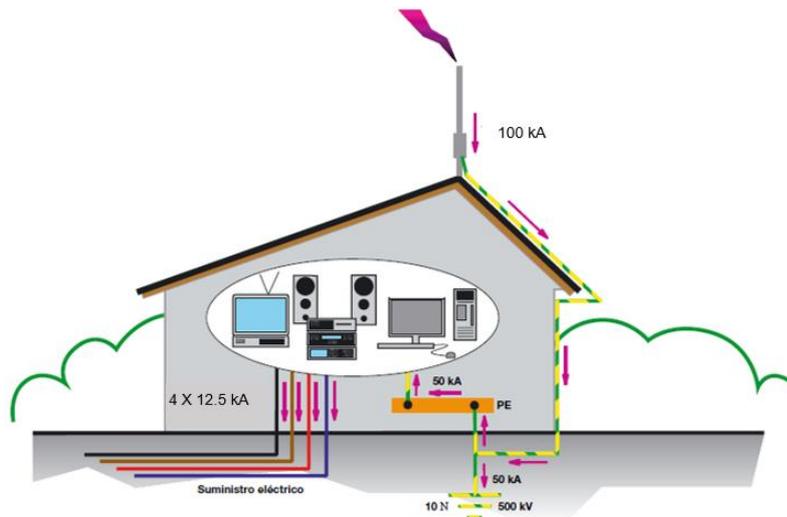
nf: número de fases de la acometida.

Criterio operacional.

La capacidad de actuación de un protector contra sobretensiones está determinada por sus características eléctricas y se debe elegir según el nivel de riesgo. La elección de limp para protectores contra sobretensiones de tipo 1 en caso de una descarga directa de rayo de 100 kA (alrededor del 95% de las descargas son de menos de 100 kA, según el IEC 61 024-1-1 anexo A, valores básicos de los parámetros de descargas de rayos) es de 12,5 kA para cada línea de alimentación eléctrica.

Gráfico 26.

Limp para dispositivo de protección contra sobretensiones del tipo 1



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

ABB recomienda una limp mínima de 12,5 kA para protectores contra sobretensiones de tipo 1 a partir del siguiente cálculo:

- Corriente por descarga directa de rayo considerada I: 100 kA (solo el 5% de las descargas > 100 kA).

- Distribución de la corriente dentro del edificio: 50% a tierra y 50% a la red eléctrica (según los estándares internacionales IEC 61643-12 Anexo I-1-2).
- Distribución igual de la corriente en cada uno de los conductores (3 L + N):

$$I_{imp} = \frac{50 \text{ kA}}{4} = 12,5 \text{ kA.}$$

Ecu. (7)

Clase II: Esta clase de DPS se pone a prueba con un generador de forma de onda 8/20 μ s, y corriente de descarga I_n en kA. Son descargadores de sobretensión transitorias (originadas por descargas de rayo indirectas, conmutaciones en alta, inducciones, etcétera). Se instala como protección de alimentadores de gran potencia y circuitos ramales cortos (se encuentra en tableros de distribución secundarios).

Se prueban con 15 sobretensiones 8/20 μ s de magnitud igual a la corriente nominal de descarga I_n en kA. Después es sometido a 5 sobretensiones 8/20 μ s con pico de corriente máxima I_{max} .

Es el protector que cubre más tipos de riesgos, porque hace frente a las sobretensiones más frecuentes de conmutación, maniobra y descargas indirectas de rayos. Además, complementa al DPS Clase I en edificios sin pararrayos.

Criterio operacional.

Ejemplo, si tenemos un poste externo equipado con un sistema de aterramiento de 5 Ω que soporta un valor de tensión (U_t) de 10 kV del que se deriva los cables de BT a una casa, supongamos que una sobretensión con forma de onda de 8/20 μ s y una amplitud de 2 kA se propaga por la línea, se considera que el DPS tiene una tensión residual de 1.5 kV.

Para encontrar el DPS adecuado para la descarga de corriente a tierra entre la línea de tierra, ¿tenemos una diferencia de potencial indicada para tres fases?

Solución

Tensión residual del DPS $U_{res} = 1.5$

Tensión de longitud de los conductores entre el DPS y el equipo $\Delta U = 2 \text{ Kv}$

Resistencia del aterramiento = 5Ω

Valor de tensión que soporta la puesta a tierra $U_t = 10 \text{ kV}$

$$U_{DPS} = U_{res} + \Delta U + U_t \quad \text{Ecu. (8)}$$

Entonces:

$$U_{DPS} = 1.5 + 2 + 10 = 13.5 \text{ kV}$$

Clase III: Esta clase de DPS se pone a prueba con un generador de tipo combinado, lo que genera una tensión sin carga de forma de onda de $1,2 / 50 \mu\text{s}$, capaz de desviar el valor de corriente nominal para la forma de onda de $8/20 \mu\text{s}$.

Es un descargador de sobretensión para protecciones específicas de equipos finales de baja tensión contra sobretensiones de menor magnitud. Como protección, se instala lo más cerca posible del equipo sensible y costoso de la industria y en edificaciones. Por lo general, en zonas de enchufe. Se prueba con corrientes de choque con forma de onda de $8/20 \mu\text{s}$.

2.2.5. COORDINACIÓN ENTRE DPS

La coordinación energética tiene como premisa que los DPS no se instalan para proteger solo una parte específica de la instalación o un tipo de usuario. Por el contrario, su objetivo es generar un régimen de protección multinivel que garantice la seguridad de todos sus usuarios y la instalación. Porque si la longitud del cable excede los 10 metros a mayor distancia ciertos fenómenos eléctricos pueden multiplicar por dos la tensión residual de la protección.

Ahora bien, la coordinación de los DPS busca la sincronización de todos los elementos, de manera que cada uno opere en el instante adecuado y según con las necesidades proyectadas en su instalación. Es decir, desde el DPS Clase I, instalado para soportar las corrientes de impulso de rayo, hasta el DPS de Clase III, instalado para proteger los equipos de mayor sensibilidad, se necesita que cada uno mitigue la cantidad de energía de rayo para lo que fue dimensionado, sin generar sobrecargas y sin destruirse.

La instalación coordinada de DPS puede realizarse bajo uno de los siguientes principios:

1. Coordinación de la característica tensión/corriente (sin elementos de desacople): Al garantizar una correcta relación tensión/corriente entre los DPS, no es necesario usar elementos de desacople y los dispositivos se activarán correctamente. Es decir, si los DPS corresponde efectivamente a los niveles de protección de cada zona, se activarán y no se producirán daños. Esta coordinación es efectiva cuando se realiza por medio de diodos supresores o la combinación de vía chispas/varistor.
2. Coordinación con elementos de desacople: La coordinación basada en elementos de desacople busca garantizar la activación de los dispositivos cuando se presenta una sobretensión. El elemento de desacople es una inductancia concentrada (bobina de desacople) o la inductancia propia de los conductores de conexión. Su objetivo es generar una caída de tensión que garantice el reparto de energía.

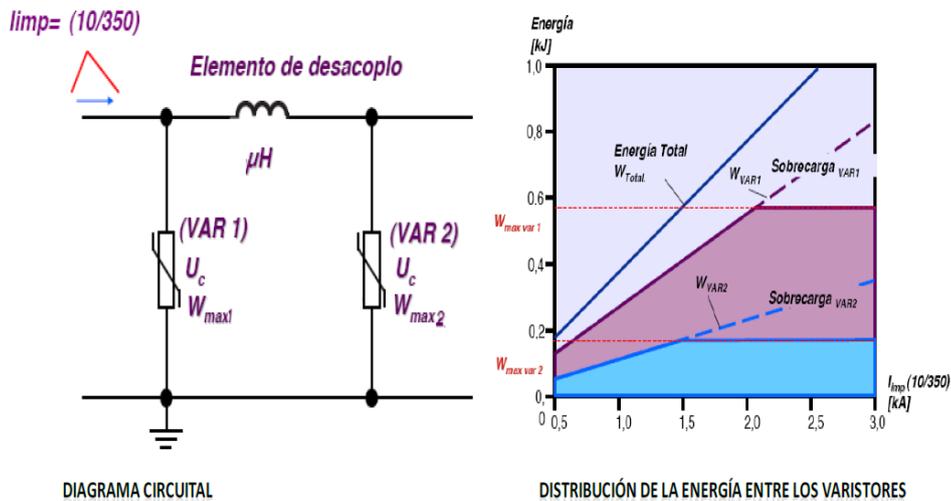
Para los descargadores de sobretensiones de rayo más habituales son suficientes bobinas de desacoples con una inductancia mayor μH , asegurando una correcta coordinación energética y una extensión de la vida útil.

Esta forma de coordinación no es efectiva cuando la forma de onda tiene un valor de pendiente bajo. En estos casos el elemento de desacople debe ser una resistencia. Las resistencias se usan también como elementos de desacople en los sistemas electrónicos sensibles que no soporten interferencia inductiva.

Este método es usado en las siguientes situaciones:

- Coordinación con dos elementos de protección limitadores de tensión: Cuando se instalan dos o más MOV en cascada, es necesario utilizar bobinas de desacople que aseguren que la energía disipada por cada DPS no supere su nivel soportable de energía.

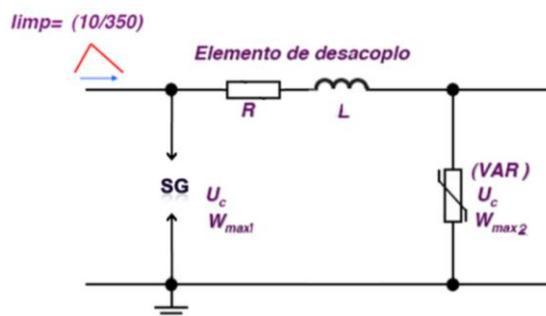
Gráfico 27.
Coordinación de dos DPS limitadores de tensión



Fuente: (Coordinación energética entre descargadores, 2010), pág. 100.

- Coordinación entre un DPS accionado por tensión y un DPS limitador de tensión: el circuito consiste en un primer DPS accionado por tensión, vía chispas, una impedancia RL (resistencia-inductancia) y un DPS limitador de tensión o varistor de óxido metálico (MOV). Si la tensión a través del vía chispas es suficientemente grande, este conducirá y puenteará la corriente para que no circule por el MOV. Tras accionar el vía chispas, la energía restante se disipará en la resistencia y en el MOV.

Gráfico 28.
Coordinación entre un DPS activado por tensión y un DPS limitador de tensión

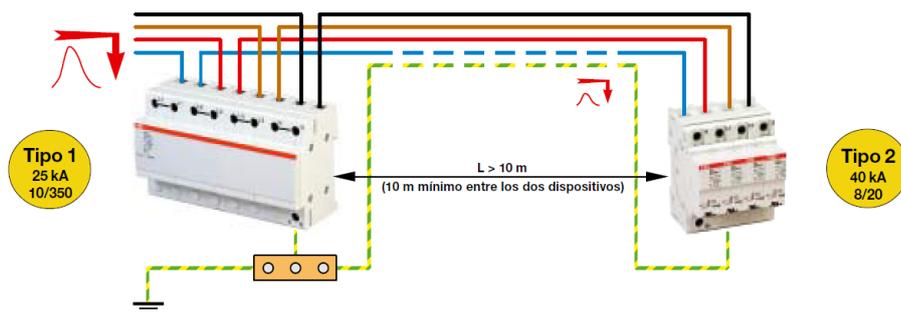


Fuente: (Coordinación energética entre descargadores, 2010), pág. 101.

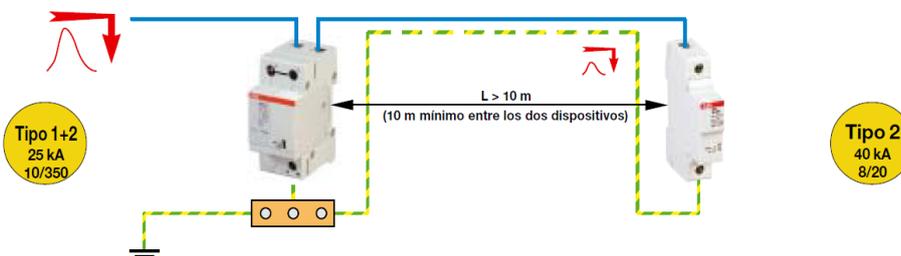
- Coordinación entre protectores contra sobretensiones modulares de tipo 2 coordinado con el tipo 1.

Paso 1: Coordinación entre dispositivos protectores contra sobretensiones del tipo 1 y tipo 2.

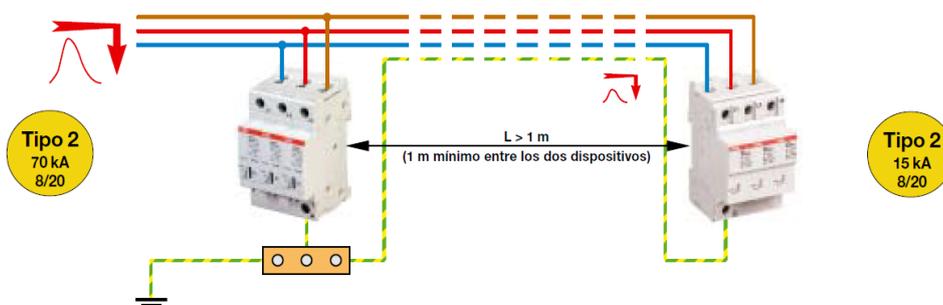
Gráfico 29.
Coordinación entre dispositivos protectores contra sobretensiones



Paso 2: Coordinación entre dispositivos protectores contra sobretensiones del tipo 1 + 2 y del tipo 2.



Paso 3: Coordinación entre dispositivos protectores contra sobretensiones del tipo 2.



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

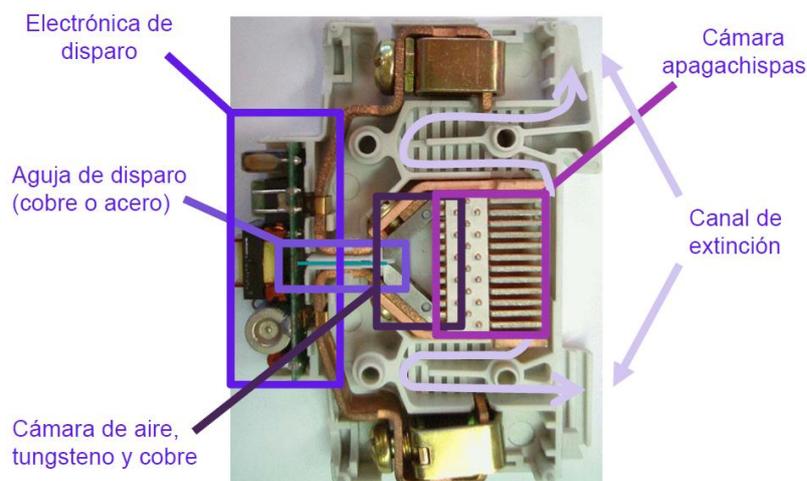
El análisis de la coordinación de los dispositivos protectores contra sobretensiones de tipo 2 se realiza utilizando sus corrientes máximas de descarga respectivas $I_{m\acute{a}x}$ (8/20), comenzando desde el tablero principal de entrada de la instalación y procediendo hacia el equipo que se desea proteger, considerando la reducción progresiva en la $I_{m\acute{a}x}$ (paso 3). Por ejemplo, 70 kA seguido de 15 kA, los protectores ABB de tipo 2 coordinados unos con los otros, respetando una distancia mínima de 1 metro entre ellos, para el mismo tablero eléctrico.

2.2.6. COMPONENTE PRINCIPAL DEL DPS

Las tecnologías usadas en la fabricación de DPS han evolucionado a través del tiempo, desde el explosor común al uso de diodos de silicio. Ahora se revisarán las características de las tecnologías disponibles más usadas, se describirá su operación, sus ventajas y desventajas. Sin embargo, todas las tecnologías buscan mantener el nivel de aislamiento a un estado de tensión aceptable y entrarán en funcionamiento cuando se sobrepase este nivel. Las diferencias van encaminadas hacia la eficiencia, vida útil y compatibilidad electromagnética. En la tecnología de cámara apagachispa más electrónica comprende las siguientes características.

Principio de funcionamiento

Gráfico 30.
Características del DPS



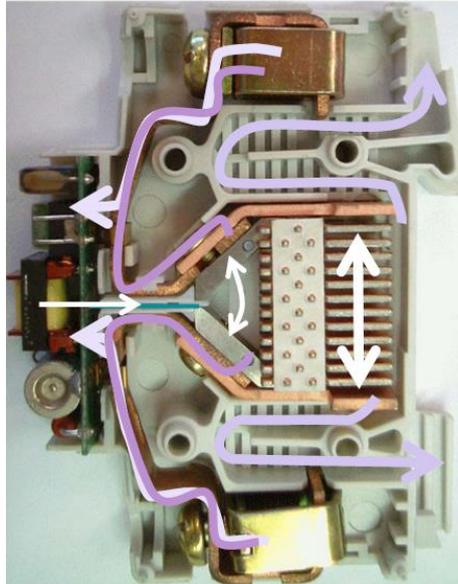
Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Gráfico 31.
Principio de funcionamiento DPS

Cuando se crea una sobretensión, la electrónica la detecta y la amplia

En esta fase, una chispa se genera en la cabeza de la aguja

La chispa ioniza la cámara de aire creando un arco, de modo que la sobretensión se deriva a tierra



El gas caliente pasa a través del canal de extinción para evitar riesgo de incendios

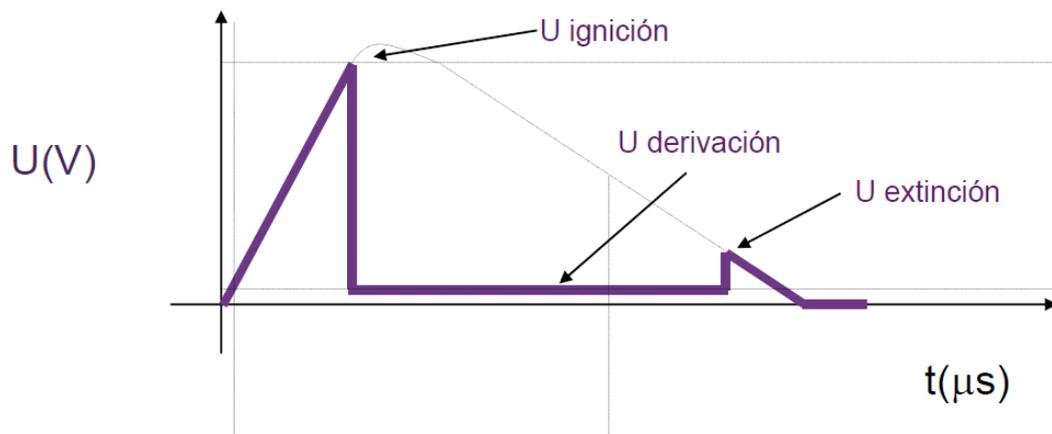
Una vez la sobretensión se lleva a tierra, el arco generado en la cámara de aire se extingue en la cámara apagachispas



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Tecnología de cámara apagachispa mas electrónica, comportamiento ante una sobretensión.

Gráfico 32.
Comportamiento ante una sobretensión transitoria



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

En tecnologías de DPS se ofrecen las siguientes alternativas:

DPS vía chispas Spark Gap: Es de tipo conmutación de tensión. Su principio de operación es presentar al momento de una sobretensión una impedancia a tierra baja que asegura una vía rápida de descarga. Básicamente, este DPS consiste en dos electrodos opuestos a determinada distancia en una caja aislada que establecen una conexión equipotencial conductiva temporal.

