

Cálculo de circuito de voladuras

El presente artículo pretende, de una manera resumida, explicar el proceso de cálculo del número de detonadores máximo que pueden ser disparados por un explosor de condensador, según las características técnicas del mismo y del tipo de conexión elegida.

Iván del CASTILLO MARTÍNEZ, Ingeniero Técnico de Minas. Proyectos Mineros ICAM, S. L.

Palabras clave: CIRCUITO, CONDENSADOR, DETONADOR, ENERGÍA, EXPLOSOR, RESISTENCIA, VOLADURA.

El cálculo del número máximo de detonadores que puede iniciar un explosor de condensador es una tarea relativamente compleja, en la que lo aconsejable sería siempre guiarse por los datos suministrados por el fabricante del mismo. No obstante, si no se dispone de estos datos, o no se suministra la suficiente información sobre el circuito proyectado para nuestra voladura (caso típico de una conexión serie paralelo), se podrá aplicar el sistema de cálculo descrito a continuación.

En el cálculo intervienen numerosos factores que complican el proceso, el más importante está condicionado por la propia descarga del condensador, que disminuye la tensión suministrada en función del tiempo, de acuerdo con una ley exponencial (Fig. 1). Otros factores de menor consideración son el calentamiento de los cables al circular la corriente, lo que provoca un aumento de la resistencia. La propia inductancia del circuito de voladura, que al suministrar el explosor la energía pasa de no tener ninguna tensión a varios cientos o miles de voltios en un tiempo muy corto.

Como datos de partida para el cálculo se tomará siempre la tensión suministrada por el explosor, así como la capacidad de su condensador. Del circuito de la voladura se necesitará conocer la resistencia eléctrica, formada por la suma de la resistencia de la línea de tiro y la resistencia del circuito de detonadores.

Ya que el condensador es un *almacén de energía* que la libera hasta agotarse en un tiempo en función de la resistencia a la que está conectado, y el detonador es el receptor de esta, que la transforma en calor para el encendido de los detonadores, resulta

lógico que el explosor únicamente pueda iniciar un número limitado de detonadores, que es el que se pretende calcular a continuación.

El cálculo se efectuará basándose en la ecuación de la energía suministrada por el condensador:

$$E = \int_0^t I^2 dt$$

Considerando a efectos de simplificación del cálculo el escaso tiempo en que debe iniciarse el detonador, se puede contemplar el tramo de la curva de descarga recto, con lo que la ecuación anterior quedaría como:

$$E = R \left(\frac{I_0 + I_1}{2} \right)^2 t$$

siendo:

I_0 = Intensidad inicial.

I_1 = Intensidad transcurrido un tiempo t .

Si I_1 se hace igual a la intensidad de encendido recomendada por el fabricante (I_s), de tal manera que durante el encendido del detonador este valor sea siempre superior al recomendado, y considerando que el impulso de encendido es $S = E / R$, es decir, $E = S \cdot R$, se tendrá:

$$S = \left(\frac{I_0 + I_s}{2} \right)^2$$

Como $I_0 = V / R$, se tendrá:

$$t = \frac{4S}{\left(\frac{V}{R} + I_s \right)^2} \quad (1)$$



El cálculo del número máximo de detonadores que puede iniciar un explosor de condensador es una tarea relativamente compleja.

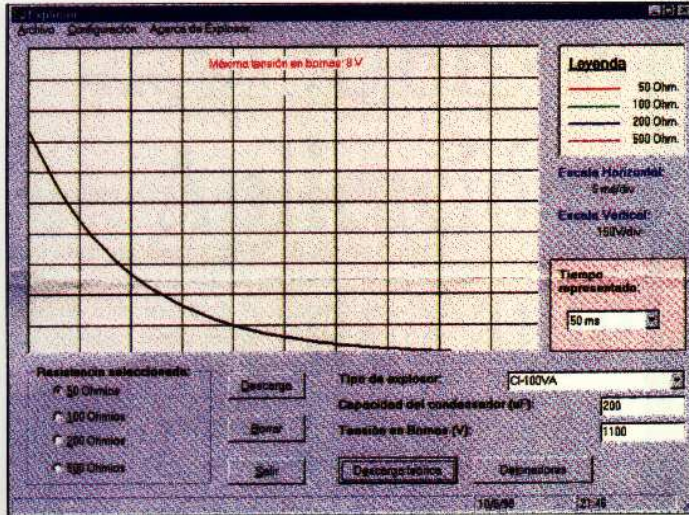


Fig. 1.- Curva teórica de descarga para un explosor CI-100-VA sobre una resistencia de 50 Ω.

Si la línea de tiro tiene una resistencia de 10 Ω, y los cables de los detonadores una longitud de 4 metros, la resistencia del circuito será:

$$\text{Resistencia de un detonador} = 1,6\Omega + 4 \text{ m} \cdot 0,065 \Omega/\text{m} = 2,12 \Omega$$

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{Línea}} + R_{\text{detonador}} \cdot N^{\circ} \text{ detonadores}$$

$$N^{\circ}_{\text{det}} = \frac{R_{\text{total}} - R_{\text{Línea}}}{R_{\text{det}}} = \frac{824 - 10}{2,12} = 383$$

Siendo este el máximo número de detonadores sensibles que puede iniciar el explosor considerado para una conexión en serie.

Ejemplo 2: Conexión en serie-paralelo

Para el cálculo de este ejemplo, se tendrán en cuenta 5 series de n detonadores cada una conectadas en paralelo. Hay que considerar, que para este tipo de conexión, todas las series deben tener la misma resistencia.

