



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**SOFTWARE PARA LA SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE OXIDO DE METAL
EN SISTEMAS DE POTENCIA**

Autores:

Aldana C., Adolfo A.

Rodríguez M., Asdrúbal J.

Bárbula, Enero de 2007

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**SOFTWARE PARA LA SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE OXIDO DE METAL
EN SISTEMAS DE POTENCIA**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICÍSTA**

Autores:

Aldana C., Adolfo A.

Rodríguez M., Asdrúbal J.

Bárbula, Enero de 2007

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado “Software para la Selección de Descargadores de Oxido de Metal en Sistemas de Potencia”, realizado por los Bachilleres: Aldana Adolfo, Cédula de identidad: 15.746.522 y Rodríguez Asdrúbal, Cédula de identidad: 16.400.145, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Horacio Coltraro
TUTOR

Prof. Eva Monagas
JURADO

Prof. Irahis Rodríguez
JURADO

Bárbula, Enero de 2007

Bárbula, Diciembre de 2006

Prof. Verner Hornebo, Jefe
Departamento de Potencia
Presente.-

Por medio de la presente le participo que los bachilleres Aldana Adolfo, Cédula de identidad: 15.746.522 y Rodríguez Asdrúbal, Cédula de identidad: 16.400.145, han culminado su trabajo de grado: Software para la Selección de Descargadores de Oxido de Metal en Sistemas de Potencia, y le solicito la asignación del jurado, lugar, fecha y hora para la presentación y defensa del mismo.

Atentamente

Firma
Horacio Coltraro

Introducción.

Los sistemas de potencia se encuentran expuestos a fallas de origen interno o externo que ponen en riesgo la continuidad del servicio y el material aislante de todos los equipos que lo conforman. El material aislante de estos equipos no puede ser diseñado para soportar cualquier tipo de sobretensión por razones principalmente económicas. Las sobretensiones transportan grandes cantidades de energía, que de llegar a algún componente del sistema, puede generarle grandes daños e incluso su destrucción. Con la finalidad de limitar el potencial destructivo de las sobretensiones y garantizar la integridad y el desempeño óptimo de los equipos fueron creados los descargadores de sobretensión.

Los descargadores de sobretensión se encargan de drenar parte de la energía de las sobretensiones a tierra, transformándolas en ondas que pueden ser soportadas por los aislantes de los equipos.

Para certificar el funcionamiento de un descargador, este debe cumplir con las características eléctricas necesarias para desenvolverse en un sistema determinado, bajo ciertas condiciones de operación, SSDOM es un Software para la selección de descargadores de Oxido de Metal el cual fue creado con el propósito de brindar eficiencia, rapidez, interacción y una herramienta que se adapte a las exigencias tecnológicas del mundo, hoy en día.

SSDOM brinda al usuario una serie de alternativas de manera simultánea, que sirven de solución a una situación problemáticas: que tipo de descargador colocar en una instalación. Mostrando sus características eléctricas de manera gráfica y numérica, facilitando de esta manera la comparación de los posibles resultados.

Para tener un mejor entendimiento de este trabajo de investigación se procedió a dividir el mismo en cinco capítulos o partes principales.

El **Capítulo I** está referido al planteamiento, justificación, objetivos y alcance de la misma. El **Capítulo II**, aborda los elementos conceptuales referentes a las sobretensiones, sus características, clasificación, los descargadores de sobretension, sus tipos, principio de funcionamiento y varias definiciones de interés. En el **Capítulo III** se describe la metodología del trabajo de investigación; se precisa el procedimiento de selección de los descargadores de sobretensión y se realiza una breve descripción de las fases del desarrollo del proyecto. El **Capítulo IV** cubre todo lo referente al funcionamiento del software y su manual de utilización. En el **Capítulo V** se presentan los resultados obtenidos por SSDOM durante su ejecución y se comparan con los datos obtenidos de manera convencional o manual, con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del sistema diseñado. Finalmente se establecen las conclusiones y algunas recomendaciones derivadas de la investigación y del funcionamiento del programa.

1.1 Planteamiento Del Problema

Es incuestionable la importancia que ejerce en el desarrollo económico de los países la industria eléctrica. Por esta razón es tan fundamental el papel que desempeñan los sistemas de potencias a nivel mundial. Un Sistema de Potencia es una red formada por un conjunto de componentes cuya función reside en: generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica bajo ciertas exigencias y controles con respecto a la continuidad de servicio, regulación de tensión y control de frecuencia [1].

Estos sistemas no están exentos a fallas, existen ciertos fenómenos que pueden producir un funcionamiento anormal en ellos, estos pueden dividirse en fallas y perturbaciones. Las **fallas** son condiciones que al presentarse, impiden continuar con la operación de uno o más componentes y requieren de la rápida acción de esquemas de protección para evitar la posibilidad de que ocurran daños en los equipos y sus materiales aislantes. Por otro lado también existen las **perturbaciones**, que son condiciones que al presentarse no ocasionan salidas inmediatas del servicio del sistema, pero que pueden generar daños a algunos equipos si se prolongan más allá de ciertos periodos de tiempo. Esencialmente las perturbaciones pueden ser divididas en: sobretensiones, sobrecargas y oscilaciones de frecuencia. [1].

Las sobretensiones son de naturaleza probabilísticas, lo que dificulta su control, su estudio y su predicción. Pueden producir descargas que además de destruir un equipo o averiar seriamente su material aislante, también pueden ser la causa de nuevas sobretensiones. La severidad que puede alcanzar cualquier sobretensión depende del tipo y sobre todo, del nivel de tensión de la red. En redes de tensión nominal inferior a 300 kV las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas son de mayor potencial destructivo que las originadas por otras causas, mientras que por encima de 300 kV las sobretensiones de maniobra suelen ser las más peligrosas. La

capacidad destructiva de las sobretensiones no se atribuye solamente a su magnitud, sino también a su forma de onda y esencialmente a la cantidad de energía que transportan.

Con la selección de sistemas de protección adecuados se pueden reducir los daños provocados por las sobretensiones. Cuando los sistemas son afectados por sobretensiones, debe procurarse que descarguen a tierra lo más rápidamente posible, esta función la desempeñan los **descargadores de sobretensiones**.

Los descargadores de sobretensión, son elementos destinados a proteger a los componentes del sistema que poseen aislamiento no autorestable, es decir un aislamiento que recuperara sus propiedades luego de que en este ocurra una descarga, en particular a los transformadores de potencia. Los transformadores son el corazón de las subestaciones, y por consiguiente son esenciales para los sistemas de potencia, tienen un costo sumamente elevado, obedecen a largos periodos de fabricación y presentan gran dificultad para su traslado, por lo general, se requiere de planes de transporte y movilización para llevar a cabo esta actividad, por estas razones es muy importante protegerlos de cualquier fenómeno que los pueda averiar. Las sobretensiones pueden dañar seriamente estas máquinas eléctricas, por tal motivo se deben colocar descargadores de sobretensiones que protejan al equipo con el menor rango de error posible, ya que la selección errónea de un descargador de sobretensión, pondría en juego la operación de tan importante equipo a lo largo de su vida útil.

Los descargadores también protegen las líneas de transmisión, contra las sobretensiones transitorias elevadas drenándolas a tierra; limitando su prolongación y disminuyendo las magnitudes de las tensiones residuales. La selección de un descargador inadecuado para un determinado sistema puede volver vulnerable una instalación contra las sobretensiones, poniendo en riesgo la vida útil de los equipos y la

continuidad del servicio eléctrico, lo cual es perjudicial tanto para la empresa de suministro de energía eléctrica como para sus clientes.

Para garantizar la protección de un sistema contra sobretensiones es de vital importancia tener un método que permita determinar, cuales son las características que debe cumplir un descargador de sobretensiones para ser instalado en este; mejor aún contar con un instrumento que permita realizar esta selección de manera rápida y segura. Una de las herramientas que puede ser utilizada para facilitar esta selección sin comprometer la confiabilidad y exactitud del proceso, es un Programa Computacional Interactivo o Software.

Actualmente a nivel nacional, no existe un algoritmo computacional para la selección de descargadores de sobretensiones que permita determinar si el dispositivo es adecuado para una red o para la protección de un transformador.

Motivados en lo anteriormente expuesto, existe la necesidad de desarrollar una herramienta que permita realizar esta función cumpliendo con todos los requisitos necesarios para lograr una selección confiable del dispositivo, y que además le permita al usuario comparar entre los modelos que propongan los distintos fabricantes, mediante la creación y gestión de una base de datos.

1.2 Justificación

Un software es una herramienta que facilita el desempeño de actividades que generalmente requieren de tiempo, precisión y que disminuyen las posibilidades de equivocaciones. Estos programas se desarrollan en base a procedimientos sistemáticos; siempre y cuando estos generen resultados altamente confiables y leales podemos apoyar la toma de decisiones en ellos.

Con el uso del software se puede minimizar el error en la selección, comparando entre distintos modelos para así seleccionar el que mejor proteja al transformador, las líneas y el resto de los equipos, permitiéndole al usuario tomar la mejor decisión a la hora del diseño o la verificación de un sistema; garantizando un resultado y logrando disminuir la posibilidad de que el sistema se vea afectado negativamente por la presencia de una sobretensión. La capacidad de un Software de manejar gran cantidad de información de manera simultáneamente le brinda al usuario la oportunidad de analizar y comparar las posibles protecciones contra sobretensiones en subestaciones y líneas en un tiempo menor al que normalmente se considera.

La selección de descargadores de sobretensión requiere de un conjunto de cálculos y de la discriminación de variables que en conjunto, nos facilitan los parámetros necesarios para realizar la selección en los catálogos de los fabricantes. Son un conjunto de pasos que pueden ser desplegados de una manera esquemática y al ser desarrollados como algoritmos, se podría obtener un programa que presente un resultado igual o muy similar a los posibles valores obtenidos de la manera tradicional, transformándose de esta manera en resultados efectivos y confiables.

En la actualidad en el ámbito social, tecnológico y económico, las ideas no solo se enfocan en lograr un objetivo, sino de lograrlo con el menor costo posible y en un

tiempo mínimo para obtener un mayor beneficio; es decir, que progresivamente se buscan nuevas alternativas con el apoyo del desarrollo científico tecnológico para obtener procesos más rápidos y precisos. Además se puede observar que este comportamiento no solo aplica en un nivel empresarial, esta tendencia también se observa en los aspectos más personales del comportamiento de los seres humanos; se puede decir entonces que la búsqueda por una mayor eficiencia es en general uno de los motores que impulsa al mundo actualmente.

Por estas razones se considera la importancia que tiene el uso de la tecnología, para sistematizar las actividades inherentes al área donde el ser humano desarrolla normalmente sus actividades, como es el caso del desarrollo de un Software para la selección del descargador de sobretensiones más propicio para un sistema.

Este software así como su base de datos, serviría de apoyo para el desarrollo de actividades en cátedras como Sistemas de Distribución, Técnicas de Alta Tensión, Subestaciones Eléctricas, Líneas de Transmisión de Energía II, etc. Siendo estas también materias que se dictan en el departamento de Potencia de la Facultad de Ingeniería de La Universidad de Carabobo, este software se convertiría en un aporte para el desarrollo académico de esta institución y para el de otras instituciones relacionadas al medio educativo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un programa interactivo (software) para la determinación de descargadores de sobretensión en Sistemas de Potencia, que compare diferentes opciones propuestas por distintos fabricantes.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Identificar el método utilizado para la determinación de descargadores de sobretensión, para fijar criterios bases para el diseño del algoritmo de programación.
- Elaborar un algoritmo basado en la metodología para la determinación del descargador de sobretensión y traducirlo al lenguaje de programación escogido.
- Crear la base de datos del programa con los principales modelos de descargadores de los fabricantes más importantes, que permita al software realizar comparaciones.
- Realizar la validación del software, mediante la comparación de resultados con los obtenidos de manera convencional.

1.4 Alcance

El Software será diseñado tomando en cuenta las siguientes características:

El software será de tipo interactivo, desarrollado en Visual Basic. Lenguaje de programación de Microsoft orientado a eventos basado en el lenguaje BASIC, utilizado principalmente en el World Wide Web para realizar consultas a bases de datos de Microsoft como Fox Pro, SQL-Server, Access,etc., que funciona en servidores de Windows.

La base de datos será desarrollada en Microsoft Access, herramienta visual compatible con Visual Basic, este programa es un gestor de bases de datos desarrollado por Microsoft.

El programa permitirá seleccionar el tipo de descargador que se desea determinar, según su clase: Línea, Subestación, Distribución, etc.

Los resultados serán presentados en tablas comparativas con los datos obtenidos de los distintos fabricantes

El software también presentará en sus resultados las curvas de coordinación de aislamiento, los distintos márgenes de protección, las distancias máximas de ubicación de la protección, curvas de sobretensiones temporales y las energías del sistema y los descargadores como herramienta de comparación entre las alternativas brindadas por los fabricantes.

El programa contemplará principalmente los niveles de tensión normalizados en nuestro país, aunque existirá la posibilidad de ingresar el valor de la tensión en caso de que esta no sea un valor nominal predeterminado, con el objetivo de que pueda ser utilizado en instalaciones de cualquiera de las empresas que prestan servicios a nivel nacional. Igualmente. Solo se tomarán en cuenta los descargadores de óxido de metal (óxido de zinc y/o híbridos) ya que estos son los dispositivos más utilizados por las empresas eléctricas a nivel nacional e internacional.

1.5 Limitaciones

-
-
- El Software estará limitado a la selección de Descargadores de Sobretensión para ser instalados en líneas de transmisión aéreas, Sistemas de Distribución y Subestaciones.
 - No es objetivo de estudio los sistemas que inciden directamente en la selección del descargador (sistema de puesta a tierra), así como tampoco lo es el estudio de la ubicación de los descargadores en líneas de transmisión.
 - La base de datos original estará formada por equipos de al menos tres de los más importantes fabricantes de descargadores de sobretensión. Permitiendo la inclusión de nuevas series y nuevos fabricantes.
 - No es objetivo de este estudio la demostración de ninguna de las ecuaciones que rigen tanto el comportamiento de los descargadores como el del sistema.
 - El criterio de selección de descargadores no considera características mecánicas ni económicas.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los principales conceptos relacionados a las sobretensiones, sus características, su clasificación, así como también definiciones acerca de los descargadores de sobretensión, sus características, tipos, principios de funcionamiento, pruebas y ensayos.

2.1 ANTECEDENTES

Sufia Juan A. y Torrealba Freddy; en su Trabajo de Grado, (1988) “**Pararrayos de oxido de zinc (ZNO)**”, presentado para optar al titulo de Ingeniero Electricista. Describen un enfoque adecuado sobre este nuevo pararrayos y persigue suministrar indicaciones en cuanto a su funcionamiento; se explican los criterios de selección de dicho dispositivo, pruebas a realizar, así como sus aplicaciones y usos en redes de alta y media tensión, con lo cual contribuye a despejar cualquiera de las dudas que se puedan tener en el uso de pararrayos de oxido de zinc. [15]

Marcano Jaime y Alastre Humberto; en su Trabajo de Grado, (1993) “**Desarrollo de un esquema para la selección de pararrayos de oxido de zinc**” presentado para optar al titulo de Ingeniero Electricista. Presentan un esquema simplificado para la selección de pararrayos de oxido de zinc, tomando en cuenta todos los parámetros necesarios, como: envejecimiento, distribución de tensión, magnitud y duración de las sobretensiones tempéales TOV, contaminación, etc.....; esto con el propósito de que la selección final del pararrayos sea apropiada; además del esquema simplificado presentan un esquema mucho mas completo, tomando en cuenta el esquema de selección simplificado. Cuando el nivel de protección, que se proporciona en el esquema simplificado no es aceptable se recurre a realizar la selección con el esquema de selección mas completo. [16]

2.2 SOBRETENSIONES

Se denominan sobretensiones a las diferencias de potenciales transitorias o permanentes existentes entre fases o entre fase y tierra en una instalación, con un valor de cresta mayor a la tensión máxima del sistema, estas diferencias de potencial son capaces de poner en peligro el material aislante o el buen servicio de una instalación eléctrica. La relación entre la sobretensión U_s , y la tensión de servicio U se llama factor de sobretensión que viene expresado por:

$$K_s = U_s / U \quad (2.1)$$

Con este factor se puede estimar la magnitud de las posibles sobretensiones que pueden presentarse en la instalación. Sin embargo, las sobretensiones son de naturaleza probabilísticas, lo que dificulta su control, su estudio y su predicción. Estas, pueden producir descargas que además de destruir un equipo o averiar seriamente su material aislante, también pueden ser la causa de nuevas sobretensiones.

Los peligros de las sobretensiones no se deben solamente a su amplitud, sino también a su forma de onda, es decir que la capacidad destructiva de una sobretensión se debe esencialmente a la cantidad de energía que esta onda transporta.

Las sobretensiones en las redes de suministro de energía eléctrica no pueden ser evitadas y son el resultado de los efectos de los impactos de los rayos de manera directa e indirectamente sobre las líneas y de las acciones de maniobras de los sistemas. Estas ponen en peligro el equipamiento eléctrico ya que por razones económicas el aislamiento no puede ser diseñado para soportar todos los posibles casos de sobretensiones que se puedan presentar en un sistema. La búsqueda de instalaciones mas económicas y seguras para los sistemas de potencias conllevaron al desarrollo y perfeccionamiento de sistemas de protección contra estas tensiones indeseables. [4]

Las sobretensiones se producen tanto en instalaciones de baja como de media y de alta tensión, aunque generalmente, en las primeras tienen menos importancia que en las últimas. En las instalaciones de alta tensión por las propias condiciones de funcionamiento, de energía y de aislamiento, la propagación de sobretensiones puede tener mayores efectos destructivos sobre el equipamiento eléctrico.

Existen elementos para mitigar el efecto de las sobretensiones. Podemos mencionar:

Las protecciones contra sobretensiones en Sistemas de Potencia pueden ser encontradas en dos formas:

- Evitando las sobretensiones producto de los rayos en su punto de origen, por ejemplo instalando cables a tierra en las inmediaciones de las subestaciones para interceptar los rayos (cables de guarda).
- Limitando las sobretensiones en las cercanías de los equipos eléctricos, por ejemplo colocando **descargadores de sobretensión** en las proximidades de los equipos.

En los sistemas de alta tensión ambos métodos de protección son usualmente utilizados pero en los sistemas de media tensión la presencia del cable de guarda no garantiza que las líneas no sean alcanzadas por una descarga, por su pequeña distancia entre los cables de la línea y el de tierra muchas veces el impacto del rayo también alcanza los cables de la línea, Además los efectos de sobretensiones inducidas por el impacto de rayos en las cercanías de una instalación no pueden ser minimizados por el cable de guarda.

El método más común para proteger sistemas de media tensión es el uso de descargadores de sobretensión en las proximidades de los equipos eléctricos.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SOBRETENSIONES

Las tensiones anormales o sobretensiones pueden ser clasificadas esencialmente en tres tipos. [7]

- **Sobretensiones Temporales**

Son sobretensiones de frecuencia industrial y ocurren durante un rechazo de carga o por causa de una falla en una conexión a tierra, la duración de este tipo de sobretensiones se encuentra entre 0.1 segundo y muchas horas, En general la onda no excede el valor de $\sqrt{3}$ p.u por lo que no pone en peligro a la red, pero si debe ser tomado en cuenta para el dimensionamiento de los descargadores de sobretensión.

- **Sobretensiones de maniobra o (switching overvoltage)**

Como su nombre lo indica ocurren durante acciones de maniobra y consisten mayormente en oscilaciones con frecuencias mayores a varios Khz. y magnitudes hasta 3 p.u. Un caso especial son las maniobras en circuitos inductivos. Aquí el tiempo de frente de onda de la sobretensión se mantiene entre $0.1\mu\text{s}$ y $10\mu\text{s}$ y los valores picos pueden alcanzar hasta un valor de 4 p.u. comprometiendo el material aislante y la operatividad del sistema. Las sobretensiones de este tipo también surgen cuando las líneas se encuentran activas, para estos casos el valor pico se encuentra por debajo de 2.2 p.u. y no ponen en riesgo las instalaciones del sistema.

- **Sobretensiones externas o atmosféricas**

Son originadas por descargas atmosféricas. Ellas alcanzan su valor pico en pocos μs y luego decaen rápidamente, la magnitud de estas sobretensiones

unipolares en redes de media y baja tensión puede alcanzar sin dificultad valores por encima de 10 p.u.

Las sobretensiones atmosféricas son la mayor amenaza para las redes de media y baja tensión. Las protecciones contra sobretensiones deben ser dispuestas de manera tal que puedan delimitar las tensiones elevadas a valores que no produzcan daños al sistema.

2.3 DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN.

Se denominan, en general, descargadores de sobretensión a los dispositivos destinados a descargar a tierra las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas, que se descargarían sobre los aisladores perforando el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y en muchos casos, desperfectos en los generadores, transformadores, etc. **[2]**

Los descargadores de sobretensión fueron utilizados exclusivamente en redes de Media Tensión hasta mediados de la década de los 80, estos consistían en una serie de conexiones de resistores de Carburo de Silicio SiC con un entrehierro de placas. Durante el aumento de la sobretensión surgía un cortocircuito a tierra cuando actuaba el entrehierro del descargador. Los resistores de SiC conectados en serie limitaban la corriente siguiente proveniente de la fuente de poder y de esta manera permitían la extinción del arco entre las placas del entrehierro en el momento en que la tensión volvía a realizar su paso por cero. **[4]**

En los últimos años hubo dos mejoras fundamentales en los descargadores utilizados en los Sistemas de Potencia, por un lado la conexión en serie de resistores de SiC y el entrehierro de placas fueron reemplazados por resistores de Oxido de Metal (MO-resistors) sin el entrehierro. Por otro lado el encapsulado de los descargadores

construidos en porcelanas o vidrio, fue reemplazado por un nuevo encapsulado fabricado con polímeros (materiales sintéticos). [4]

En la figura 2.1.-b) se muestra un símil hidráulico del funcionamiento de los descargadores, donde el agua (A) representa a la tensión del sistema, el dique (B) representa el nivel de protección, y el conducto de evacuación (C) representa al descargador. Si se presenta una crecida de agua en un tiempo muy corto, el conducto de evacuación debe drenar rápidamente la mayor parte del agua, para que esta no alcance el nivel máximo y se desborde la presa. El funcionamiento del descargador es muy similar, si ocurre una crecida de tensión, como la sobretensión $U(t)$ que se muestra en la 2.1.-a), el descargador drenara la mayor parte de la sobretensión a tierra, evitando de esta manera que el transformador se vea expuesto a una tensión mayor de la que su aislamiento será capaz de soportar.

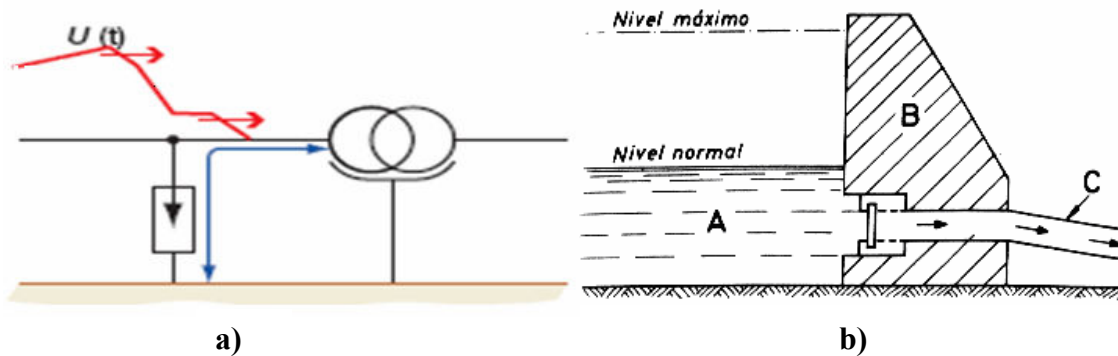


Fig. 2.1.-a) Funcionamiento de un descargador. b) Símil hidráulico de un descargador.

2.4 DEFINICIONES

Para comprender el funcionamiento de los descargadores de Sobretension es necesario conocer algunas definiciones.

Las definiciones que se presentan a continuación (a menos que se indique lo contrario) son citadas de las normas IEC 60099-4 y ANSI/IEEE C62.11.

- **(BIL/BSIL) Nivel Básico de Aislamiento**

Nivel básico de aislamiento estadístico: valor de cresta de un impulso atmosférico (1,2/50 μ s) o de maniobra (250/2500 μ s), para el cual el aislamiento denota 90% de probabilidad de soportar la prueba o 10% de fallar durante esta. [2]

Nivel básico de aislamiento convencional: valor de cresta de un impulso típico o estándar que el aislamiento soporta sin ruptura y sin exhibir daños permanentes al ser expuesto a dicho impulso un número determinado de veces. [2]

- **Valor de cresta, Valor pico (de una onda o impulso)**

Máximo valor alcanzado por la onda.

- **Tensión máxima de la red (U_m)**

Tensión máxima entre fases durante el servicio normal.

- **Corriente de descarga nominal (IEC)**

El valor máximo del impulso de corriente de descarga que se utiliza para clasificar el descargador.

- **Corriente de clasificación de descarga (ANSI/IEEE)**

La corriente de descarga nominal que se utiliza para efectuar las pruebas de clasificación de los descargadores.

- **Tensión Nominal (U_r)**

Un descargador para cumplir con la norma IEC debe resistir su tensión nominal (U_r) durante 10 segundos después de ser precalentado a 60°C y sometido a una inyección de energía según se define en la norma. Así U_r debe ser como mínimo igual a la capacidad de sobretensión temporal de 10 segundos de un descargador. La tensión nominal se utiliza como parámetro de referencia.

- **Tensión de funcionamiento nominal (ANSI)**

Es la tensión nominal máxima admisible entre terminales para el funcionamiento de un descargador.

- **Tensión de trabajo continuo (U_c /MCOV)**

Es la tensión de frecuencia industrial eficaz máxima admisible que se puede aplicar de forma continua entre los terminales del descargador. Esta tensión se define de distintas formas (se verifica con diferentes procedimientos de prueba) en IEC y ANSI

- **U_c (IEC)**

IEC permite al fabricante decidir la tensión U_c . El valor se verifica en la prueba normalizada. Debe explicarse cualquier distribución de tensión desigual en el descargador.