Los DPS vías chispas pueden ser encontrados en dos modalidades:

- a) Vía chispas abierto: Los DPS vía chispas abiertos poseen gran capacidad de descarga de corriente de impulso de rayo ($I_{imp} = 50 \text{ kA } 10/350 \mu\text{s}$) y corrientes residuales autoextinguibles elevadas. Sin embargo, generan un plasma entre los electrodos al momento de ser operados. Este fenómeno limita la instalación del DPS.
- b) Vía chispa cerrada: La vía chispa cerrada soluciona la formación de plasma entre electrodos. Las corrientes de descarga de rayo son muy altas ($I_{imp} > 100 \text{ kA}$), pero sacrifica la capacidad de corriente residual autoextinguible del DPS reduciéndola a niveles muy bajos.

Las características del DPS vía chispas están determinadas por el material, la forma y la distancia de separación entre electrodos. Por su alta capacidad de descarga, son usados principalmente como DPS Clase I y en la transición entre las zonas de protección contra rayos ZPR0 y ZPR1. En el gráfico 33 se observa un ejemplo de un DPS vía chispas y su símbolo:

Gráfico 33.
DPS vía de chispa Spark Gap



Fuente:(www.interempresas.net/Construccion/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=39480).

- c) DPS tubo de descarga de gas: Es de tipo conmutación de tensión. Se caracteriza por comportarse en estado de reposo como una alta impedancia y pueden tener pequeños efectos capacitivos debido a su estructura. Generalmente, se presenta como un bastidor cilíndrico cerrado en sus extremos por electrodos metálicos y se llena con una mezcla de gas inerte a baja presión. Sus principales ventajas es el corto tiempo de respuesta y la alta capacidad de descarga de corriente de rayo ($I_{imp} = 100 \text{ kA}$, $10/350 \mu\text{s}$). Su desventaja es que la corriente residual autoextinguible es muy baja. Se caracteriza por su larga vida y la estabilidad de su comportamiento. En el gráfico 34 se observa un ejemplo de los DPS tubo de descarga de gas y su símbolo circuital.

Gráfico 34.
DPS tubo de descarga de gas



SÍMBOLO



**Protectores de sobretensiones tipo 2
de descarga de gas de disparo
rápido. NexTek**

Fuente: (www.directindustry.es/prod/nextek/protector-de-sobretension-tipo-2-de-descarga-de-gas-de-disparo-rapido-35105-215063.htm).

- d) DPS varistor de óxido metálico (MOV): Los MOV o varistores son DPS limitadores de tensión. Por definición, son una resistencia no lineal dependiente de la tensión. Su comportamiento esencial es la disminución de la resistencia a medida que la tensión aumenta.

Sus ventajas son:

- La resistencia ($> 1 \text{ M}\Omega$) cae en unos cuantos nanosegundos siendo de respuesta rápida.
- Posee alta capacidad de descarga.
- Amplia gama de tensiones desde 14 V a 550 V (rms). Esto permite una selección fácil del componente correcto para una aplicación específica.
- Alta capacidad de absorción de energía respecto a las dimensiones del componente y pueden ser usados sin restricciones en todos los ambientes.

Sus desventajas son:

- Los MOV siempre están en funcionamiento. Por lo tanto, presenta una pequeña corriente de fuga que acelera el desgaste del dispositivo. Este comportamiento puede ocasionar el daño total del dispositivo o interferencia con equipos muy sensibles.
- Su coordinación es más compleja.
- En altas frecuencias se comportan como una capacitancia que puede interferir en los procesos de transmisión de datos o control.

Los MOV son usados comúnmente como descargadores de onda 8/20 μs , porque para onda 10/350 μs pueden fallar en la operación y llegar a sobrecargarse hasta destruirse. Sin embargo, si existe una buena coordinación, los MOV son una buena opción por su alto nivel de descarga.

Gráfico 35.
DPS varistor de óxido metálico MOV



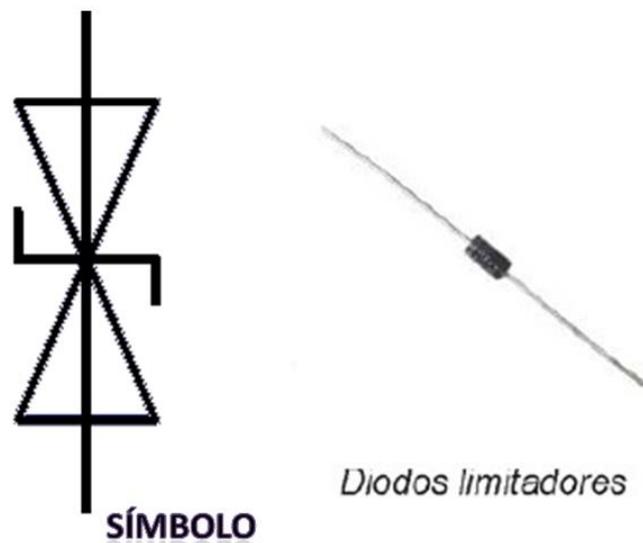
Fuente: www.leiam.com

e) DPS diodos supresores o limitadores: Los DPS de diodos supresores de sobretensiones son básicamente diodos zener de silicio. Su capacidad de corriente de descarga es baja, por lo que son usados como protección fina de elementos electrónicos sensibles. Sus principales ventajas son:

- Alta velocidad de respuesta (5 ns).
- No presentan corriente de fuga que puedan interferir con los componentes electrónicos sensibles.
- Larga vida.
- Su respuesta no está afectada por rápidas caídas de la onda de tensión de rayo.

A continuación, un ejemplo de DPS con diodos supresores y su símbolo.

Gráfico 36.
DPS con diodos supresores



Fuente: (Miniguía de sobretensión, 2007).

Actualmente la fabricación de DPS busca combinar las características de cada tecnología para mejorar los tiempos de respuesta y disminuir las deficiencias. La más común de estas combinaciones es el vía chispas/varistor, que busca incrementar la velocidad de respuesta y la

capacidad de descarga, anulando el efecto de las corrientes de fuga propias de los MOV. Por otra parte, esta combinación garantiza el funcionamiento del MOV y facilita la coordinación de aislamiento. Otras combinaciones como tubo de gas/diodos supresores también son usadas.

Las tecnologías de DPS seguirán avanzando. Sin embargo, la eficacia de la protección no depende de la tecnología, sino de una correcta selección y coordinación energética.

2.2.6.1. Tiempo de vida del DPS

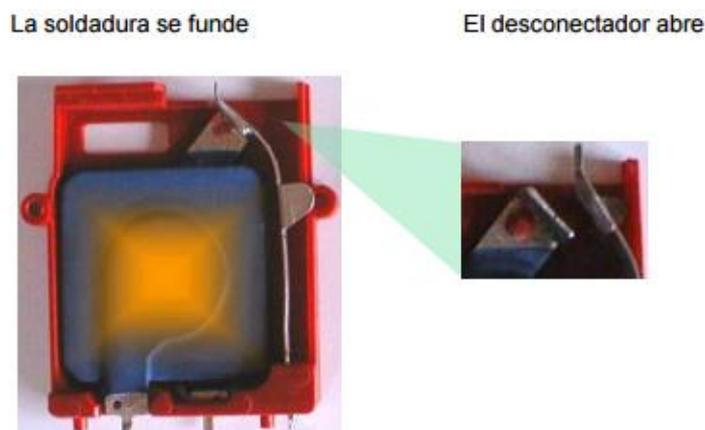
Causas del envejecimiento:

- Pérdida de neutro, originando una tensión hasta 400 v entre fase y neutro.
- Conexiones incorrectas: 400 v entre fase y neutro.
- Operaciones de conmutación.

Envejecimiento y desconexión natural

Un varistor, por su naturaleza, tiene pequeñas fugas a tierra permanentes y con el envejecimiento del varistor estas fugas aumentan. Cuando las fugas alcanzan un valor peligroso, el protector se autodesconecta (desconexión natural).

Gráfico 37.
Varistor (desconexión natural)



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Envejecimiento y desconexión abrupta

La desconexión abrupta del protector ocurre cuando este se fusiona y desconecta en acto de servicio. Es decir, descargando la sobretensión.

Gráfico 38.
Efectos de una sobretensión temporal en un protector



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

¿Cuántas descargas por sobretensión puede soportar un DPS?

Según la Norma Internacional IEC 61643-1 segunda edición 2005/03, al DPS Clase I se le practican las siguientes pruebas:

El DPS recibe en la etapa de precondicionamiento 15 sobretensiones del tipo de onda 8/20 μ s con la magnitud en kA que indica el DPS. Es decir, si el fabricante dimensionó la corriente nominal I_n en 40 kA onda 8/20 μ s, entonces le aplican 15 veces esa corriente con el DPS energizado a su tensión nominal de operación U_c y la aplicación es consecutiva.

Luego el DPS es sometido a una prueba más severa, en que recibe cinco veces el impulso de prueba $I_{m\acute{a}x}$, limp 10/350 μ s, con la magnitud de

corriente de impulso de rayo para lo que fue dimensionado el DPS. Durante la prueba el DPS estará energizado a la tensión nominal de operación U_c y la aplicación es consecutiva.

La tabla muestra la simulación del número de descargas admisibles para un protector.

Tabla 5.
Número de descargas admisibles para un protector

Intensidad máxima de descarga del protector en kA (U_{imp})	Valor de la descarga en kA (magnitud de la sobretensión)								
	100	70	40	20	15	10	5	2	1
100	1	3	15	25	75	220	530	4500	15000
70		1	3	20	50	150	400	2500	9000
40			1	5	20	40	200	1000	3000
15					1	2	20	150	1000

Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

La tabla muestra el tiempo de respuesta de los DPS ante de una sobretensión transitoria inducida por un rayo.

Tabla 6.
Tiempo de respuesta de los DPS

EVENTO	DURACION
Tiempo de actuación de un interruptor termomagnético	0,010 s = 10×10^{-3} s = 10 ms 100 veces menor que 1 segundo
Duración de una sobretensión transitoria inducida por un rayo	0,000020 s = 20×10^{-6} s = 20 μ s 1 millonésimo de 20 segundos
Tiempo de respuesta de un diodo de óxido de zinc	0,000000025 s = 25×10^{-9} s = 25 ns 1 billonésimo de 25 segundos
Tiempo de respuesta de un diodo de avalancha de silicio	0,000000000100 s = 100×10^{-12} s = 100 ps 1 trillonésima de 100 segundos

Fuente: Empresa Clamper (protección contra picos eléctricos).

2.3. PROTECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS CONTRA SOBRETENSIÓN TRANSITORIA

A medida que mejora la tecnología que se usa dentro y fuera de las estructuras, los dispositivos de protección contra sobretensiones evolucionan o son actualizados según los equipos que se requieren proteger, dando prioridad al creciente número de equipos que incorporan dispositivos electrónicos muy sensibles y conllevan a un incremento de fallas ocasionadas por la caída de rayos.

Para contrarrestar los fenómenos de sobretensiones y efectos electromagnéticos que estas descargas traen consigo, se han diseñado dispositivos de protección DPS para mitigar estos efectos.

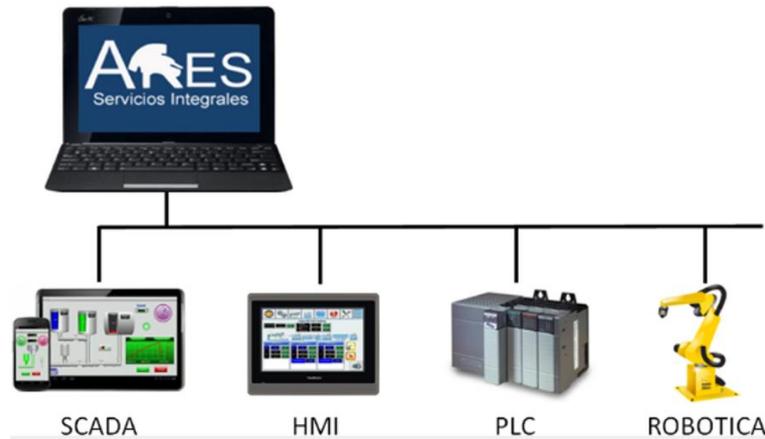
Los DPS deben tener en cuenta un parámetro que se considera fundamental en su diseño y selección. El concepto de transitorio, según la norma NTC 4552-2, es un cambio en las condiciones de energía de un sistema entre dos estados estables de corta duración. Se compara con la escala de tiempo de interés que se manifiesta como sobretensión o sobrecorriente.

¿Cuándo se debe instalar un DPS?

Es imperativamente la instalación de un dispositivo de protección contra sobretensiones cuando:

- Una falla podría afectar la vida de personas o animales.
- Alimentación: líneas de baja tensión total o parcialmente aérea.
- La instalación cuenta con pararrayo.
- Hay alto riesgo de tormentas.
- Cuando hay instalado equipos sensibles de alto costo.

Gráfico 39.
Protección industrial de equipos electrónicos

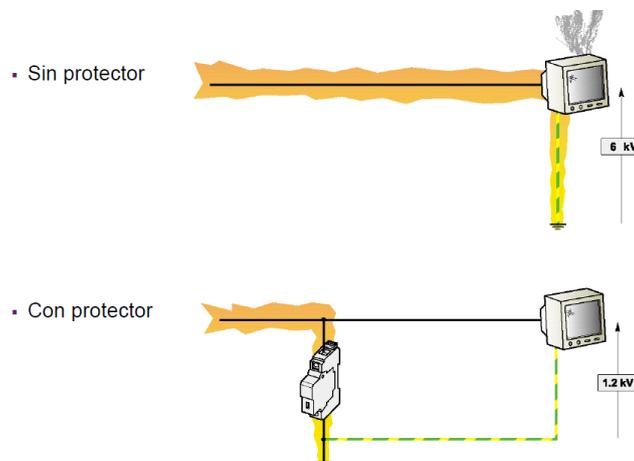


Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

¿Cuál es la función de los DPS?

Un dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias actúa como un conmutador controlado por tensión y se halla instalado entre los conductores activos y tierra en paralelo a los equipos protegidos. Cuando la tensión de la red es inferior a su tensión de activación, el protector actúa como un elemento de alta impedancia, de manera que por él no circula intensidad. Por el contrario, cuando la tensión de red es superior a la tensión de activación, el protector actúa como un elemento de impedancia próxima a cero, derivando la sobretensión a tierra y evitando que esta afecte a los receptores. Despeja la sobretensión fuera de la instalación, ya sea enviándola a la red de tierra o a la red eléctrica.

Gráfico 40.
Funcion del DPS

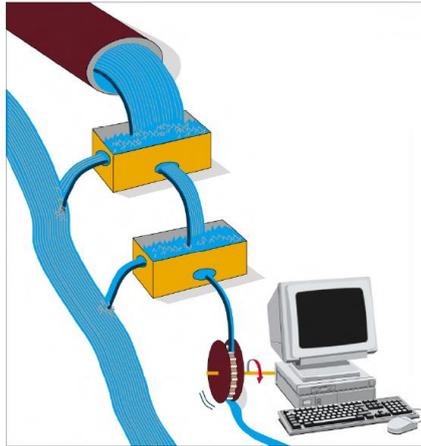


Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Descargadores de sobretensión

Un dispositivo de protección podría mantener el flujo en niveles de tensión aceptables para el equipo electrónico.

Gráfico 41.
Descargadores de sobretensión

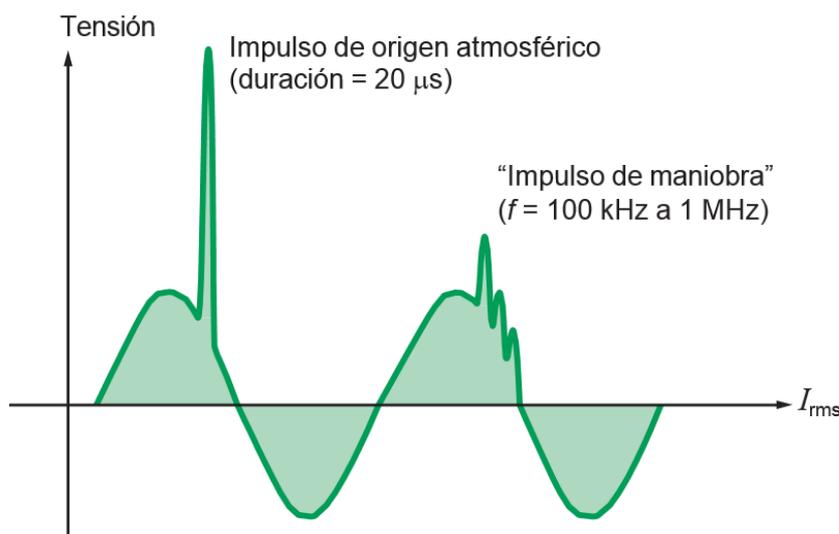


Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.3.1. ¿QUE ES SOBRETENSIÓN?

Es una onda o impulso de tensión que se superpone a la tensión nominal de la red.

Gráfico 42. Ejemplo de sobretensión



Fuente: Empresa Schneider Electric (protección contra sobretensiones).

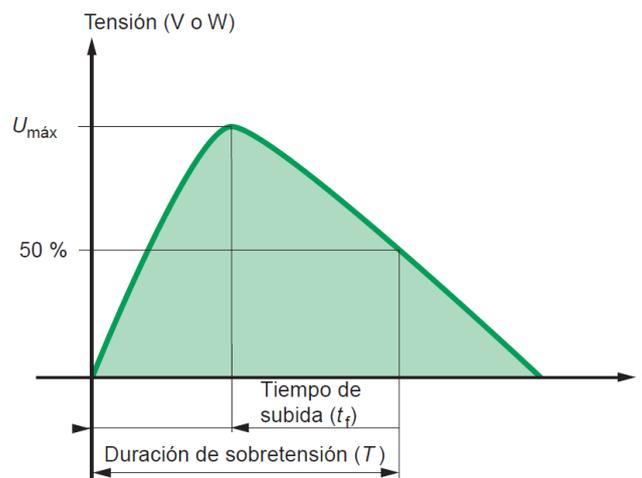
En adición a estos valores se acostumbra también a mostrar en la curva voltaje-tiempo: la tensión de resistencia de aislamiento para una sobretensión de maniobra normalizada ($100/2 \cdot 100 \mu\text{seg}$, según IEE), el voltaje de resistencia del aislamiento para frente de onda, cuyo valor se determina en el corte de la curva de tensión.

Este tipo de sobretensión se caracteriza por lo siguiente (ver gráfico 43).

- El tiempo de subida (t_f) se mide en μs .
- El gradiente S se mide en $\text{kA}/\mu\text{s}$.

Estos dos parámetros afectan al equipo y producen radiaciones electromagnéticas. Además, la duración de la sobretensión (T) produce un aumento de energía en los circuitos eléctricos que puede destruir el equipo electrónico.

Gráfico 43.
Principales características de la sobretensión



Fuente: Empresa Schneider Electric (protección contra sobretensiones).

2.3.2. SOBRETENSIÓN TRANSITORIA

Una sobretensión transitoria es un pico de tensión con una duración máxima inferior a un milisegundo. Existen tres tipos posibles de sobretensiones en las redes eléctricas de baja tensión:

- Sobretensiones de origen atmosférico.
- Sobretensiones de funcionamiento o maniobra.
- Sobretensiones producidas por descargas electrostáticas.