La resistencia del circuito viene dada por:

$$R_{\text{Circuito}} = R_{\text{Línea}} + \frac{R_{\text{Det.}} \cdot n}{5}$$

Siendo n el número de detonadores de cada serie. La intensidad inicial que circula por la línea de tiro será:

$$I = 1.100 / R$$

Y la intensidad que circula por cada serie:

$$I_0 = \frac{1.100}{5 \cdot R}$$

Con lo que la ecuación (1), queda:

$$t = \frac{4 \cdot S}{(I_0 + I_s)^2} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{1.100}{5 \cdot n} + 1,2\right)^2}$$

Por otro lado, aplicando la ecuación de la descarga del condensador:

$$I_s = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Y teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad mayor que la unidad, al que se llamará K , se llega a:

$$K \cdot I_s = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (1) y (2), se obtendrá el valor de la resistencia R , que para este caso será el valor máximo admisible para el tipo de detonador considerado.

La resolución del sistema de ecuaciones anterior es algo compleja, por lo que se recomienda el método de tanteo o bien un pequeño y simple programa informático para su resolución.

Los datos eléctricos de los tipos de detonadores existentes se resumen en la **Tabla I.**

La conexión de los detonadores puede ser en serie, paralelo, o serie paralelo. A continuación se describen unos ejemplos de cálculo que nos servirán para aplicar las ecuaciones anteriores a un caso real, obteniendo el máximo número de detonadores que puede conectarse a un explosor, en función de la conexión elegida.

Datos de partida

Para los ejemplos posteriores, se tendrán las siguientes consideraciones de partida:

- Tipo de explosor elegido: C1-100-VA.
- Tensión: 1.100V.
- Capacidad del condensador: 200 µF.
- Detonadores elegidos: Sensibles.
- Resistencia de Puente: 1,6 Ω.
- Impulso de encendido: 3 mWs/Ω.
- Intensidad recomendada: 1.2 A.

Ejemplo 1: Conexión en serie

Teniendo en cuenta la ecuación (1):

$$t = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{1.100}{R} + 1,2\right)^2}$$

y con la ecuación (2), y aplicando un factor de seguridad $K = 1,1$

$$1,1 \times 1,2 = \frac{1.100}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot 200 \cdot 10^{-6}}}$$

Que resolviendo da un valor de $R = 824 \Omega$.

TIPO DE DETONADOR	RESISTENCIA DE PUENTE	IMPULSO DE ENCENDIDO	CORRIENTE DE SEGURIDAD	INTENSIDAD RECOMENDADA
Sensible "S"	1,2-1,6Ω	0,8-3 mWs/Ω	0,18 A	1,2 A
Insensible "I"	0,4-0,5Ω	8-16 mWs/Ω	0,45 A	2,5A
Altamente Insensible "AI"	0,03-0,05Ω	1100-2.500 mWs/Ω	4A	25A

TABLA I.- Datos eléctricos de los distintos tipos de detonadores.

HAZEMAG



Reciclaje HAZEMAG



HAZEMAG hace posible un reciclaje de escombros económico. Debido al triturado selectivo y fino de los equipos de HAZEMAG usted producirá, **en una sola pasada**, un producto final con **cubicidad de muy buena aceptación en el mercado**.

Para cada trabajo de reciclaje HAZEMAG suministra el concepto adecuado: ya sea fijo, semi-móvil, móvil sobre ruedas, móvil sobre orugas, o para utilización con grúa.

Desde hace más de 50 años HAZEMAG ha estado escribiendo la historia del **tratamiento de materiales**. ¡Aproveche nuestra experiencia de tantos años! ¡Aproveche también, **nuestra planta de ensayos** recientemente construida para resolver sus **problemas** actuales de tratamiento!

HAZEMAG & EPR

Sucursal de
Noell Service und
Maschinentechnik GmbH
Brokweg 75
D-48249 Dülmen
Alemania
Tel: (+ 25 94) 77-0
Fax: (+ 25 94) 77-4 00

Representante en España:

 **eco recycling
systems, S.L.**
Av. Alberto Alcocer, 39
4º dcha.
28016 Madrid
Tel: 91 350 09 05
Fax: 91 350 09 05

 **PREUSSAG**
NOELL

Y la (2):

$$1,1 \cdot 1,2 = \frac{1.100}{R} \cdot e^{\frac{-1}{R \cdot 200 \cdot 10^{-6}}}$$

Resolviendo las ecuaciones se obtiene que el valor de n equivale a 347, con lo que al tener 5 series de 347 detonadores cada una, el número máximo de detonadores sensibles que puede iniciar el explosor para un total de 5 series de 347 detonadores cada una conectadas en paralelo es de 1.735.

Ejemplo 3: Conexión en paralelo

Con el sistema de cálculo anteriormente expuesto, para una línea de 10 Ω de resistencia, el número máximo de detonadores es de 50 unidades. El escaso número de detonadores capaz de iniciarse con este sistema es consecuencia del tipo de conexión, en que la corriente, al dividirse por todos los detonadores, con un número elevado de estos no alcanza siquiera la corriente de encendido. Por tal motivo, no es aconsejable el uso de esta conexión.

Como final a este artículo, recordar que del correcto funcionamiento de explosor depende el resultado de la voladura, por tal motivo resulta conveniente el correcto cuidado del mismo, así como efectuar periódicamente revisiones que confirmen su estado, ya que no es muy extraño, que las grandes descargas a las que es sometido el condensador acaben perforando el dieléctrico, bajando por tanto la capacidad de este y, por tanto, el número máximo de detonadores que puede iniciarse; y sobre todo, y de acuerdo con la ITC, el empleo de material homologado para los distintos tipos de cargas eléctricas.

REFERENCIA 120