- **MCOV (ANSI)**

ANSI establece la tensión de trabajo continuo máxima (MCOV) para todas las características nominales de descargador utilizadas en una tabla. El valor es utilizado en todas las pruebas especificadas por ANSI. Los estándares de ANSI son menos estrictos en lo que se refiere a la distribución de tensión desigual en un descargador.

- **Sobretensiones temporales (TOV)**

Las sobretensiones temporales, a diferencia de las sobretensiones instantáneas, son sobretensiones de frecuencia industrial oscilantes de duración relativamente larga (entre algunos ciclos y varias horas). La forma más habitual de sobretensión temporal se produce en las fases sanas de una red, durante una pérdida a tierra en una o varias fases. Otras fuentes de sobretensión temporal son el rechazo de carga, a energización de líneas descargadas, etc.

- **Tensión residual / tensión de descarga**

Es el valor máximo de la tensión, que aparece entre los terminales de un descargador cuando pasa por él la corriente de descarga. La tensión residual depende de la magnitud y la forma de onda de la corriente de descarga. Las características de tensión y corriente de los descargadores se indican en los catálogos de cada fabricante.

- **Capacidad de energía**

La capacidad de energía de un descargador se refiere a la cantidad de energía que este podrá resistir, sin sufrir daños, cuando ocurra una Sobretensión. Las normas no definen de forma explícita la capacidad de

energía de un descargador. La única medida especificada es la Clase de Descarga de Línea en IEC. Por regla general, esta información no es suficiente para comparar diferentes fabricantes, y por consiguiente, los fabricantes también facilitan la capacidad de energía en kJ/kV que puede soportar cada equipo.

- **Energía de prueba rutinaria**

Esta es la energía total a que es sometido cada uno de los bloques de oxido de metal en las pruebas de producción correspondientes a cada fabricante.

- **Energía de impulso único**

Ésta es la energía máxima admisible a la que puede ser sometido un descargador en un sólo impulso con una duración de 4 ms o más, manteniéndose posteriormente la estabilidad térmica con la sobretensión temporal y U_c especificadas.

- **Capacidad de cortocircuito**

Es la capacidad de un descargador, en caso de producirse una sobrecarga por cualquier motivo, de conducir la corriente de cortocircuito de servicio resultante sin sufrir una ruptura violenta que podría causar daños en los equipos circundantes o daños personales. Después de una operación de este tipo se debe cambiar el descargador.

- **Resistencia del aislamiento externo**

Es el valor máximo de la tensión aplicada (para una forma de onda especificada) que no genera un arco en el descargador. A diferencia de otros

equipos, los descargadores están diseñados para descargar internamente y la tensión en el revestimiento no puede sobrepasar nunca los niveles de protección. Así, el aislamiento externo está autoprotegido si su resistencia es superior a los niveles de protección corregidos para la altitud de instalación.

Las normas especifican los siguientes factores de seguridad adicional, excepto la corrección de altitud:

- IEC: 15% para impulsos cortos y 10% para impulsos largos (al nivel del mar)
- ANSI: 20% para impulsos cortos y 15% para impulsos largos (al nivel del mar)

Nota: Los factores de corrección de altitud son 13% por 1.000 m (IEC) y 10% por 1.000 m (ANSI).

- **Características de contaminación**

IEC 60815 define cuatro niveles de contaminación (entre moderada y muy fuerte) y estipula la fuga requerida para revestimientos de porcelana indicada en la tabla adjunta.

Nivel de contaminación	Fuga específica en mm/KV (U_m)
Moderado (L)	16
Medio (M)	20
Alto (H)	25
Muy alto (V)	31

Tabla. 2.1.- Fuga requerida para revestimientos de porcelana según IEC 60815

Los valores de la tabla también pueden ser considerados para revestimientos de Polímeros.

La distancia de fuga es la longitud medida a lo largo del perfil externo del revestimiento y sirve de medida del comportamiento del descargador en entornos contaminados en lo que respecta al riesgo de arcos externos.

Dado que el diámetro medio de los descargadores normalizados es inferior a 300 mm, la distancia de fuga específica es igual a la distancia de fuga nominal.

- **Nivel Cerámico.**

El nivel cerámico es un indicador indirecto que expresa la cantidad de días de tormenta al año de una determinada región y acostumbra a darse para un país según el Mapa de Niveles Isocerámicos (Curvas de nivel de igual cantidad de días de tormenta al año). En la figura 2.6 muestra el mapa de niveles isocerámicos de Venezuela tomado desde el año 1.998 hasta el 2.002.

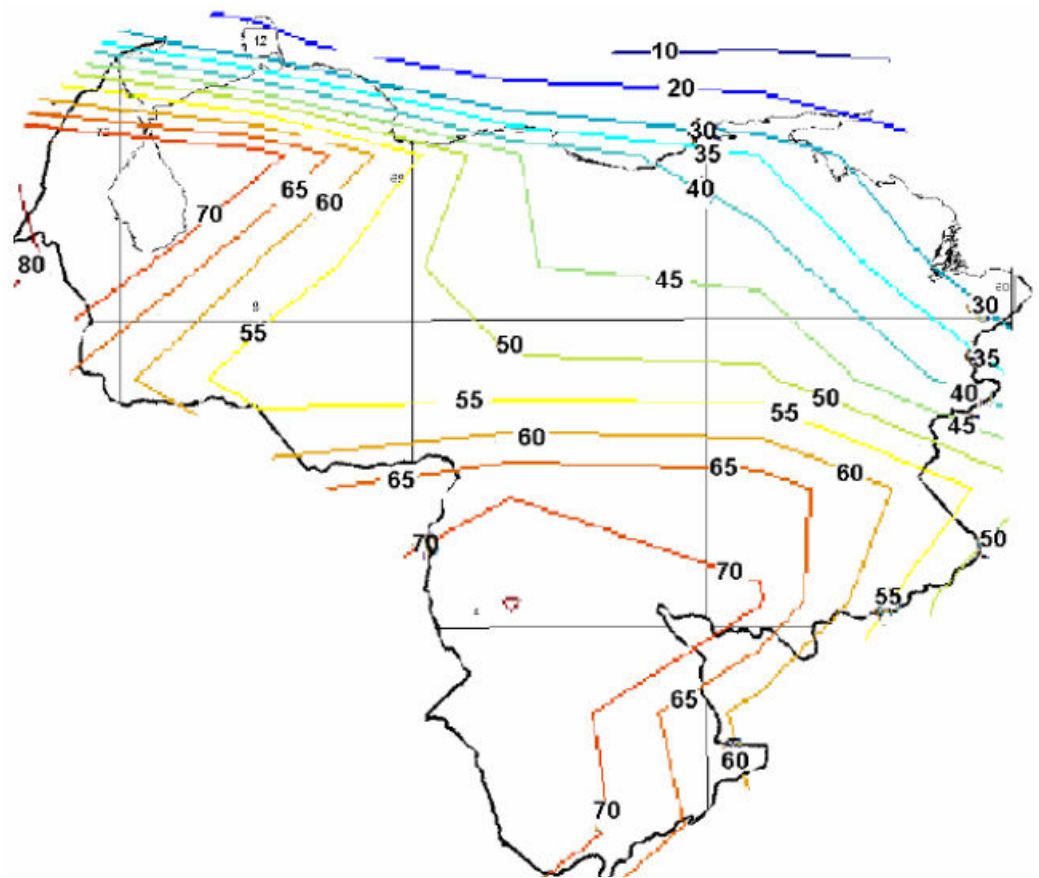


Fig. 2.2.- Mapa de Niveles Isoceránicos de Venezuela (1.998-2.002) Fuente: FAV.

2.5 DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN DE OXIDO DE METAL

La ventaja fundamental de los descargadores de Oxido de Metal es el hecho de que por las características no lineales de su resistor de Oxido de metal no necesitan de la presencia de entrehierros. La corriente comienza a fluir a través del descargador una vez que el valor de la sobretension alcanza el valor de U_p . Por esta razón el

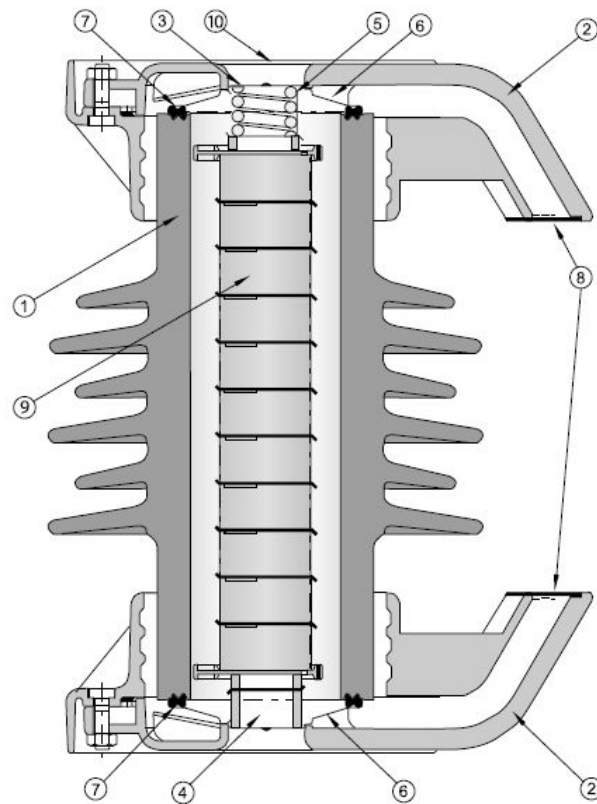
descargador de Oxido de Metal reduce la sobretension más rápido que los descargadores de SiC.

Si el aislamiento exterior del descargador se encuentra contaminado, la distribución del potencial a lo largo de su superficie es desigual. Se pueden presentar descargas parciales, las cuales pueden producir una modificación de la distribución de la tensión a lo largo del aislamiento exterior del descargador, que para el caso de descargadores con entrehierros es crítico, al punto de producir la destrucción del equipo. Esta es la razón por la cual los descargadores de sobretensión de Oxido de Metal sin entrehierros tienen una mejor resistencia a la contaminación.



Fig. 2.3.- Descargadores de sobretension colocados en un transformador.

2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL DESCARGADOR.



1	Aislador de porcelana	6	Tapa sellante
2	Conducto de escape	7	Anillo sellante
3	Resorte	8	Placas de características
4	Bolsa de desecante	9	Bloques de ZnO
5	Chapa de cobre	10	Tapa de bricla

Fig. 2.4.- Características de diseño, descargadores con revestimiento de porcelana (EXLIM ABB)

En la figura 2.6 se muestran las características físicas de un descargador de óxido de metal. Cada fabricante posee sus líneas y modelos de descargadores que en esencia se encuentran constituidos de manera similar. Cada descargador está compuesto por una o varias unidades como las que se muestran en la figura 2.6. Cada unidad está formada por un revestimiento de porcelana o material sintético que contiene una columna sencilla de bloques de ZnO, estos bloques son sometidos a extensas

pruebas rutinarias individuales durante la fabricación. Por consiguiente, es necesario conectar las unidades en serie, como se observa en la figura 2.7, en el orden predeterminado y marcado en las mismas. Siguiendo las indicaciones suministradas por cada fabricante.

Los descargadores largos suelen requerir anillos equipotenciales para mantener una tensión uniforme y aceptable en toda su longitud. Por consiguiente, el funcionamiento de estos descargadores sin los anillos equipotenciales puede causar averías en el material aislante del descargador.

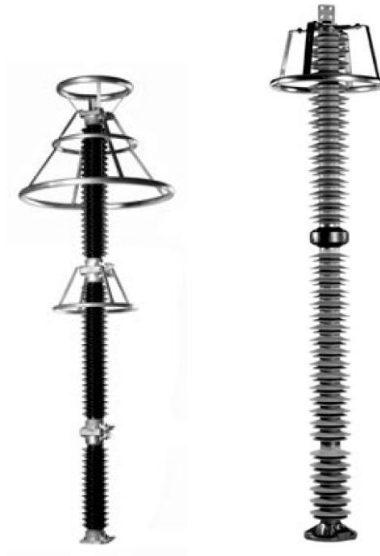


Fig. 2.5.-Descargadores con anillos equipotenciales.

- **ELEMENTO RESISTOR DE OXIDO DE METAL**

Las característica Voltaje Corriente del resistor de Oxido de Metal es fuertemente no lineal. En la figura 2.3 se muestra la curva característica voltaje-corriente ($I_n=10KA$). U_p es el nivel de protección. Este es definido como el

máximo voltaje de la resistencia durante el flujo de I_n . U_c es definido como el valor r.m.s del Voltaje Máximo de Operación Continua (MCOV) del resistor.[7]

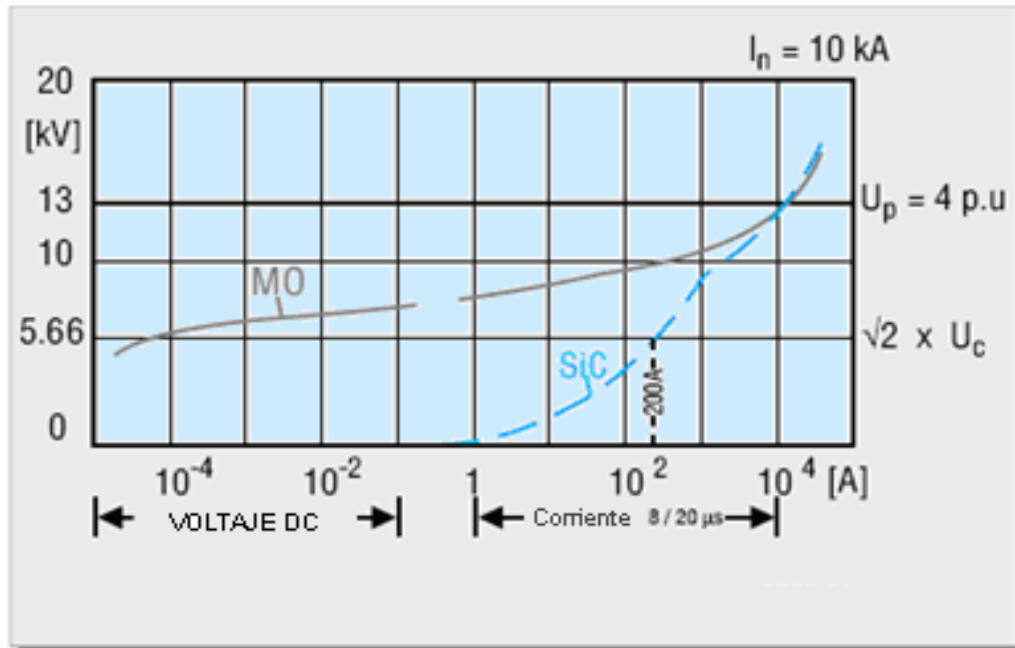


Fig. 2.6.-Curvas característica voltaje-corriente para resistores de MO y SiC para $U_c = 4$ Kv. (Fuente ABB)

La curva característica de la figura, corresponde a un resistor con $U_c = 4$ KV. En el caso de una carga de tensión DC con $\sqrt{2} \times U_c = 5.66$ kV, circula una corriente DC en el rango de 0.1 mA. El componente capacitivo a 50 Hz y el valor de U_c oscila en las proximidades de 0.5 mA. El nivel de protección U_p cuando $I_n = 10$ KA alcanza los 13 KV.

De forma comparativa el diagrama muestra también la curva de un resistor de SiC, que posee igualmente un $U_p = 13$ Kv. Debido a que este descargador exhibe un comportamiento más lineal, la corriente continua del descargador en carga nominal alcanzara un valor cercano a los 200 A. Por consideraciones térmicas un descargador con estas características no es factible ya que esta cantidad de

energía no podría ser soportada por el descargador y le causaría su destrucción. Los descargadores convencionales de SiC, necesitan un entrehierro de placas en serie con sus resistencias para que este asuma el voltaje en operación continua.

Las resistencias de Oxido de Metal, también denominados varistores de Oxido de Metal para el caso del fabricante Ohio Brass, el 90% del peso del resistor esta constituido por ZnO, el resto se encuentra compuesto por mas de ocho componentes, usualmente seleccionados entre los siguientes: Bi₂O₃, SbO₃, Cr₂O₃, NiO, MgO, CaO, TiO₂, Co₃O₄, MnO, SiO₂, SnO₂, Ag₂O, ZrO₂, La₂O₃, Pr₆O₁₁, K₂O, Al₂O₃, B₂O₃, BaO, n₂O₃, etc. Presentes en forma de polvo de 0.2 a 0.5 micrómetros de diámetro.



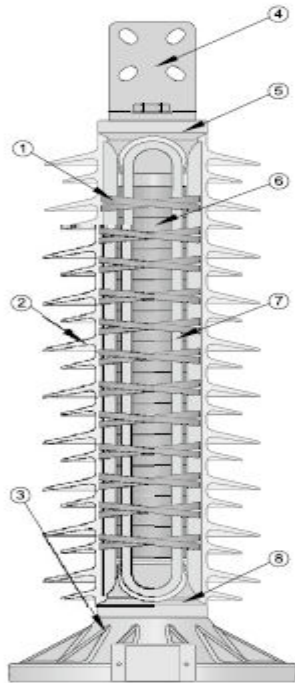
Fig. 2.7.- Cilindros de Oxido de Metal (Ohio Brass)

- **Dispositivo de sellado y alivio de presión**

La figura 2.6 muestra un descargador con recubrimiento de porcelana serie EXLIM de ABB, en este las bridas están cementadas en la porcelana y

también envuelven el dispositivo de sellado. Para obtener un rendimiento satisfactorio, es importante que las unidades estén herméticamente selladas durante toda la vida útil de los descargadores. El dispositivo de sellado en cada extremo de cada unidad consta de una placa de acero inoxidable pretensado con una junta de goma. La placa ejerce una presión continua en la junta contra la superficie del aislador, asegurando el sellado efectivo aunque la junta se asiente debido al envejecimiento. También se usa para fijar la columna de los bloques en sentido longitudinal mediante resortes. El sellado de cada unidad se verifica después de la fabricación con pruebas rutinarias.

La placa de sellado está diseñada para actuar también como sistema de alivio de sobrepresión. Si el descargador es sometido a esfuerzos que sobrepasan su capacidad nominal, se crea un arco interno. Los gases ionizados causan un aumento rápido de la presión interior, la cual a su vez produce la apertura de la placa de sellado, permitiendo la salida de los gases ionizados por conductos de escape. Dado que los conductos de ambos extremos están dirigidos el uno hacia el otro, ello produce un arco externo, aliviándose así la presión interna e impidiendo el resquebrajamiento violento del aislador.



1	Devanado protector
2	Aislador de caucho de silicona
3	Base
4	Terminal de línea
5	Horquilla superior
6	Bloques de ZnO
7	Aro de fibra de vidrio
8	Horquilla inferior

Fig. 2.8.- Características de diseño, descargadores con revestimiento de silicona (PEXLIM ABB)

- **Material aislante**

Los descargadores con recubrimiento sintético utilizan los mismos bloques de ZnO que los descargadores de porcelana y tienen un rendimiento eléctrico equivalente. La silicona como material aislante se utiliza desde hace más de 30 años con buenos resultados, y se ha incorporado también en los descargadores. Proporciona ventajas añadidas como un peso bajo, mejores características de contaminación, mayor seguridad del personal y flexibilidad de instalación.

Si el descargador es sometido a esfuerzos eléctricos que sobrepasan su capacidad nominal, se crea un arco interno. Debido al diseño de caja abierta, se

quema fácilmente a través del material de silicona blando permitiendo que los gases resultantes sean evacuados rápida y directamente. Al mismo tiempo, las fibras de aramida impiden la expulsión explosiva de los componentes internos. Por consiguiente, no se requieren válvulas de alivio de presión para este diseño. La capacidad de cortocircuito de autoprotección es verificada en las pruebas de cortocircuito según la IEC.

- **Corriente Nominal de Descarga y Capacidad de absorción de Energía**

La corriente nominal de descarga es el valor máximo del impulso de corriente de descarga que se utiliza para clasificar el descargador.

Los descargadores con corriente nominal de 5 KA. han demostrado confiabilidad en sistemas de media tensión. La capacidad de absorción de energía es mucho mayor que el nivel de energía que se espera en la red, con excepción de las elevadas corrientes causadas por los rayos, estas corrientes también pueden ser manejadas por los descargadores, sin embargo esto es poco frecuente que suceda.

En Líneas aéreas incluso bastante alejadas del lugar de impacto del rayo, un rayo puede causar corrientes relativamente altas que fluirán por el descargador. Por esta razón los fabricantes, de acuerdo con lo establecido en las normas IEC 60099-4 y ANSI/IEEE C62.11, crean gamas de descargadores con Distintas capacidades de manipulación de energía, con corrientes nominales de 10 KA, 20 KA, 40 KA.

El empleo de estos equipos con mayores corrientes de descarga, se recomienda en todos los lugares en donde en términos de la energía, la seguridad operativa y del nivel de protección, los requerimientos del sistema son bastante altos. Como por Ejemplo:

-
-
- Regiones con mucha actividad de Rayos.
 - Líneas aéreas con postes de concreto o madera y crucetas no aterradas
 - Descargadores colocados en lugares de poca accesibilidad para equipos de mantenimiento
 - En líneas que exigen altos requerimientos con respecto a las seguridad operacional
 - Protección de Motores, generadores y cables
 - Áreas con niveles de contaminación industrial altos, o donde el descargador se encuentre a menos de 1000 m del mar.

Existen casos donde los equipos requieren de niveles de protección más altos como por ejemplo

- Hornos de Inducción
- Grandes baterías de Capacitores
- Secciones muy largas de Cables
- Maquinas rotativas Costosas
- Transformadores y Autotransformadores de Subestaciones Principales

En estos casos se requieren capacidades de absorción de energía mayores como por ejemplo los descargadores tipo POLIM-H con $I_n = 20 \text{ KA}$ y 13.3KJ/KVUC .

2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS DESCARGADORES

Existen varios tipos de descargadores clasificados según su ubicación y sus capacidades de energía:

- **Descargadores de Distribución:** Poseen las mayores tensiones de descarga y usualmente se diferencian entre Normal Duty y Heavy Duty, son los más

económicos y los que poseen la mayor demanda comercial. Como su nombre lo indica son diseñados para proteger Sistemas de Distribución.

- **Descargadores Clase Intermedia:** los equipos de esta clase presentan características de protección mejoradas, pueden manejar mayores cantidades de energía sin afectar su durabilidad. Son sustancialmente más costosos que los de distribución.
- **Descargadores Clase Subestación:** Proveen de los mayores índices de protección, poseen la mayor de las capacidades de absorción de energía y la mayor durabilidad, cumplen uno de los trabajos más importantes en un sistema, el de proteger los Transformadores, Autotransformadores de Potencia y equipos pertenecientes a una Subestación. Son los más robustos y costosos de los descargadores.
- **Descargadores Clase Línea:** Poseen características eléctricas muy similares a los de la clase subestación, pero con diferencias en sus robustez y materiales de construcción, son creados con la finalidad de obtener grandes niveles de protección, con pesos menores para facilitar su instalación. Protegen las líneas de transmisión de sobretensiones y principalmente de los Flashovers o arcos inversos.
- **Descargadores Especiales:** descargadores como los Riser pole, Sumergidos en aceite, y otros descargadores diseñados y fabricados para funciones muy específicas. Pueden tener características combinadas de cualquiera de los tipos de descargadores, se crean partiendo de las necesidades de aplicación, no son de fácil adquisición, sus costos son elevados y varían según sus características eléctricas y mecánicas.

2.8 CONDICIONES ESPECIALES DE OPERACIÓN

- **Energía de cortocircuito de la red.**

Un descargador de sobretensiones puede verse afectado por la energía de cortocircuito de la red en la que está instalado. Bajo esta condición el descargador inevitablemente se destruye. Esta condición puede ser originada por: elevadas corrientes de descarga, por la presencia de descargas múltiples, y por el fenómeno de descarga retroactiva (Backflashover), este último produce perforaciones en el resistor.

En los descargadores encapsulados en porcelana al surgir el arco eléctrico, este causa un aumento rápido de la presión del gas contenido en el encapsulado. Si el nivel de cortocircuito de la red no es muy alto, la válvula de alivio de presión en el descargador se abre antes de que la presión alcance el punto de explosión del encapsulado. Por otro lado si la corriente es extremadamente alta, la posibilidad de que el descargador explote no puede ser descartada.

Con los descargadores encapsulados en polímeros o siliconas no existe el peligro de explosión en caso de una sobrecarga. No hay presencia de aire entre las partes activas del descargador y su aislante de polímero por lo que no existe espacio para que la presión dentro del descargador aumente en caso de la sobrecarga. En estos casos, aparecen perforaciones en el encapsulado que inmediatamente conllevan a la iniciación de una descarga en el exterior del dispositivo.

- **Temperaturas ambientales Elevadas**

Los valores de U_c garantizados por los distintos fabricantes tienen validez para temperaturas no mayores a 45 °C. En el caso de Descargadores al aire libre, la radiación solar (1.1KW/m²) es tomada en cuenta. Si existen otras fuentes

de calor en las proximidades del descargador el incremento en los niveles de radiación de calor debe ser tomado en cuenta y los valores de U_c deben ser incrementados necesariamente. Si la temperatura ambiental excede los 45 °C, U_c debe ser incrementado en un 2% por cada 5° de temperatura por encima de los 45°C.

- **Contaminación del aire**

Los polímeros siliconados son uno de los mejores materiales aislantes en ambientes contaminados. Principalmente debido a que es un material que repele el agua. Los descargadores encapsulados en polímeros se comportan de manera mas favorable bajo altos niveles de contaminación que los descargadores con encapsulados en porcelana y otros materiales. La capacidad hidrofobica de la silicona le brinda una ventaja sobre los otros materiales, las partículas contaminantes y el sucio no pueden adherirse con facilidad al recubrimiento flexible y son lavados por las lluvias.