2.3.3. SOBRETENSIÓN DE ORIGEN ATMOSFÉRICO

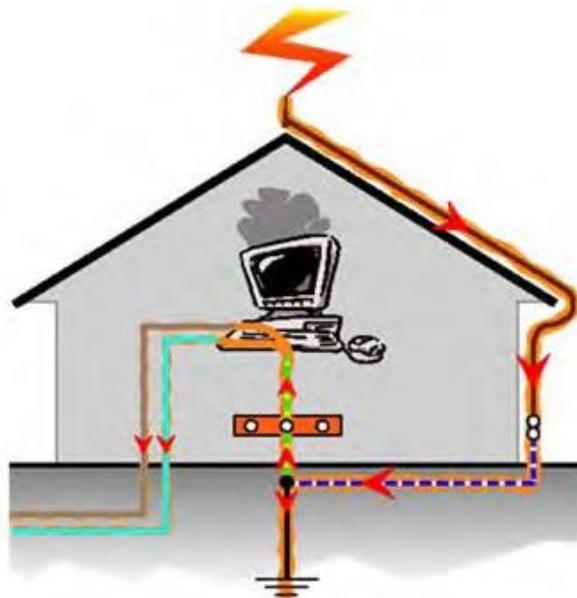
El alto nivel de energía contenida en una descarga directa de un rayo sobre un pararrayos o sobre un tendido eléctrico aéreo de baja tensión produce daños considerables en las instalaciones. La sobretensión puede alcanzar valores por encima de 20 veces la tensión nominal.

Pueden adoptar las dos formas siguientes:

a) Sobretensiones debidas a descargas directas de rayos

Cuando un rayo produce una descarga en un pararrayos o en el tejado de un edificio que esté conectado a tierra, la corriente del rayo se disipa en el suelo. La impedancia del suelo y la corriente que fluye a través del mismo crea una diferencia de potencial elevada (la sobretensión). Así, esta sobretensión inducida se propaga por el edificio a través de los cables, lo que produce daños en los equipos.

Gráfico 44.
Sobretensiones debidas a descargas directas de rayos



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Cuando un rayo produce una descarga en una línea aérea de tendido eléctrico de baja tensión, esta conduce corrientes altas que penetran en el edificio creando sobretensiones grandes. Este tipo de sobretensiones suele causar daños muy importantes (por ejemplo, un fuego en el tablero eléctrico que provoca la destrucción de edificios y equipos industriales), así como terminar con explosiones.

Gráfico 45.
Descargas directas sobre líneas de potencia aérea



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

b) Sobretensiones debidas a los efectos indirectos de las descargas de rayos

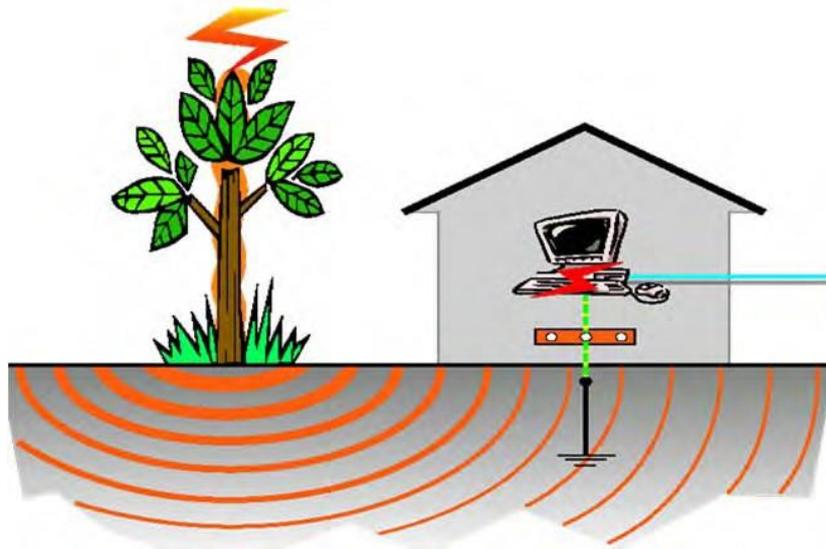
Las sobretensiones citadas también se generan cuando se producen descargas de rayos en las inmediaciones de un edificio, debido al incremento en el potencial del suelo en el punto de impacto. Los campos electromagnéticos creados por la corriente del rayo, generan un acoplamiento inductivo y capacitivo que provoca otras sobretensiones.

El campo electromagnético causado por un rayo en las nubes, también puede generar aumento de tensión repentina en un radio que puede alcanzar hasta varios kilómetros.

Aunque de forma menos espectacular que en el caso anterior, también puede causar daños irreparables a los equipos llamados sensibles como los equipos de datos, las fuentes de alimentación de ordenadores, sistemas de seguridad y comunicaciones.

Gráfico 46.

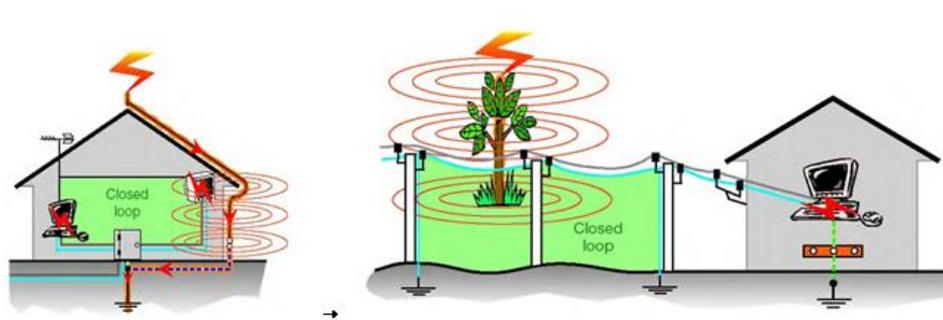
Aumento de potencial de tierra por descargas directas en elementos físicamente cercanos



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Gráfico 47.

Campo magnético y electrostático



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.3.4. SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR MANIOBRAS EN LA RED

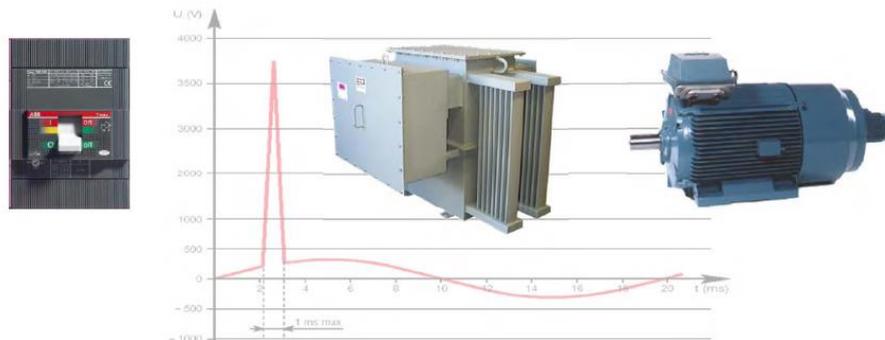
Un cambio brusco en las condiciones de funcionamiento establecidas de una red eléctrica provoca los fenómenos transitorios. Se trata, por lo general, de ondas de sobretensión de oscilación amortiguadas o de alta frecuencia. Se dice que presentan un frente lento, su frecuencia fluctúa de varias decenas a varios cientos de kilohercios.

Las sobretensiones de funcionamiento o maniobra pueden estar producidas por lo siguiente:

- Sobretensiones de dispositivos de desconexión debido a la apertura de los dispositivos de protección (fusibles, interruptor automático) y la apertura o el cierre de los dispositivos de control (relés, contactores, etcétera).
- Las sobretensiones de los circuitos inductivos debido a arranques o paradas de motores o la apertura de transformadores como los centros de transformación de MT/BT.

Las sobretensiones de circuitos capacitivos debidas a la conexión de baterías de condensadores a la red. Todos los dispositivos que contienen una bobina, un condensador o un transformador en la entrada de alimentación: relés, contactores, televisores, impresoras, ordenadores, hornos eléctricos, filtros, etcétera.

Gráfico 48.
Sobretensiones originadas por maniobras



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.3.5. SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS

En un entorno seco se acumulan cargas eléctricas y crean un campo electrostático muy fuerte. Por ejemplo, una persona que camine sobre maqueta con suelas aislantes se cargará eléctricamente con una tensión de varios kilovoltios. Si la persona camina cerca de una estructura conductora, desprenderá una descarga eléctrica de varios amperios en un periodo de tiempo de pocos nanosegundos. Si

la estructura contiene elementos electrónicos sensibles, como un ordenador, se pueden destruir sus componentes o placas de circuitos.

2.3.6. DIAGRAMA DE UNA INSTALACIÓN PROTEGIDA CONTRA LOS RAYOS Y SUS EFECTOS INDIRECTOS

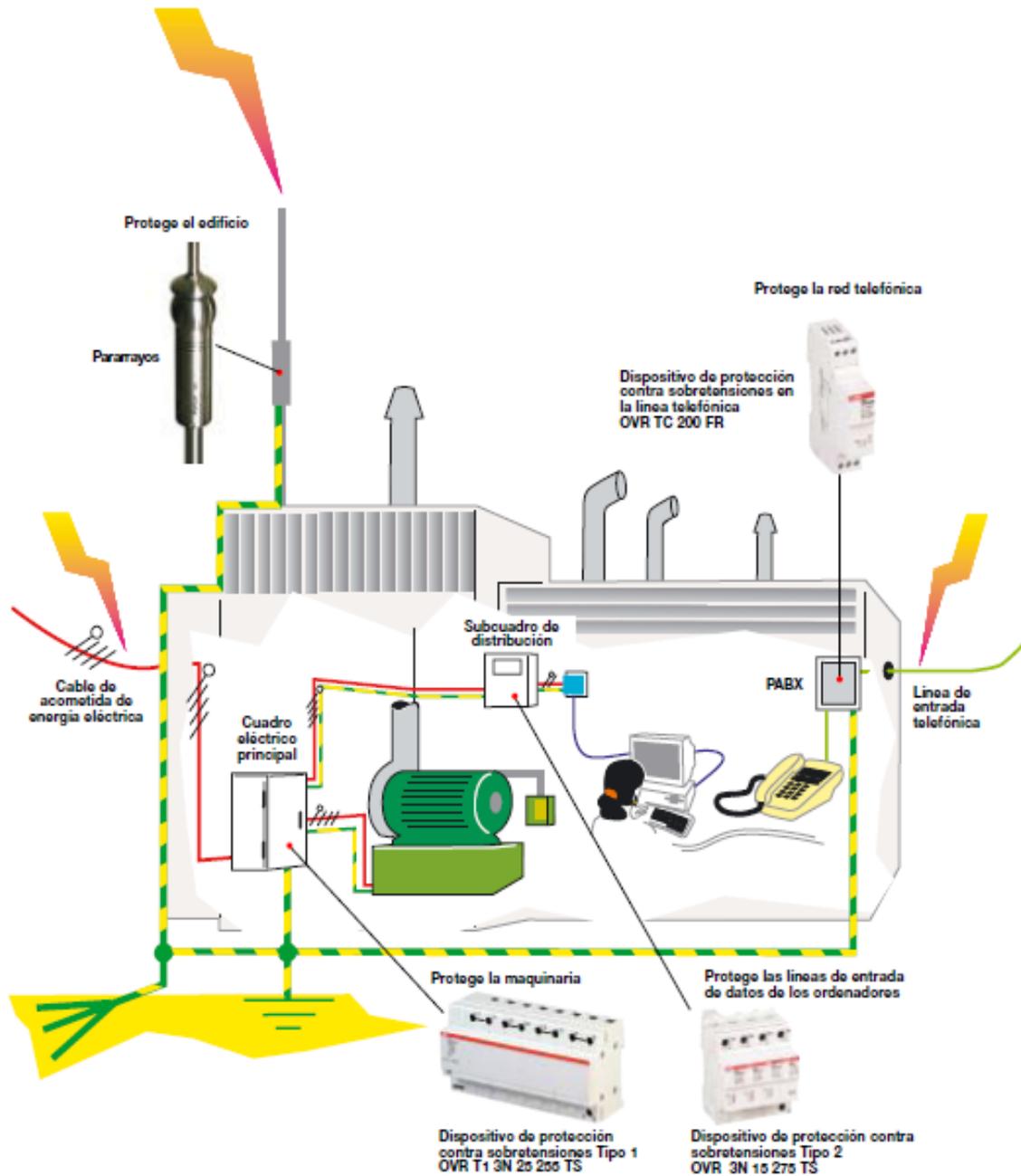
El dispositivo protector contra sobretensiones del tipo 1 (DPS marca OVR T1), montado en el cuadro eléctrico principal de entrada de la instalación, es capaz de desviar la energía de una descarga directa de un rayo. Este es el primer paso de la protección de la red eléctrica.

El comportamiento de los cables sometidos a una señal transitoria limita la eficacia de un dispositivo protector contra sobretensiones hasta 10 metros. Por consiguiente, es necesario utilizar uno o más dispositivos protectores contra sobretensiones en la instalación para obtener el nivel requerido de protección de los equipos.

Aquí se debe utilizar un dispositivo protector contra sobretensiones de tipo 2 en coordinación con el protector contra sobretensiones de entrada. Este es el segundo paso de la protección. Este se monta en serie en la red.

Por último, si hay un riesgo de sobretensión en la red eléctrica, este riesgo existe también para la red auxiliar de cableado. La protección adecuada es un dispositivo protector contra sobretensiones diseñado para proteger líneas telefónicas o de transmisión de datos (DPS marca OVR TC).

Gráfico 49.
Diagrama de una instalación protegida contra los rayos y sus efectos indirectos



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.3.7. NECESIDAD DE PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA ASOCIADA

En los protectores de tecnología de cámara apagachispas, no se prevee un fin de vida útil del protector como sí lo tiene el protector de tipo varistor. Sin embargo, también se recomienda el uso de un interruptor automático de protección (gráfico 51), porque, al descargar una sobretensión, el arco eléctrico puede quedar en los electrodos de la cámara apagachispas formando un cortocircuito permanente en el protector, dejando sin servicio algún área.

Para asegurar la continuidad de servicio en caso de muerte abrupta del protector, se debe instalar aguas arriba un interruptor o fusible.

Gráfico 50.
Protección magnetotérmica asociada



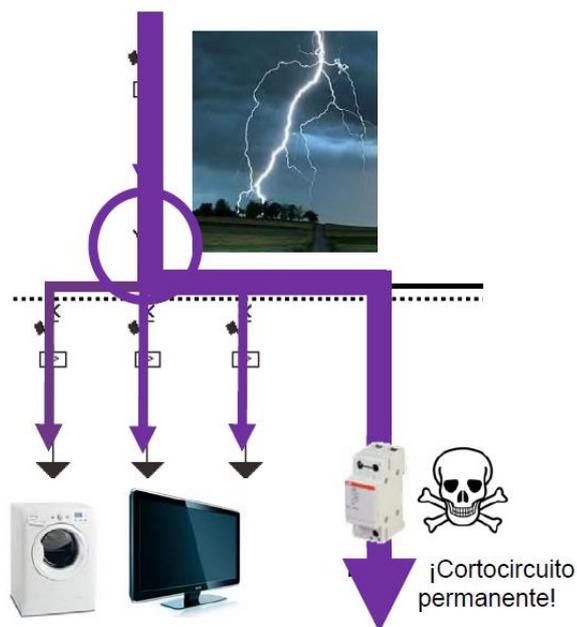
Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.3.8. PROTECTOR SIN PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA ASOCIADA

Si ocurre una sobretensión transitoria, el protector contra sobretensiones actúa. Si la sobretensión excede sus parámetros de protección, el protector se fusiona

descargando. Al fusionarse y una vez despejada la sobretensión, el protector deja un cortocircuito permanente y peligroso. En este caso, el interruptor general actúa y se da la pérdida de continuidad del servicio, por lo que se deberá cambiar de protector.

Gráfico 51.
Necesidad de protección magnetotérmica asociada

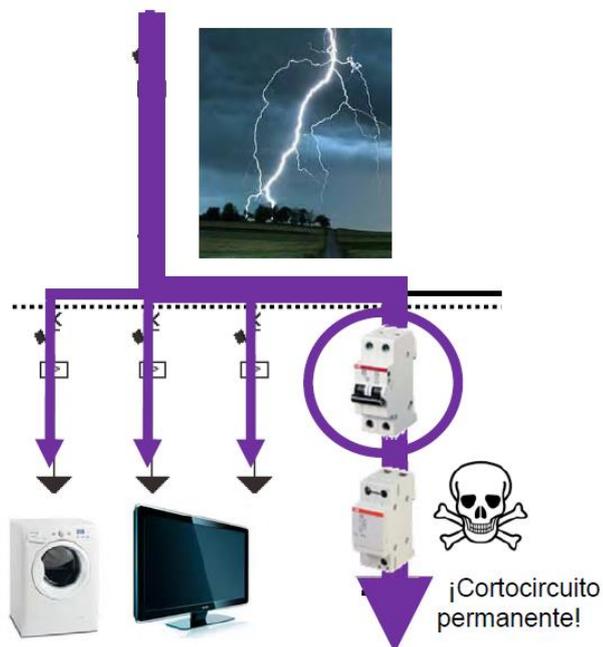


Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.3.9. PROTECTOR CON PROTECCIÓN MAGNETOTÉRMICA ASOCIADA

Si ocurre una sobretensión transitoria, el protector contra sobretensiones actúa y despeja la sobretensión a tierra. Si la sobretensión, en un caso extremo, excede sus parámetros de protección, el protector se fusiona descargando. Al fusionarse y una vez despejada la sobretensión, deja un cortocircuito permanente y peligroso. En este caso, el interruptor asociado actúa y la instalación continúa con servicio, pero se debe cambiar el protector.

Gráfico 52.
Protector sin protección magnetotérmica asociada



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.4. INFORMACIÓN GENERAL DE LOS RAYOS

ABB: Soluciones de protección contra rayos y sobretensiones

Tras la experiencia obtenida durante las últimas décadas, en Acrónimo de Asea Brown-de-Boveri (ABB) en la región de los Altos Pirineos (Sudoeste de Francia) se está aplicando su tecnología avanzada a la protección contra rayos y sobretensiones.

En abril de 2003, ABB adquirió un nuevo laboratorio con varios generadores para realizar pruebas en condiciones reales sobre el impacto de una descarga directa (onda de impulso 10/350) o indirecta (onda de impulso 8/20) de un rayo. Gracias a su amplia gama de productos, ABB puede ofrecer soluciones para la protección de redes de potencia, de señal y datos. Los seminarios realizados en el nuevo centro de formación de ABB se ajustan a las necesidades de todos los profesionales.

Estas sesiones de formación combinan aspectos prácticos y teóricos, abarcan una variada gama de puntos como la protección contra descargas directas, la protección contra sobretensiones y la compatibilidad electromagnética.

EL LABORATORIO EN IMÁGENES



- **Generador de alta potencia**
Ondas de impulso estandarizadas 8/20 y 10/350.
100 kA de máxima descarga de corriente para las dos ondas, introducidas en la red eléctrica.
800 kJ de energía almacenada.



- **Generador de 200 kV**
Onda de impulso de 1,2/50.
Máxima tensión 200 kV.
10 kJ de energía almacenada.



- **Pruebas mecánicas**
Pruebas de carga de funcionamiento de conectores y tomas de corriente.



- **Generador híbrido**
Onda de impulso estandarizada de 8/20 - 1,2/50. Máximo 30 kV, máximo 30 kA.
5 kJ de energía almacenada.



- **Pruebas eléctricas**
Prueba de corto circuito a 440 V, 5000 A.

Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

2.4.1. RIESGOS POR LA CAÍDA DE RAYOS

Alrededor de la tierra se forman constantemente de 2.000 a 5.000 tormentas al día. Estas van acompañadas de rayos, lo que constituye un riesgo grave para las personas y los equipos. Las caídas de rayos se producen a una velocidad de 30 a 100 caídas por segundo. Cada año llegan a la tierra alrededor de 3.000 millones de rayos.