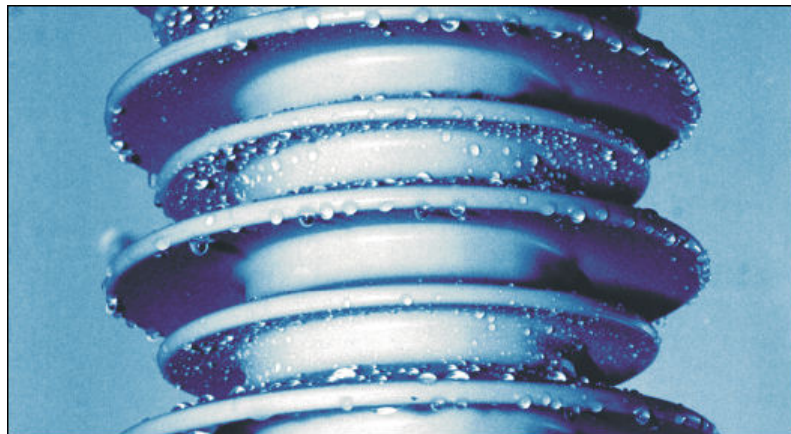


Fig. 2.9.- Efecto hidrofóbico de los polímeros siliconados

- **Ajustes por altitud en el encapsulado de los descargadores**

Los descargadores son diseñados para trabajar en elevaciones no mayores a 1800 metros sobre el nivel del mar. En altitudes mayores, la densidad del aire disminuye y la distancia de fuga del encapsulado del descargador puede no ser suficiente para soportar las descargas externas. Para estos casos, la parte activa permanece inalterada y debe ser colocada en un encapsulado con mayor distancia de fuga.

Como un valor de orientación se puede considerar que por cada 1000 m por encima de los 1800 metros sobre el nivel del mar, la distancia de fuga debe incrementarse en un 12% o 13%. Por ejemplo: par aun altitud de 3300 m, la distancia del aislamiento debe ser incrementada en un 18% con respecto a la distancia del descargador para condiciones normales. [7]

2.9 CONDICIONES DE SERVICIO DE LOS DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN

El estándar IEEE para los descargadores de Oxido de Metal en Circuitos de energía alterna (IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits) define las siguientes condiciones de operación para los descargadores de Oxido de metal. [5]

2.9.1 CONDICIONES DE SERVICIO USUALES

Para que un descargador conformado bajo este estándar sea capaz de operar adecuadamente, debe estar bajo las siguientes condiciones:

- **Condiciones Físicas**

- I. La temperatura continua del aire en los alrededores del descargador debe encontrarse entre - 40 °C y 40 °C.

-
-
- II. La temperatura máxima temporales del aire debido a fuentes externas de calor cercanas al descargador no deben exceder 60 °C
 - III. La altitud no debe exceder los 1800m (6000ft) sobre el nivel del mar.

- **Condiciones del Sistema**

- I. La frecuencia nominal del sistema debe encontrarse entre 48 HZ y 62 Hz
- II. El voltaje línea tierra debe estar por debajo del valor nominal del descargador para todas las condiciones de operación del sistema.

2.9.2 CONDICIONES DE SERVICIO INUSUALES

- **Condiciones Físicas**

- I. Temperatura continúa del aire en los alrededores del descargador fuera del rango - 40 °C y 40 °C.
- II. Temperatura máxima temporales del aire debido a fuentes externas de calor cercanas al descargador por encima de 60 °C.
- III. Alturas por encima de los 1800 m (6000ft) sobre el nivel del mar.
- IV. Descargadores expuestos a:
 - Vapores o humos dañinos
 - Sucio excesivo, sales u otros elementos conductores que se puedan depositar en el material aislante, steam, atmósferas explosivas, vibraciones anormales o impactos.
- V. Limitaciones respecto a la separación con objetos conductores, sobre todo a alturas mayores a los 1800 m.
- VI. Transporte y almacenamiento indebido

- **Condiciones del Sistema**

- I. Frecuencias nominales fuera del rango 48 Hz – 60 HZ.
- II. Condiciones de operatividad del sistema donde los valores nominales del descargador pueden ser temporalmente sobrepasados. Como por ejemplo:
 - Perdida del aterramiento del neutro en circuitos normalmente aterrados
 - Aumentos de velocidades en los generadores
 - Inestabilidades del sistema
 - Fallas monofásicas a tierra persistentes en sistemas trifásicos no aterrados.

2.10 SELECCIÓN DE DESCARGADORES DE SOBRETENSIONES

2.10.1 PARÁMETROS DEL SISTEMA

Para la selección de un descargador, es necesario revisar su condición y comportamiento bajo sobretensiones temporales que puedan ocurrir en el sistema, generalmente se considera como la tensión máxima en las fases sanas del sistema cuando ocurre una falla en una fase distinta, tomando en cuenta el tipo de sistema y su tipo de aterramiento. Estas condiciones del sistema son determinadas por cada empresa de suministro eléctrico dependiendo de la topología de su red. Esta tensión corresponde al voltaje máximo que puede soportar el descargador por un periodo de tiempo determinado bajo las condiciones definidas. En los estándares de descargadores, los valores de tensión nominal del descargador son determinados mediante las pruebas de ciclo de operación. Estas pruebas definen el valor máximo de tensión en el cual puede encontrarse sometido el descargador manteniendo su corriente de descarga nominal.

Para los descargadores de Oxido de metal, el factor mas determinante y limitante es el incremento de la temperatura. Por no presentar entrehierros, los descargadores de Oxido de Metal pueden ser energizados por encima de sus condiciones nominales, y estos pueden descargar las corrientes eficientemente. Estas capacidades son definidas por las curvas de Sobretensión Temporal o TOV (temporary overvoltage). Esta curva define el tiempo máximo durante el cual un descargador puede funcionar apropiadamente bajo una condición de sobretensión.

Un factor que afecta la capacidad de TOV del descargador es la energía absorbida (las condiciones de temperaturas iniciales de los bloques) previa a la aplicación del TOV y a la tensión subsiguiente.

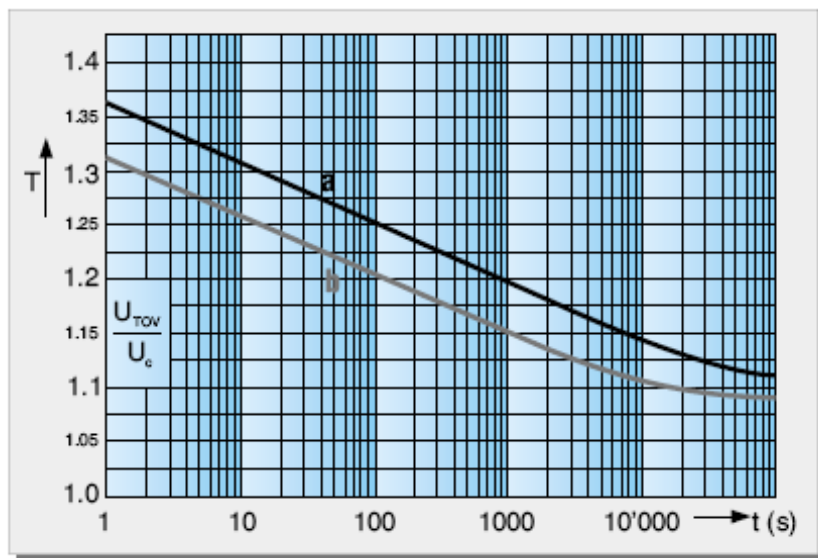


Fig. 2.10 CURVAS DE TOV, a) Sin previa actividad, b) con actividad previa (Fuente ABB)

El TOV más conocido comúnmente es el de falla monofásica a tierra. Su amplitud esta dada por el producto de $\sqrt{3}U_m$ por el factor de falla a tierra k_e que se encuentra determinado por las condiciones de aterramiento del sistema. La figura 2.11 presenta el

valor de k_e dependiendo de la reactancia de secuencia y la resistencia del sistema para las resistencias de falla más desfavorable. Puede ser que el factor k_e sea desconocido, para estos casos puede ser estimado como 1.4 para sistemas efectivamente aterrados y 1.73 para sistemas no aterrados efectivamente.

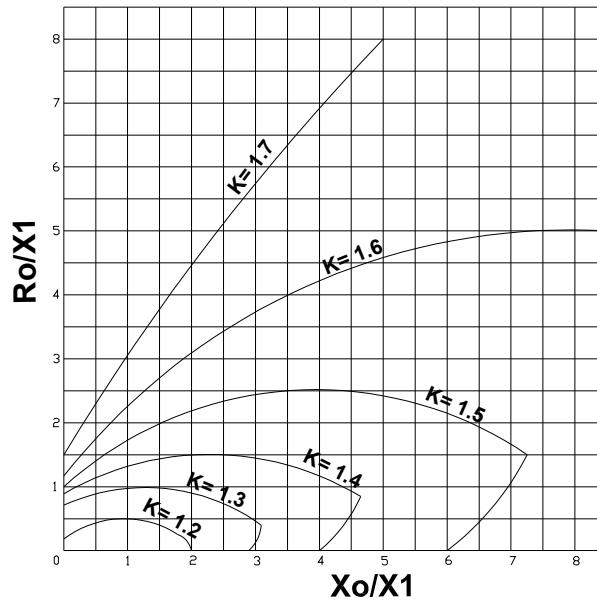


Fig.

2.11.- la curva muestra la relación R_0/X_1 y X_0/X_1 para valores constantes de factor de falla a tierra k (Fuente IEC)

2.10.2. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA

Este paso está enfocado principalmente en las condiciones de estrés a las cuales es sometido el descargador por causa de acciones de maniobras en cargas atrapadas en líneas con descargadores de sobretensión colocados en los finales de línea como el caso mostrado en la figura 2.12. Este caso es considerado como determinante.

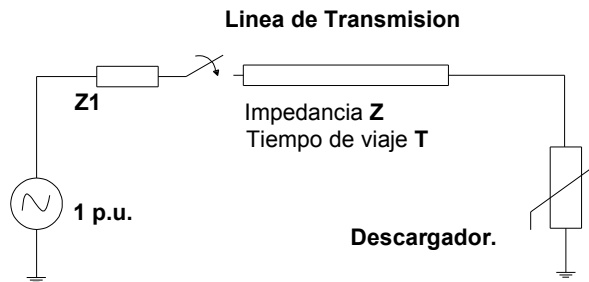


Fig. 2.12.- Modelo Unifilar

Si el tiempo de viaje de la descarga en la línea es corto comparado con un ciclo de frecuencia-potencia y Z_1 representa una impedancia baja, la corriente a través del descargador va a tener una forma rectangular con una duración igual a dos veces el tiempo de viaje T de la onda en la línea. En casos reales la corriente en el descargador no tiene una forma de onda rectangular pura. La impedancia de la fuente, Z_1 , va a afectar la onda de tensión impuesta en la línea por la acción de energización del interruptor. La onda de voltaje se distorsionará durante su viaje en la línea, la onda de retorno va a causar reflexiones en el Terminal de envío y en sistemas de múltiples fases existirá una interacción entre las fases. Sin embargo, este modelo unifilar es útil para muchos casos. Para evitar análisis y estudios computarizados este método simplificado puede ser aplicado en primeras instancias para estimar el estrés al cual será sometido el descargador durante una acción de maniobra, si este calculo revela niveles de energía muy elevados y requiere de de estudios mas calificados que los considerados inicialmente, entonces serian justificables estudios más precisos.

2.10.3 PARÁMETROS DE MANIOBRA O SWITCHING PARAMETERS.

La sobretensión esperada U_L depende de parámetros tales como: localización del descargador, tipo de operación de maniobra, presencia o ausencia de resistores preinsertados, la red de alimentación y de la compensación en paralelo. Valores por encima de los propuestos en la tabla 2.1 pueden presentarse en algunos casos, estos casos deben analizarse antes de realizar su estimación de U_L .

El tiempo de propagación de onda (T) depende de la longitud de la línea y de la velocidad de propagación de onda. Para líneas aéreas la velocidad de una onda de sobretensión es muy aproximada a la velocidad de la luz ($0.3 \text{ Km}/\mu\text{s}$). Para cables, la velocidad es mucho menor (cercana a los $0.15 \text{ Km}/\mu\text{s}$).

Voltaje del sistema U_m (KV)	Impedancia de la fuente Z(ohm)	Sobretensión esperada sin descargador U_L (por unidad)
< 145	450	3
De 145 a 345	400	3
De 362 a 525	350	2.6
765	300	2.2

Tabla. 2.2.-Valores típicos de sobretensiones de maniobra

2.10.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA CAPACIDAD DE ENERGÍA DEL DESCARGADOR

En los estándares existentes de descargadores de sobretensión, la capacidad de absorción de energía para sobretensiones de maniobra debe ser verificada en la Prueba de Descarga de Línea. Para esta prueba la IEC define 5 clases, que corresponden a 5 tipos distintos de descargas de línea, y cada descargador se asigna a

una de estas clases, dependiendo del tipo de descarga de línea que este sea capaz de soportar

La energía absorbida por un descargador en una prueba de descarga de línea, es función de la clase de descarga de línea y el nivel de protección para impulsos de maniobra del descargador. Como se muestra en la figura 2.13.

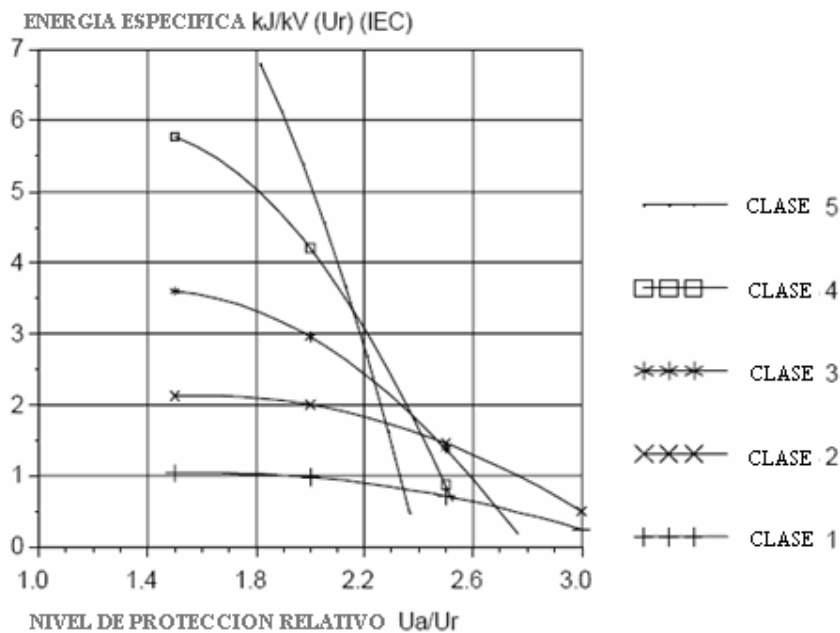


Fig. 2.13.- IEC Clases de descarga a línea.

Las pruebas de descarga de línea consta de descargas repetitivas, en esta se debe comprobar estabilidad térmica de los descargadores para dos descargas consecutivas con una separación de 50 a 60 segundos entre si. En la mayoría de los casos las condiciones de diseño tienen muy poca probabilidad de que ocurran, por lo tanto es suficiente diseñar para una operación y no para dos operaciones consecutivas.

2.10.5 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.

Una vez que se ha preseleccionado un descargador, se debe determinar el nivel de protección que este brinda al aislamiento del equipo a proteger. Esta protección depende de las características del descargador, de las sobretensiones de maniobra, de las descargas atmosféricas esperadas y de las características del aislamiento del equipo. El nivel de protección es cuantificado por medio de los márgenes de protección. El objetivo es el de obtener o exceder los valores mínimos de protección para los distintos tipos de sobretensiones en el sistema, según lo que se recomienda en los estándares de aplicación.

2.10.6 CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL DESCARGADOR.

Las características de protección de los descargadores están definidas básicamente por los voltajes residuales y generalmente estos son proporcionales al valor de U_c . Los voltajes residuales son los valores de tensión a los que quedara expuesto el equipo a proteger una vez que el descargador ha actuado, este valor no solo depende de las características del descargador y de la sobretensión, si no que también se ve afectado por la resistencia de las conexiones del descargador a la línea y a tierra, y los efectos inductivos de estas conexiones, como se puede observar en la Fig (x). La ecuación (x) nos muestra como calcular los voltajes residuales.

$$U_{res} = U_{res1} + RI + L \frac{di}{dt} \quad (2.2)$$

Donde:

U_{res} : Tensión residual del sistema

U_{res1} : tensión residual del descargador

R: resistencia de puesta a tierra

I: Corriente de descarga a tierra

L: Inductancia del cable y de las conexiones ($1\mu\text{H/m}$)

di/dt : Tiempo de formación de cresta

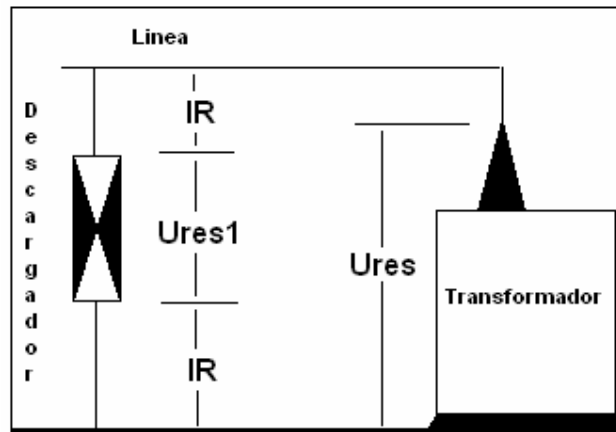


Fig. 2.14.- Representación de los voltajes residuales.

Es importante destacar que algunos fabricantes, no toman en cuenta el efecto de las conexiones y asumen $U_{res} = U_{res1}$, esto lo hacen con la finalidad de simplificar la selección.

Las características de protección son una función continua que dependen del rango de la descarga de corriente y de los valores residuales de voltaje que estas generan. El nivel de aislamiento que soportan los equipos por otra parte esta definido por tres puntos de voltaje, obtenidos por medio de las pruebas estandarizadas de sobretensiones de maniobra, sobretensiones de onda completa (impulsos atmosféricos), y sobretensiones de frente de onda.

Para la coordinación con el aislamiento del equipo se seleccionan tres niveles de protección, estos niveles se describen a continuación:

2.10.7 NIVEL DE PROTECCIÓN PARA SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

Este es el voltaje residual de cresta que resulta al aplicar un impulso de corriente 36/90 μ s al descargador. Para definir el nivel de protección por maniobras se selecciona una corriente de coordinación de sobretensiones de maniobra, para distintos niveles de tensión. Esta corriente será: 500A para sistemas con una tensión fase-fase máxima de 150kV, 1000A para sistemas con una tensión fase-fase comprendida entre 150kV y 325kV, 2000A para sistemas con una tensión fase-fase superior a los 325kV.

2.10.8 NIVEL DE PROTECCIÓN PARA IMPULSOS

Este es el voltaje residual de cresta que resulta al aplicar un impulso de corriente 8/20 μ s al descargador. Los fabricantes proporcionan en sus catálogos los valores de voltajes de cresta residuales para una variedad de corrientes de cresta. Para realizar la coordinación de aislamiento se debe elegir una corriente de coordinación, basándose en el nivel de voltaje del sistema. Para sistemas con U_m menor o igual a 420kV se propone una corriente de 10kA, para sistemas con $420kV < U_m < 800kV$ se propone una corriente de 15kA, y para sistemas con $U_m > 800kV$ se propone una corriente de 20kA.

2.10.9 NIVEL DE PROTECCIÓN PARA FRENTES DE ONDA

Este es el voltaje residual de cresta que resulta al aplicar un impulso de corriente con un tiempo de cresta menor a 8/20 μ s al descargador. Este nivel de protección se obtiene aplicando una serie de ondas de corriente con distintos tiempos de cresta (1, 2, 8 ms) y extendiendo el tiempo de los valores de voltaje medidos a 0.5 μ s tal como se estipula en las normas ANSI/IEEE C62.11

2.11 MÁRGENES DE PROTECCIÓN:

Los márgenes de protección se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$M\% = \left(\frac{\text{Nivel de aislamiento}}{\text{Nivel de proteccion}} - 1 \right) \times 100 \quad (2.3)$$

Con esta fórmula se calculan los márgenes para los tres niveles de protección. En la figura 2.15 se muestra un ejemplo de coordinación de aislamiento para un sistema 34.5kV utilizando un descargador tipo PDV-100 de la marca OHIO BRASS.

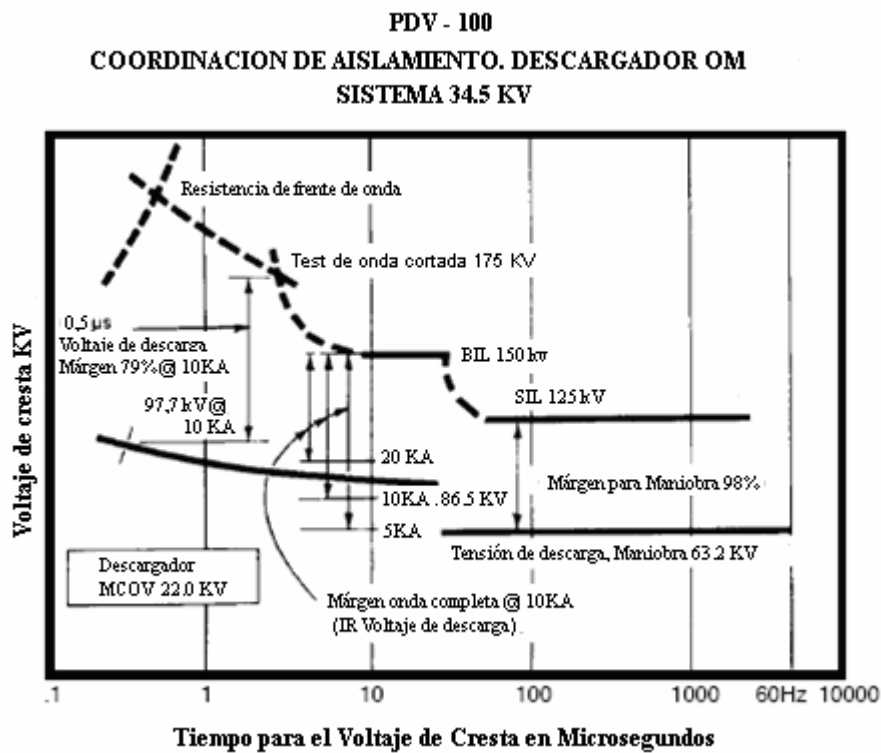


Fig. 2.15.- Esquema de Coordinación de aislamiento, para un sistema de 34.5kV, con un descargador PDV-100

En este esquema se pueden observar los márgenes de protección y los voltajes residuales para distintas corrientes de descarga, básicamente es un resumen grafico, que contiene los resultados de algunos los cálculos que se realizan para determinar si el descargador es el adecuado para el sistema.

3. MARCO METODOLOGICO.

En el presente capítulo se describe la metodología y se detallan los pasos a seguir para el desarrollo del trabajo de investigación. Se define el procedimiento de selección de los descargadores y se describen las herramientas que se utilizarán para el desarrollo del software.

3.1 FASES METODOLÓGICAS.

A continuación se describen los pasos que se desarrollarán para lograr los objetivos planteados en la investigación:

3.1.1. Fase I: DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MÁS RESALTANTES DE LAS SOBRETENSIONES Y DE LOS DESCARGADORES.

Se explicará que son las sobretensiones, como se originan comúnmente, que daños pueden ocasionar, como se clasifican y cuáles son sus características principales.

Se describirá de forma breve los detalles constructivos, partes principales, valores nominales y principios básicos de funcionamiento de los descargadores de sobretensiones, mediante consultas bibliográficas y revisiones en Internet.

3.1.2. Fase II: DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN PARA DETERMINAR EL DESCARGADOR.

Se revisaran los procedimientos de selección que proponen distintos fabricantes, y el procedimiento desarrollado estará basado en las normas propuestas por la asociaciones internacionales ***International Electrotechnical Comisión (IEC)*** y ***The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)***. Definiendo de esta manera un procedimiento de selección confiable y apegado a las normativas internacionales.

3.1.3. Fase III: DESARROLLO DEL SOFTWARE.

Para el desarrollo del software se utilizarán dos herramientas computacionales de alto nivel como lo son Microsoft Visual Basic y Microsoft Access.

Dado que el software requiere de una interfaz amigable para el usuario y no requiere de cálculos complejos, se seleccionó Microsoft Visual Basic como herramienta para manejar todo lo referente a la interfaz del programa, los cálculos matemáticos y su estructura. Además, la necesidad de trabajar con una base de datos extensa y que posibilite su actualización por el usuario cuando este lo desee, conlleva a la selección de Microsoft Access, por ser una de las herramientas con mayor potencial para el manejo de bases de datos.

A continuación se presenta una breve descripción de estas herramientas:

- **MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0:**

Visual Basic es un lenguaje de programación desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. El lenguaje de programación es un dialecto de BASIC, con importantes incorporaciones. Su primera versión fue presentada en 1991 con la

intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y en cierta medida también la programación misma.

Es un lenguaje de fácil comprensión, tanto para programadores principiantes como expertos, guiado por eventos, y centrado en un motor de formularios poderoso que facilita el rápido desarrollo de aplicaciones gráficas. Su principal innovación, que luego fue adoptada por otros lenguajes, fue el uso de un tipo de dll, llamado inicialmente vbx y posteriormente ocx, que permiten contener toda la funcionalidad de un control y facilitar su rápida incorporación a los formularios.

Su sintaxis, derivada del antiguo BASIC, ha sido ampliada con el tiempo al agregarse las características típicas de los lenguajes estructurados modernos. Se ha agregado una implementación limitada de la Programación Orientada a Objetos (los propios formularios y controles son objetos). No requiere de manejo de punteros y posee un manejo muy sencillo de cadenas de caracteres. Posee varias bibliotecas para manejo de bases de datos, pudiendo conectar con cualquier base de datos a través de ODBC (Informix, DBase, Access, MySQL, SQL Server, PostgreSQL ,etc) a través de ADO.

El compilador de Microsoft genera ejecutables que requieren una DLL para que sus ejecutables funcionen, en algunos casos llamada MSVBVMxy.DLL (acrónimo de "MicroSoft Visual Basic Virtual Machine x.y", siendo x.y la versión) y en otros VBRUNXXX.DLL ("Visual Basic Runtime X.XX"), que provee todas las funciones implementadas en el lenguaje. Además existen un gran número de bibliotecas (DLL) que facilitan el acceso a muchas funciones del sistema operativo y la integración con otras aplicaciones. **[13]**

- **MICROSOFT ACCESS:**

Microsoft Access es un sistema de gestión de bases de datos creado y modificado por Microsoft (DBMS) para uso personal o de pequeñas organizaciones. Es un componente de la suite Microsoft Office aunque no se incluye en el paquete *básico*. Su principal función es ser una potente base de datos, capaz de trabajar en sí misma o bien con conexión hacia otros lenguajes de programación, tales como Visual Basic 6.0 o Visual Basic .NET. Pueden realizarse consultas directas a las tablas contenidas mediante instrucciones SQL. Internamente trae consigo el lenguaje Visual Basic for Application (VBA) el cual es similar en forma a VB6.

Permite el ingreso de datos de tipos: Numéricos, Texto, Fecha, Sí/No, OLE, Moneda, Memo y Boolean. Pueden desarrollarse aplicaciones completas basadas en Microsoft Access, pues trae consigo las herramientas necesarias para el diseño y desarrollo de formularios para el ingreso y trabajo con datos e informes para visualizar e imprimir la información requerida.

Su funcionamiento se basa en un motor llamado Microsoft Jet, y permite el desarrollo de pequeñas aplicaciones autónomas formadas por formularios Windows y código VBA (Visual Basic para Aplicaciones). Una posibilidad adicional es la de crear ficheros con bases de datos que pueden ser consultados por otros programas. Entre las principales funcionalidades de Access se encuentran:

- Crear tablas de datos indexadas.
- Modificar tablas de datos.
- Relaciones entre tablas (creación de bases de datos relacionales).
- Creación de consultas y vistas.
- Consultas referencias cruzadas.
- Consultas de acción (INSERT, DELETE, UPDATE).

-
-
- Formularios.
 - Informes.
 - Llamadas a la API de Windows.
 - Interacción con otras aplicaciones que usen VBA (resto de aplicaciones de Microsoft Office, Autocad, etc.).
 - Macros.

Además, permite crear frontends - o programa que muestra la interfaz de usuario - de bases de datos más potentes ya que es un sistema capaz de acceder a tablas externas a través de ODBC como si fueran tablas Access.

Es un software de gran difusión entre pequeñas empresas (PYMES) cuyas bases de datos no requieren de excesiva potencia, ya que se integra perfectamente con el resto de aplicaciones de Microsoft y permite crear pequeñas aplicaciones con unos pocos conocimientos de programación. **[13]**

3.1.4. Fase IV: VALIDACIÓN DEL SOFTWARE.

Para realizar la validación del software se realizara una comparación entre los resultados obtenidos con el software y los valores obtenidos de manera manual. Para realizar la selección manual se utilizara el mismo procedimiento en que se basa el software. Los resultados obtenidos de ambas formas deben coincidir para poder decretar el software como valido.

3.1.5. Fase V: GENERAR CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Generación de conclusión y comentarios sobre los resultados obtenidos con el software.

3.2. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN.

Luego de revisar todos los procedimientos que proponen los distintos fabricantes, basados en las normas establecidas por la IEC y la ANSI/IEEE, el procedimiento que se elegirá para el desarrollo del software será el que se presenta a continuación.

3.2.1. OBTENER LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA.

Obtener o estimar el valor más elevado de voltaje del sistema (U_m). Si solo se conoce el voltaje nominal del sistema, el valor de U_m se puede estimar como 1.05 o 1.1 veces el valor nominal.

Las sobretensiones temporales (TOV) más comunes son las causadas por fallas monofásicas a tierra. La amplitud de estas se puede obtener multiplicando $U_m/\sqrt{3}$ por el factor de aterramiento K_e , este factor se puede determinar a partir de las condiciones de aterramiento del sistema. En la grafica que se muestra en la Figura 3.3. se puede obtener el valor de K_e a partir de los valores de resistencia e impedancia de secuencia cero y de secuencia positiva. Si estos valores no se conocen, el factor de aterramiento se puede asumir como 1.4 para sistemas efectivamente aterrados o 1.73 para sistemas no efectivamente aterrados o aterrados a través de impedancia.

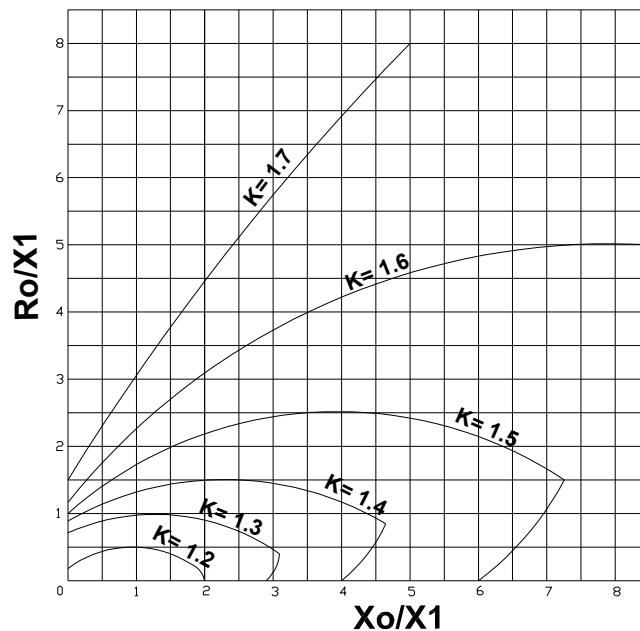


Fig. 3.1.- Curvas de la relación entre R_0/X_1 y X_0/X_1 para valores constantes de K_e (IEC)

3.2.2. SELECCIONAR EL VOLTAJE CONTINUO DE OPERACIÓN (UC, MCOV):

En un sistema trifásico con descargadores conectados entre fase y tierra, siempre y cuando este no presente condiciones anormales de servicio, el valor de U_c deberá ser igual o mayor que $U_m/\sqrt{3}$.

Con el valor de U_c calculado se va a los catálogos de los fabricantes y se selecciona un valor de U_c comercial que sea superior o igual al calculado.

3.2.3. SELECCIONAR UN DESCARGADOR CON CAPACIDAD DE SOBRETENSIÓN TEMPORAL ADECUADA:

La amplitud de la sobretensión temporal se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$TOV = K_e \times \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad (3.1)$$

$K_e \leq 1.4$ para sistemas efectivamente aterrados.

$K_e = 1.73$ para sistemas no efectivamente aterrados.

Una vez obtenido el valor TOV se divide entre U_c , con el valor obtenido y la máxima duración de despeje de fallas del sistema, se va a las tablas de capacidad de sobretensión temporal del descargador (Figura 3.4). Si el punto obtenido se encuentra por debajo de la recta, el descargador soportara la sobretensión, por el contrario si se encuentra por encima, no la resistirá.

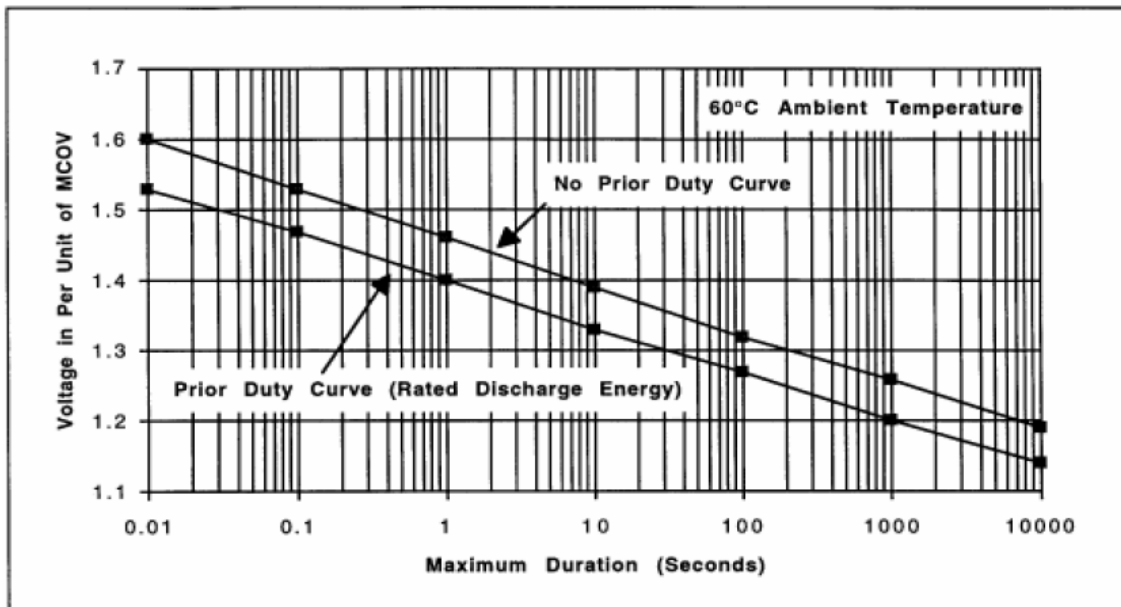


Fig. 3.2.-Capacidad de Sobretensión temporal

3.3. DETERMINAR LOS PARÁMETROS DE MANIOBRA:

Los valores típicos para distintos voltajes del sistema se muestran en la Tabla 3.1.

Voltaje del sistema U_m (KV)	Impedancia de la fuente Z (ohm)	Sobretensión esperada sin descargador U_L (por unidad)
< 145	450	3
De 145 a 345	400	3
De 362 a 525	350	2.6
765	300	2.2

Tabla. 3.1.-Valores típicos de sobretensiones de maniobra

En la tabla 3.1 las presuntas sobretensiones U_L dependen de parámetros tales como el tipo de operación de maniobra, la red de alimentación y de la compensación paralela.

3.4 CALCULAR LA ENERGÍA DEL DESCARGADOR:

La energía (W , J) absorbida por el descargador viene dada por la siguiente ecuación [17]:

$$W = \frac{U_L - U_{res}}{Z} \times U_{res} \times 2T \times n \quad (3.2)$$

Donde:

U_L : Sobretensión por operaciones de maniobra (kV)

U_{res} : Voltaje residual del descargador (kV)

Z : Impedancia equivalente en presencia de la sobretensión (ohm)

T: Tiempo de propagación de la onda (μs)

n: numero de descargas consecutivas.

Y el tiempo de propagación de la onda viene definido por:

$$T = \frac{l}{v} \quad (3.3)$$

Donde:

l: Longitud de la línea (km)

v: velocidad de propagación (km/ μs)

3.5 SELECCIONAR UN DESCARGADOR CON LA ADECUADA CAPACIDAD ENERGÉTICA:

La capacidad de absorción de energía para sobretensiones de maniobra debe ser probada en las pruebas de descarga de línea, como se menciona en el capítulo anterior. Los fabricantes proporcionan al usuario los valores energéticos que puede soportar determinado descargador en kJ/kV, como se muestra en la tabla 3.2.

Table 4 - Energy Capability				
Arrester Rated Voltage (kVrms)	Housing Type	Arrester Type	Max. Current for Energy Rating (Amps)	kJ/kV of MCOV
3 - 36kV	Polymer	Normal Duty Distribution	300	1.4
3 - 36kV	Polymer	Heavy Duty Distribution	450	2.2
3 - 36kV	Polymer	Riser Pole	650	3.4
3 - 144kV	Polymer	Intermediate	650	3.4
3 - 144kV	Polymer	Station	1000	4.9
3 - 48kV	Porcelain	Station	1000	4.9
54 - 360kV	Porcelain	Station	1500	8.9
396 - 612kV	Porcelain	Station	2400	17.0

Tabla. 3.2.-Capacidad energética para una serie de descargadores marca Tranquell, General Electric.

Una vez calculada la energía absorbida por el descargador (W), se divide entre el voltaje máximo de operación continua (Uc), este valor se compara con el suministrado por el fabricante, el valor calculado debe ser menor que el proporcionado por el fabricante, de no ser así, se debe seleccionar un Uc mayor o en su defecto probar con otro tipo de descargador.

3.6VOLTAJES RESIDUALES.

Los voltajes residuales del descargador vienen dados por la siguiente ecuación:

$$U_{res} = U_{res1} + RI + L \frac{di}{dt} \quad (3.4)$$

Donde:

U_{res1} : tensión residual de descargador

R: resistencia de puesta a tierra

I: Corriente de descarga a tierra

L: Inductancia del cable y de las conexiones (1μH/m)

di/dt: Tiempo de formación de cresta

Para sobretensiones de maniobra no se toman en cuenta los efectos de la inductancia, debido a que no existen altas frecuencias, como en los casos de frente de onda y de descargas atmosféricas. [2]

3.7 DETERMINAR MÁRGENES DE PROTECCIÓN:

Se calculan los márgenes de protección para los tres tipos de sobretensiones estudiadas, utilizando las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$MOC(\%) = \left(\frac{BIL}{Ures_1} - 1 \right) \times 100 \quad (3.5)$$

$$MSM(\%) = \left(\frac{BSIL}{Ures_2} - 1 \right) \times 100 \quad (3.6)$$

$$MFW(\%) = \left(\frac{FW}{Ures_3} - 1 \right) \times 100 \quad (3.7)$$

Donde:

MOC(%): Margen de protección para sobretensiones de onda completa

MSM(%): Margen de protección para sobretensiones de maniobra

MFW(%): Margen de protección para sobretensiones de frente de onda

Ures₁: Voltaje residual por descargas de onda completa

Ures₂: Voltaje residual por sobretensiones de maniobra

Ures₃: Voltaje residual por frentes de onda

BIL: Nivel básico de aislamiento del equipo a proteger

BSIL: Nivel de voltaje por sobretensiones de maniobra que el equipo a proteger puede soportar

FW: Nivel de voltaje por ondas cortadas (frente de onda) que el equipo a proteger soportara.

3.8 COMPROBAR QUE EL DESCARGADOR GARANTICE LA PROTECCIÓN DEL AISLAMIENTO.

Una vez calculados los márgenes de protección se debe corroborar que cumplan con las condiciones que se presentan en la siguiente tabla:

Aislamiento del Equipo	Mínimo margen de protección recomendado
FW	20%
BSIL	15%
BIL	20%

Tabla 3.3.- Valores de protección recomendados según la norma ANSI C62.22.

Si alguno de estos márgenes no se cumple es necesario seleccionar otro valor de U_c o escoger otro tipo de descargador.

3.9 CALCULAR LAS DISTANCIAS MÁXIMAS DE PROTECCIÓN.

Para calcular la distancia máxima de la protección se utiliza la ecuación que sigue [17]:

$$L = \frac{U_{BIL} - U_{res}}{2S} \times V \quad (3.7)$$

Donde:

U_{BIL}: Nivel de básico de aislamiento del equipo en KV

U_{res}: Voltaje residual para sobretensiones de maniobra del descargador en KV

S: Pendiente de la onda de sobretensión (aprox. 1.200 kV/μs)

V: Velocidad de propagación de la onda (Línea aérea, aprox. 300 m/μs Cable, aprox. 150 m/μs)

3.10. REVISIÓN DE CONDICIONES DE SERVICIO.

En la elaboración del software se consideraran solamente descargadores que se vayan a instalar en sistemas que cumplan con las siguientes condiciones de servicio:

- La temperatura continua del aire en los alrededores del descargador debe encontrarse entre - 40 °C y 40 °C.
- La temperatura máxima temporales del aire debido a fuentes externas de calor cercanas al descargador no deben exceder 60 °C
- La altitud no debe exceder los 1800m (6000ft) sobre el nivel del mar.
- La frecuencia nominal del sistema debe encontrarse entre 48 HZ y 62 Hz

-
-
- El voltaje línea tierra debe estar por debajo del valor nominal del descargador para todas las condiciones de operación del sistema.
 - Se consideran solo sistemas aéreos, ya que no se toman en cuenta los efectos de la ferro resonancia

Un ejemplo detallado de estos cálculos se presenta en el capítulo V.

MANUAL DEL USUARIO

4.1 BASE DE DATOS

La base de datos se encuentra desarrollada en el programa Microsoft Access. Esta conformada por tres (3) de los principales fabricantes de Descargadores de Sobretensión de Óxido de Metal: Asea Brown Boveri, Ohio Brass y General Electric y sus series más representativas. Contiene un total de 688 descargadores con sus características eléctricas más relevantes.

La base de datos permite su actualización mediante la incorporación de nuevos descargadores, nuevas series o nuevos fabricantes. De igual manera permite la modificación de los datos existentes en la base original y la adición de nuevas series y descargadores en los fabricantes ya existentes.

4.2 INSTALACIÓN.



Fig. 4.0 Imagen Asistente de Instalación.

Para el correcto funcionamiento de la base de datos, el equipo debe tener instalado Microsoft Office Access 2003 o cualquier versión posterior. Para la instalación de la base de datos y el programa, solo debe ejecutarse el programa

de instalación y este se encargara de instalar los elementos necesarios para el funcionamiento del software.

4.3 ACCESO A LA BASE DE DATOS

Para acceder a la base y visualizar sus componentes existen dos formas: la primera haciendo doble click en el icono “**BASE DE DATOS SSDOM**”, ubicado en la carpeta principal del programa; la segunda mediante la activación del botón **VER BASE DE DATOS** en el menú principal y en la ventana de resultados del programa SSDOM, especificado más adelante.

Al ingresar a la base de datos se abrirá automáticamente el panel de control principal.

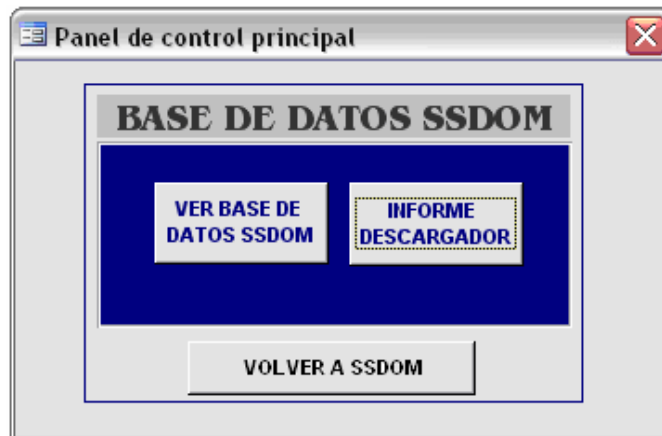


Fig. 4.1 Panel Principal BD SSDOM

El panel principal permite entrar a la base de datos o visualizar e imprimir un informe con los datos del descargador seleccionado.

4.4 COMPONENTES DE LA BASE DE DATOS

4.4.1 TABLAS

La base de datos esta conformada por tres tablas principales, las cuales se describen a continuación:

a. Fabricantes

	idFabricante	NombreFabricante	Abrev	logo
+	1	General Electric	GE	Imagen de mapa de bits
+	2	Ohio Brass	OB	Imagen de mapa de bits
+	3	Asea Brown Boveri	ABB	Imagen de mapa de bits
▶	0			

Fig. 4.2.-

Imagen de la Tabla Fabricantes

En esta tabla se almacenan los datos correspondientes a los fabricantes en las siguientes columnas:

- **IdFabricante:** número del fabricante y referencia interna de la tabla.
- **NombreFabricante:** almacena los nombres de los fabricantes.
- **Abrev:** almacena la abreviatura o siglas del nombre del fabricante.
- **Logo:** almacena el logotipo de la empresa.

b. Series

Cada fabricante posee distintas series o líneas de descargadores clasificados según su material de aislamiento, tensiones residuales, capacidad de energía, tipo de descargador, etc.

	idSerie	idFabricante	AbreviaturaSerie	Tensiones de red (Um)
+	3	ABB	EXLIM Q-E	52 -245
+	4	ABB	EXLIM R	52 -170
+	5	ABB	EXLIM T	245 -800
+	6	ABB	HS PEXLIM P-T	245 -550
+	7	ABB	HS PEXLIM T-T	245 -800

Fig. 4.3.- Imagen Tabla Series

En esta tabla se almacenan los datos correspondientes a cada serie de los distintos fabricantes, en las siguientes columnas:

- **IdSerie:** número de la serie y referencia interna de la tabla.
- **IdFabricante:** corresponde a la abreviatura del nombre del fabricante.
- **AbreviaturaSerie:** almacena la abreviatura del nombre de la serie.
- **Tensiones de red (Um):** rango de tensiones de red en KV para los cuales existen descargadores de esa serie.
- **Tensiones nominales (Ur):** rango de tensiones nominales en KV de los descargadores de esa serie.
- **Fotopath:** dirección de la imagen del descargador tipo para esa serie.
- **Clase:** clase del descargador: Línea, Distribución Normal Duty, Distribución Heavy Duty, Intermedia, Subestación y Especial.
- **Tipo de Aislamiento:** se refiere al material aislante de los descargadores de la serie: Porcelana o Polímero de Silicona.
- **Serie:** Nombre completo de la serie.
- **Capacidad de Energía KJ/KV:** cantidad de energía manejable por el descargador, definidas por las clases IEC y las normas ANSI.
- **TOVwnpd 0,1s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador sin actividad previa, para 0,1 segundos en por unidad de Uc.

-
-
- **TOVwnpd 1s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador sin actividad previa, para 1 segundo en por unidad de Uc.
 - **TOVwnpd 10s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador sin actividad previa, para 10 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwnpd 100s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador sin actividad previa, para 100 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwnpd 1000s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador sin actividad previa, para 1000 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwprd 0,1s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador con actividad previa, para 0,1 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwprd 1s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador con actividad previa, para 0,1 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwprd 10s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador con actividad previa, para 0,1 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwprd 100s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador con actividad previa, para 0,1 segundos en por unidad de Uc.
 - **TOVwprd 1000s:** capacidad de sobretensión temporal del descargador con actividad previa, para 0,1 segundos en por unidad de Uc.

c. Tabla 1 Descargadores

Cada serie posee su grupo de descargadores diferenciados por sus tensiones nominales, Uc, capacidades de absorción de energía, etc.

idDescargador	idSerie	Código	Tensión Nominal Ur (KV)	Uc/MCOV (KV)	F
10	5 KA PDV-65	214022	27	22	
11	5 KA PDV-65	214024	30	24,4	
12	5 KA PDV-65	214029	36	29	
13	DynaVar PDV-100	214203	3	2,55	
14	DynaVar PDV-100	214205	6	5,1	
15	DynaVar PDV-100	214207	9	7,65	

Fig. 4.4.- Imagen Tabla 1Descargadores

En esta tabla se almacenan los datos correspondientes a cada uno de los **688** descargadores de sobretensión existentes en la base de datos y cada uno de los que sean adicionados, organizados en las siguientes columnas:

- **IdDescargador:** número del descargador y referencia interna de la tabla.
- **IdSerie:** corresponde a la abreviatura del nombre de la serie.
- **Código:** código del descargador en catálogo.
- **Tensión Nominal Ur (KV):** tensión nominal del descargador.
- **Uc/MCOV (KV):** tensión de trabajo continuo máxima.
- **Frente de Onda 0.5µs 10 KA (KV):** tensión residual para una descarga tipo frente de onda de 0,5 µs, con una corriente de 10 KA.
- **Ures LS 8/20 1,5 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 8/20 µs, con una corriente de 1,5 KA.
- **Ures LS 8/20 3 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 8/20 µs, con una corriente de 3 KA.
- **Ures LS 8/20 5 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 8/20 µs, con una corriente de 5 KA.
- **Ures LS 8/20 10 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 8/20 µs, con una corriente de 10 KA.

-
-
- **Ures LS 8/20 20 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 8/20 μ s, con una corriente de 20 KA.
 - **Ures LS 8/20 40 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 8/20 μ s, con una corriente de 40 KA.
 - **Ures SS 60/100 0,5 KA:** tensión residual para una descarga tipo maniobra de 60/100 μ s, con una corriente de 5 KA.
 - **Ures SS 30/60 0,5 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 30/60 μ s, con una corriente de 5 KA.
 - **Ures SS 30/60 1 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 30/60 μ s, con una corriente de 1 KA.
 - **Ures SS 30/60 2 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 30/60 μ s, con una corriente de 2 KA.
 - **Ures SS 45/90 0,5 KA:** tensión residual para una descarga tipo impulso de 45/90 μ s, con una corriente de 0.5 KA.
 - **Distancia de fuga:** distancia de fuga de descargador.

4.4.2 FORMULARIOS

Para la presentación al usuario de la base de datos y su actualización, se utiliza un formato tipo formularios, diseñado para la visualización de los elementos de las tablas. Esta base de datos cuenta con tres de estos formularios: *Fabricantes*, *Series* y *1Descargadores*, relacionados entre si mediante la programación de botones de navegación.

A continuación se explican cada uno de los formularios con sus respectivos componentes:



Fig. 4.5.- Ventana del formulario Fabricante

4.4.2.1. ELEMENTOS DE IDENTIFICACIÓN, ESTADO Y NAVEGACIÓN DE LOS FORMULARIOS.



Barra de estado: Indica el nombre del formulario y permite minimizar, maximizar o cerrar el mismo.



Barra de Registro: La barra se encuentra en la parte inferior del formulario y muestra el número de registro correspondiente del total de la tabla de datos. Permite visualizar el elemento siguiente, anterior, inicial y

final de la tabla; así como agregar un nuevo elemento a la tabla o visualizar una entrada en específico.



SERIES

Botón de navegación o BN: al hacer click en el botón, este permite acceder al siguiente formulario o al anterior.

NombreFabricante

Cuadro de Texto o CT: Muestran los datos del elemento seleccionado en la tabla, en el caso del ejemplo NombreFabricante de la tabla Fabricantes.

4.4.2.2. FORMULARIO FABRICANTE

Elementos del formulario *Fabricante*

- **CT NombreFabricante:** muestra el nombre del fabricante preseleccionado de la tabla Fabricantes.
- **CT Abrev:** señala la abreviatura del nombre del Fabricante.
- **BN serie:** permite acceder a las series del fabricante seleccionado.

4.4.2.3. FORMULARIO SERIE

The screenshot shows a software window titled 'Serie' with a main title 'SERIES'. The window is divided into several sections:

- Header:** 'Asea Brown Boveri' and 'ABB' are displayed in separate boxes, followed by '#: 4'.
- Navigation:** 'CARACTERISTICAS' and 'TOV' are tabs at the top left.
- Title:** 'Descargador de Oxido de Zinc EXLIM R' is displayed in a highlighted box.
- Form Fields:**
 - Serie: EXLIM R
 - Clase: Subestación
 - Tipo de Aislamiento: Porcelana
 - Tensiones de red (Um): 52 -170 KV.
 - Tensiones nominales (Ur): 42 -168 KV.
 - Capacidad de Energía en función de (Ur): 5 KJ/KV.
- Image:** A photograph of the surge arrester is shown in a frame on the right side.
- Buttons:** 'Agregar/Cambiar' and 'Quitar' are located below the image.
- Footer:** 'ABB' is written in the bottom left. Navigation arrows and 'FABRICANTES' / 'DESCARGADORES' are at the bottom center. A status bar at the bottom shows 'Registro: 5 de 11 (Filtrado)'.

Fig. 4.6.- Ventana del formulario Series.