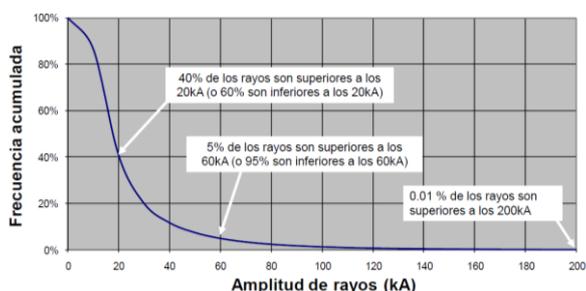
Todos los años y en todo el mundo, miles de personas sufren caídas de rayos e infinidad de animales mueren. Se producen un gran número de incendios, la mayoría se producen en granjas. Asimismo, destruyen edificios y los dejan inutilizables. Los rayos afectan también a los transformadores, a los dispositivos de medida, a los electrodomésticos y a todas las instalaciones eléctricas y electrónicas en el sector residencial e industrial.

Los edificios altos sufren a menudo caídas de rayos. El costo de las reparaciones de los daños producidos es muy alto. Es difícil evaluar las consecuencias de las interrupciones producidas en las redes informáticas, telecomunicaciones, defectos en los ciclos de los autómatas y defectos en los sistemas de regulación.

Además, las pérdidas que se producen por las paradas de maquinarias pueden tener consecuencias financieras que superen el coste del equipamiento destruido por la caída de rayos.

Los valores facilitados por el comité de protección contra rayos (comité técnico 81 de IEC). Como se observa, la mitad de las caídas de rayos presenta una fuerza superior a 33 kA y el 5% son superiores a 60 kA. Por consiguiente, las fuerzas de energía son muy altas.

Gráfico 53.
Amplitud y frecuencia de los rayos



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

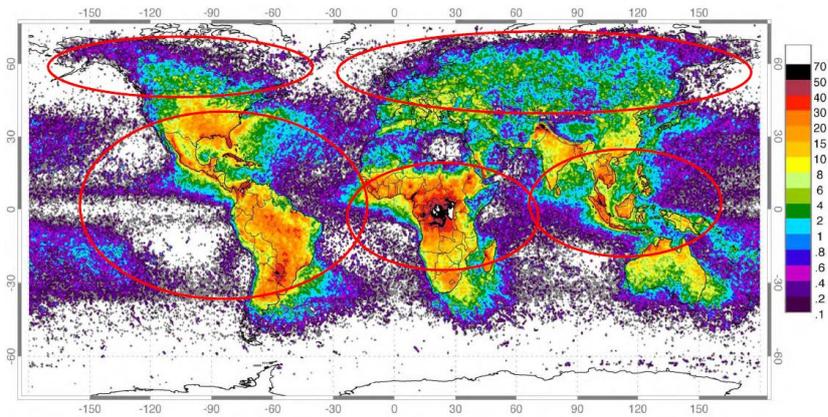
2.4.2. CÓMO DETECTAR UNA TORMENTA ELÉCTRICA

- Detección por satélite de la NASA.
 - Detección desde la tierra con SAFIR.
 - Detección desde la tierra por el Instituto Nacional de Meteorología.
- a) Datos de meteorología: Compañía de medición de rayos de 1995 a 2005 en Francia.
- • La magnitud del rayo.
 - • Intensidad del rayo: Desde 3.000 A hasta 300.000 A.
 - • La intensidad de un horno doméstico solo llega a 10 A.
 - • Velocidad del arco: 100.000 km/s.
 - • Velocidad del sonido: 0,34 km/s o 344 m.
 - • Velocidad de la luz: 300.000 km/s.
 - • Temperatura máxima: 30.000 °C.
 - • Temperatura de fusión del tungsteno: 3.410°C.
 - • Temperatura de fusión del cobre: 1085.62°C
 - • Potencia: 10.000 GW.
 - • Potencia de una minera en el Perú: 116 MW a 300 MW.

2.4.3. NIVEL ISOCERÁUNICO

Las sobretensiones de origen atmosférico son una de las principales causas de fallas y averías en redes de transporte y distribución de energía eléctrica. El cálculo de este tipo de sobretensiones se debe realizar con muchas incertidumbres, dada la naturaleza aleatoria del rayo y del conocimiento poco preciso de sus principales parámetros. El análisis de sobretensiones de origen atmosférico tiene como objetivo final determinar el riesgo de fallo en una línea por kilómetro y año.

Gráfico 54.
Mapa cerámico mundial



Fuente: Empresa ABB (protección contra sobretensiones).

Gráfico 55.
Descargas (rayo nube-tierra) y descargas (rayo tierra-nube)



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.dehn.de).

2.4.4. POLARIDAD DE LOS RAYOS

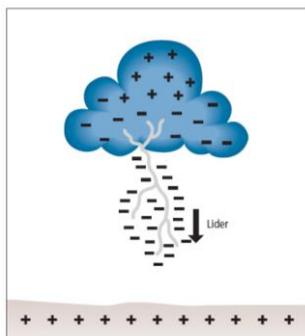
Ya se ha mencionado que en el estudio y cálculo de sobretensiones un rayo puede ser visto como una fuente de corriente que puede tener polaridad positiva, negativa o ambas en una misma descarga, lo que se conoce como onda bipolar. La polaridad que presenta una descarga de este último tipo es muy baja.

Por lo que respecta a las descargas monopolares (carga positiva o negativa), se pueden distinguir cuatro tipos:

- a) El rayo “descendente negativo” predomina en las construcciones de altura inferior a 100 metros. De 85% a 95% de los rayos que caen sobre estas construcciones son negativos y descendentes. La corriente medida es aproximadamente de 33 KA.

Gráfico 56.

Mecanismo de descarga de un rayo descendente negativo (nube-tierra)

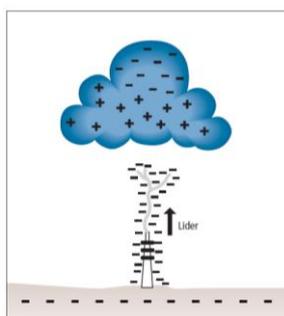


Fuente: Manual de protección contra rayos (www.dehn.de).

- b) Este rayo es conocido como “ascendente negativo”. Estos predominan en las construcciones altas y tienen una corriente media inferior a los 25 KA.

Gráfico 57.

Proceso de descarga de un rayo ascendente negativo (tierra-nube)



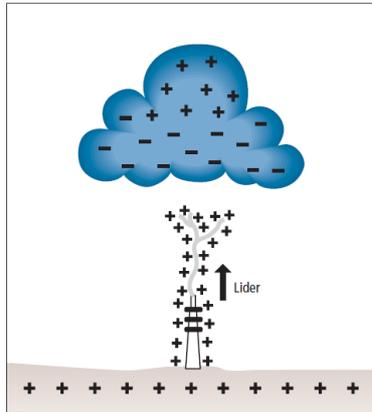
Fuente: Manual de protección contra rayos (www.dehn.de).

- c) El rayo “ascendente positivo”, también conocido como “superrayo”. Aproximadamente el 14% de los rayos son de este tipo. Las magnitudes de

la corriente son de 1.2 a 2.2 veces superior a la del rayo negativo descendente. Solo del 2% al 10% de los rayos tienen polaridad positiva.

Gráfico 58.

Proceso de descarga de un rayo ascendente positivo (tierra-nube)

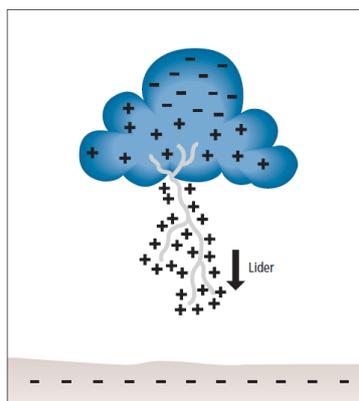


Fuente: Manual de protección contra rayos (www.dehn.de).

- d) El cuarto tipo de rayo es el “descendente positivo”. Una minoría apreciable de rayos lleva la carga positiva a la tierra. Los rayos asendentes positivos son comunes durante los meses de invierno.

Gráfico 59.

Mecanismo de descarga de un rayo descendente positivo (nube-tierra)



Fuente: Manual de protección contra rayos (www.dehn.de).

2.4.5. PARÁMETROS DE INCIDENCIA DEL RAYO

Cálculo del número de descargas atmosféricas a tierra.

Por simplicidad, se dice que el número de descargas a tierra es proporcional al nivel ceráunico de la localidad en cuestión. Una de las ecuaciones más utilizadas para determinar la densidad de rayos a tierra es la propuesta por Anderson y Eriksson en 1980. Los resultados obtenidos están avalados por un periodo de observación de seis años y fue aceptada por IEEE:

$$N_g = kT_d^a \quad \text{Ecu. (9)}$$

Donde:

Ng: número total de descargas a tierra por kilómetro cuadrado y por año.

Td: es el nivel ceráunico en número de días de tormenta por año.

k y a: son constantes y están consideradas por IEEE en la siguiente expresión:

$$N_g = 0,04*(T_d)^{1,25} \quad \text{Ecu. (10)}$$

Un dato importante para el estudio y diseño de un sistema eléctrico para transmisión o distribución de energía es conocer cuántas descargas atmosféricas a tierra ocurren por kilómetro cuadrado en la localidad de interés. Cuando una descarga atmosférica hace impacto en el sistema, bien sea en los conductores de guarda o en la estructura (poste), incide en dicho sistema una corriente de magnitud muy elevada. Esta corriente oscila alrededor de los kiloamperios (hay un 50% de probabilidad de exceder 31 kA).

Incidencia de las descargas atmosféricas en líneas aéreas de media tensión sobre los 3.800 metros sobre el nivel del mar, región Junín.

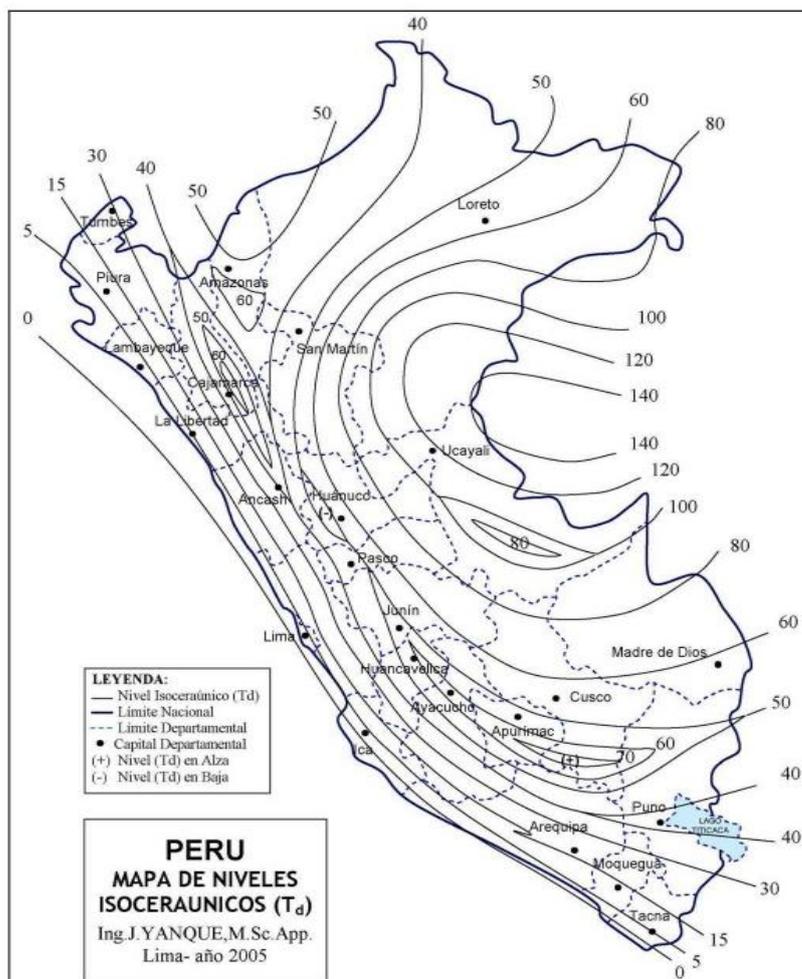
Fuente: Iván Turco, ingeniero electricista, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

En las regiones de clima templado como el Perú, del 80% al 90% de las descargas por rayo son de polaridad negativa (95% en la zona ecuatorial).

Los rayos descendentes parten de la nube y son mayormente de polaridad negativa (-), mientras que los rayos ascendentes parten del suelo, son esporádicos y son mayormente de polaridad positiva (+). En las zonas planas la mayoría de los rayos

son descendentes. Cuando son ascendentes, se producen desde objetos protuberantes puntiagudos o muy altos.

Gráfico 60. Mapa de nivel isocerámico, Perú



Fuente: Iván Turco, ingeniero electricista de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

El mapa de niveles isocerámicos del Perú incluye datos, satélites, información continental, registros dispersos compatibilizados con la geografía y orografía territorial. Destacan las siguientes zonas ecológicas de hábitat natural:

- Sierra de baja altitud hacia el litoral o pie de monte: hasta 2.000 m (20)
- Sierra de media altitud : de 2.000 a 3.500 m (40)
- Sierra de gran altitud : de 3.500 m a más (50)

Microclimas de alta cota e interandinos	(de 40 a 70)
Zona yunga, valles altos	: de 1000 a 2000 m (60)
Selva baja o plana	: hasta 800 m (120)
Selva alta o accidentada	: de 800 a 1.500 m (80)
Costa norte ecuatorial	: hasta 1.000 m (15)
Costa centro-sur	: hasta 1.000 m (0)

2.5. SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN PUESTA A TIERRA Y DPS

La puesta a tierra: Es el medio para dispersar y disipar la corriente del rayo. Puede estar formado por electrodos verticales, horizontales o una combinación de ellos. Las normas internacionales recomiendan la instalación de un “anillo de puesta a tierra” que circunde la edificación. Con ello se logra una mejor distribución de la corriente del rayo que se disipa en el terreno, a la par que facilita la interconexión de los sistemas utilitarios (servicios públicos) a la red de puesta a tierra. Por tanto, una mejor equipotencialización. Asimismo, se recomienda la instalación de electrodos horizontales complementarios para favorecer la dispersión superficial de corrientes del rayo al ser un fenómeno en alta frecuencia.

El sistema de puesta a tierra se divide en dos tipos:

1. Sistema de protección externa

Tiene la función de canalizar el rayo hasta el suelo en forma segura mediante terminales aéreos, que tienen por función interceptar al rayo, conduciéndolo a tierra mediante las bajantes y son instalados en las partes más altas o prominentes de la edificación que se quiere proteger. Todos ellos interconectados por cables eléctricos desnudos, de manera que ofrece “mínimo” dos vías o caminos para la corriente de descarga desde cada terminal aéreo. Todo terminal aéreo (pararrayos) debe ser tipo Franklin, tal como lo avala la norma IEC 62305, NFPA 780.

En teoría, la mejor protección para cualquier establecimiento sería crear una “Jaula de Faraday”, como se hace en forma práctica en los laboratorios de alta tensión como medida de seguridad. Es decir, proveer a la estructura de una “envolvente metálica” que conduzca la descarga atmosférica a tierra y la disipe.

Importante:

Los pararrayos no “paran” o evitan los rayos, sino que son utilizados “para los rayos”, como elementos de mayor probabilidad de interceptación y derivación a tierra.

En sistemas de potencia se denominan, erróneamente, "pararrayos" a los dispositivos de protección contra sobretensiones de línea, descargadores de línea o campo eléctrico que minimizan la posibilidad de descargas laterales o secundarias no deseadas.

2. Sistema de protección interna

Conjunto de dispositivos que se deben instalar al interior de la edificación y que permiten proteger a los diferentes equipos y elementos de la instalación eléctrica interior, limitando las sobrecorrientes y sobretensiones transitorias que puedan alcanzar los puertos de los equipos.

Para cada instalación, se debe hacer el análisis mediante la técnica de la compatibilidad electromagnética que consiste en eliminar o mitigar las perturbaciones en el emisor, en el canal de acople y disminuir la susceptibilidad de los dispositivos, que es lo mismo que aumentar la inmunidad de los mismos. Es importante considerar como parte del sistema de protección interior los DPS.

Para limitar sobretensiones en los puertos de los equipos absorbiendo las corrientes transitorias, se debe adicionar dispositivos que mejoren la calidad de energía para el consumo de equipos sensibles y obtener una equipotencialización segura en todo el sistema.

El programa de mantenimiento debe garantizar una continua actualización del sistema de protección para el cumplimiento de las normas mediante inspecciones periódicas del sistema de puesta a tierra. Si una inspección muestra que las reparaciones son necesarias, estas deben ser realizadas inmediatamente.

Normatividad:

En el Perú, la máxima autoridad para legislar en materias de seguridad eléctrica es el Ministerio de Energía y Minas. En ese sentido, se disponen de dos documentos:

El Código Nacional de Electricidad: Suministro.

El Código Nacional de Electricidad: Utilización.

Nota:

De manera complementaria, el código establece que ante la ausencia de criterios, información insuficiente u obsoleta, debemos referirnos a la normatividad internacional vigente (IEC, NFPA, IEEE o similar).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método universal utilizado en la investigación es el método dialéctico.

El método dialéctico constituye el método científico de conocimiento del mundo, proporciona al hombre la posibilidad de comprender los más diversos fenómenos de la realidad.

El método dialéctico, al analizar los fenómenos de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento, permite descubrir sus verdaderas leyes y las fuerzas motrices del desarrollo de la realidad.

3.1.2. MÉTODO UNIVERSAL

Según Salazar Córdova (2008), la metodología es el procedimiento riguroso de una manera lógica que el investigador debe seguir en la adquisición del conocimiento.

En la investigación se utilizará el método científico de la prospectiva caracterizado por ser un proceso holístico que permite la participación en la planeación de futuros aplicables a una sociedad, una institución o una organización. Compuesto por la vinculación y la resignación constante de los componentes políticos, sociales y económicos frente a una relación de variables en el presente y futuro. El intercambio de ideas entre un grupo experto permite establecer estrategias acciones y recursos para la toma de decisiones.

3.1.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para Salazar Córdova (2008), el tipo de investigación hace referencia a la profundidad con la que se espera abordar el problema del conocimiento.

El tipo de investigación es la básica, según Ccanto Mallma (2009). Los métodos básicos de investigación difieren si tomamos como referencia dos características importantes:

- El estudio del fenómeno o hecho, ya sea en su forma natural o en forma artificial a través de la preparación deliberada de las condiciones que actúan sobre él (hecho o fenómeno).
- Las posibilidades de tener un menor o mayor control y manipulación sobre las variables del estudio.

3.1.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

A base del problema identificado y la disponibilidad de las herramientas de investigación usadas, el nivel de investigación es de tipo básico. Y para obtener resultados favorables, se usará el nivel de investigación correlacional.

Para Hernández Sampiere, Fernández Collado y Baptista Lucio (2006), la utilidad y el propósito principal de los estudios correlacionales son determinar cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para Espinoza Montes (2012), el diseño de la investigación es una organización esquematizada para relacionar y controlar variables de investigación. Tiene como objetivo asignar restricciones controladas a las observaciones de los fenómenos. Es un instrumento de dirección para el investigador, contiene los pasos y acciones a seguir para encontrar posibles soluciones a los problemas.

Para Ccanto Mallma (2009), el diseño es el procedimiento establecido concebido para responder a las preguntas de investigación. La investigación científica cuenta con diversos diseños y estrategias para realizar las investigaciones. Todos estos diseños derivan del método científico y son específicos según la disciplina que lo emplee.

Hernández Sampiere, Fernández Collado y Baptista Lucio (2006) mencionan que, una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis (o no se establecieron debido a la naturaleza del estudio), el investigador debe visualizar de manera práctica y concreta de responder a las preguntas de investigación, además de cubrir los objetos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular del estudio. El término 'diseño' se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea.