Elementos del Formulario Serie

- **IDENTIFICACIÓN**

Los primeros 4 componentes del formulario permiten la identificación del

fabricante con su nombre y abreviatura. En la esquina superior derecha se presenta el número de la serie, en la tabla Serie.

- **Botones de navegación o BN**
 - **BN Fabricantes:** permite retroceder al formulario fabricante
 - **BN Descargadores:** permite acceder a los descargadores que comprenden la serie.



Fig. 4.7.- Visualización del descargador tipo para una Serie.

- **ImagenFrame**

Exhibe la imagen tipo de los descargadores enlazada por medio del Fotopath de la tabla Serie, permitiendo con los botones **Agregar/Cambiar** y **Quitar**, agregar una imagen a la serie si originalmente no se encuentra en la base de datos o si se esta incorporando una nueva serie a la base de datos, cambiar una imagen existente por una actualizada o eliminar la imagen.

- **Sección de detalle**



El formulario Serie presenta dos fichas para cada una de las series, donde se muestran las características eléctricas más relevantes de los descargadores que comprenden la serie.

Ficha CARACTERISTICAS: presenta la siguiente información

Descargador de Oxido de Zinc EXLIM R

- **CT SERIE:** muestra el nombre completo de la Serie a la que corresponden los datos que se muestran en la ventana.

Serie EXLIM R

- **CT Serie:** muestra el nombre abreviado de la Serie.
- **CT Clase:** presenta la clase de descargador correspondiente a la serie.
- **CT Tipo de Aislamiento:** muestra el material de fabricación del

aislante de los descargadores de esa serie.

- **CT Tensiones de red (Um):** muestra el rango de las tensiones máximas que abarca la serie en KV.
- **CT Tensiones nominales (Ur):** muestra el rango de las tensiones nominales que abarca la serie en KV.
- **CT Capacidad de Energía en función de (Ur):** muestra la capacidad de energía del descargador.

FICHA TOV

CARACTERÍSTICAS		TOV	
EXLIM R			
TOV Sin Actividad Previa		TOV Con Actividad Previa	
0,1 s:	1,25	0,1 s:	1,22
1 s:	1,2	1 s:	1,16
10 s:	1,14	10 s:	1,1
100 s:	1,08	100 s:	1,04
1000 s:	1,02	1000 s:	0,98
10000 s:	0,96	10000 s:	0,92
ABB			

Fig. 4.8.- Ficha TOV del formulario Series.

La ficha TOV expone los cuadros de textos con los puntos correspondientes a las curvas de sobretensiones temporales o TOV de las serie,

para descargadores con o sin actividad previa. (With non prior duty, With prior duty).

4.4.2.4. FORMULARIO 1DESCARGADORES


1Descargadores

DESCARGADOR

SERIE FABRICANTE

CARACTERÍSTICAS

Número	355
Código del Descargador	<input type="text"/>
Clase	Distribución Heavy Duty
Tipo de Aislamiento	Polímero de silicona
Cantidad de Energía en función de (Ur)	1,76 KJ/KV.
Tensión Nominal Ur	<input type="text" value="6"/> KV.
Uc / MCOV	<input type="text" value="5,1"/> KV.
Distancia de Fuga	<input type="text" value="391"/> mm..



TRANQUELL Heavy Duty Distribution

GE

FABRICANTES

Registro: de 11 (Filtrado)

Fig. 4.9.- Ventana del Formulario 1Descargador

Elementos del Formulario Serie

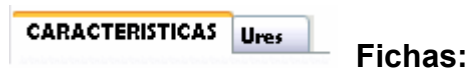
Identificación

- **CT Serie:** Identifica la serie a la cual corresponde el descargador.
- **CT Fabricante:** Identifica el fabricante del descargador.

Botones de navegación o BN

- **BN Fabricantes:** Permite retroceder al formulario *Fabricante*.

Sección de detalle



El formulario *1Descargadores* presenta dos fichas para cada uno de los descargadores, mostrando en estas las características eléctricas más relevantes del descargador.

Ficha CARACTERISTICAS: Nos presenta la siguiente información

- **CT Número:** presenta el número del descargador en la base de datos.
- **CT Código del Descargador:** muestra el código del descargador.
- **CT Clase:** presenta la clase de descargador correspondiente a la serie.
- **CT Tipo de Aislamiento:** muestra el material de fabricación del aislante de los descargadores de esa serie.
- **CT Capacidad de Energía en función de (Ur):** exhibe la

- capacidad de energía del descargador.
- **CT Tensión Nominal Ur:** presenta la tensión nominal del descargador mostrado en KV.
 - **CT Uc / MCOV:** muestra la tensión de trabajo continuo máxima del descargador en KV.
 - **CT Distancia de Fuga:** exhibe la distancia de fuga del descargador en mm.
 - **ImagenFrame:** muestra la imagen correspondiente a la serie del descargador.

FICHA Ures:


CARACTERISTICAS		Ures
TENSION RESIDUAL MAXIMA Sobretensiones Atmosféricas		
Ures 8/20 μ s 1,5 KA (KV)	<input type="text" value="9,5"/>	
Ures 8/20 μ s 3 KA (KV)	<input type="text" value="10"/>	
Ures 8/20 μ s 5 KA (KV)	<input type="text" value="10,5"/>	
Ures 8/20 μ s 10 KA (KV)	<input type="text" value="11"/>	
Ures 8/20 μ s 20 KA (KV)	<input type="text" value="13"/>	
Ures 8/20 μ s 40 KA (KV)	<input type="text" value="15,3"/>	
TENSION RESIDUAL MAXIMA Sobretensiones de Maniobra		
Ures 60/100 μ s 0,5 KA (KV)	<input type="text" value="15,3"/>	
Ures 30/60 μ s 0,5 KA (KV)	<input type="text" value="0"/>	
Ures 30/60 μ s 1 KA (KV)	<input type="text" value="0"/>	
Ures 30/60 μ s 2 KA (KV)	<input type="text" value="0"/>	
Ures 45/90 μ s 0,5 KA (KV)	<input type="text" value="8"/>	
		TENSION RESIDUAL
		Frente de Onda <input type="text" value="12,5"/>
		0.5 μ s 10 KA (KV)
		
		TRANQUELL Heavy Duty Distribution
GE		

Fig. 4.10.- Imagen ficha Ures.


La ficha Ures muestra las tensiones residuales en KV del descargador, para los distintos tipos de onda de prueba y la imagen de la serie.

4.5 ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS

IMPORTANTE En todo cuadro de texto los decimales son identificados por el programa mediante la utilización de la coma “,” no por el punto, por lo que es necesario identificar las cifras decimales con coma, para el correcto funcionamiento del software. De igual manera, los valores que no se dispongan al incorporar un elemento a la base de datos, deben ser completados con ceros “0” para garantizar el desempeño del software.

Para agregar cualquier descargador, serie o fabricante nuevo a la base de datos o editar cualquiera de los elementos existentes en ella, solo se debe seguir un procedimiento muy sencillo que se especifica a continuación.

4.5.1 ADICIÓN DE UN NUEVO FABRICANTE

Para agregar un nuevo fabricante a la base de datos del Software se debe acceder al Formulario *Fabricante* y hacer clic en el botón  de la barra de registro y completar el formulario del nuevo fabricante con sus datos.

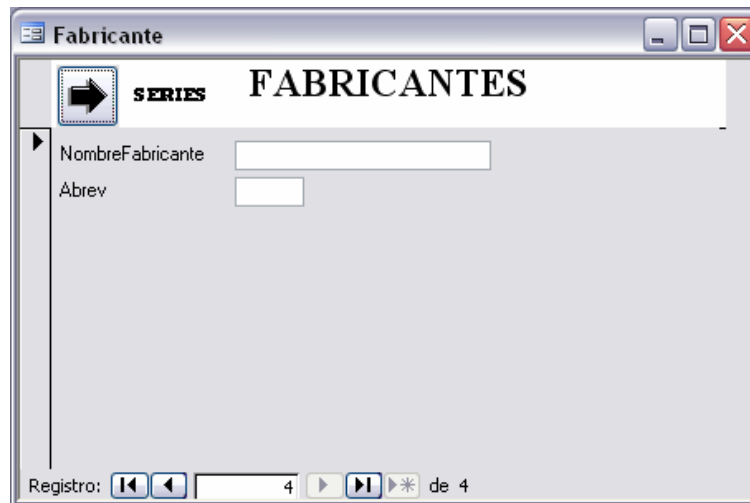


Fig. 4.11.- Formato para la incorporación de un nuevo fabricante

Formulario para ingresar un nuevo Fabricante

Los datos ingresados en los cuadros de textos son almacenados automáticamente en el siguiente puesto de la tabla de Fabricantes de la base de datos. Para grabar las modificaciones solo deben aceptarse los cambios al cerrar la base de datos. Los datos suministrados en esta pantalla serán utilizados por los siguientes formularios *Serie* y *1Descargadores*.

4.5.2 ADICIÓN DE UNA NUEVA SERIE


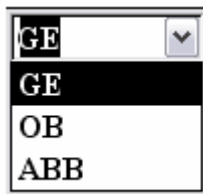
Para ingresar una nueva serie a un fabricante solo debe seleccionarse el fabricante en el formulario *Fabricante* y hacer click en el **BN Serie**, de esta manera se accede a las series del fabricante donde de igual manera, al hacer click en el botón  de la barra de registro del formulario *Serie*, el programa presentara el siguiente formato:

Fig. 4.12.- Formato para la incorporación de una nueva serie



El primer paso para agregar una nueva serie, es elegir el fabricante mediante la abreviatura del nombre en la parte superior derecha de formulario. Al elegir el fabricante automáticamente aparecerá el nombre de este y el número que le corresponde a la nueva serie de la tabla Series.

Luego debe hacerse click en al cuadro de texto gris y colocar el nombre completo de la serie, siguiendo con el cuadro de texto Serie, donde se coloca el nombre abreviado de la serie. A continuación se debe escribir correctamente la Clase del descargador de la manera siguiente y para un correcto desempeño del software.

- Línea.
- Subestación.
- Distribución Normal Duty.
- Distribución Heavy Duty.
- Intermedia.
- Especial.


NOTA: Es importante que la clase se encuentre escrita correctamente, para que el software pueda considerar la nueva serie como un elemento valido. La clase Especial en el software y la base de datos se encuentra limitada a solo descargadores tipo RISER POLE.

Luego de seleccionar la clase de descargador, se procede a colocar los rangos de tensiones en KV Tensiones nominales (Ur) 13,8-45 KV. , separados entre si por un guión.


Siguiendo a los pasos anteriores se deben completar los datos correspondientes a la ficha de TOV, manteniendo el uso de comas “,” para las cifras decimales.

Agregar Imagen

Para agregar una imagen, se debe acceder a la carpeta de fotos del

programa *Descargadores\Fotos* bajo formato “.jpg”, para su correcta lectura; por lo que es necesario colocar la imagen en la carpeta antes de agregarla a la base de datos mediante el botón  .

4.5.3 ADICIÓN DE UN NUEVO DESCARGADOR

Para agregar un nuevo descargador a una serie, solo debe seleccionarse el fabricante en el formulario *Fabricante*, luego acceder a la serie a la que se le requiere la adición del descargador y hacer clic en el **BN Descargador**. De esta manera accederemos a los descargadores de la serie y al hacer clic en el botón  de la barra de registro del formulario *1Descargadores*, el programa presentara el siguiente formato

The screenshot shows a software window titled "1Descargadores" with a sub-header "DESCARGADOR". It contains a form with the following fields and controls:

- SERIE:** A dropdown menu.
- FABRICANTE:** A text box containing "General Electric".
- Tabs:** "CARACTERISTICAS" and "Ures".
- Form Fields:**
 - Número (Auto): A text box.
 - Código del Descargador: A text box.
 - Clase: A text box.
 - Tipo de Aislamiento: A text box.
 - Cantidad de Energía en función de (Ur): A text box with "KJ/KV" next to it.
 - Tensión Nominal Ur: A text box with "0 KV".
 - Uc / MCOV: A text box with "0 KV".
 - Distancia de Fuga: A text box with "0 mm..".
- Buttons:** "FABRICANTES" with a right-pointing arrow icon.
- Footer:** "Registro: 26 de 26 (Filtrado)" with navigation icons.

Fig. 4.13.- Formato para la incorporación de un nuevo descargador.

Se debe seleccionar la Serie a la cual corresponde el descargador en el cuadro de texto **SERIE**

Luego se procede a completar los cuadros de texto en blanco de cada una de las fichas del descargador **CARACTERISTICAS**, **Ures**, colocando comas para la separación de decimales y completando con ceros los valores que no se poseen.

La imagen se actualizará automáticamente cuando se visualice el descargador, luego de guardar los cambios realizados en la base de datos.

4.6 COMO VISUALIZAR LAS TABLAS DE LA BASE DE DATOS Y REALIZAR ACTUALIZACIONES POR MEDIO DE ELLAS

Al acceder a la base de datos las tablas se encuentran ocultas. Para acceder a ellas se debe entrar al menú Ventana, entrar a la opción Mostrar y aceptar.

Microsoft ACCESS mostrar la siguiente ventana

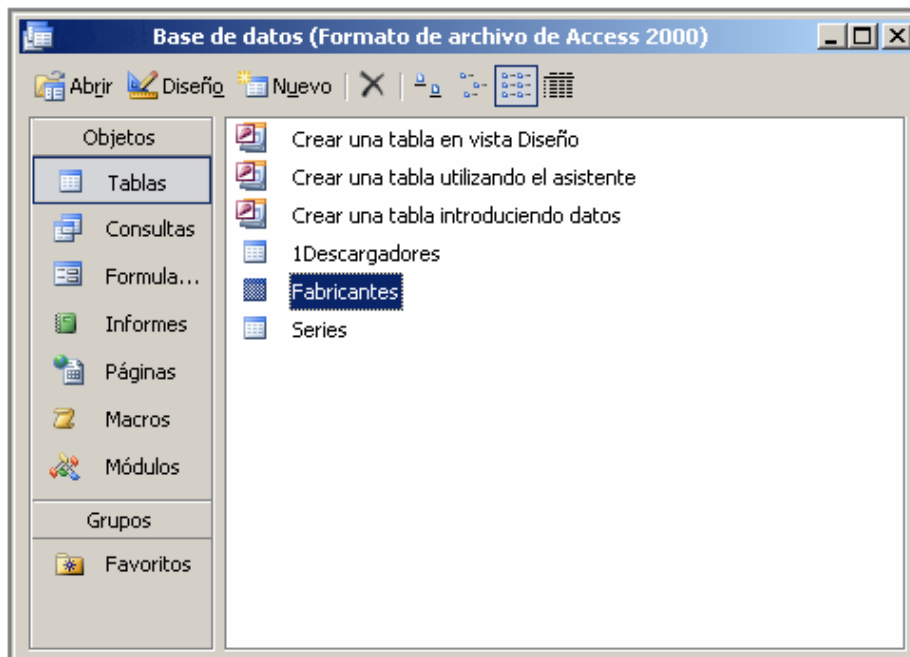


Fig. 4.14.- Ventana de visualización de los componentes de la base de datos

De esta manera se puede acceder a las tablas de la base de datos, por ejemplo la tabla Fabricantes

Fabricantes : Tabla					
		idFabricante	NombreFabricante	Abrev	logo
▶	+	1	General Electric	GE	Bitmap Image
	+	2	Ohio Brass	OB	Bitmap Image
	+	3	Asea Brown Boveri	ABB	Bitmap Image
*		0			

Fig. 4.15.- Tabla Fabricantes.

En ella, al hacer click en la última fila se pueden introducir los datos del nuevo fabricante y realizar una actualización por medio de la tabla, sin utilizar los formularios antes expuestos. De igual manera se puede proceder con las tablas Serie y 1Descargadores, para completar la actualización de la base de datos.

Adicionalmente si se desea cambiar la imagen mostrada en el formulario *Fabricantes* para cada fabricante o para uno nuevo, se debe hacer click en el botón derecho del Mouse en la casilla correspondiente al fabricante nuevo y la columna logo y seleccionar la función Insertar objeto, seleccionar el objeto **Bitmap Image** de la lista e introducir la imagen que se desea mostrar. Es recomendable colocar imágenes de 378 x 368 píxeles para mantener el formato del Formulario.

4.7 INFORME DESCARGADOR

Al hacer click en el botón **INFORME DESCARGADOR** del panel de control principal de la base de datos, el programa permite generar un informe con las características de un descargador en específico. Para generarlo el usuario debe introducir el idDescargador o número de identificación del descargador.

DESCARGADOR

1

SSDOM

Descargador de Oxido de Zinc EXLIM P

Fabricante

Asea Brown Boveri

Clase **Línea**

Tipo de Aislamiento: Polímero de Silicona

Cap de E KJ/KV (Ur): **12**

Tensión Nominal Ur (KV): **24**

Tensión Máxima Uo/MCOV (KV): **19,5**

Distancia de Fuga (mm): 1363



TENSIONES RESIDUALES en (KV)

Frente de Onda 0,5µs 10 KA (KV)	Ures LS 8/20 µs 1,5 KA	Ures LS 8/20 µs 3 KA	Ures LS 8/20 µs 5 KA	Ures LS 8/20 µs 10 KA	Ures LS 8/20 µs 20 KA	Ures LS 8/20 µs 40 KA
0	0	0	51,9	54,6	59,8	66,6

Ures SS 60/100 µs 0,5 KA	Ures SS 30/60 µs 0,5 KA	Ures SS 30/60 µs 1 KA	Ures SS 30/60 µs 2 KA	Ures SS 45/90 µs 0,5 KA
0	0	46,8	48,5	0

SOBRETENSIONES TEMPORALES TOV Con actividad previa TOV/Uc

0,1 s	1 s	10 s	100 s	1000 s	10000 s
1,22	1,16	1,1	1,04	0,99	0,95

Jueves, 30 de Noviembre de 2006

Fig. 4.16.- Informe Descargador.

4.8. PROGRAMA O SOFTWARE

El Software se encuentra desarrollado en Microsoft Visual Basic. Este cumple la función de adquirir los datos de los sistemas suministrados por el usuario, mediante la completación de formularios y realización de los cálculos respectivos, obteniendo los parámetros requeridos para realizar una selección de manera automática de el o los descargadores existentes en la base de datos, que cumplen con las condiciones necesarias para un desempeño óptimo en la instalación.

Al igual que la base de datos, el Software presenta los datos de los descargadores de una manera ordenada y sintetizada a través de formularios. Con estos se realizan los cálculos necesarios para determinar valores característicos que pueden ser visualizados a través de graficas y cuadros comparativos, permitiéndole al usuario realizar una evaluación y una comparación rápida de los resultados arrojados por el programa.

IMPORTANTE: El software solo maneja descargadores de Sobretensión de Óxido de Metal. No considera condiciones inusuales de funcionamiento, especificadas en la sección por la IEEE para este tipo de descargadores. Solo contempla descargadores para ser utilizados en subestaciones y en sistemas de transmisión y distribución aéreos. Los resultados arrojados se emiten utilizando solo criterios relacionados a sus características eléctricas, no se toman en cuenta consideraciones de índole económicas ni esfuerzos mecánicos.

4.9. INSTALACIÓN.

Para el correcto funcionamiento del software, no se requiere que el equipo tenga instalado Microsoft Visual Basic. Para su instalación solo debe ejecutarse el asistente de instalación.

4.10. ACCESO AL SOFTWARE

Para correr el software debe hacerse click en el **SSDOM.exe** ubicado en el escritorio o en la carpeta del programa

4.11 COMPONENTES DEL SOFTWARE

4.11.1 PRESENTACION



Fig. 4.17.- Formulario inicial del software

El Formulario o Ventana inicial presenta el título del software, institución donde se creó el programa y el nombre de sus creadores.

La ventana cuenta con dos botones de navegación, uno para iniciar el proceso de selección del descargador y otro para salir del programa ; además contiene el botón de ayuda que se encuentra en todos

los formularios del software, para guiar al usuario durante la ejecución del mismo.

Al hacer un click en el botón de ayuda, este muestra una etiqueta con los pasos y consideraciones que deben tomarse en cuenta en cada formulario durante la ejecución del programa.

4.11.2 PANTALLA PRINCIPAL



Fig. 4.18.- Formulario de selección de tipo de descargador con la función de ayuda activada (PANTALLA PRINCIPAL).

El formulario que se muestra en la figura permite seleccionar entre 6 tipos de descargadores: LINEA, SUBESTACION, INTERMEDIA, DISTRIBUCION HEAVY DUTY, DISTRIBUCION NORMAL DUTY y ESPECIAL O RISER POLE.

Adicionalmente la ventana presenta dos botones: VER BASE DE DATOS y

VER MANUAL DEL USUARIO. Ambos permiten acceder a la base de datos en Microsoft ACCESS y al Manual del Usuario respectivamente.

Al hacer click en el botón correspondiente al tipo de descargadores deseado, el programa activará la ventana o formulario de ingreso de datos del sistema, que corresponda para cada caso. Activar el botón de **SALIDA** permite al usuario abandonar el proceso y salir del programa.

4.11.3 INGRESO DE DATOS DEL SISTEMA

INTRODUZCA LOS DATOS DE SU SISTEMA

CLASE: LINEAS

Características del Sistema

Voltaje L-L (kV):

% de Regulación:

Sobretensiones de Maniobra en p.u.:

Tiempo de despeje de fallas (s):

Nivel de Contaminación:

BIL del equipo a proteger (kV):

Longitud de la Línea (km):

Impedancia de Línea (ohm):

Resistencia de puesta a tierra (ohm):

Distancia de conexión (m):

Opciones de Aterramiento

Sistema aterrado a través de Impedancia

Sistema Solidamente aterrado

Introducir Valor de Ke Manualmente

Coeficiente de aterramiento (Ke):

Corrientes de Coordinación

Corriente por descargas atmosféricas:

Corriente por Sobretensiones de maniobra:

Fig. 4.19.- Formulario o Ventana de ingreso de datos del sistema Clase Línea.

El formulario que se presenta en la figura corresponde al formulario de ingreso de datos del sistema. Permite identificar la clase de descargadores que se van a determinar y las características eléctricas del sistema.

Esta ventana exhibe los datos del sistema agrupados en tres grupos

Características del sistema

- **CT Voltaje L-L KV:** corresponde al valor de tensión de línea a línea del sistema en KV.
- **CT % de regulación:** porcentaje de regulación para la determinación de la tensión máxima:

$$\% = (U_c / U_{\text{nominal sistema F-T}}) \times 100.$$

- **CT Sobretensión de Maniobra en p.u.:** corresponde al valor en por unidad de la sobretensión de maniobra esperada en el sistema.
- **CT Tiempo de despeje de fallas (s):** el tiempo en que se estima el accionamiento de los sistemas de protección de la red.
- **CT BIL del Equipo a proteger (KV):** corresponde al nivel básico de aislamiento del equipo.
- **CT Longitud de la Línea (Km):** distancia de recorrido de la línea en Km.
- **CT Impedancia de Línea (Ohm):** corresponde al valor de la impedancia de la línea.
- **CT Nivel de Contaminación:** nivel de contaminación al cual va a estar expuesto el descargador.
- **Resistencia de puesta a tierra (Ohm):** resistencia de puesta a tierra de la conexión.

-
-
- **Distancia de conexión (m):** Distancia de conexión del descargador en m.


Opciones de Aterramiento

El programa permite seleccionar entre un sistema aterrado a través de impedancia, uno solidamente aterrado e introducir el coeficiente de aterramiento manualmente si este se posee.

- Para sistemas efectivamente aterrados asigna un valor de $Ke = 1,4$
- Para sistemas aterrados a través de impedancias asigna un valor de $Ke = 1,73$

Corrientes de coordinación

Permite seleccionar las intensidades de corrientes por descargas atmosféricas y por sobretensiones de maniobra, para los cuales corresponden los valores de U_{res} que el programa tomará de la base de datos.

Nota: Para habilitar el botón  y continuar con el proceso se deben completar todos los cuadros de texto y seleccionar las casillas de % de regulación y Sobretensiones de Maniobra en p.u. El programa identifica los valores decimales mediante el uso de la coma “,” , por lo que es indispensable que los valores decimales sean ingresados utilizando comas para su identificación.

De no especificarse los valores de corriente de coordinación, el programa toma los valores predeterminados de 10 KA para sobretensión atmosférica y 0,5 KA para sobretensiones de maniobra. Al cambiar los valores de corriente de coordinación se debe hacer clic sobre el nuevo valor y esperar a que cambie de

color para garantizar la selección.

Al hacer click en el botón **VOLVER AL MENU PRINCIPAL**, el usuario puede retroceder a

la pantalla de selección del tipo de descargador y el botón **SALIR** permite abortar el proceso

4.11.4 RESULTADOS

	<i>Opcion #1</i>	<i>Opcion #2</i>	<i>Opcion #3</i>
NombreFabricante:	Asea Brown Boveri	Asea Brown Boveri	Asea Brown Boveri
AbreviaturaSerie:	PEXLIM Q	PEXLIM P	PEXLIM R
idDescargador:	635	412	613
Código:			
Ur:	90	90	90
Uc / MCOV:	72	72	72
Clase:	Línea	Línea	Línea

Navigation buttons: <<< >>>

Bottom buttons: VER BASE DE DATOS, GRAFICOS COMPARATIVOS, MENU PRINCIPAL, SALIR

Yellow question mark icon: ?

Fig. 4.20.- Ventana de visualización de resultados

El formulario de visualización de resultados presenta en forma de columnas, las características de los descargadores que cumplen con las condiciones de Sobretensiones temporales TOV, Márgenes de Protección y Energía; condiciones que fueron establecidas y calculadas previamente por el programa, con los datos introducidos en el formulario de ingreso de datos del sistema. Esta ventana presenta automáticamente las primeras tres opciones, si en la base de datos se encuentran más de tres soluciones, los botones <<< Y >>> serán habilitados, permitiendo visualizar las opciones del 4 al 6 o del 6 al 9.

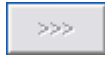
NOTA: Para la determinación de descargadores, el software se encuentra programado para seleccionar solo un descargador por serie, el que mejor se ajuste a las exigencias del sistema.

En la parte inferior se encuentran los botones **GRAFICOS COMPARATIVOS** que permite acceder a la ventana de graficas del programa, **MENU PRINCIPAL** para volver a comenzar la selección, **VER BASE DE DATOS** y **SALIR**.

4.12 PRESENTACION DE GRAFICAS

Al ingresar a esta ventana de resultados, el software le permite al usuario comparar y evaluar rápida y eficazmente, los resultados obtenidos por el software con las siguientes gráficas, las cuales pueden ser habilitadas con sus respectivos botones de acceso: **MARGENES DE PROTECCION, SOBRETENSIONES TEMOPRALES (TOV), DISTANCIAS MAXIMAS, Ures/BIL/BSIL/FW, CAPACIDAD DE ENERGIA, COORDINACION DE AISLAMIENTO.**

Esta Sección grafica inicialmente, las características de las primeras cuatro opciones de resultado, para visualizar las siguientes haga click en el botón



,el botón se encontrará habilitado si existen más de cuatro descargadores que cumplen con las condiciones del sistema. Si los descargadores no poseen los datos de corrientes de coordinación para las intensidades de corrientes seleccionadas, en las graficas, las columnas relacionadas a estos valores permanecerán iguales a cero. Para estos casos se recomienda probar con otra intensidad de corriente.

4.12.1 MÁRGENES DE PROTECCIÓN

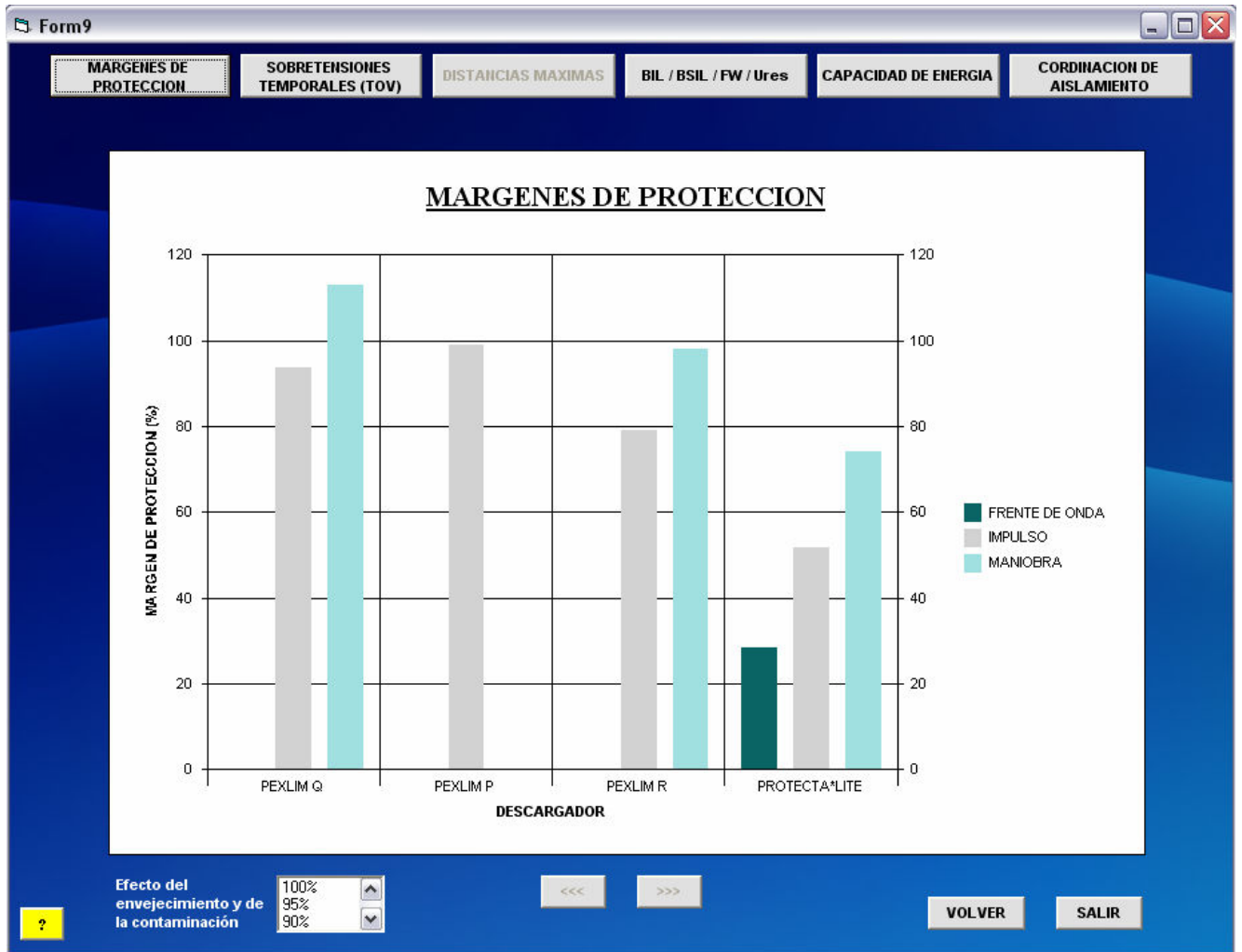


Fig. 4.21.- Ventana de visualización de gráficas. MARGENES DE PROTECCION

Esta opción permite visualizar los márgenes de protección para descargas tipo Frente de Onda, Impulso y Maniobra. En el eje x se representa la serie a la cual corresponde el descargador y en el eje Y, el Margen de Protección en valor porcentual. Para observar los efectos del envejecimiento del material aislante solo debe seleccionarse el % de BIL del equipo.

4.12.2 SOBRETENSIONES TEMPORALES

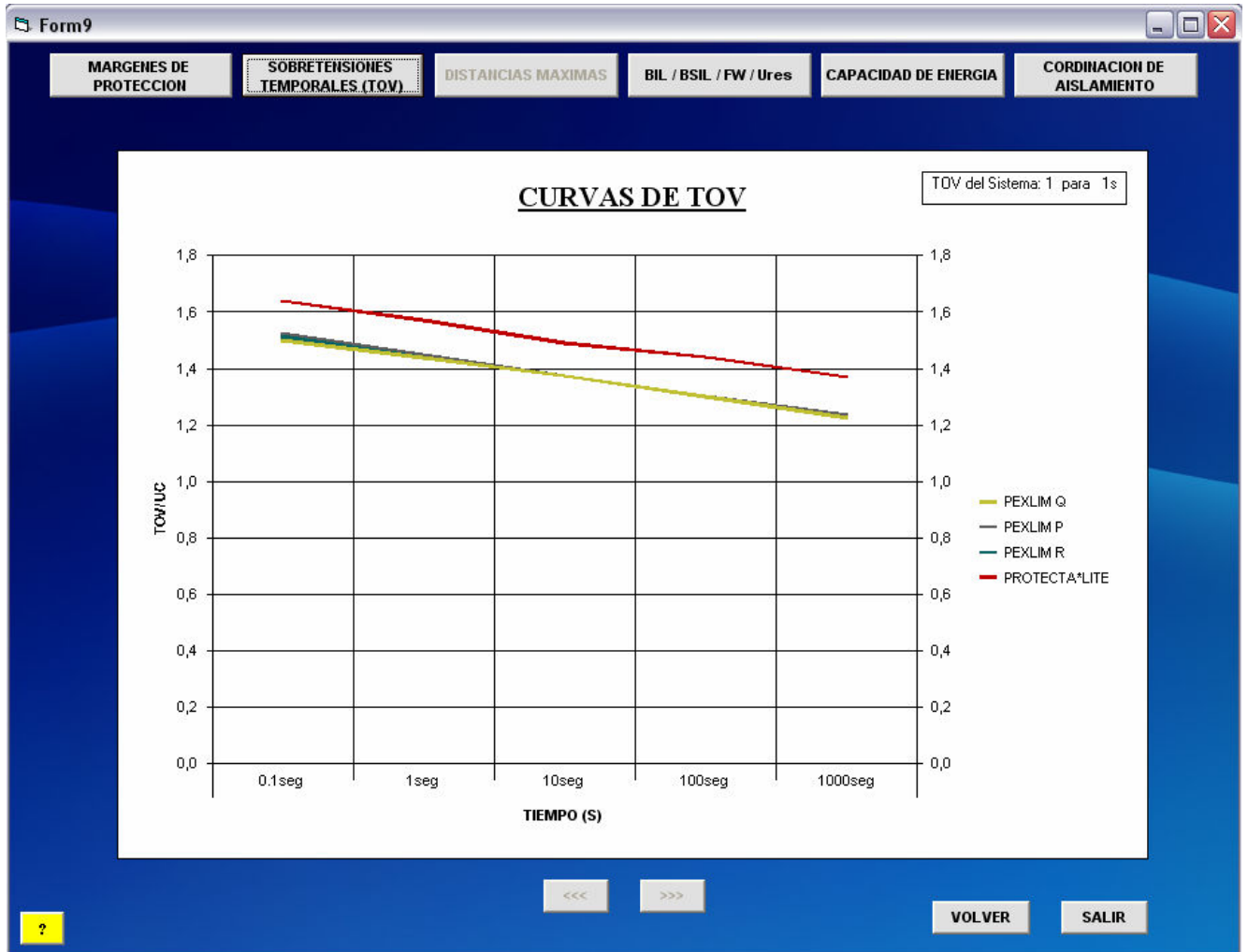


Fig. 4.22.- Ventana de visualización de gráficas. CURVAS DE TOV.

Esta alternativa permite visualizar las curvas de sobretensiones temporales o TOV de las series de los descargadores de cada opción. En el eje X se muestra el tiempo en segundos, en el eje Y la relación TOV/Uc. La leyenda

indica cual curva corresponde a cada serie

4.12.3 DISTANCIAS MÁXIMAS

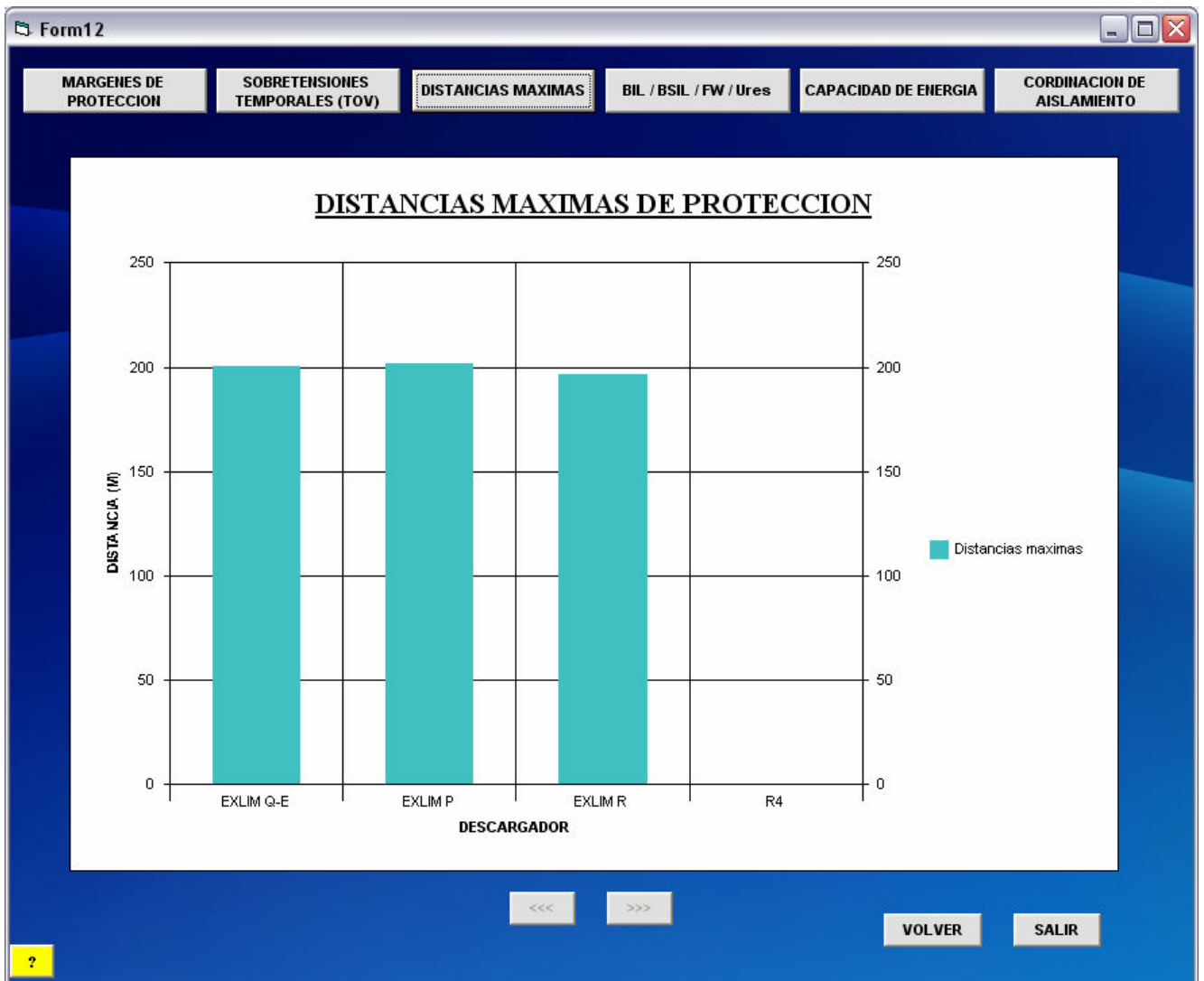


Fig. 4.23.- Ventana de visualización de gráficas. DISTANCIAS MAXIMAS.

Esta opción exhibe las series de los descargadores en el eje X y las

distancias máximas en metros alojadas en el eje Y. Esta opción se encuentra deshabilitada para los descargadores clase Línea.

4.12.4 TENSIONES RESIDUALES / BIL /BSIL /FW

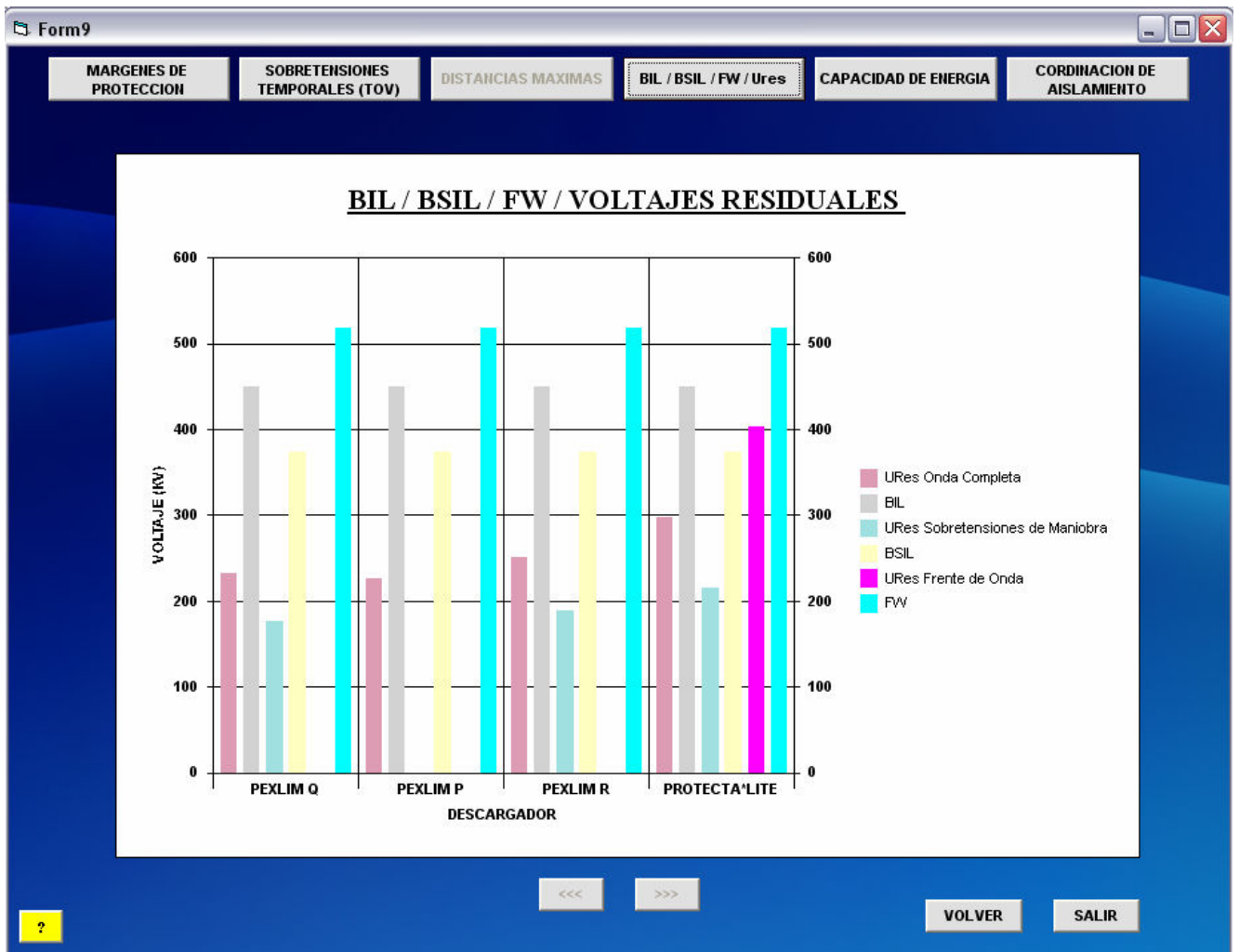


Fig. 4.24.- Ventana de visualización de gráficas. Ures /BIL /BSIL/ FW.

La gráfica muestra los valores de corresponden a las tensiones residuales de los descargadores y el BIL, BSIL, WF del Sistema, todos expresados en KV.

4.12.5 CAPACIDAD DE ENERGÍA

En esta sección se exhiben las capacidades de energía de los descargadores y las energías que se estiman que deben drenar los descargadores, en una condición de sobretensión de maniobra.

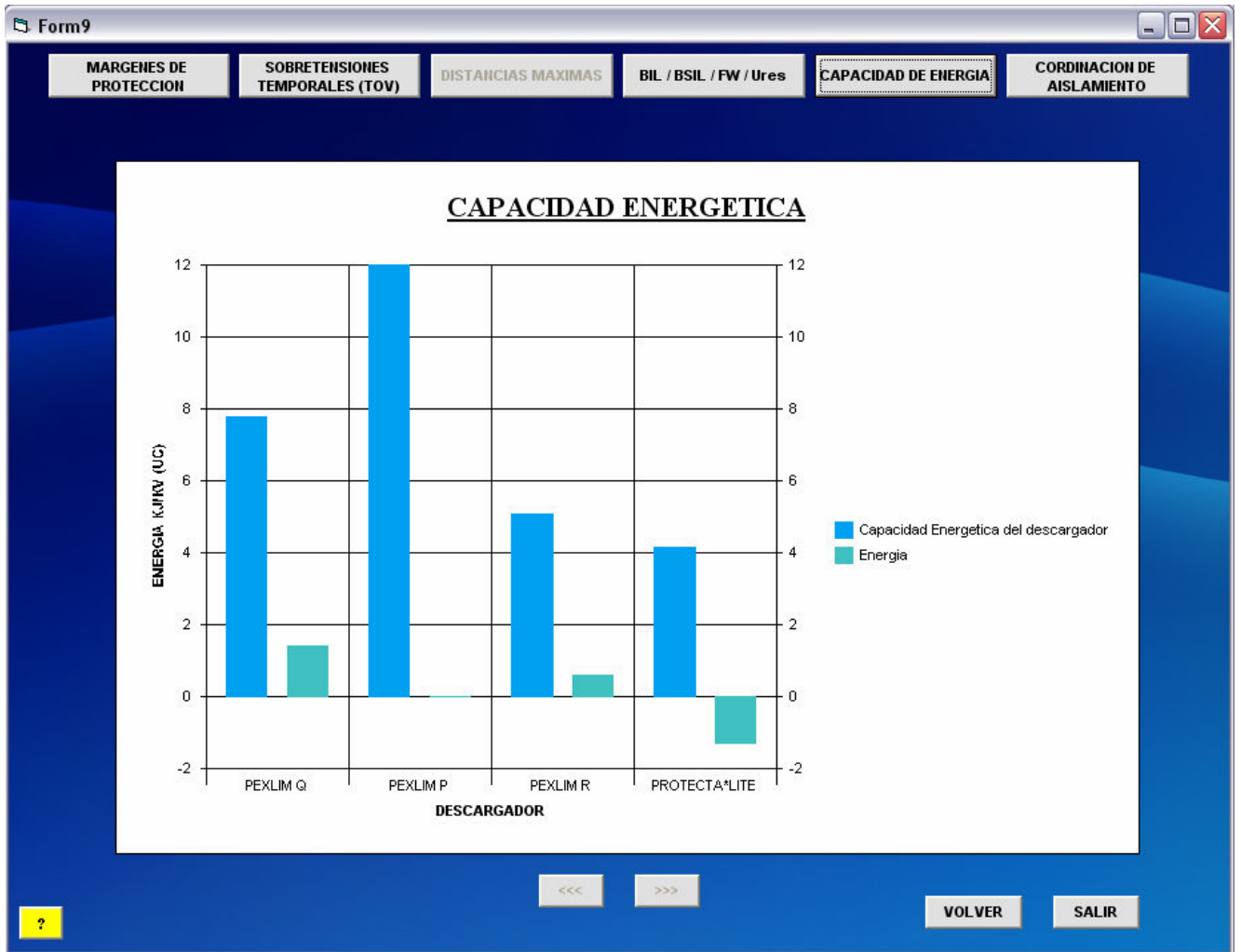


Fig. 4.25.- Ventana de visualización de gráficas. CAPACIDAD DE ENERGIA

4.12.6 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

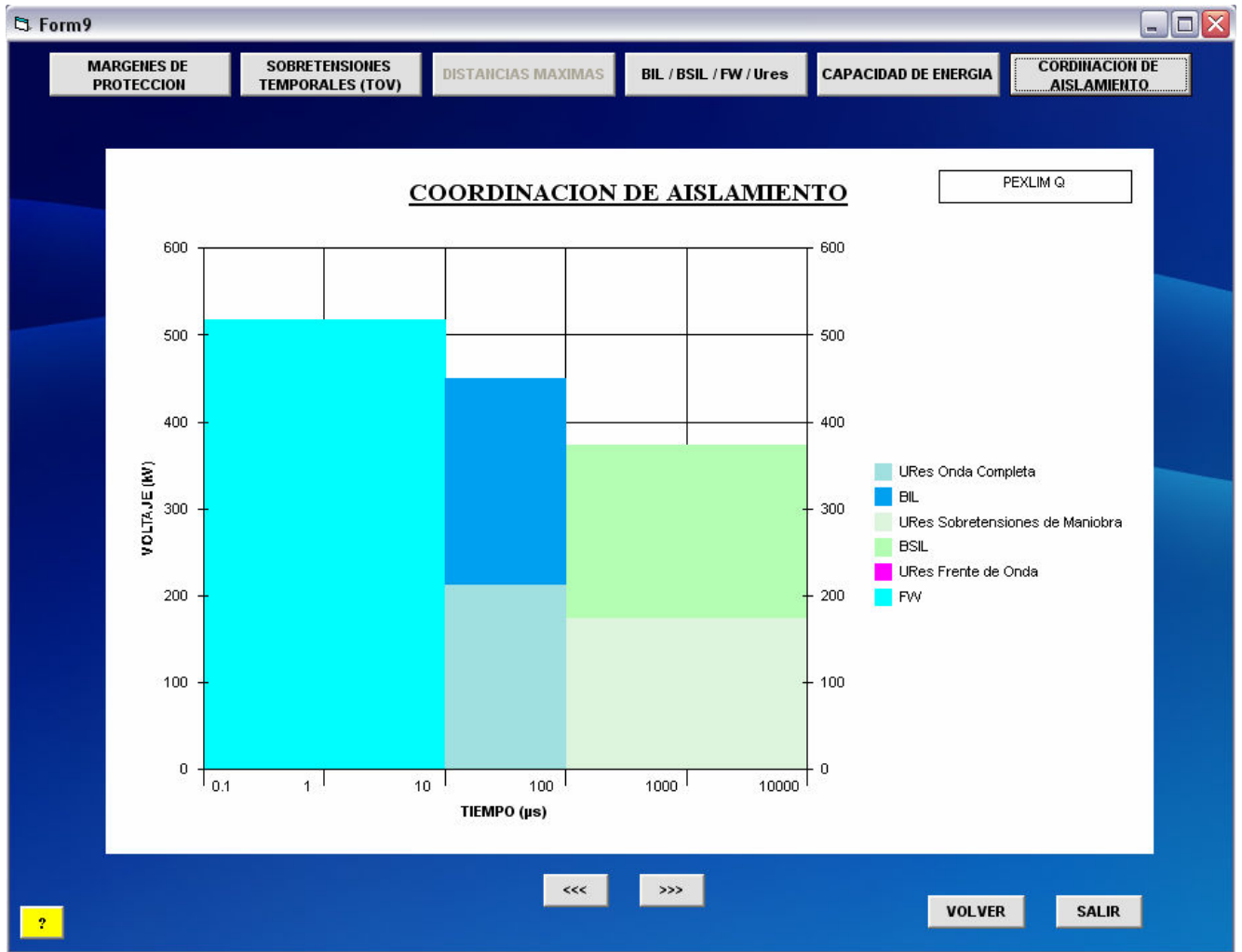


Fig. 4.26.- Ventana de visualización de gráficas. COORDINACION DE AISLAMIENTO

En esta sección se muestra una curva simplificada de Coordinación de Aislamiento. Se identifica el nombre del descargador en el CT en la esquina superior derecha. Para visualizar los demás resultados debe hacerse click en los botones <<< y >>>.

5.1 VALIDACIÓN.

En este capítulo se procederá a realizar la validación del software, comprobando y analizando los resultados generados por el programa SSDOM, verificando que concuerden con los obtenidos de la forma convencional, utilizando los datos de los descargadores suministrados por los fabricantes en sus catálogos, y la realización de los cálculos correspondientes paso a paso.

Para realizar la validación se realizara un ejemplo utilizando el método manual de selección, luego se ejecutará el ejemplo en el programa SSDOM, y se comprobará si los descargadores suministrados como respuestas corresponden con los que se obtuvieron de forma manual. Para la comprobación se utilizarán los manuales originales de los descargadores suministrados por cada fabricante y se seguirán los pasos especificados en el capítulo III.

5.2 DATOS DEL SISTEMA

Para el ejemplo se determinarán descargadores de Sobretensión Tipo Línea, considerando un Sistema con las siguientes Características:

- **Voltaje L-L KV:** 115 KV.
- **% de regulación:** 5%
- **Sobretensión de Maniobra en p.u.:** 2 p.u.
- **Tiempo de despeje de fallas (s):** 1 s.
- **BIL del Equipo a proteger (KV):** 450 KV
- **Longitud de la Línea (Km):** 100 Km.
- **Impedancia de la Línea:** 50 Ohm.