En la investigación se utilizará el diseño transaccionales correlacionales, según Hernández Sampiere, Fernández Collado y Baptista Lucio (2006). Los diseños transaccionales descriptivos tienen como objetivo investigar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables. El procedimiento consiste en medir en un grupo de personas u objetos una o generalmente más variables y proporcionar su descripción.

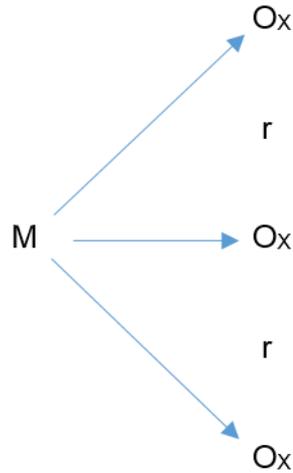
Por lo tanto, son estudios puramente descriptivos que, cuando establecen una hipótesis, son también descriptivas.

3.2.1. CORRELACIONAL

Se identifican variables que se desean relacionar y se aplica la técnica de análisis de correlación. Se busca el grado de relación existente entre dos o más variables de un objetivo de investigación o conceptos. No implica una relación causal entre ellos. Es decir, solo significa que dichos valores están relacionados, ya sea de forma positiva (se elevan o disminuyen juntos) o en forma negativa (cuando uno se eleva el otro disminuye). Una relación causal implica, necesariamente, que un evento sea consecuencia de otro que le anteceda y que sin este, el último no se presentará.

Los estudios correlacionales miden cada variable para ver si existe o no relación entre ellas. Este tipo de estudios son cuantitativos e intentan predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos o fenómenos en una variable a partir del valor que tienen en la o las variables relacionadas. Hernández, Fernández y Baptista (2004).

Diagrama:



Donde:

M: muestra del resultado.

OX, OY, OZ: observación de las variables de la muestra.

r: posible relación entre las variables del estudio.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. POBLACIÓN

Es el conjunto de todos los individuos (objetos, personas, eventos, situaciones, etcétera), en los que se desea investigar algunas propiedades. La población es el conjunto de individuos que tienen más propiedades en común. Se encuentra en un espacio o territorio y varía en el transcurso del tiempo (Ccanto Mallma, 2009).

Para Salazar Córdova (2008), la población es el total de elementos sobre el cual queremos hacer una inferencia, basándonos en la información relativa de la muestra.

Cuadro 1.

La población está definida por la empresa Minera Chinalco, Perú

Empresa	Área	Sigla
MINERA CHINALCO PERU		M.C.P.
Planta Filtros concentrado de cobre		

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. MUESTRA

La muestra es el conjunto de casos extraídos de una población, seleccionados por algún método de muestreo. La muestra es una parte de la población (Ccanto Mallma, 2009).

Según Hernández Sampiere, Fernández Collado y Baptista Lucio (2006), la muestra es un subgrupo de la población del cual se colectan los datos y debe ser representativo de dicha población.

La investigación se realizó en la planta de filtros de la empresa Minera Chinalco, donde se encuentran los dispositivos DPS.

Gráfico 61.

Área donde se ubican los DPS



Fuente: Elaboración propia.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

3.4.1. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Para la recolección de datos de la variable independiente, se utilizará la técnica documental, que permitirá la recopilación de evidencias para demostrar la hipótesis de investigación. Estará formada por documentos de diferentes tipos, como registro de datos, memorias, información estadística, base de datos, etcétera.

Para la recolección de datos de la variable dependiente, se utilizará la técnica empírica, mediante la observación.

3.4.2. INSTRUMENTOS

Para la variable independiente y dependiente, se utilizarán registros, fichas de observación, protocolos de prueba, hojas de registro estadístico, etcétera.

3.4.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de datos, se utilizó la estadística descriptiva, mediante el software SPSS estadístico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADO DE PRUEBA Y PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INTERRELACIÓN (TABLAS Y GRÁFICOS)

4.1.1. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

En la planta de filtro se realizaron ensayos para el control de sobretensiones transitorias que afectan a los procesos donde la urgencia y confiabilidad de los resultados son una premisa. El área de control de procesos de la planta de filtros entregó un informe de observación al área de mantenimiento eléctrico, donde se indica que los equipos transmisor identificador de flujo (FIT) que trabajan en lazo cerrado con los compresores, están presentando falsas lecturas en cuanto a la capacidad de soplado. Por ello, se debe estar reduciendo o nivelando el trabajo de los compresores. Por ende, no se alcanza la capacidad nominal para la cual fue diseñado.

La Superintendencia de Ingeniería realizó pruebas con el apoyo de la contratista Cosapi S. A. y el Control de Procesos de Operaciones de la mina para revisar y optimizar las etapas que se tienen en el ciclo de filtrado y lograr el buen funcionamiento de estos equipos.

Objetivo de las pruebas:

El objetivo de las prueba fue alcanzar 280 ciclos por día, optimizando los tiempos de las diferentes etapas que forman parte de un ciclo de filtrado por día.

Antes de la intervención solo se lograba 190 ciclos, con una pérdida de 90 ciclos por día. Las pruebas se centraron, básicamente, en las etapas de soplado (cake blow) y alimentación, las cuales consideran los mayores tiempos durante la ejecución de dichas etapas.

4.1.2. COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN (ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL DPS)

La planta de procesos de la Minera Chinalco Perú (MCP) tiene la capacidad de producir una tasa de procesamiento del mineral bruto de 117,200.000 toneladas por día. La operación promedio durante los tres meses de pruebas con DPS nos da como resultado una producción promedio de 15.342 toneladas por mes de concentrado de cobre (Cu). El concentrado de cobre es producido a partir del mineral mediante procesos de chancado, molienda, flotación espesamiento y filtrado.

En la intervención realizada en la planta filtros, nos percatamos que no se llegaba a la meta debido a las variaciones de lecturas en los equipos electrónicos, ocasionadas por sobretensiones que afectaba al proceso normal de filtrado de cobre. Estas variaciones que se visualizaban en la sala de control eran falsas informaciones ocasionadas por las sobretensiones transitorias en los equipos electrónicos sensibles, haciendo que el operador regule erradamente la velocidad de los compresores de la planta de filtros, porque figuraba como exceso de presión.

El operador tiene la facultad de la jefatura de planta para realizar este proceso, por lo que disminuye la presión y la fluidez del concentrado de cobre, generando múltiples desperfectos en el sistema de lazo cerrado como las paradas o desaceleración del proceso, lo que lleva a disminuir la producción a un índice promedio de 11.130 toneladas por mes de concentrado de cobre. En comparación con el índice anterior, tenemos como resultado que 4.212 toneladas resulta como pérdida en producción de cobre que se obtiene por estas variaciones que confunden al operador de planta. Si tomamos en cuenta que el precio del cobre por tonelada métrica es de 4.873 dólares, evaluaremos en el siguiente cuadro las pérdidas económicas de filtrado por mes.

Nota: Los índices de producción antes y después son el resultado medio de las pruebas realizadas por un lapso de tiempo de tres meses para cada prueba.

Cuadro 2.
Pérdidas económicas en filtrado de cobre, por mes, sin protección del DPS

Promedio de producción por mes	15,342 Tm/mes
Volumen de pérdidas por mes	4,212 Tm/mes
Costo por tonelada de cobre	\$ 4,873 dólares
Valorización de las pérdidas por mes	\$ 20,525.076 dólares

Fuente: Elaboración propia.

Los datos fueron extraídos de la siguiente tabla (colaboración de la Jefatura de ingeniería de la Mina Chinalco).

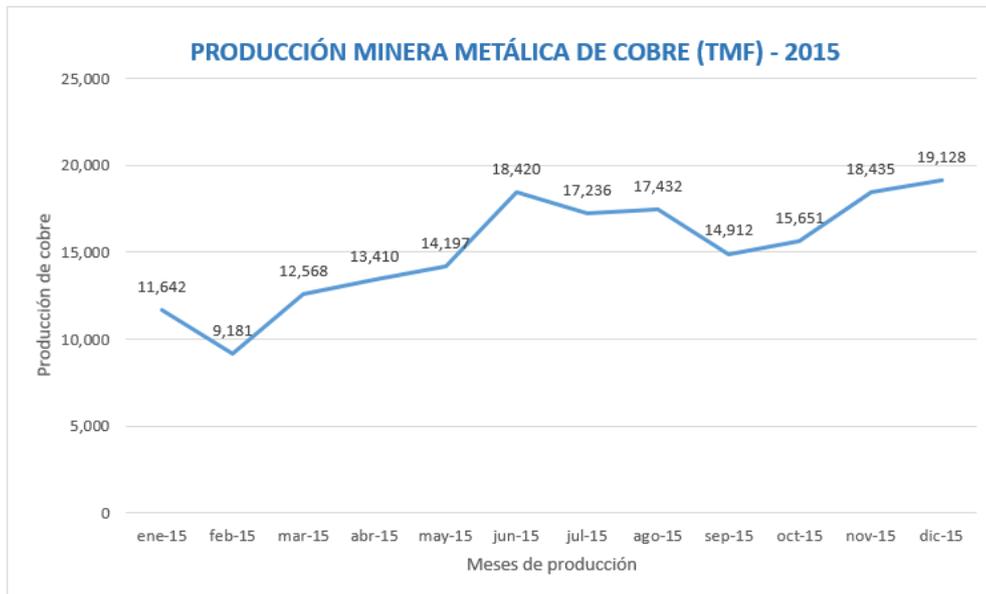
Tabla 7.
Producción total de cobre por año

PRODUCCIÓN MINERA METÁLICA DE COBRE (TMF) - 2015

ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	TOTAL GENERAL
TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	
11,642	9,181	12,568	13,410	14,197	18,420	17,236	17,432	14,912	15,651	18,435	19,128	182,214
PRODUCCIÓN TOTAL HASTA EL MES DE JULIO						96,656	TOTAL HASTA EL MES DE DICIEMBRE				85,558	182,214

FUENTE: MINERA CHINALCO

Gráfico 62.
Producción total de cobre por año en Minera Chinalco



Fuente: Minera Chinalco

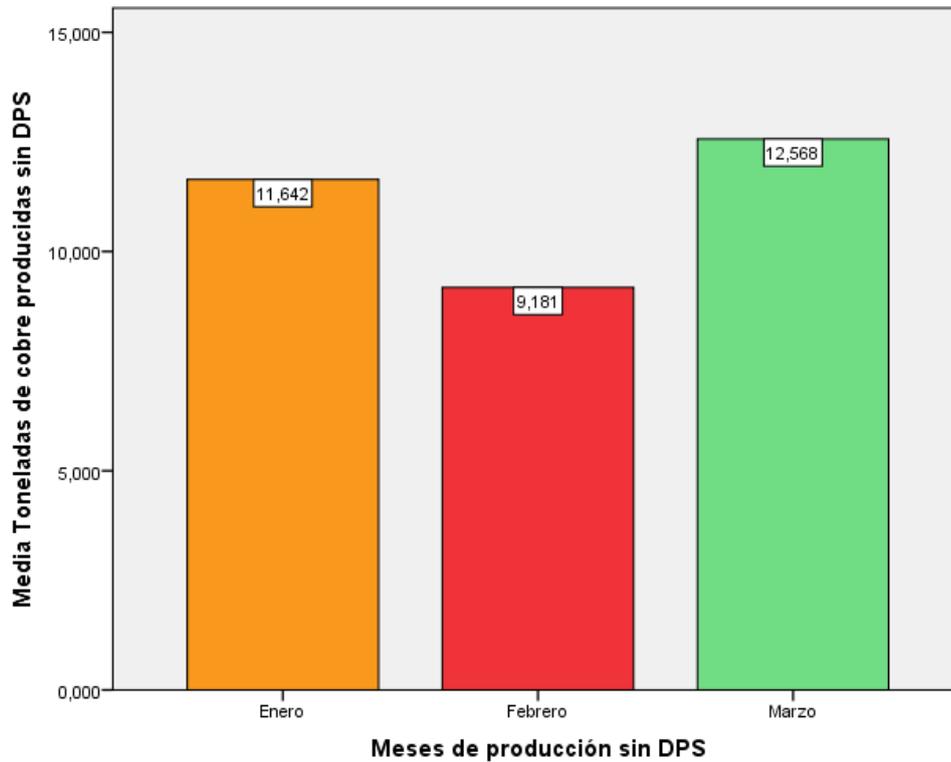
4.1.3. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO MEDIANTE EL SOFTWARE SPSS

SPSS es un programa estadístico informático muy usado en las ciencias exactas, sociales y aplicadas. Es utilizado para esta prueba.

a) Índice de producción sin DPS instalado

Sin la protección contra las sobretensiones transitorias, observamos que la producción durante los tres meses de pruebas tiene una variación descendente y ascendente. Llega a un índice de producción más bajo de 9,181 toneladas, que observaremos a continuación.

Gráfico 63.
Producción de cobre por mes sin DPS instalado

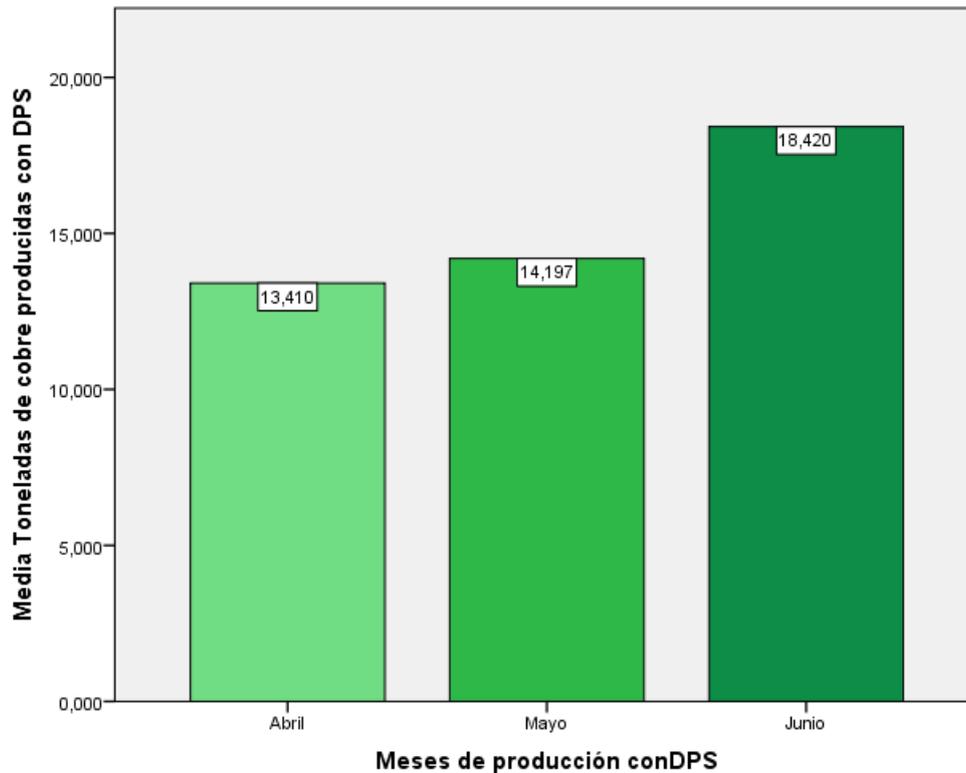


Fuente: Elaboración propia.

b) Índice de producción con DPS instalado.

Con la protección contra las sobretensiones transitorias, observamos en el gráfico de barras que la producción mejora significativamente de forma ascendente. Llega a un índice de producción máximo de 18,420 toneladas métricas.

Gráfico 64.
Producción de cobre por mes con DPS instalado



Fuente: Elaboración propia.

c) Frecuencias, comparación antes y después

En la siguiente tabla se describen los datos que tienen por objeto sintetizar la información mediante tablas, representaciones gráficas y el cálculo de medidas estadísticas, relacionados con el índice de producción mencionado.

Se observará que el resultado del valor N es la muestra con datos válidos, 3 antes (sin DPS) y 3 después (con DPS), las medidas de posición (media, mediana y moda), indican el valor central de la distribución. En este caso, no coinciden los tres cuadros estadísticos. Es decir, la producción sin DPS no es la misma que la producción con DPS. Este caso se repite en los demás coeficientes.

Tabla 8.
Medidas estadísticas

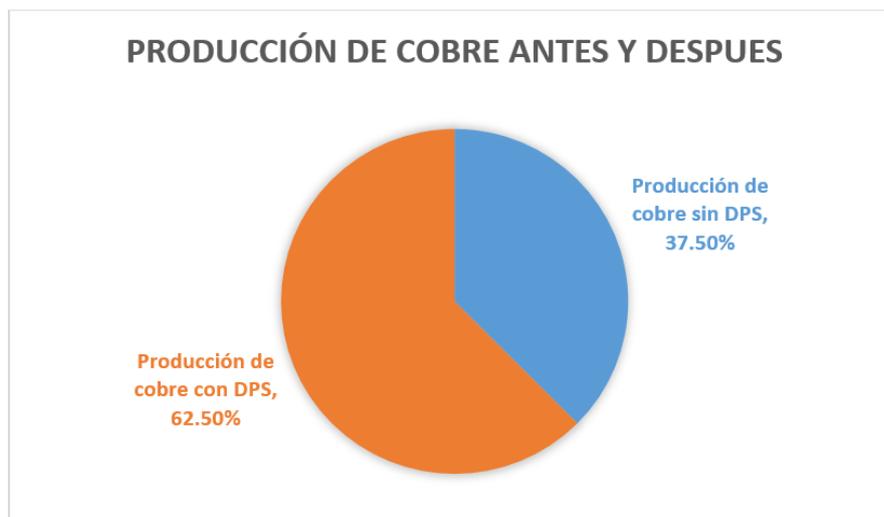
	Toneladas de cobre producidas sin DPS	Toneladas de cobre producidas con DPS
Mes 1	11,642	13,410
Mes 2	9,181	14,197
Mes 3	12,568	18,420
Total		
N	3	3
Media	11,13033	15,34233
Mediana	11,64200	14,19700
Desviación Std.	1,750513	2,694228
Varianza	3,064	7,259
Rango	3,387	5,010
Suma	33,391	46,027
Por ciento	37,5%	62,5%

Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes de producción antes y después de la instalación del DPS fueron tomados con el intervalo de confianza al 95%.

A continuación, se demuestra de forma gráfica la producción en toneladas de cobre sin el DPS instalado, que tiene a un índice porcentual de 37.5%, indicado en la tabla estadística anterior. Para la producción con el DPS instalado, nos da como resultado un índice porcentual de 62.5% de producción en concentrado de cobre durante los tres meses de pruebas realizadas para cada caso en la planta de filtros de Minera Chinalco.

Gráfico 65.
Porcentajes antes y después de la instalación del DPS



Fuente: Elaboración propia.

d) Correlación

Se describe como el grado de variación conjunta existente entre las mismas. Para esta prueba, se limita a considerar solo el caso de dos variables cuantitativas (correlación simple). Este caso es una relación lineal positiva numérica ascendente como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 3.
Correlación estadísticos descriptivos

Estadísticas descriptivas	Media	Desviación Std.	N
Toneladas de cobre producidas sin DPS	11,13033	1,750513	3
Toneladas de cobre producidas con DPS	15,34233	2,694228	3

Fuente: Elaboración propia.

También se puede ver que la relación antes y después con las correlaciones de Pearson está entre 1 sin DPS y 0,601 con DPS. Eso quiere decir que habrá una relación positiva.