-
-
- **Resistencia de puesta a tierra:** 5 Ohm
 - **Distancia de conexión:** 5 m.
 - **Nivel de Contaminación:** Moderado.

Opciones de aterramiento

Se selecciona un sistema efectivamente aterrado, el software asigna un valor de 1,4 a K_e al escoger esta opción.

Corrientes de Coordinación

Corriente por descarga atmosférica = 10 KA.

Corriente por Sobretensión de maniobra = 0.5 KA.

5.3 EJEMPLO SIN UTILIZAR SSDOM

5.3.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA

- **Tensión máxima del sistema.**

Tensión del sistema Voltaje L-L = 115 KV.

Se obtiene el valor de U_m con un % de regulación = 5%

$$U_m = 115KV \times 1.05 = 120.75KV$$

- **Tensión máxima del descargador U_c .**

La tensión U_c , es igual a la tensión máxima a la cual se encontrara expuesto el descargador. Por encontrarse ubicado entre fase y tierra U_c se determina de la siguiente manera.

$$U_c = \frac{120.75KV}{\sqrt{3}} = 69,72KV$$

Se busca en las tablas de los fabricantes que tipo de descargadores poseen U_c por encima del calculado.

Descargadores con revestimiento de silicona

PEXLIM R

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 µs			8/20 µs			
		U _C kV _{rms}	MCOV kV _{rms}			0,5 kA kV _{pico}	1 kA kV _{pico}	2 kA kV _{pico}	5 kA kV _{pico}	10 kA kV _{pico}	20 kA kV _{pico}	40 kA kV _{pico}
72	54	43	42,0	62,1	59,4	112	116	121	132	140	157	180
	60	48	48,0	69,0	66,0	124	129	135	147	156	175	199
	66	53	53,4	75,9	72,6	136	142	148	162	171	192	219
	72	58	58,0	82,8	79,2	149	154	162	176	187	209	239
	75	60	60,7	86,2	82,5	155	161	168	184	195	218	249
	84	67	68,0	96,6	92,4	173	180	188	206	218	244	279
	90	72	72,0	103	99,0	186	193	202	220	234	262	299
100	96	77	77,0	110	105	198	206	215	235	249	279	319
	75	60	60,7	86,2	82,5	155	161	168	184	195	218	249
	84	67	68,0	96,6	92,4	173	180	188	206	218	244	279
	90	72	72,0	103	99,0	186	193	202	220	234	262	299
123	96	77	77,0	110	105	198	206	215	235	249	279	319
	102	78	82,6	117	112	210	218	229	250	265	296	339

Fig. 5.1.- Imagen de la Tabla de descargadores Serie PEXLIM R de Asea Brown Boveri (ABB).

Se selecciona de la tabla PEXLIM R de ABB el descargador que cumple con la condición de tensión máxima para continuar con el procedimiento de selección.

PEXLIM Q

Descargadores con revestimiento de silicona

Tensión máxima de red U_m kV _{rms}	Tensión nominal U_r kV _{rms}	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		según IEC U_c kV _{rms}	según ANSI/IEEE MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	30/60 μ s			8/20 μ s			
						0,5 kA kV _{p100}	1 kA kV _{p100}	2 kA kV _{p100}	5 kA kV _{p100}	10 kA kV _{p100}	20 kA kV _{p100}	40 kA kV _{p100}
100	75	59	60.7	86.2	82.5	144	149	155	168	177	194	217
	78	61	63.1	89.7	85.8	150	155	161	175	184	202	226
	84	65	68.0	96.6	92.4	162	167	173	188	198	218	243
	90	69	72.0	103	99.0	173	179	186	201	212	233	261
	96	74	77.0	110	105	185	191	198	215	226	249	278
123	90	72	72.0	103	99.0	173	179	186	201	212	233	261
	96	77	77.0	110	105	185	191	198	215	226	249	278
	102	78	82.6	117	112	196	203	210	228	240	264	295
	108	78	84.0	124	118	208	214	223	242	254	280	313
	120	78	98.0	138	132	231	238	248	268	282	311	347
	129	78	104	148	141	248	256	266	288	304	334	373
	132	78	106	151	145	254	262	272	295	311	342	382
	138	78	111	158	151	265	274	285	309	325	357	399
	144	78	115	165	158	277	286	297	322	339	373	417
	150	78	121	172	165	288	298	309	335	353	388	434

Fig. 5.2.- Imagen de la Tabla de descargadores Serie PEXLIM Q de Asea Brown Boveri (ABB).

Descargadores con revestimiento de silicona

PEXLIM P

Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red U_m kV _{rms}	Tensión nominal U_r kV _{rms}	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		según IEC U_c kV _{rms}	según ANSI/IEEE MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	30/60 μ s			8/20 μ s			
						1 kA kV _{p100}	2 kA kV _{p100}	3 kA kV _{p100}	5 kA kV _{p100}	10 kA kV _{p100}	20 kA kV _{p100}	40 kA kV _{p100}
100	66	53	53.4	76.5	72.6	129	134	137	143	151	165	181
	72	58	58.0	83.5	79.2	141	146	150	156	164	180	197
	75	60	60.7	87.0	82.5	147	152	156	163	171	187	205
	78	62	63.1	90.4	85.8	153	158	162	169	178	195	213
	81	65	65.6	93.9	89.1	158	164	168	176	185	202	222
	84	67	68.0	97.4	92.4	164	170	174	182	192	210	230
	75	60	60.7	87.0	82.5	147	152	156	163	171	187	205
	78	62	63.1	90.4	85.8	153	158	162	169	178	195	213
	84	67	68.0	97.4	92.4	164	170	174	182	192	210	230
	123	90	72	72.0	104	99.0	176	182	187	195	205	225
96		77	77.0	111	105	188	194	199	208	219	240	263
90		72	72.0	104	99.0	176	182	187	195	205	225	246
96		77	77.0	111	105	188	194	199	208	219	240	263
102		78	82.6	118	112	199	207	212	221	233	255	279

Fig. 5.3.- Imagen de la Tabla de descargadores Serie PEXLIM P de Asea Brown Boveri (ABB).

Protecta*Lite Electrical Characteristics (Cont.)*

MCOV (kV)	8/20 Maximum Discharge Voltage - kV						0.5 usec 10 kA Maximum IR-kV	500 A Switching Surge Maximum IR - kV	Standard Arrester Catalog Number
	1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA			
8.4	26.0	28.0	29.5	32.0	37.5	43.5	36.5	23.5	600009
17.0	52.0	56.0	59.0	64.0	75.0	87.0	73.0	47.0	600017
24.4	78.0	84.0	88.5	96.0	112.5	130.5	109.5	70.5	600024
31.5	104.0	112.0	118.0	128.0	150.0	174.0	146.0	94.0	600031
42.0	130.0	140.0	147.5	160.0	187.5	217.5	182.5	117.5	600042
48.0	156.0	168.0	177.0	192.0	225.0	261.0	219.0	141.0	600048
57.0	182.0	196.0	206.5	224.0	262.5	304.5	255.5	164.5	600057
76.0	234.0	252.0	265.5	288.0	337.5	391.5	328.5	211.5	600076
84.0	260.0	280.0	295.0	320.0	375.0	435.0	365.0	235.0	600084
98.0	312.0	336.0	354.0	384.0	450.0	522.0	438.0	282.0	600098
106.0	338.0	364.0	383.5	416.0	487.5	565.5	474.5	305.5	600106
115.0	364.0	392.0	413.0	448.0	525.0	609.0	511.0	329.0	600115
131.0	416.0	448.0	472.0	512.0	600.0	696.0	584.0	376.0	600131
140.0	442.0	476.0	501.5	544.0	637.5	739.5	620.5	399.5	600140
144.0	468.0	504.0	531.0	576.0	675.0	783.0	657.0	423.0	600144

Fig. 5.4.- Imagen de la Tabla de descargadores Serie PROTECTA*Lite de Ohio Brass (OB).

Se selecciona el descargador con un Uc inmediatamente superior al calculado Uc calculado = 69.72

Uc PEXLIM R =72 KV

Uc PEXLIM Q =72 KV

Uc PEXLIM P =72 KV

Uc PROTECTA*Lite = 76 KV

5.3.2 SELECCIÓN DE UN DESCARGADOR CON UNA CAPACIDAD DE SOBRETENSIÓN ADECUADA:

Las sobretensiones temporales (TOV) más comunes son las causadas por fallas monofásicas a tierra. La amplitud de estas se puede obtener multiplicando $U_m/\sqrt{3}$ por el factor de aterramiento K_e .

Para sistemas efectivamente tomamos un $K_e = 1.4$.

$$TOV = \frac{120.75KV}{\sqrt{3}} K_e = 97.72KV$$

Una vez obtenido el valor TOV se divide entre U_c , con el valor resultante y la máxima duración de despeje de fallas del sistema, se procede a las curvas de capacidad de sobretensión temporal del descargador. Si el punto obtenido se encuentra por debajo de la recta, el descargador soportará la sobretensión, de lo contrario, si se encuentra por encima, no la resistirá.

El tiempo especificado de despeje de fallas en el ejemplo es de 1 segundo.

El **TOV/ U_c** calculado para las series de ABB es el siguiente:

PEXLIM P, PEXLIM Q, PEXLIM R

$$\frac{TOV}{U_c} = \frac{97.72.KV}{72KV} = 1.36$$

Las gráficas de TOV de ABB vienen presentadas en función de U_r por lo que, se debe transformar el valor de TOV/U_c a TOV/U_r , utilizando la relación: U_c (máx.) = $0.8 U_r$, entonces, tenemos que TOV/U_c en función de U_r es igual a:

$$1.36 \times 0.80 = 1,088$$

Ahora se grafica el punto de operación sobre la curva de TOV de los descargadores.

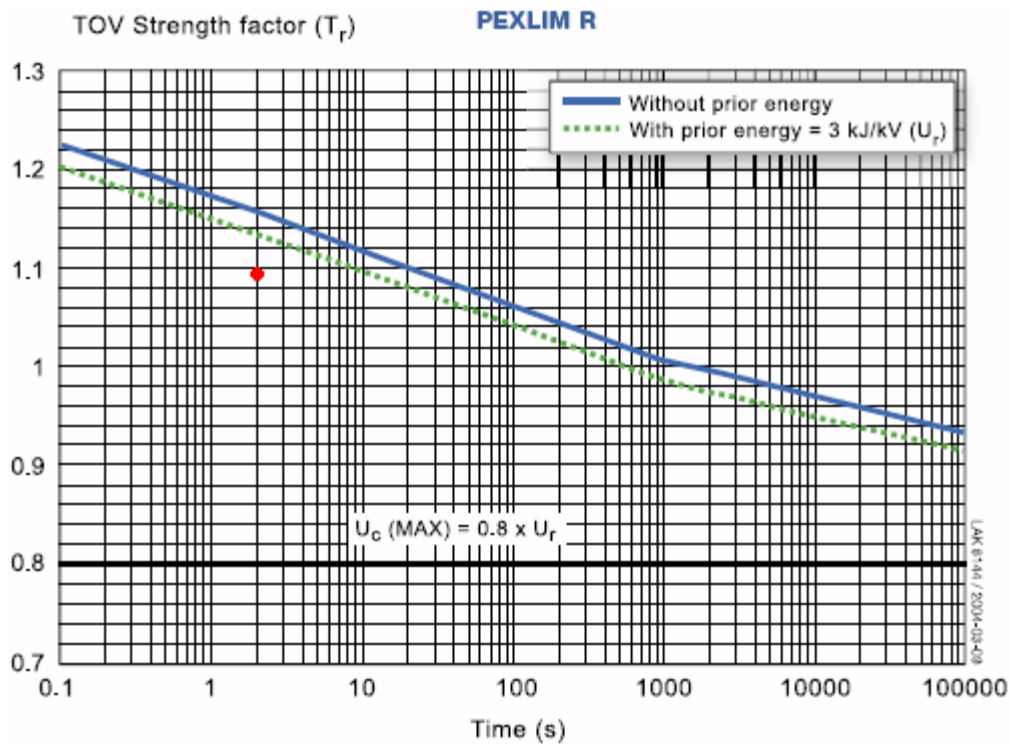


Fig. 5.5.- Ubicación del punto de operación del ejemplo, en la curva de TOV del descargador Serie PEXLIM R de ABB.

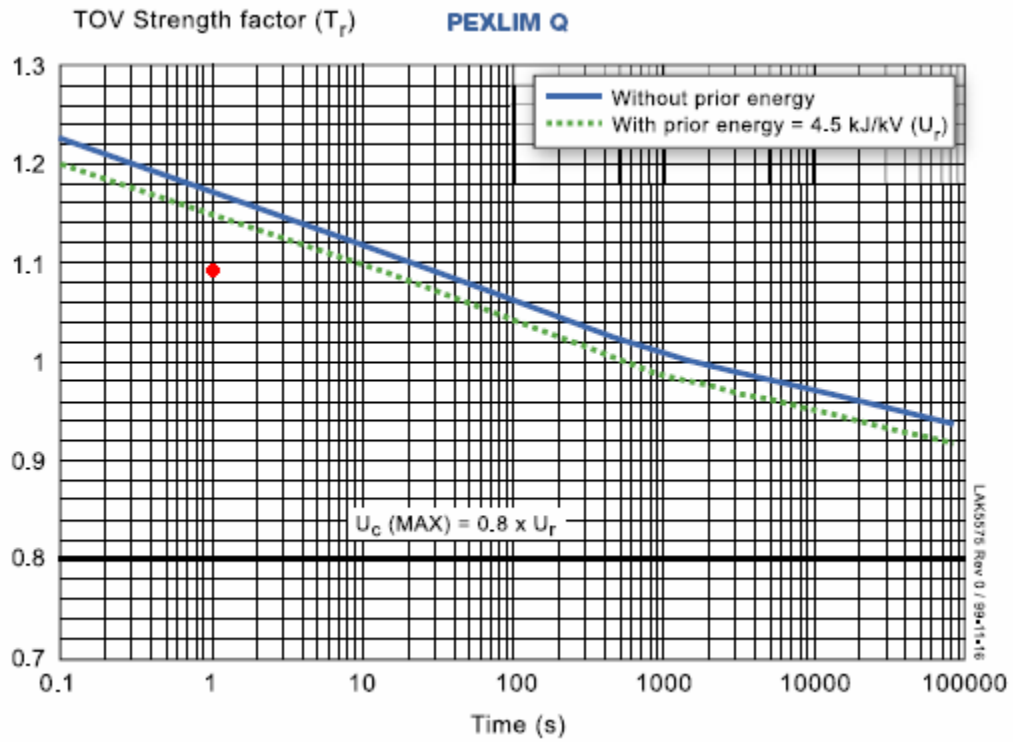


Fig. 5.6.- Ubicación del punto de operación del ejemplo, en la curva de TOV del descargador Serie PEXLIMQ de ABB.

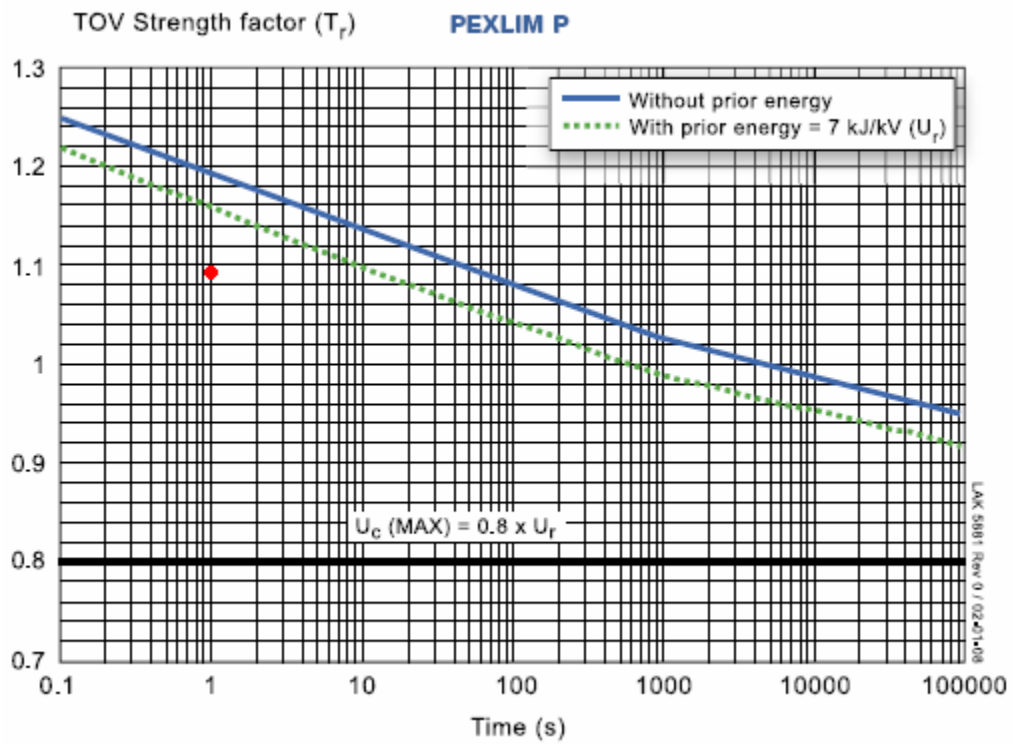


Fig. 5.7.- Ubicación del punto de operación del ejemplo, en la curva de TOV del descargador Serie PEXLIM P de ABB.

Temporary Power Frequency Overvoltage Capability for Protecta*Lite Gapless ZnO Arresters

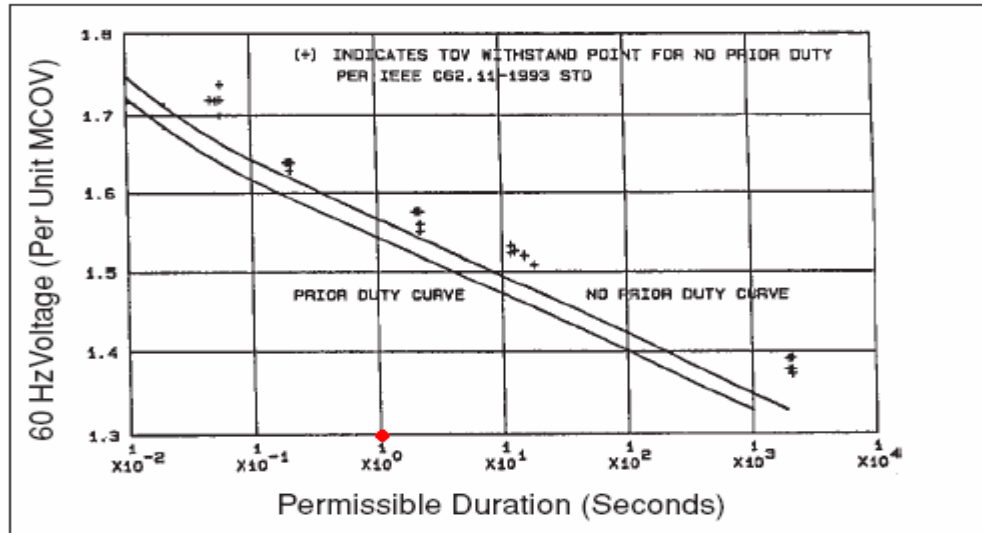


Fig. 5.8.- Ubicación del punto de operación del ejemplo, en la curva de TOV del descargador Serie PROTECTA*Lite de OB.

En el caso de PROTECTA*Lite, las gráficas ya vienen expresadas en función de U_c .

$$\frac{TOV}{U_c} = \frac{97.72.KV}{76KV} = 1.29$$

Se puede observar en las graficas de cada descargador, que el punto de operación se encuentra por debajo de la línea de energía con actividad previa, por lo que no es posible descartar ninguna de las opciones.

5.3.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MANIOBRA

El valor de sobretensión de maniobra U_L seleccionado fue de 2 p.u.

5.3.4 CALCULO DE LA ENERGÍA DEL DESCARGADOR

La corriente para sobretension de maniobra seleccionada fue de 0.5 KA, se seleccionan de la tabla de los descargadores sus tensiones residuales U_{res} para 0.5 KA. Y se calcula la energía para cada descargador:

U_{res} PEXLIM P: el fabricante no suministra tensiones residuales para 0.5KA.

U_{res} PEXLIM Q: 173 KV. Wq = energía PEXLIQ

U_{res} PEXLIM R: 186 KV. Wr = energía PEXLIM R

U_{res} PROTECTALite: 211.5 KV $Wpro$ =energía PROTECTA*Lite

$$UL_{max} = \frac{\sqrt{2} \times Um}{\sqrt{3}} \times 2 = 187,794KV$$

$$Wq = \frac{(197,2 - 173)KV}{50\Omega} \times 173KV \times \frac{2 \times 100Km}{0,3 Km/\mu s} \times 2 = 111642,7J$$

$$Wr = \frac{(197,2 - 186)KV}{50\Omega} \times 186KV \times \frac{2 \times 100Km}{0,3 Km/\mu s} \times 2 = 55552J$$

$$Wpro = \frac{(197,2, -211.5)KV}{50\Omega} \times 211.5KV \times \frac{2 \times 100Km}{0,3 Km/\mu s} \times 2 = -80652J$$

5.3.5 SELECCIONAR UN DESCARGADOR CON LA CAPACIDAD DE ENERGÍA ADECUADA.

Se comparan las capacidades de energía calculadas con la capacidad de absorción de energía de los descargadores.

Cap. Energía PEXLIM Q= 7,8 KJ / KV

Cap. Energía PEXLIM R= 5,1 KJ / KV

Cap. Energía PROTECTA*Lite= 4,16 KJ / Kv

$$EnergiaQ = \frac{Wq}{Uc} = \frac{111,642}{72} = 1,55 KJ / KV$$

$$EnergiaR = \frac{Wr}{Uc} = \frac{55,552}{72} = 0,771 KJ / KV$$

$$EnergiaPRO = \frac{Wpro}{Uc} = \frac{-80,652}{76} = -1,0612 KJ / KV$$

Para los tres casos, las capacidades de energía de los descargadores superan a las necesarias.

Cap. Energía PEXLIM Q > 1,55 KJ / KV

Cap. Energía PEXLIM R > -0,771 KJ / KV

Cap. Energía PROTECTA*Lite > -1,0612 KJ / KV

5.3.6 DETERMINACIÓN DE LOS MÁRGENES DE PROTECCIÓN.

El valor del BIL seleccionado fue: 450kV

Con el valor del BIL obtenemos los valores de BSIL y FW:

$$BSIL = 0,83 \times BIL = 0,83 \times 450 = 373,5kV$$

$$FW = 1,15 \times BIL = 1,15 \times 450 = 517,5kV$$

Se calculan los voltajes residuales con la ecuación (3.3):

$$U_{res} = U_{res1} + RI + L \frac{di}{dt}$$

Onda completa: I=10kA, L=10 μH, Onda 8/20

- Pexlim R: $U_{res1} = 234 + 5 \times 10k + 5 \times \left(\frac{10}{8}\right) = 290,25$
- Pexlim Q: $U_{res1} = 212 + 5 \times 10k + 5 \times \left(\frac{10}{8}\right) = 268,25$
- Pexlim P: $U_{res1} = 205 + 5 \times 10k + 5 \times \left(\frac{10}{8}\right) = 261,25$
- Protecta: $U_{res1} = 288 + 5 \times 10k + 5 \times \left(\frac{10}{8}\right) = 344,25$

Maniobra: I=0,5kA (El fabricante no suministra los valores para la clase Pexlim P)

- Pexlim R: $U_{res2} = 186 + 5 \times 0,5k = 188,5$
- Pexlim Q: $U_{res2} = 173 + 5 \times 0,5k = 175,5$
- Protecta: $U_{res2} = 211,5 + 5 \times 0,5k = 214$

Frente de onda: I=10kA, L=10 μH, Onda 1μs (ABB no suministra los valores de voltajes residuales para frente de onda)

-
-
- Protecta: $U_{res2} = 328,5 + 5 \times 10 + 5 \times \left(\frac{10}{1}\right) = 428,5$

Se calculan ahora los márgenes de protección:

Por sobretensiones de onda completa:

- Pexlim R: $M(\%) = \left(\frac{450}{290,25} - 1\right) \times 100 = 55,1\%$
- Pexlim Q: $M(\%) = \left(\frac{450}{268,25} - 1\right) \times 100 = 67,8\%$
- Pexlim P: $M(\%) = \left(\frac{450}{261,25} - 1\right) \times 100 = 72,2\%$
- Protecta: $M(\%) = \left(\frac{450}{344,25} - 1\right) \times 100 = 30,7\%$

Por sobretensiones de maniobra:

- Pexlim R: $M(\%) = \left(\frac{373,5}{188,5} - 1\right) \times 100 = 98,1\%$
- Pexlim Q: $M(\%) = \left(\frac{373,5}{175,5} - 1\right) \times 100 = 112,8\%$
- Protecta: $M(\%) = \left(\frac{373,5}{214} - 1\right) \times 100 = 74,5\%$

Por sobretensiones de frente de onda:

- Protecta: $M(\%) = \left(\frac{517,5}{428,5} - 1\right) \times 100 = 20,7\%$

Los márgenes de protección obtenidos para cada descargador, se comparan con los valores mínimos requeridos, se observa que para todos los casos estos están por encima de lo exigido.

5.4 EJEMPLO UTILIZANDO SSDOM

5.4.1. INGRESO DE DATOS DEL SISTEMA.

Línea

INTRODUZCA LOS DATOS DE SU SISTEMA

CLASE: LINEAS

Características del Sistema

Voltaje L-L kV:	<input type="text" value="115"/>	BIL del equipo a proteger (kV)	<input type="text" value="450"/>
% de Regulación	<input type="text" value="5 %"/>	Longitud de la Línea (km)	<input type="text" value="100"/>
Sobretensiones de Maniobra en p.u.	<input type="text" value="2"/>	Impedancia de Línea (ohm)	<input type="text" value="50"/>
Tiempo de despeje de fallas (s)	<input type="text" value="1"/>	Resistencia de puesta a tierra (ohm)	<input type="text" value="5"/>
Nivel de Contaminación	<input type="text" value="Moderado"/>	Distancia de conexión (m)	<input type="text" value="5"/>

Opciones de Aterramiento

Sistema aterrado a través de Impedancia
 Sistema Solidamente aterrado
 Introducir Valor de Ke Manualmente

Coeficiente de aterramiento (Ke)

Corrientes de Coordinación

Corriente por descargas atmosféricas:
 Corriente por Sobretensiones de maniobra:

Fig. 5.9.- Formulario de Introducción de datos del Sistema para descargadores de Sobretensión clase Líneas.