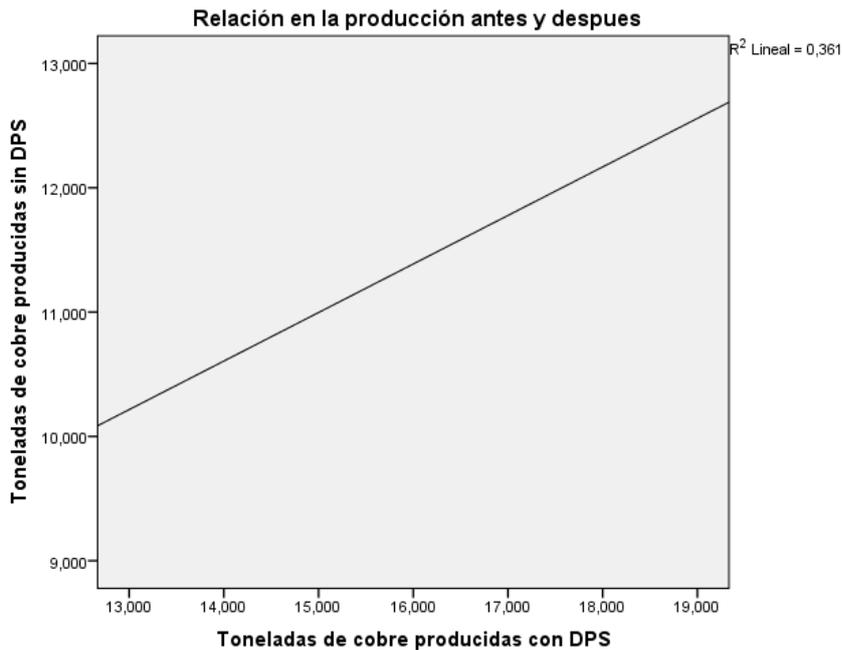
Cuadro 4.
Correlación sin DPS y con DPS

Correlación		Toneladas de cobre producidas sin DPS	Toneladas de cobre producidas con DPS
Toneladas de cobre producidas sin DPS	Correlación de Pearson	1	,601
	Sig. (1-cola)		,295
	Suma de cuadrados y productos cruzados	6,129	5,669
	Covarianza	3,064	2,834
	N	3	3
Toneladas de cobre producidas con DPS	Correlación de Pearson	,601	1
	Sig. (1-cola)	,295	
	Suma de cuadrados y productos cruzados	5,669	14,518
	Covarianza	2,834	7,259
	N	3	3

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de dispersión

Como podemos ver, la recta del gráfico es ascendente con un R2 de 0.361, mayor que cero, es una correlación positiva ascendente. Eso indica que los datos están bien ubicados para sostener que con la instalación del DPS se obtendrá un mejor rendimiento en la producción de la Minera Chinalco-Morococha.



Ecuación de regresión lineal

Es utilizada para predecir datos sobre la variable dependiente, teniendo en cuenta el resultado de la media en la variable independiente.

$$Y = a + bX \quad \text{Ecu. (11)}$$

Donde:

Y = Valor de la variable dependiente que se desea predecir.

a = ordenada en el origen.

b = pendiente o inclinación.

X = valor que fijamos a la variable independiente.

Reemplazando valores:

$$Y = 5.140 + (0.39) (15.34233)$$

$$Y = 11.12350 \text{ (posible producción sin DPS)}$$

En el siguiente cuadro observamos que el valor de (a) es de 5.140, el valor de (b) es de 0.390 y el valor de (x) sería el valor promedio con el DPS, que es de 15.34233, y obtenemos que 11.12350 sería la posible producción crítica sin el DPS.

**Cuadro 5.
Coeficientes**

Modelo	Coeficientes ^a no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constantes)	5,140	8,049		,639	,638
1 Toneladas de cobre producidas con DPS	,390	,519	,601	,752	,590

a. Variable Dependiente: Toneladas de cobre producidas sin DPS

Fuente: Elaboración propia.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se investiga la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en relación con la producción en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015. Para este objetivo, se realizan pruebas en la planta filtros durante tres meses de forma longitudinal (antes y después).

4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

HO: No influye positivamente, la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

HI: influye positivamente, la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

a) Distribución de Chi cuadrada

Es una distribución probabilística continua que se apoya en un parámetro que representa a los grados de libertad. La utilidad de este tipo de distribución permite determinar la relación entre dos variables. Es decir, si existe dependencia estadística entre ellas o no. En el siguiente gráfico haremos la comparación mediante la tabulación cruzada de las hipótesis con margen de error de 0.05 grados de significancia.

Tabla 9.
Estadísticas descriptivas: tabla de contingencia

Estadísticas descriptivas	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Total de fila
Toneladas de cobre producidas con DPS	13,410	14,197	18,420	46,027
Toneladas de cobre producidas sin DPS	11,642	9,181	12,568	33,391
Totales de frecuencia	25.052	23.378	30.988	Total de la muestra 79.418

Fuente: Elaboración propia.

b) Cálculo de Chi cuadrada

Estas frecuencias teóricas se calculan a través de la razón y se describe así: la fila es igual al total de frecuencia por el total de fila, entre el total de la muestra. El resultado obtenido es la frecuencia teórica. Con estos resultados se calcula la Chi cuadrada.

Entonces, en la siguiente ecuación decimos que para calcular Chi cuadrada es igual a la sumatoria de la frecuencia, menos la frecuencia teórica al cuadrado, entre la frecuencia teórica. Se expresa así:

$$X^2 = \sum \frac{(F - ft)^2}{Ft} + \frac{(F - ft)^2}{Ft} = \text{Ecu. (12)}$$

Donde:

X²: Chi cuadrados.

∑: sumatoria.

F: frecuencia.

ft: frecuencia teórica esperada de cada una de los datos.

En el desarrollo de esta operación el Chi calculado es igual a X² = 13.0581 y para obtener la Chi cuadrado tabulado es mediante la intersección en tabla, entre el grado de libertad ubicado en la fila. Para este caso, es de 2 y el grado de significancia ubicado en la columna que es de 0.05 que nos da 5.9915 como se observa la intersección marcada en rojo en la tabla siguiente.

Para obtener los grados de libertad, se debe tener en cuenta las variables de la siguiente manera, $v = (\text{número de filas} - 1) \times (\text{número de columnas} - 1)$, ver en la tabla 10, y para este caso la operación sería:

$$V = (2 - 1) \times (3 - 1) = 2. \quad \text{Ecu. (13)}$$

Tabla 10.
Distribución t: valores críticos t

V/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055
2 →	13,815	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052
3	16,266	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,017
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,666	19,0228	16,919	14,6837
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,307	15,9872

V: grados de libertad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.
Pruebas de Chi cuadrado de Pearson

		Protección de equipos eléctrico y electrónicos
Dispositivo DPS	Chi cuadrado	13,058
	gl	2
	Sig.	0,05

$$X^2 \text{ calculado} = 13,058$$

$$X^2 \text{ tabulado} = 5,99$$



$$X^2 \text{ calculado} > X^2 \text{ tabulado}$$

Por lo tanto, como X^2 calculado es mayor que X^2 tabulado y con 2 grados de libertad, se acepta la hipótesis alterna, con lo que se puede afirmar que sí influye positivamente los

dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

a) Hipótesis específica 1: sin DPS

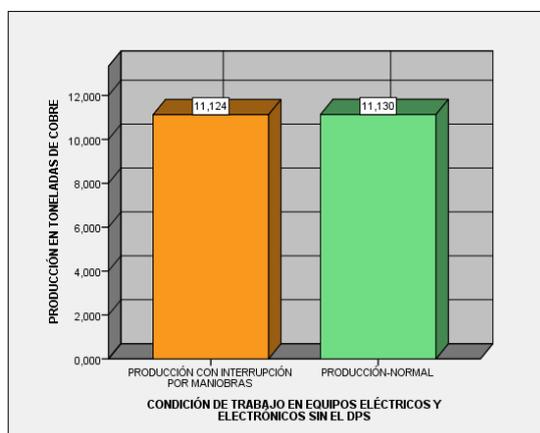
Ho: La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es mala en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

Hi: La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

Tabla 12.
Producción en toneladas de cobre sin DPS

	Toneladas	%
Producción con interrupción por maniobra.	11,124	95.21
Producción normal sin DPS.	11,130	95.27

Gráfico 66.
Comparación de producción en toneladas de cobre sin DPS



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, se observa que la producción en toneladas de cobre sin el DPS instalado y realizando las pruebas en campo de arranque y parada de forma drástica para provocar sobretensión y afectar a los equipos sensibles, observamos que solo se alcanza un índice de 11.124 toneladas por mes que equivale al (95,21%), y con respecto a la producción en condiciones normales sin DPS (sin perturbaciones), se obtiene un índice de 11.130 toneladas por mes equivalente a (95.27%), lo cual indica que no se estaría llegando a la producción esperada que es el 100%.

Con los resultados obtenidos de la regresión lineal (pág. 114), más el resultado de la ecuación Chi cuadrada (pág. 116), y con respecto a la hipótesis, se rechaza la hipótesis nula (H₀), la que indica que la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es mala en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015, por lo cual aceptamos la hipótesis alterna (H_i).

b) Hipótesis específica 2: con DPS

H₀: La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es mala en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

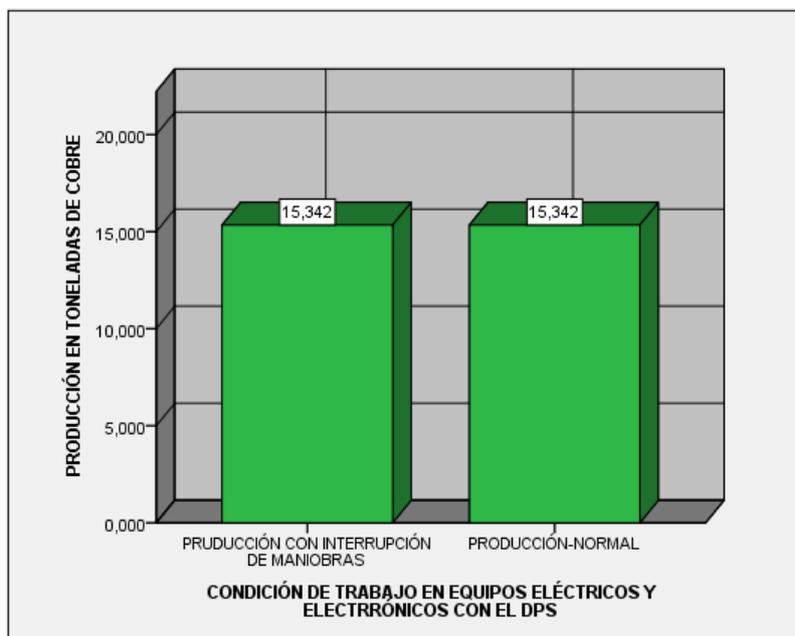
H_i: La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

Tabla 13.
Producción en toneladas de cobre con DPS

	Toneladas	%
Producción con interrupción por maniobra.	15,342	100.00
Producción normal con DPS.	15,342	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 67.
Comparación de producción en toneladas de cobre con DPS



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13, se observa que la producción en toneladas de cobre con el DPS instalado y realizando las mismas pruebas que en el anterior caso se tiene que el índice de producción es de 15.342 toneladas por mes que equivale al 100%. Con respecto a la producción en condiciones normales con DPS, se obtiene un índice de 15.342 toneladas por mes equivalente al 100%. Ello indica que las perturbaciones eléctricas por sobretensiones transitorias no afectan a los equipos sensibles cuando están protegidos por el DPS y realizan el trabajo con total normalidad. Llegan a cumplir la meta propuesta, que es el 100% del filtrado de concentrado de cobre.

Con respecto a la hipótesis, una vez más se rechaza la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1), la cual menciona que la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación están sintetizados según los objetivos de la investigación. Son los siguientes:

La investigación tiene importancia académica, debido a que los resultados obtenidos contribuirán, de una manera u otra, a servir de antecedente para otros investigadores en el área de operaciones en la planta de procesos de minerales.

Como X^2 cuadrada $>$ X^2 tabulada, por lo tanto, a un nivel de significancia de 0,05 y con 2 grados de libertad, se acepta la hipótesis alterna con lo que se determina que sí influye positivamente los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

La disminución significativa de la producción establece que la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos sin el dispositivo DPS es mala, como se describe a continuación:

- En la tabla 12 se observa que la producción en toneladas de cobre sin el DPS instalado y realizando las pruebas en campo de arranque y parada de forma drástica para provocar sobretensión y afectar a los equipos sensibles, se tiene que solo se alcanza un índice de 11.124 toneladas por mes que equivale a 95,21%. Con respecto a la producción en condiciones normales (sin DPS), se obtiene un índice de 11.130 toneladas por mes equivalente a 95.27%, lo cual indica que sin la protección de los equipos electrónicos y electrónicos no se estaría llegando a la producción esperada en la Empresa Minera Chinalco.
- En la tabla 8, gráfico 65, referente a la estadística, podemos también corroborar la media y porcentajes antes y después de la instalación del DPS, que existe diferencia en los índices de producción durante los tres meses de prueba.
- En la medida de dispersión podemos ver que la recta del gráfico es ascendente con un R^2 de 0.361 es mayor que cero, es una correlación positiva ascendente. Eso indica que los datos están bien ubicados para determinar que con la instalación del DPS se obtendrá un mejor rendimiento en la producción de la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.
- Con respecto a la hipótesis, se rechaza la hipótesis nula (H_0), la cual indica que no influye positivamente la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de

equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

El aumento significativo de la producción establece que la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena, como se describe a continuación:

- En la tabla 13, se observa que la producción en toneladas de cobre con el DPS instalado y realizando las mismas pruebas que en el caso anterior, tenemos que el índice de producción es de 15.342 toneladas por mes que equivale al 100%. Con respecto a la producción en condiciones normales con DPS, se obtiene un índice de 15.342 toneladas por mes equivalente al 100%, lo cual indica que las perturbaciones eléctricas por sobretensiones transitorias no afectan a los equipos sensibles cuando están protegidos por el DPS y realizan el trabajo con total normalidad. Llegan a cumplir la meta propuesta, que es el 100% del filtrado de concentrado de cobre.
- Con respecto a la hipótesis, una vez más se rechaza la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1), la cual indica que influye positivamente la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.

CONCLUSIONES

El estudio correlacional permitió confirmar una influencia positiva de los DPS para la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco. Este estudio también lo fortalece de manera demostrativa en sus laboratorios la empresa Acrónimo de Asea Brown Boveri (ABB) 2013, que concluyó que es necesaria la implementación del DPS en las instalaciones internas y externas para contrarrestar las sobretensiones ocasionadas por los rayos que afecta a equipos electrónicos. En la actualidad, se fabrican equipos compactos de alta sensibilidad que mejoran el rendimiento en diversos campos, acelerando todo tipo de proceso, pero son muy delicados y necesitan protección.

1. Respecto al objetivo general, según las estimaciones válidas de los resultados estadísticos, se determina que influye positivamente los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015, porque mejora los índices de producción mediante la protección de los equipos, para que no fallen y la producción sea estable.
2. En relación con el objetivo específico a) según el análisis efectuado, se estableció que la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos sin el dispositivo DPS es mala, porque los equipos están propensos a fallar ante una sobretensión transitoria, lo que llevaría a disminuir los índices de producción y constante mantenimiento, afectando la economía de la empresa.
3. Respecto al objetivo específico b) según el análisis efectuado, se establece que la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena, porque los equipos están protegidos ante cualquier tipo de sobretensión transitoria, evitando las fallas. Económicamente es viable, porque mejora el desempeño, los costos de operación y mantenimiento.
4. La implementación de los DPS es actualmente una necesidad fundamental para mantener la correcta operación de los equipos eléctricos y electrónicos. Además, evita el costo por reparación o reposición de las tarjetas electrónicas, la pérdida de inversión. Asimismo, al fallar un equipo se detiene gran parte del proceso, afectando la producción y la economía de la empresa.

RECOMENDACIONES

El estudio desarrollado es parte de un sistema de protección contra sobretensiones transitorias atmosféricas y por conmutación. Las recomendaciones pretenden plantear tareas por resolver para futuras investigaciones en este tema que es de mucha importancia para las empresas. Finalizado el proyecto de tesis, tras meses de intenso trabajo, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda instalar un sistema de protección adicional a la puesta a tierra que proteja contra descargas eléctricas atmosféricas y transitorias a los equipos eléctricos sensibles.
2. Se recomienda utilizar un interruptor automático o fusibles antes del DPS, porque, ante una descarga atmosférica extrema, el arco eléctrico puede quedar en los electrodos de la cámara apagachispas del DPS, formando un corto circuito permanente y dejar sin servicio eléctrico a la empresa. Así, se sustituirá el DPS sin quitar el servicio eléctrico.
3. Se recomienda que antes de la instalación del DPS se debe tener en cuenta el tipo de equipo a proteger y la tensión nominal para no tener deficiencias en la protección y errores críticos. Antes de instalar un DPS, se debe consultar el manual de fabricación y ver hasta qué tensión puede proteger o soportar.
4. Se recomienda desarrollar la implementación de los dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias, tanto atmosféricas y de conmutación en todas las instalaciones eléctricas industriales y residenciales.
5. Se recomienda que el DPS tipo 1 solo se utilizará para protección exterior en plantas industriales y que cuenten con pararrayos, los DPS tipo 2 y 3 para protección interior en instalaciones industriales y residenciales.
6. Se recomienda a los lectores profundizar el tema referente a las subtensiones ocasionada por la caída de tensión que estaría por debajo de la tensión nominal, lo que también afecta a los equipos eléctricos y electrónicos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aponte, L. y Cardona, C. (2009). Educación ambiental y evaluación de la densidad poblacional para la conservación de los cóndores reintroducidos en el Parque Nacional Natural Los Nevados y su zona amortiguadora (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Pérez, D. (2007). "Diseño del sistema de puesta a tierra del Centro Médico Docente La Trinidad" (tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar, Sertenejas, Venezuela.

Tolcachier, A. (2013). Revista "Protección contra Sobretensiones", Barcelona. Recuperado de: www.abb.es/bajatensión

Empresa Dehn Söhne (2007). *Manual de protección contra rayos*. Madrid, España.

Empresa Clamper (2008). Revista "Capacitación sobre protección contra picos eléctricos". Bello Horizonte, Brasil.

Empresa Electropol (setiembre-octubre de 2009). Revista *Ingesocios*, edición 34, Colombia.

Empresa Finder (2012). Revista "Guía para aplicación de dispositivos de protección contra sobretensiones, DPS". San Caetano, Brasil.

Grisales Pardo y Moriano Cadene (2013). Tesis "Diseño de un sistema de protección contra descargas eléctricas". Universidad tecnológica de Pereira.

Lizardo Antonio López Ingunza (2008). Revista "Sistema integrado contra descargas atmosféricas, SICDA". Lima, Perú.

José Alberto Noé Rondón (2009). Tesis "Propuesta de diseño del sistema de protección contra fallas de origen atmosféricos en estaciones de comunicaciones". PUCP, Lima, Perú.

Wilson Alberto Castiblanco Pardo (2011). Tesis "Estudio técnico para el sistema de protección contra descargas atmosféricas". Universidad de La Selle (sede Candelaria) Bogotá, Colombia.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha 2015.