5.4.2. VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

Luego de introducir los datos del sistema se corre el programa y se observa la ventana de resultados

The screenshot shows a software window titled 'Form8' with a blue border and standard Windows window controls. The main content area has a light blue background with the word 'RESULTADOS' in large, bold, black letters at the top center. Below this, there is a table-like structure with three columns labeled 'Opcion #1', 'Opcion #2', and 'Opcion #3'. The rows represent different data fields: 'NombreFabricante', 'AbreviaturaSerie', 'idDescargador', 'Código', 'Ur', 'Uc / MCOV', and 'Clase'. Each cell in the table contains a text input field with a value. At the bottom of the table area, there are two navigation buttons: '<<<' and '>>>'. Below the table, there are four buttons: 'VER BASE DE DATOS', 'GRAFICOS COMPARATIVOS', 'MENU PRINCIPAL', and 'SALIR'. A small yellow button with a question mark is located in the bottom-left corner of the window.

	Opcion #1	Opcion #2	Opcion #3
NombreFabricante:	Asea Brown Boveri	Asea Brown Boveri	Asea Brown Boveri
AbreviaturaSerie:	PEXLIM Q	PEXLIM P	PEXLIM R
idDescargador:	635	412	613
Código:			
Ur:	90	90	90
Uc / MCOV:	72	72	72
Clase:	Línea	Línea	Línea

Fig. 5.10.- Ventana de resultados 1.

La ventana muestra los primeros 3 resultados:

Opción # 1: el descargador 635, Serie PEXLIM Q de ABB

Opción # 2: el descargador 412, Serie PEXLIM P de ABB

Opción # 3: el descargador 613, Serie PEXLIM R de ABB

	Opcion #4	Opcion #5	Opcion #6
NombreFabricante:	Ohio Brass		
AbreviaturaSerie:	PROTECTA*LITE		
idDescargador:	259		
Código:			
Ur:	93		
Uc / MCOV:	76		
Clase:	Línea		

Navigation buttons: <<< >>>

Menu buttons: VER BASE DE DATOS, GRAFICOS COMPARATIVOS, MENU PRINCIPAL, SALIR

Fig. 5.11.- Ventana de resultados1.

La ventana muestra el cuarto resultado:

Opción # 4: el descargador 259, Serie PROTECTA*Lite de Ohio Brass.

Para observar algunas de sus características más importantes y evaluar de manera visual los resultados accedemos a la ventana de gráficos.

5.4.3. VISUALIZACIÓN DE GRÁFICOS COMPARATIVOS

- Márgenes de protección

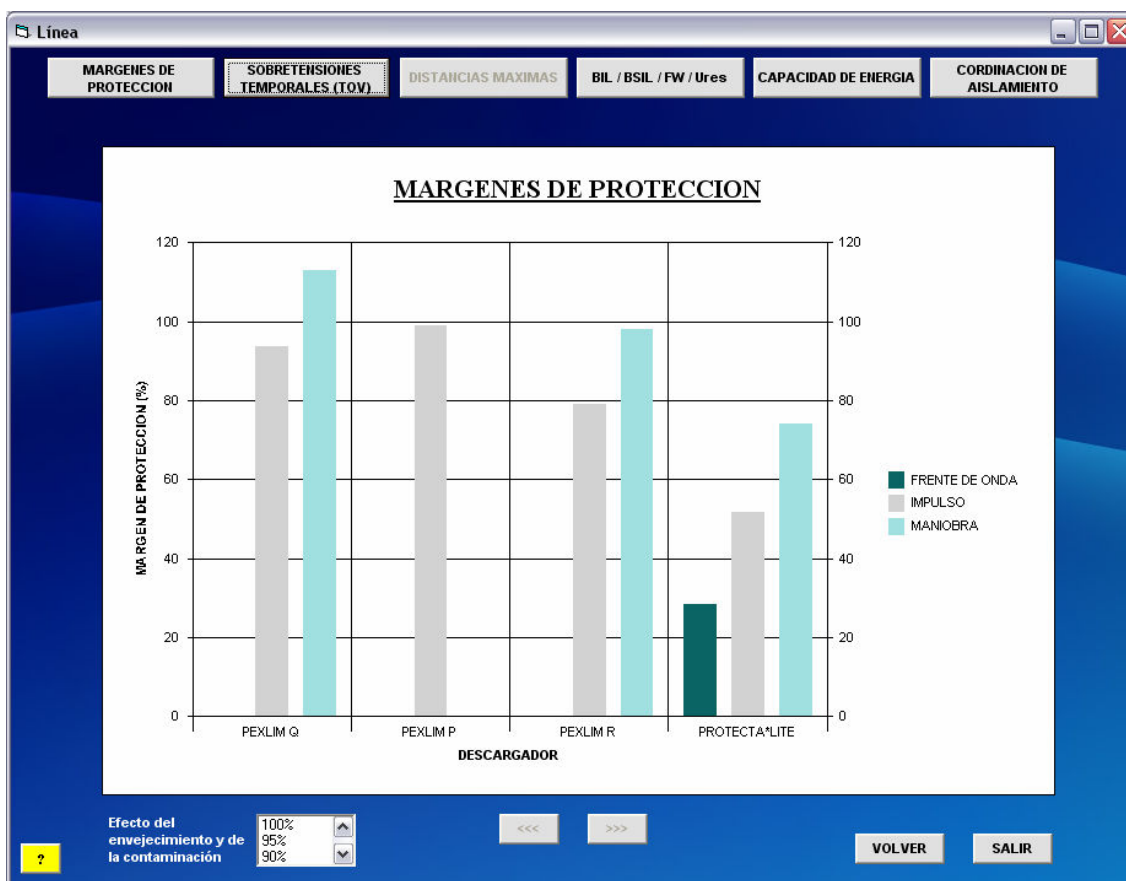


Fig. 5.12.- Gráficos comparativos. MARGENES DE PROTECCION

La ventana muestra los distintos márgenes de protección para cada uno de los descargadores.

Margen (%)	Onda Completa	Frente de Onda	Sobretensiones de Maniobra
Serie			

Pexlim Q	67	-	112
Pexlim P	72	-	-
Pexlim R	56	-	98
Protecta	31	21	74

Tabla. 5.1.- Márgenes de Protección obtenidos con SSDOM.

- **Sobretensiones Temporales**

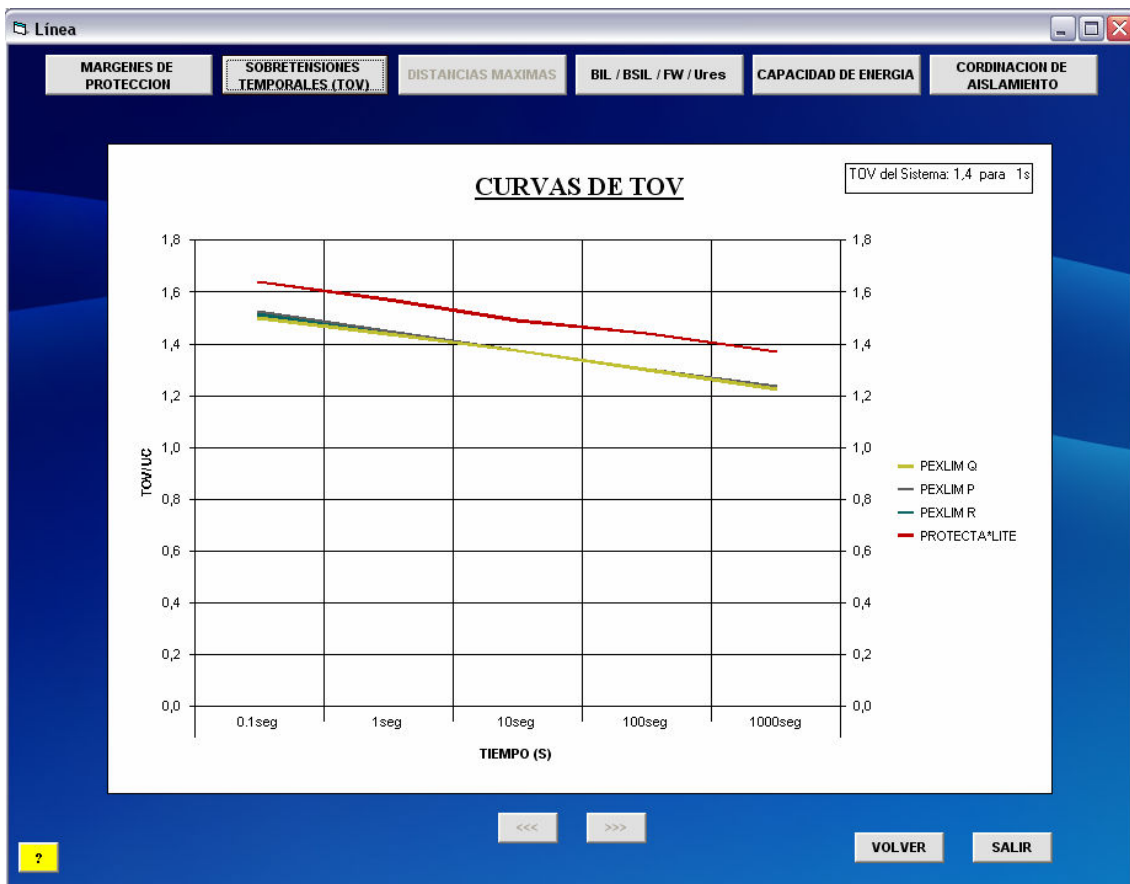
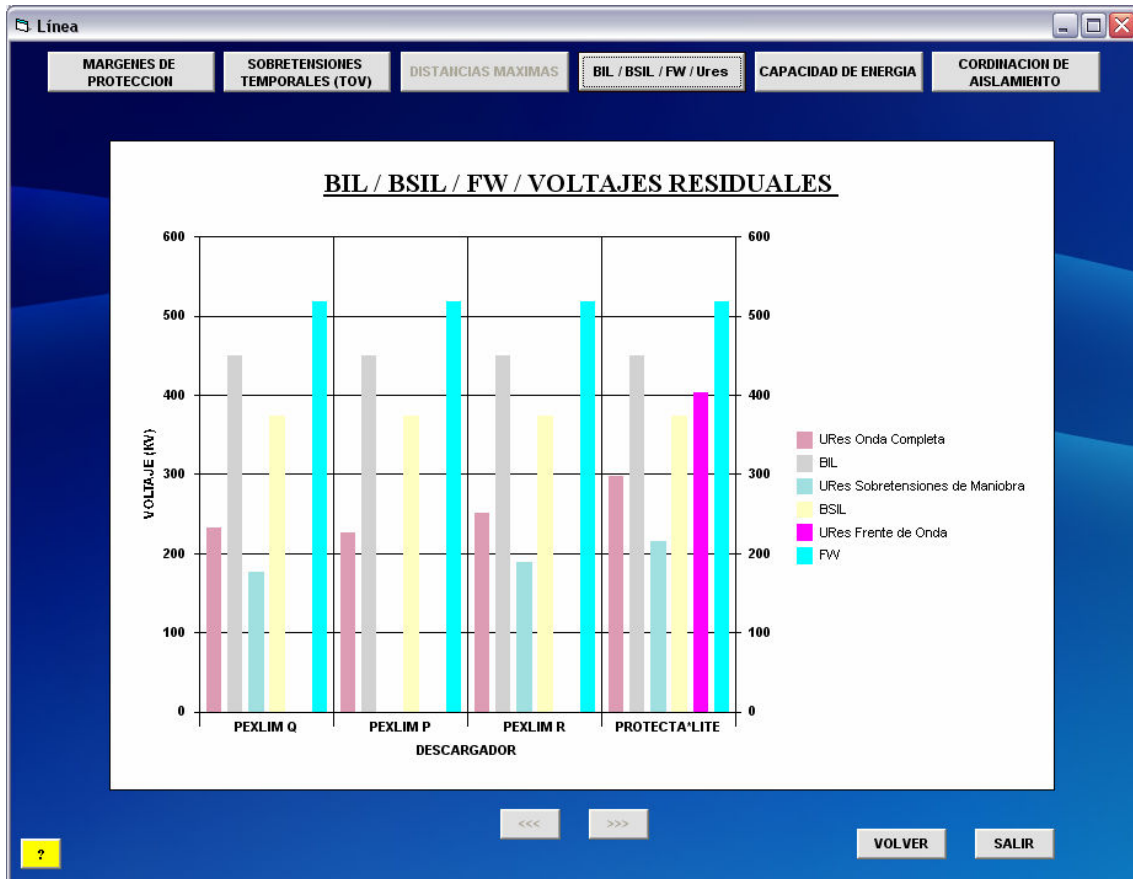


Fig. 5.13.- Gráficos comparativos. SOBRETENSIONES TEMPORALES

La ventana muestra las curvas de TOV de cada Serie. El punto de operación se encuentra en el recuadro superior derecho, podemos observar que el punto de operación (1,4 para 1s) se encuentra por debajo de todas las curvas. Por lo que las 4 respuestas cumplen con esta condición de TOV.

- **BIL /BSIL /FW /Ures**



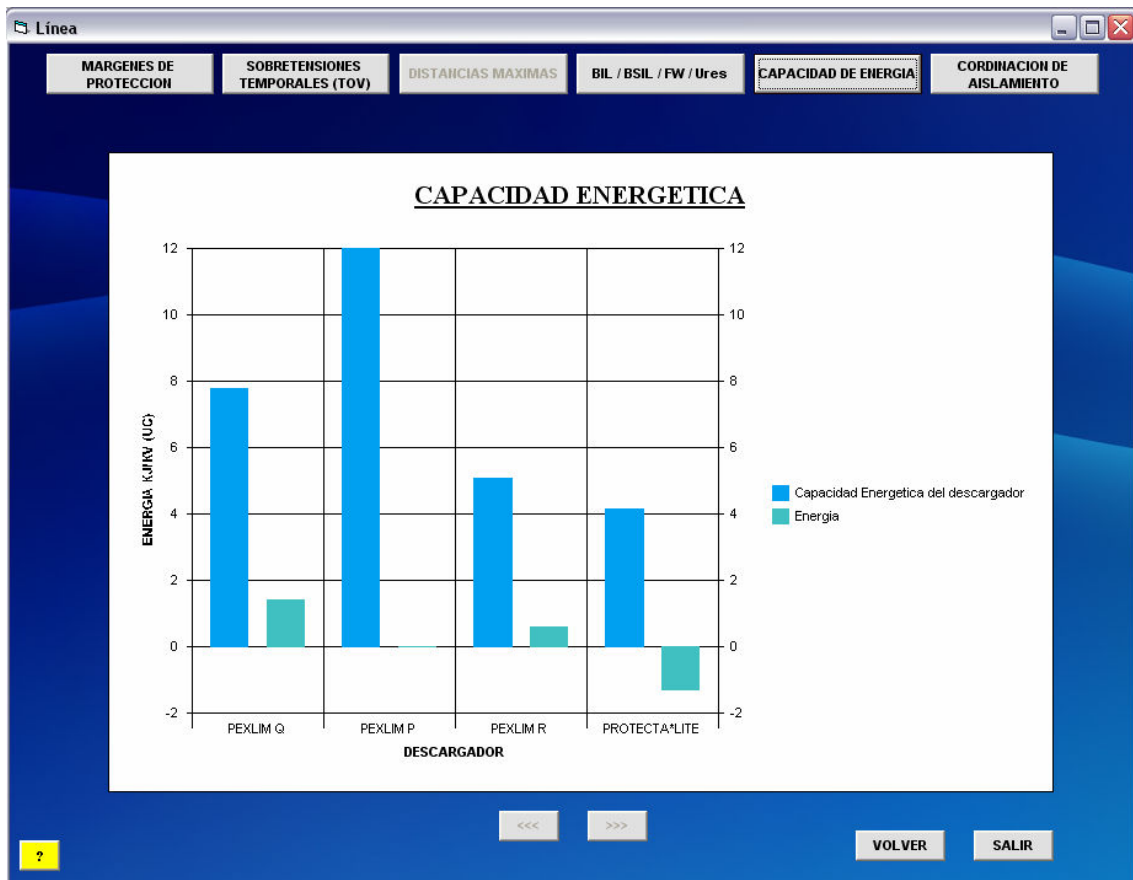
• Fig. 5.14.- Gráficos comparativos. BIL /BSIL /FW /Ures

La gráfica presenta los valores de las Tensiones residuales de los descargadores junto con los valores de BIL, BSIL y FW del sistema.

	Ures OC (kV)	BIL (kV)	Ures SM (kV)	BSIL (kV)	Ures FO (kV)	FW (kV)
Pexlim Q	268	450	176	373	-	518
Pexlim P	261	450	-	373	-	518
Pexlim R	290	450	188	373	-	518
Protecta	344	450	214	373	429	518

Tabla. 5.2.- Voltajes Residuales obtenidos con SSDOM.

- **Capacidad de Energía**



- **Fig. 5.15.- Gráficos comparativos. CAPACIDAD DE ENERGIA.**

Esta gráfica muestra las capacidades de energía de los descargadores y las que serán absorbidas por los descargadores luego de su colocación.

	Capacidad Energética del Descargador (kJ/kV)	Energía en el Sistema (kJ/kV)
Pexlim Q	7,8	1,6
Pexlim P	12	0

Pexlim R	5,1	0,8
Protecta	4,2	-1,1

Tabla. 5.3.- Resultados de energía obtenidos SSDOM.

5.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

En la siguiente tabla se reflejan los resultados obtenidos por ambos métodos

	Margen de Protección OC (%)		Margen de Protección SM (%)		Margen de Protección FW (%)		Capacidad Energética (kJ/kV)		Energía del Sistema (kJ/kV)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
PexlimQ	67,8	67	112,8	112	-	-	7,8	7,8	1,55	1,6
PexlimP	72,2	72	-	-	-	-	12	12	-	0
PexlimR	55,1	56	98,1	98	-	-	5,1	5,1	0,771	0,8
Protecta	30,7	31	74,5	74	20,7	21	4,16	4,2	-1,06	-1,1

Tabla 5.4.- Comparación de resultados (1= Resultados obtenidos de forma convencional, 2=Resultados obtenidos con SSDOM)

Al observar la tabla 5.4 se puede corroborar la correspondencia de los resultados obtenidos con ambos métodos, con pequeñas diferencias en los valores decimales causados por errores de apreciación visual en las gráficas. De esta manera se puede certificar la veracidad de los resultados suministrados por el programa SSDOM

Conclusiones.

En la actualidad los programas de computación, son una herramienta muy útil para manejar grandes cantidades de información en intervalos de tiempo cada vez menores, manteniendo una alta fidelidad en los datos utilizados durante los procesos

.De manera que, el uso de un Software beneficia en grandes rasgos tanto a estudiantes como profesionales asociados al área de la electricidad y la ingeniería en general.

El programa SSDOM, es en esencia un sistema de selección de descargadores, creado con al finalidad de obtener múltiples respuestas a una situación problemática de manera simultánea, obteniendo las opciones que mejor se ajustan a las necesidades del usuario seleccionadas de 688 o más posibles soluciones (dependiendo de las actualizaciones). SSDOM genera respuestas confiables que pueden sustentar una decisión al momento de crear o modificar un sistema de protección contra sobretensiones indeseadas en redes de potencia.

El programa luego de su diseño y puesta en marcha arrojó resultados satisfactorios. Concluyendo de la siguiente manera:

- Para la realización del proyecto se utilizaron herramientas modernas de programación y gestión de datos
- El programa ofrece, bajo ambiente Windows un diseño amigable e interactivo, por lo que el uso del mismo se hace entendible y sencillo para el operador, con un asistente de instalación de fácil utilización.
- Disminuye el error humano con respecto a cálculos y discriminación de variables.
- Ha mostrado un excelente desempeño en cuanto al tiempo, fidelidad de data y calidad de respuestas para cada tipo de descargador.

-
-
- El software luego de seleccionar el o los descargadores que cumplen con las características, presenta los resultados en un cuadro comparativo para facilitar la evaluación del resultado.
 - Además de la presentación de resultados de manera numérica para su comparación, el Software SSDOM permite visualizar de manera gráfica los TOV, Márgenes de Protección, Distancias mínimas, Energías, BIL, FW, BSIL y las Tensiones Residuales, para cada uno de resultados, exhibiéndolos en grupos de 4 descargadores para facilitar la comparación visual.
 - Con SSDOM se aumenta la productividad, ya que el manejo simultaneo de 9 respuestas, y los procedimientos de cálculos programados en el software se realizan de forma casi instantánea, de manera que el tiempo de ejecución del programa se ve determinado por el tiempo en que el usuario ingresa los datos del sistema, el cual es minimizado por lo utilización de formularios.
 - Permite una posible expansión mediante la incorporación de nuevas codificaciones, para disminuir las limitaciones y realizar mejoras en el entorno gráfico del programa. Es decir, que los cambios quedan abiertos a la mente del programador, basándose simplemente en la reestructuración de la codificación existente.
 - Presenta una función de ayuda, para guiar al operador durante la ejecución del software, y suministra otros detalles que pueden ser de interés para el usuario.
 - Permite acceder al manual de usuario o navegar en la base de datos con solo hacer click en un botón. Exhibiendo el manual en un formato pdf y abriendo la base de datos en Microsoft ACCESS.

-
-
- El sistema diseñado ha mostrado siempre un excelente desempeño con respecto a su interacción, con la base de datos en cuanto al tiempo y calidad en las pruebas luego de realizar actualizaciones.
 - Las soluciones arrojadas por el software son válidas tanto del punto de vista educativo como empresarial, por manejar una base de datos con equipos existentes en el mercado, contruidos y abalados por los principales fabricantes.
 - La base de datos permite la visualización de cada descargador, agrupados según las series de los distintos fabricantes, permitiendo la adición de una innumerable cantidad de descargadores, series o nuevos fabricantes.
 - Permite visualizar un descargador en específico e imprimir un informe con sus características más relevantes.

Recomendaciones.

- Es recomendado contar con las características reales del sistema en el cual se desea colocar el descargador de sobretensión, para evitar aproximaciones y generar resultados que se apeguen aun más a las necesidades reales.
- Para un ideal funcionamiento del software, es necesario constar con la mayor cantidad de información del descargador y su serie en la base de datos. De esta manera el programa puede suministrar al usuario toda la información que este requiera en forma gráfica o numérica.

-
-
- Es recomendado actualizar la base de datos con las últimas versiones de los catálogos de cada fabricante que se desee incorporar.
 - Se podría crear un programa para actualizar la base de datos automáticamente, mediante el uso de Internet.
 - Se recomienda su instalación en un computador con un mínimo de 256 Megas de RAM para ejecutar el programa y visualizar eficientemente la interfaz gráfica.
 - Si se desea utilizar el software a nivel industrial, se recomienda ampliar la Base de datos, con descargadores de sobretensión de fácil adquisición en nuestro país.
 - El software y la base de datos pueden ser ampliados, incorporando criterios de selección relacionados a las características mecánicas de los descargadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] LUKOSTCHUK, Alejandro (2005). **Fallas en Sistemas de Potencia.** Valencia, Universidad de Carabobo. [Consulta: 2006, Julio 29]

[2] SIEGERT C, Luis A (1998). **Alta Tensión y Sistemas de Transmisión.** Mejico D.F, LIMUSA. [Consulta: 2006, Septiembre 22]

[3] **Transmisión Line Referente B00k 345kV and Above.** (1975). New York, USA. Electric Power Research Institute [Consulta: 2006, Septiembre 23]

[4] RICHTER, Bernhard (1999). **Application Guidelines over voltage protection, Dimensioning, testing and application of metal oxide surge arresters in medium voltage networks.** Wettingen / Switzerland, ABB High Voltage Technologies Ltd Division Surge Arresters. [Consulta: 2006, Julio 29]

[5] ANSI/IEEE publication C62.11 (1993): **IEEE standard for Metal –Oxide Surge Arresters for Alternating Current Power Circuits.** USA. [Consulta: 2006, Julio 30]

[6] **ABB High Voltage Surge Arresters.** (Buyer's Guide) (2004). LUDVIKA, Sweden. ABB Power Technologies High Voltage Products Surge Arresters, 5^{ta} Edición. [Consulta: 2006, Julio 30]

[7] **ABB Application Guidelines.** (Aplication Guide) (2005). LUDVIKA, Sweden. ABB Power Technologies High Voltage Products Surge Arresters. [Consulta: 2006, Julio 30]

[8] **MOV Surge Arrester Seminar.**(1992). Ohio, Estados Unidos. The Ohio Brass Company [Consulta: 2006, Julio 30]

[9] **LEYDEN DESCARGADORES DE SOBRETENSION.** [En Línea] Disponible en: <http://www.leyden.com.ar/zforce.htm> [Consulta: 2006, Julio 30].

[10] **Sobretensiones en líneas de transmisión aéreas.** [En Línea] Disponible en: www.sapiensman.com/sobretensiones/ [Consulta: 2006, Agosto 02].

[11] **Surge Arresters.** (2006). [En Línea] Disponible en: www.cooperpower.com. [Consulta: 2006, Agosto 02].

[12] **Ohio Brass**. (2006). [En Línea] Disponible en: www.hubbellpowersystems.com/powertest/ohio_brass/ohiobrass.html [Consulta: 2006, Agosto 02].

[13] **Application Guide - TRANQUELL Station Surge Arresters**. (2001). [En Línea] Disponible en: www.geindustrial.com/industrialsystems/products/arresters.shtml [Consulta: 2006, Septiembre 12].

[14] **Wikipedia, La Enciclopedia Libre**. (2006). [En línea] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

[15] SUFIA Juan A., TORREALBA Freddy (1988) **Pararrayos de oxido de zinc (ZNO)** Valencia, Universidad de Carabobo. [Consulta: 2006, Julio 29]

[16] MARCANO Jaime, ALASTRE Humberto (1993); en su Trabajo de Grado, **Desarrollo de un esquema para la selección de pararrayos de oxido de zinc** Valencia, Universidad de Carabobo. [Consulta: 2006, Julio 29]

[17] **ZnO Surge arresters Technical Information**. (1995). LUDVIKA, Sweden. ABB Power Technologies High Voltage Products Surge Arresters [Consulta: 2006, Julio 30]