Planteamiento del problema	Marco teórico	Metodología
Formulación del problema	Antecedentes	Tipo:
¿Cuál es la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha en 2015?	Electropol (2013), especialista contra rayos y sobretensiones transitorias mediante dispositivos de protección DPS Bogotá, Colombia. Con la introducción de la electrotecnica como parte fundamental de los equipos y teniendo en cuenta los fenómenos transitorios muy perjudiciales para los equipos electrónicos.	Básica
Objetivo general		Nivel:
Determinar la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha en 2015.	Grisales García y Moriano Cárdenas (2013), en su tesis “Diseño de un sistema de protección contra descargas electricas atmosféricas”, tiene como función primordial realizar el diseño del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas en el bloque E de la Universidad Tecnológica de Pereira.	Correlacional
Objetivos específicos		Método y diseño.
Establecer la relación entre los niveles de producción y la protección	Influencia de la aplicación de los dispositivos DPS en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha en 2015.	Método universal. Diseño correlacional.
		Variables
		VI: Dispositivos DPS.

de los equipos eléctricos y electrónicos sin el dispositivo DPS. Establecer la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS.	Definición conceptual	VD: Protección de equipos electrónicos.
Hipótesis general	Conceptualmente se define como: DPS es un dispositivo protector que limita intencionalmente el incremento de tensiones y/o corrientes transitorias descargando los picos de tensión producida por descargas eléctricas atmosféricas o por la parada y arranque de motores de alta potencia. Su función principal es mitigar las sobretensiones.	Población:
La aplicación de los dispositivos DPS influye directamente en la protección de equipos electrónicos en la Minera Chinalco de Morococha en 2015.		Minera Chinalco, Perú.
		Muestra:
Hipótesis específica 1	Definición operacional	Minera Chinalco, Perú.
La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos sin el dispositivo DPS es mala.	Operacionalmente el DPS o supresor de picos debe evitar el daño que produce un LEMP Lighting Electromagnetic Impulse en español impulsos electromagnéticos de rayo los que poseen energía destructiva capaz de fusionar y causar averías a su paso. Asimismo, debe controlar, evitar o limitar las sobretensiones SEMP Switching Electromagnetic Puls en español impulsos electromagnéticos de conmutaciones o maniobras conocidos también como sobretensiones transitorias.	Técnicas e instrumentos:
		Técnica empírica a través de la observación, Instrumentos: formatos de observaciones, reportes estadísticos.
		Técnicas de procesamiento de datos
Hipótesis específica 2	VD: Protección de equipos electrónicos	

		<p>Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado según la diferencia de observación entre un equipo con protección (DPS) y otro sin protección en la Minera Chinalco de Morococha.</p>
<p>La relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos con el dispositivo DPS es buena.</p>	<p>Conceptualmente se define como: Equipo electrónico a una combinación de componentes electrónicos organizados en circuitos destinados a controlar y aprovechar las señales eléctricas. Para proveer protección integral y eficiente a los equipos electrónicos que son el sistema de control programable indispensable para motores de diferente potencia en ambientes industriales, se debe usar el DPS, el cual brinda protección contra sobretensiones transitorias, y así evitar un mal funcionamiento o deterioro inmediato del equipo.</p>	<p>Procedimientos de la investigación</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación de los dispositivos DPS, en la protección de equipos eléctricos y electrónicos en la Empresa Minera Chinalco de Morococha en 2015.</p> <p>Establecer la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos sin el dispositivo DPS.</p> <p>Establecer la relación entre los niveles de producción y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos.</p>

ANEXO 2.

PROTOCOLO DE ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO SIN EL DPS.

Pruebas con motores de 150 hp de las bombas de alimentación a los filtros 1, 2, 3 con código en los compresores (245-pp-004/005/006) sin conexión del DPS.

Etapa de soplado (cake blow).

Pruebas realizadas a los compresores de planta filtros sin el DPS para comprobar la distorsión de lectura y mando en relación con el tiempo en el controlador lógico programable PLC, el variador de frecuencia VDF y el transmisor identificador de flujo FIT, al efectuarse los picos de sobretensión por arranque y parada de motores de alta potencia. Se probó con 50% y 70% de velocidad mínima con el F. S. = 1.15 del motor (modificando en el variador) con tiempo de rampa = 0 (controlador) y con tiempo de rampa en el VFD = 30 segundos, apertura/cierre a la vez de las válvulas On/Off de alimentación y recirculación. En este informe se adjuntan los datos de las pruebas más resaltantes:

Pruebas de funcionamiento realizadas sin protección del dps

Prueba 1: Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% de velocidad.

Se probó a condiciones actuales retardando el inicio de la rampa (controlador) en 10 segundos filtros 1 y 2 con la etapa de soplado (cake blow) a la vez, con periodo de 3 minutos 2 segundos y porcentaje de sólidos al 60%, con una velocidad de recirculación al 50%. La prueba resultó con inconvenientes por capacidad de aire, llegando a una presión máxima de 627 kPa y rampa real de 413 kPa.

Cuadro 6.
Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 2 sin DPS

	TURNO	Clave Comp	Back Wash	Feed	Clave Wash Blow	Clave Blow	Clave Backwash	Clave Wash	TIEMPO	CICLOS
FILTRO 1	Anterior	1m 17s	0ms	5m 26s	1m 48s	3m 11s	1m 39s	1m 2s	14' 25"	30
	Actual	1m 17s	0ms	3m 57s	0ms	0ms	0ms	0ms	5' 14"	7
FILTRO 2	Anterior	1m 16s	0ms	4m 45s	37s	3m 11s	1m 23s	1m 2s	12' 17"	42
	Actual	6s	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0' 6"	19
FILTRO 3	Anterior	1m 21s	0ms	5m 26s	25s	3m 10s	2m 8s	1m 2s	13' 35"	41
	Actual	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0' 0"	17
									ACUM ANTERIOR	113
									ACUM ACTUAL	43

PRUEBA N° 1 (FILTRO N°2)

Fuente: Minera Chinalco.

Tabla 14.
Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% de velocidad sin DPS
Bombas de alimentación 245-pp-006-005 al filtro 1, 2 sin DPS.

Prueba 1	% Sólidos	Presión Alimentación	Velocidad Recirculación	Rampa PLC	Rampa VDF	HP	Corriente A	Rampa real (0-413 kPa)	Tiempo/ciclos	Fecha
M1	60	627 kPa	50%	10 seg	35 seg	150	195	3' 02"	14' 25"	09-01-15
M2	60	627 kPa	50%	10 seg	30 seg	150	195	3' 27"	12' 17"	09-01-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 2: Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2, 3.

Se probó en condiciones actuales con tiempo de rampa = 0 (controlador) y con tiempo de rampa en el VFD = 30 segundos filtros 1, 2 y 3 con cake blow a la vez, con periodo de 3 minutos 27 segundos y porcentaje de sólidos al 60%. El resultado fue parcialmente satisfactorio al principio, pues el cake blow del filtro 2 paró su secuencia faltando 50 segundos, para finalizar por falta de capacidad de aire, en tanto que la etapa de soplado de los filtros 1 y 2 concluyeron su secuencia con un amperaje inestable.

Tabla 15.

Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2, 3 sin DPS

Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 al filtro 1, 2, 3 sin DPS.

Prueba 2	%	Presión	Velocidad.	Rampa	Rampa	HP	Corriente	Rampa real (0-	Tiempo	Fecha
	Sólidos	Alimentación	Recirculación	PLC	VFD		A	413 kPa)	Ciclos	
M1	60	627 kPa	50%	0 seg	30 seg	150	207	3'02"	14' 25"	27-02-15
M2	60	627 kPa	50%	0 seg	60 seg	150	219	3'27"	12' 17"	27-02-15
M3	60	627 kPa	70%	0 seg	30 seg	150	202	3'00"	13' 35"	27-02-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 3: Medición de la presión alimentada en el FIT

Se probó con 70% de velocidad mínima y usar el F. S. = 1.15 del motor (modificación en el variador) filtros 1 y 3 con etapa de soplado a la vez y filtro 2, con etapa de soplado desfasado 1 minuto. La prueba resultó satisfactoria y sin inconvenientes por capacidad de aire, durante la prueba nos percatamos que el filtro 2 durante su etapa de soplado, presentaba fuga de aire haciendo que la presión de alimentación disminuya a 611 kPa con un aumento de aceleración improvisada, esforzando al motor 2. El área de operaciones coordinó inmediatamente con mantenimiento el arreglo respectivo.

Cuadro 7.

Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 2, 3 sin DPS

	TURNOS	Cloak Clamp	Back Wash	Feed	Core Wash Blow	Cake Blow	Cake Discharge	Cloth Wash	TIEMPO	CICLOS
FILTRO 1	Anterior	1m 17s	0ms	5m 28s	40s	3m 11s	1m 38s	1m 2s	13 ' 17 "	30
	Actual	1m 17s	0ms	3m 27s	0ms	0ms	0ms	0ms	4 ' 44 "	8
FILTRO 2	Anterior	1m 16s	0ms	4m 46s	36s	3m 11s	1m 23s	1m 2s	12 ' 17 "	42
	Actual	1m 16s	0ms	4m 46s	36s	3m 11s	1m 23s	1m 2s	12 ' 17 "	20
FILTRO 3	Anterior	1m 21s	0ms	5m 26s	25s	3m 10s	2m 8s	1m 2s	13 ' 35 "	41
	Actual	1m 21s	0ms	2m 5s	0ms	0ms	0ms	0ms	3 ' 27 "	17
									ACUM. ANTERIOR	113
									ACUM. ACTUAL	45

PRUEBA N° 3 (FILTRO N°2)

Fuente: Mina Chinalco.

Tabla 16.
Medición de la presión alimentada en el FIT sin el DPS

Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 de los filtros 1. 2. 3 sin DPS

Prueba 3	% Sólidos	Presión Alimentación	Velocidad. Recirculación	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0- 413 kPa)	Tiempo Ciclos	Fecha
M1	61	627 kPa	70%	0 seg	30 seg	150	208	3'52"	13' 17"	02-03-15
M2	61	611 kPa	70%	35 seg	60 seg	150	219	2'52"	12' 17"	02-03-15
M3	61	627 kPa	70%	0 seg	30 seg	150	205	3'50"	13' 35"	02-03-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 4: Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% y 70% de velocidad.

Se probó con 50% y 70% de velocidad mínima, con tiempo de rampa = 0 (controlador) y con tiempo de rampa en el VFD = 30 segundos filtros 1, 2 y 3 con etapa de soplado a la vez, periodo de 3 minutos y porcentaje de sólidos al 60%. Esta prueba resultó satisfactoria en cuanto a la presión de alimentación, pero con un elevado amperaje de 238.7 A, en el M1 al reducir de forma inesperada la velocidad de recirculación en un 50% en el M2, M3 también se notó error de lecturas con respecto al tiempo.

Cuadro 8.
Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 1, 2, 3 sin DPS

	TURNO	Close Clamp	Back Wash	Feed	Core Wash Blow	Cake Blow	Cake Discharge	Cloth Wash	TIEMPO	CICLOS
FILTRO 1	Anterior	1m 17s	0ms	5m 28s	40s	3m 11s	1m 38s	1m 2s	13 ' 17 "	30
	Actual	1m 17s	0ms	5m 32s	38s	3m 11s	1m 38s	44s	13 ' 3 "	9
FILTRO 2	Anterior	1m 16s	0ms	4m 46s	36s	3m 11s	1m 23s	1m 2s	12 ' 17 "	42
	Actual	1m 16s	0ms	4m 46s	36s	3m 11s	1m 23s	1m 2s	12 ' 17 "	20
FILTRO 3	Anterior	1m 21s	0ms	5m 26s	25s	3m 10s	2m 8s	1m 2s	13 ' 35 "	41
	Actual	1m 21s	0ms	10m 24s	0ms	0ms	0ms	0ms	11 ' 45 "	17
									ACUM. ANTERIOR	113
									ACUM. ACTUAL	46

PRUEBA N° 4 (FILTRO N°2)

Fuente: Mina Chinalco.

Tabla 17.

Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% y 70% de velocidad sin DPS

Prueba 4	% Sólidos	Presión Alimentación	Velocidad. Recirculación	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0- 413 kPa)	Tiempo Ciclos	Fecha
M1	60	627 kPa	70%	10 seg	35 seg	150	238.7	3'52"	13' 17"	13-03-15
M2	60	627 kPa	50%	0 seg	30 seg	150	206.	2'52"	12' 17"	13-03-15
M2	60	627 kPa	50%	0 seg	30 seg	150	203	4'02"	11' 45"	13-03-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 5: Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 70% de velocidad.

Se probó con 70% de velocidad mínima y usar el F. S. = 1.15 del motor (modificación en el variador), con tiempo de rampa = 0 (controlador) y con tiempo de rampa en el VFD = 30 segundos filtros 1, 2 y 3 con etapa de soplado a la vez. Periodo de 4 minutos 2 segundos y porcentaje de sólidos al 60%, esta prueba resultó parcialmente satisfactoria al principio, pero la etapa de soplado del filtro 2 paró la secuencia faltando 22 segundos para el término por falta de capacidad de aire, en tanto que los filtros 2 y 3 continuaron. Concluyeron su secuencia de funcionamiento sin inconvenientes al alcanzar una presión de alimentación con 630 kPa y una rampa de 0-414 kPa con tiempo de rampa en el PLC de 35 segundos en el VFD de 20 segundos.

Cuadro 9.

Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtros 1, 2 sin DPS

	TURNO	Close Clamp	Back Wash	Feed	Core Wash Blow	Cake Blow	Cake Discharge	Cloth Wash	TIEMPO	CICLOS
FILTRO 1	Anterior	1m 17s	0ms	5m 32s	38s	3m 11s	1m 38s	1m 2s	13 ' 20 "	30
	Actual	1m 17s	0ms	5m 32s	38s	3m 11s	1m 38s	1m 2s	13 ' 20 "	9
FILTRO 2	Anterior	1m 16s	0ms	4m 44s	37s	3m 11s	1m 24s	1m 2s	12 ' 15 "	42
	Actual	43s	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0 ' 43 "	22
FILTRO 3	Anterior	1m 21s	0ms	5m 37s	26s	3m 10s	1m 35s	1m 2s	13 ' 12 "	41
	Actual	1m 21s	0ms	4m 9s	0ms	0ms	0ms	0ms	5 ' 31 "	19
									ACUM. ANTERIOR	113
									ACUM. ACTUAL	50

PRUEBA N° 5 (FILTRO N°2)

Fuente: Minera Chinalco.

Tabla 18.**Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 70% de velocidad sin DPS**

Prueba 5	%	Presión	Velocidad.	Rampa	Rampa	HP	Corriente	Rampa real (0-	Tiempo	Fecha
	Sólidos	Alimentación	Recirculación	PLC	VFD			A		
M1	60	630 kPa	70%	35 seg	20 seg	150	219	3'38"	13' 20"	16-03-15
M2	60	627 kPa	70%	35seg	30 seg	150	226.	4'00"	12' 15"	16-03-15
M2	60	630 kPa	70%	30 seg	20 seg	150	219	2'52"	13' 12"	16-03-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 6: Medición de la corriente y presión de alimentación del motor 1 y velocidad cero en los motores 2, 3.

Se probó con 100% de velocidad, y quitando de servicio de forma improvisada a la bomba de alimentación 245-pp-004, 005. Se observa que 248.7 A (prueba 6 en el motor del filtro 1- 245 pp-006) es el máximo de la corriente generada en milisegundos debido a la parada improvisada de motores de alta potencia lo que generará deterioro en los equipos sensibles como PLC, VFD Y FIT. Es un exceso de corriente sobre la nominal que está indicada en la placa del motor y es de 203 A \pm 10%. También se observa que la presión aumenta a 807 kPa detectados por el FIT generando un peligro de explosión, lo máximo es de 800 kPa recomendados por ingeniería. Los segundos en el PLC marca cero, el VFD aumenta al doble en segundos, la rampa real en kPa programada nos da una falsa lectura de 0,22 segundos (lo programado fue de 4 minutos 2 segundos). Todas las distorsiones observadas en sala de monitoreo, nos indican error o falsa lectura.

Tabla 19.**Medición de la corriente y presión de alimentación del motor 1 y velocidad cero en los motores 2, 3 sin DPS****Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 al filtro 2 sin DPS.**

Prueba 6	%	Presión	Velocidad.	Rampa	Rampa	HP	Corriente	Rampa real (0-	Tiempo	Fecha
	Sólidos	Alimentación	Recirculación	PLC	VFD			A		
M1	70	807 kPa	100%	0 seg	60 seg	150	248.7	0'22"	11' 30"	17-03-15
M2	0	0 kPa	0%	0 seg	0 seg	150	0	0'	0"	17-03-15
M3	0	0 kPa	0%	0 seg	0 seg	150	0	0'	0"	17-03-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 7: Medición de la presión alimentada, corriente y tiempo de producción con sólidos al 70%.

Filtro 1, trabajando con etapa de soplado a la vez y con periodo de 4 minutos y porcentaje de sólidos al 70% con arranque improvisado, filtro 2 y 3 se puede notar en las mediciones de corriente una disminución en milisegundos que se estabiliza después, pero que causa distorsión de lectura momentánea en el PLC el VFD y FIT. Esta prueba resultó con deficiencias, pero con resultados positivos para las mejoras.

Tabla 20.
Medición de la presión alimentada, corriente y tiempo de producción con sólidos al 70% sin DPS

Prueba 7	% Sólidos	Presión Alimentación	Velocidad. Recirculación	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclos	Fecha
M1	70	640 kPa	70%	10 seg	30 seg	150	189	4'02"	14' 30"	18-03-15
M2	70	627 kPa	70%	0 seg	30 seg	150	206.	2'52"	12' 39"	18-03-15
M2	70	635 kPa	70%	35 seg	60 seg	150	206	2'02"	11' 59"	16-03-15

Fuente: Elaboración propia.

La prueba 7 es un de los mejores resultados de todas las pruebas sin el DPS, en relación con la producción, pero con un exceso de tiempo, obteniendo 4 minutos, 2 segundos y llegando a 190 ciclos en 24 horas con una presión alimentada de 640 kPa y un índice de producción promedio de 11.13033 toneladas. Durante los meses de pruebas con bajo amperaje por arranque improvisado del M2 y M3 hicieron que la configuración se vuelva a reprogramar.

Informe del resultado de las pruebas sin DPS.

De las pruebas realizadas, podemos concluir que el sistema de aire en su conjunto no funciona correctamente para trabajar con etapas de soplado de 1 minuto, 7 segundos como lo indica el vendedor de los filtros, así como fue concebido en el diseño del proyecto y para porcentaje de sólidos entre 60% al 70%. Además, hay que tener en cuenta que las pruebas fueron realizadas con etapas de soplado a la vez para los 3 filtros y adicionando las secuencias de lavado (core wash) (8 segundos) y lavado de telas (cloth wash) (1.5 minutos) deben ser realizadas para 1 filtro a la vez, lo que implica que la etapa de soplado (cake

blow) de los filtros trabajarán desfasados con ciclos en las que coincidirán 2 filtros realizando el proceso de etapas de soplado a la vez.

En conclusión, se recomienda continuar con el proceso de filtrado operando con los tres compresores a la vez y modificar la lógica de control de forma t que en automático permita realizar las etapas de soplado en 3 filtros, 2 filtros y en un solo filtro al mismo tiempo, de modo que obtiene mayores ciclos y mayor producción de concentrado.

PROCOLOS DE ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO CON EL DPS

Pruebas con motores de 150 hp de las bombas de alimentación a los filtros 1, 2, 3 con código en los compresores (245-pp-004/005/006) con conexión del DPS.

Etapas de soplado (cake blow)

Se realizó la instalación del dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) y se procedió a realizar las mismas pruebas drásticas que se hicieron anteriormente sin el DPS para demostrar que sí influye en la protección de los equipos electrónicos contra las sobretensiones y sobrecorrientes transitorias.

Se puede comprobar que ya no existe distorsión de lectura y mando en relación con el tiempo en el controlador lógico programable PLC, el variador de frecuencia VDF y el transmisor identificador de flujo FIT al efectuarse los picos de sobretensión por arranque y parada de motores de alta potencia, porque estas sobretensiones son desviadas a tierra por el DPS.

Pruebas de funcionamiento realizadas con protección del DPS

Prueba 1: Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% de velocidad.

Se probó a condiciones actuales (50% de velocidad mínima) con tiempo de rampa = 0 segundos (controlador), y con tiempo de rampa de aceleración/desaceleración = 20 segundos y velocidad inicial al 50%.

Tabla 21.

Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 50% de velocidad con DPS

Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 al filtro 2 con DPS.

Prueba 1	% sólidos	Presión Alimentación	Velocidad. Recirculación	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclo	Fecha
M1	60-	650 kPa	50%	0 seg	20 seg	150	203	1'10"	12' 57"	17-04-15
M2	60-	650 kPa	50%	0 seg	20 seg	150	203	1'10"	12' 58"	17-04-15
M3	60-	650 kPa	50%	0 seg	20 seg	150	203	1'09"	12' 53"	17-04-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 2: Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2,3

Probar a condiciones actuales con tiempo de rampa = 0 segundos (controlador) y con tiempo de rampa de aceleración/desaceleración = 10 segundos, con una presión de 650 kPa, programados en el transmisor identificador de flujo, para obtener una rampa de 414 kPa constantes en un tiempo óptimo.

Tabla 22.

Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2, 3 con DPS

Prueba 2	% sólidos	Presión Alim.	Velocidad.	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclo	Fecha
M1	60-61	650 kPa	70%	0 seg	10 seg	150	203	1'08"	12' 37"	20-04-15
M2	60-61	650 kPa	70%	0 seg	10 seg	150	203	1'09"	12' 53"	20-04-15
M3	60-61	650 kPa	70%	0 seg	10 seg	150	202	1'11"	12' 59"	20-04-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 3: Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 70% de velocidad

Se probó con 70% de velocidad mínima, con tiempo de rampa = 0 segundos (controlador) y con tiempo de rampa de aceleración/desaceleración = 10 segundos y 70% de velocidad mínima, quitando el servicio de forma improvisada a la bomba de alimentación 245-pp-004, 005. Notamos en las mediciones de corriente que el DPS está cumpliendo su función al mantener el amperaje estable y, por ende, el funcionamiento correcto en el PLC, VFD, FIT

Tabla 23.

**Medición de la corriente y tiempo de descarga de los motores al 70% de velocidad con DPS
Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 al filtro 2 con DPS.**

Prueba 3	% sólidos	Presión Alim.	Velocidad	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclo	Fecha
M1	60-61	650 kPa	70%	seg	10 seg	150	203	1'08"	12' 37"	21-04-15
M2	60-61	0 kPa	0%	0 seg	0 seg	150	0	0'	0'	21-04-15
M3	60-61	0 kPa	0%	0 seg	0 seg	150	0	0'	0"	21-04-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 4: Medición de la presión alimentada en el FIT

Para obtener tiempo y ciclos óptimos se probó con 70% de velocidad mínima a 203 A (cambio en variador), con tiempo de rampa = 0 seg (controlador) y con tiempo de rampa de aceleración/desaceleración = 10 segundos con una presión alimentada de 650 kPa, programados en el transmisor identificador de flujo,

Cuadro 10. Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtro 1, 2, 3 con DPS

TIEMPOS POR ETAPA Y CANTIDAD DE CICLOS DE FILTRADO										
	TURNO	Close Clamp	Back Wash	Feed	Core Wash Blow	Case Blow	Case Discharge	Cloth Wash	TIEMPO	CICLOS
FILTRO 1	Anterior	1m 15s	0ms	4m 52s	38s	3m 11s	1m 40s	1m 2s	12 ' 39 "	38
	Actual	5s	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0 ' 5 "	12
FILTRO 2	Anterior	1m 16s	0ms	6m 25s	37s	3m 11s	1m 24s	1m 2s	13 ' 57 "	36
	Actual	1m 16s	0ms	6m 24s	33s	5m 35s	0ms	0ms	13 ' 49 "	17
FILTRO 3	Anterior	1m 24s	0ms	5m 36s	29s	3m 10s	1m 39s	1m 8s	13 ' 30 "	23
	Actual	1m 24s	0ms	5m 36s	29s	3m 10s	1m 39s	1m 8s	13 ' 30 "	4
									ACUM. ANTERIOR	97
									ACUM. ACTUAL	33

PRUEBA - CICLO N° 24 (FILTRO N°1)

Fuente: Minera Chinalco.

En el caso de este filtro se monitoreó la cantidad de ciclos por hora, siendo el mismo de cuatro ciclos (descarga de concentrado mineral) en aproximadamente 59 minutos. Para llegar a los 280 ciclos en 24 horas, se necesita que cada motor complete 4.03 ciclos por hora.

Tabla 24.

Medición de la presión alimentada en el FIT con DPS

Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 al filtro 2 con DPS

Prueba 4	% sólidos	Presión Alim.	Velocidad	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclo	Fecha
M1	64	650 kPa	70%	0 seg	10 seg	150	203	1'08"	12' 39"	22-04-15
M2	64	650 kPa	70%	0 seg	10 seg	150	203	1'16"	13' 49"	22-04-15
M3	64	650 kPa	70%	0 seg	10 seg	150	203	1'14"	13' 30"	22-04-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 5: Medición del tiempo de operación del PLC Y VFD en los filtros 1, 2, 3.

Se probó con 70% de velocidad mínima a 203 A (cambio en el variador), con tiempo de rampa igual a 30 segundos en el controlador y con tiempo de rampa de aceleración y desaceleración en 20 segundos.

Cuadro 11.

Simulación para el cálculo de filtrado de mineral en los filtros 1, 2, 3 con DPS

TIEMPOS POR ETAPA Y CANTIDAD DE CICLOS DE FILTRADO										
	TURNO	Close Clamp	Back Wash	Feed	Core Wash Blow	Cake Blow	Cake Discharge	Cloth Wash	TIEMPO	CICLOS
FILTRO 1	Anterior	1m 16s	0ms	5m 47s	38s	3m 11s	1m 40s	1m 2s	13' 35"	7
	Actual	1m 16s	0ms	5m 47s	38s	3m 11s	1m 40s	1m 2s	13' 35"	0
FILTRO 2	Anterior	1m 16s	0ms	5m 18s	37s	3m 11s	1m 23s	1m 2s	12' 50"	29
	Actual	1m 16s	0ms	1m 50s	0ms	0ms	0ms	0ms	3' 6"	38
FILTRO 3	Anterior	1m 25s	0ms	5m 32s	0ms	3m 10s	1m 42s	1m 32s	13' 23"	23
	Actual	1m 1s	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	0ms	1' 1"	29
									ACUM. ANTERIOR	59
									ACUM. ACTUAL	67

Fuente: Mina Chinalco.

Tabla 25.

Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2 y 3 con DPS

Bombas de alimentación 245-pp-006-005-004 al filtro 2 con DPS

Prueba 5	% sólidos	Presión Alim.	Velocidad	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclo	Fecha
M1	64	650 kPa	70%	35 seg	20 seg	150	203	1'15"	13' 35"	23-04-15
M2	64	650 kPa	70%	35 seg	20 seg	150	203	1'09"	12' 50"	23-04-15
M3	64	650 kPa	70%	35 seg	20 seg	150	203	1'13"	13' 23"	23-04-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba 6: Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2,3.

Se probó con 70% de velocidad mínima a 203 A (cambio en el variador), con tiempo de rampa igual a 15 segundos en el controlador y con tiempo de rampa de aceleración y desaceleración en 20 segundos.

Tabla 26.

Medición del tiempo de operación del PLC y VFD en los filtros 1, 2 y 3 con DPS

Prueba 6	% sólidos	Presión Alim.	Velocidad	Rampa PLC	Rampa VFD	HP	Corriente A	Rampa real (0-414 kPa)	Tiempo Ciclo	Fecha
M1	60-61	650 kPa	70%	15 seg	20 seg	150	203	1' 10"	12' 57"	24-04-15
M2	60-61	650 kPa	0%	15 seg	20 seg	150	203	1' 09"	12' 50"	24-04-15
M3	60-61	650 kPa	0%	15 seg	20 seg	150	203	1'07"	12' 30"	24-04-15

Fuente: Elaboración propia.

Informe del resultado de las pruebas con DPS

De las pruebas realizadas con la bomba de alimentación 245-PP-006, se nota que la prueba 6 nos dio mejor resultado y en la cual se bajó el tiempo en la etapa de rampa de presión 414 KPa (secuencia de alimentación) a 1 minuto 07 segundos en promedio. En esta prueba que se compatibilizó todo el sistema de lazo cerrado. Se obtuvo un resultado óptimo. Se consiguió 290 ciclo en 24 horas.

Por consiguiente, se recomienda la instalación del dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) en toda la planta de procesos.

Resultados medidos en campo de las pruebas realizadas sin DPS.

Como prueba de la variación de lecturas medidas en campo se demuestra en la siguiente tabla.

Tabla 27.
Datos resaltantes de las pruebas sin el DPS en filtros 1, 2 y 3

MESES Sin DPS	Prueba con motores	Corriente en A.	Velocidad	Tiempo/ciclos	Presión en kPa.	Producción/mes
ENERO	Prueba 1	195 A	50%	3 ' 27"	627 kPa	12342 Tm/mes variación de lectura
ENERO	Prueba 2	219 A	50%	3 ' 27"	627 kPa	11642 Tm/mes
FEBRERO	Prueba 3	219 A	50%	2 ' 52"	611 kPa	1082.2455 Tm/mes variación de lectura
FEBRERO	Prueba 4	238.7 A	70%	3 ' 52"	627 kPa	9180.2455 Tm/mes variación de lectura
FEBRERO	Prueba 5	226 A	70%	3 ' 38"	630 kPa	9181 Tm/mes
MARZO	Prueba 6	248.7 A	70%	0 ' 22"	807 kPa	14368.1015 Tm/mes variación de lectura
MARZO	Prueba 7	189 A	70%	4 ' 00"	640 kPa	11662.1015 Tm/mes variación de lectura
MARZO	Prueba 8	248.7 A	70%	4 ' 00"	640 kPa	12568 Tm/mes Optimo sin DPS

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 27, observaremos variación de lectura ocasionadas por sobretensiones transitorias que afectan a los equipos sensibles, los cuales trabajan en lazo cerrado con motores de potencia. Estas variaciones son falsas alarmas momentáneas, que induce al operador de procesos al error manipulando el sistema para disminuir o nivelar los índices de producción y evitar pérdidas.

Está comprobado que las sobretensiones afectan de manera progresiva a todo equipo electrónico. Sin la instalación del DPS el índice de producción de cobre llegaba a obtener resultados negativos, afectando la economía de la minera y causando preocupación a los directivos de la empresa que buscaron la solución al problema.

Con la instalación del DPS, se mejoró el funcionamiento de los equipos electrónicos sensibles, mitigando las distorsiones ocasionadas por sobretensiones y llegando a obtener una producción óptima como se observa a continuación.

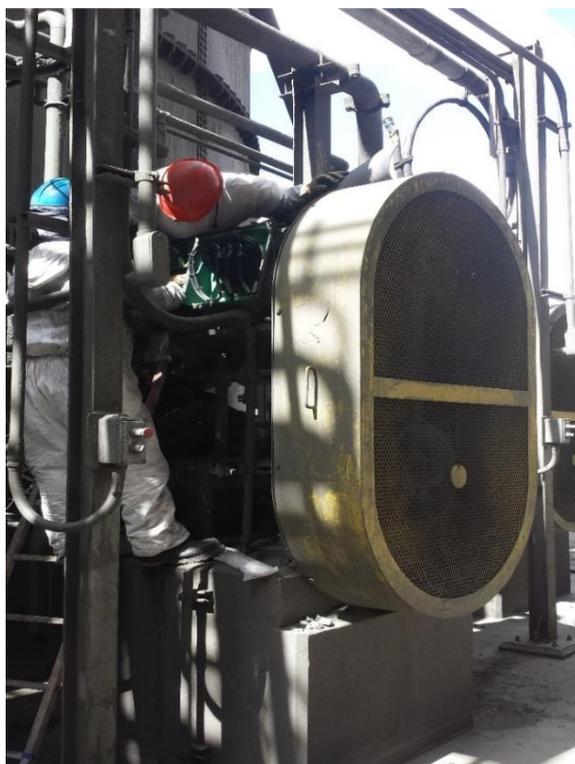
Tabla 28.
Datos resaltantes de las pruebas con el DPS en filtros 1, 2 y 3

MESES con DPS	Prueba con motores	Corriente en A.	Velocidad	Tiempo/ciclos	Presión en kPa.	Producción/mes
ABRIL	Prueba 1	203 A	50%	1' 09"	650 kPa	13,410/TMF
ABRIL	Prueba 2	203 A	50%	1' 11"	650 kPa	13,410/TMF
ABRIL	Prueba 3	203 A	50%	1' 08"	650 kPa	13,410/TMF
ABRIL	Prueba 4	203 A	70%	1' 14"	650 kPa	13,410/TMF
MAYO	Prueba 5	203 A	70%	1' 15"	650 kPa	14,197/TMF
JUNIO	Prueba 6	203 A	70%	1' 07"	650 kPa	18,420/TMF
JUNIO	Prueba 7	203 A	70%	1' 07"	650 kPa	18,420/TMF

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. FOTOS DEL CENTRO LABORAL

CONEXIONES DE CABLES EN MOTORES DE 150HP



CONEXIONES EN FITCHER DEL MOTOR PROVINIENTE DE VDF. SALA ELÉCTRICA

031



CONEXIONES EN BORNES DE MOTOR 150HP TRIFASICO.



CONEXIONES EN VFD.Y MCC, EN SALA ELÉCTRICA 031



CONEXIÓN DEL DPS PARA EQUIPOS ELECTRÓNICOS



VÁLVULA MAGNÉTICA



VÁLVULA SOLENOIDE



CONEXIONES EN VFD. SALA ELÉCTRICA 031



FLUJOMETRO MAGNÉTICO



TRANSMISOR IDENTIFICADOR DE FLUJO

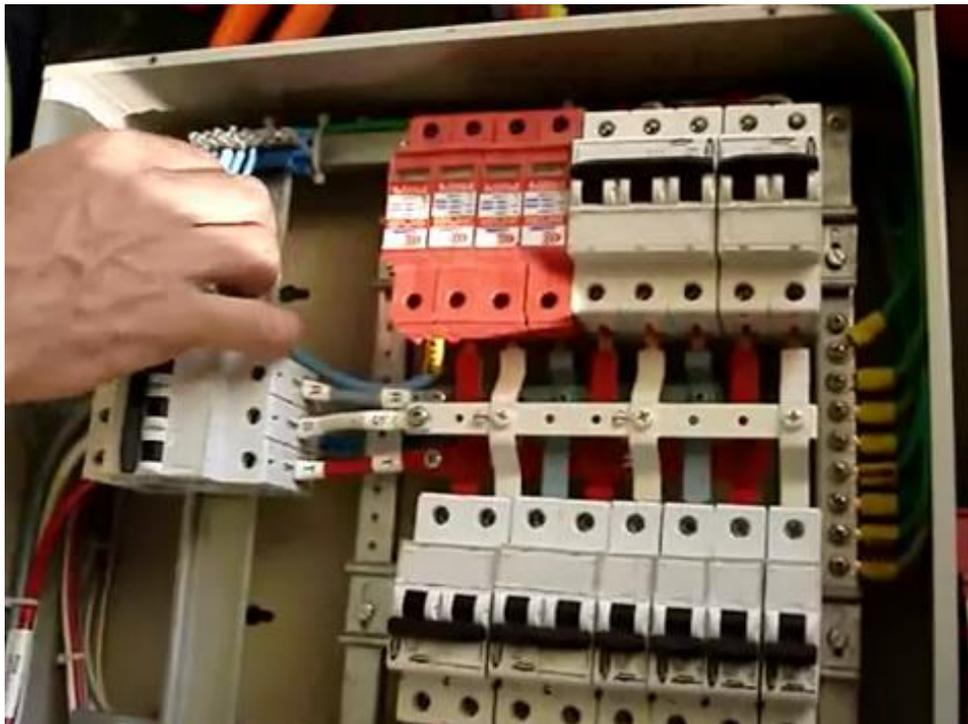


MOLINOS SECUNDARIOS CHINALCO

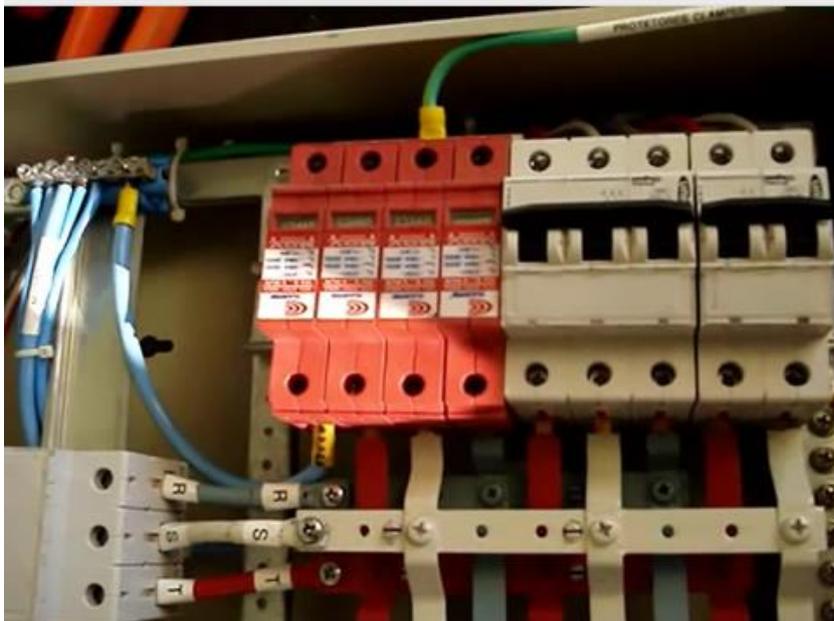
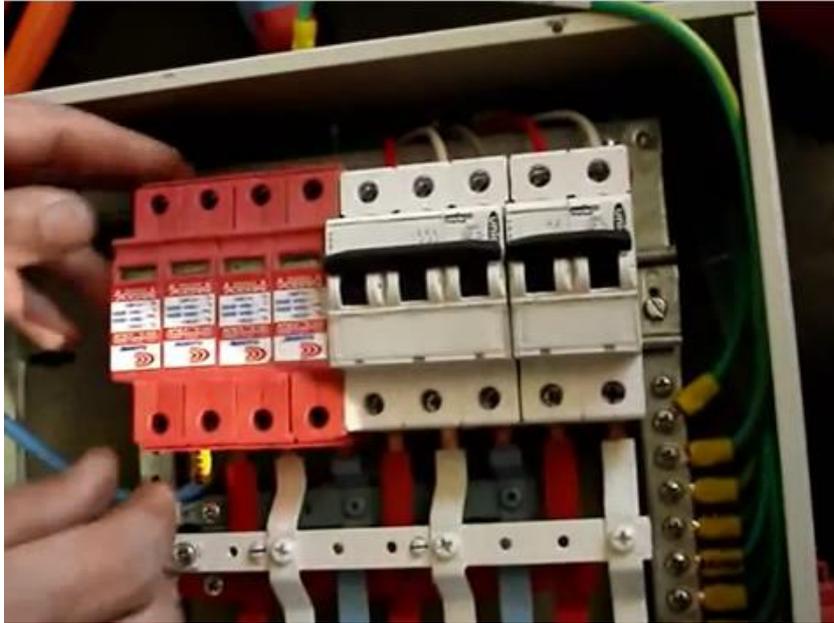




SUB TABLERO ELÉCTRICO CONEXION DE DPS TIPO II



CONEXIONADO DEL DPS TIPO II



PLANTA DE PROCESOS TOROMOCHO



UBICACIÓN DE LA MINA CHINALCO

