

Desarrollo de una Máquina de Descargas Electroestáticas para Determinar la Resistencia de Detonadores utilizados en Minería

Developing an Electrostatic Discharge Machine to Determine the Resistance of Detonators used in Mining

Oswaldo Morales ^{1*}, Serafín Sosa

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaráú 210, Lima-Perú

Recibido : 02/11/2016 Aceptado: 30/01/2017

RESUMEN

La inversión en la actividad minera en el Perú, al año 2015, es del orden de 63,928 millones. Esta actividad se realiza en su mayoría a más de 3000 msnm, donde la temperatura y la humedad relativa son bajas, lo cual favorece a la conservación de la energía electrostática generada principalmente por el efecto triboeléctrico. Esta energía generada, dependiendo de su nivel, al descargarse sobre los detonadores origina su encendido, ocasionando daños en el minero, generalmente de tipo mortal. Para establecer los niveles de energía electrostática máximos de trabajo se ha desarrollado una máquina de descargas electrostáticas para determinar la resistencia de detonadores utilizados en minería.

Palabras clave: Minería en el Perú, Energía electrostática, Efecto triboeléctrico, Resistencia de detonadores, Máquina de descargas electrostáticas.

ABSTRACT

Investment in mining in Peru, to the year 2015, is in the order of 63,928 million. This activity is done mostly to over 3000 meters, where temperature and humidity are low, which favors the conservation of the generation of the electrostatic energy generated mainly by the triboelectric effect. This power generated, depending on its level, to download on detonators originates its on, causing damage to the miner, usually deadly type. To establish levels of electrostatic maximum energy of work an electrostatic machine has been developed to determine the resistance of detonators used in mining.

Keywords: Mining in Peru, Electrostatic energy, Triboelectric effect, Resistance of detonators, Electrostatic machine.

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú, según el Ministerio de Energía y Minas [1], la cartera estimada de inversión en minería se encuentra compuesta por 51 proyectos importantes. Incluye proyectos de ampliación de unidades mineras, en etapa de exploración avanzada, así como con estudio ambiental aprobado o en proceso de evaluación y que en conjunto ascienden a US\$ 63,928 millones.

En el proceso minero se utilizan accesorios que se ven afectados por la presencia de la electricidad estática. La electricidad estática representa un desequilibrio temporal en la repartición de las cargas eléctricas en la superficie de dos materiales en contacto por transferencia de electrones, creando un campo eléctrico y una diferencia de potencial entre éstos que puede ser muy elevada. La magnitud de la carga depende, principalmente, de la velocidad de separación y/o fricción de los materiales y de su resistividad eléctrica.

Cuando dos cuerpos conductores están separados por un aislante o incluso por el aire constituyen un condensador al quedar cargado uno de los polos con una carga positiva y el otro con carga igual pero negativa. Al establecer una vía conductora se libera tal energía almacenada descargándose sobre el detonador. Para nuestro caso, la magnitud de la energía cargada en el condensador (humano o máquina) y liberada en el detonador determinará la peligrosidad de explosión de éste.

Para que se produzca la explosión del detonador, deberá cumplirse conjuntamente las tres condiciones siguientes:

- La existencia de una configuración del detonador susceptible de explosión por encontrarse dentro del rango de iniciación.
- La acumulación de una carga electrostática lo suficientemente alta para crear una diferencia de potencial generadora de iniciación del detonador.

* Correspondencia:

E-mail: omorales1107@hotmail.com

La Revista Científica TECNIA protege los derechos de autor bajo la Licencia 4.0 de Creative Commons: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

DOI: <http://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v26i2.56>

Revista TECNIA Vol.26 N°2 Julio-Diciembre 2016

- La producción de la descarga electrostática iniciadora, de energía suficiente para iniciar el detonador.

Tabla 1: Potenciales electrostáticos generados por una persona.
Fuente: <http://www.electro-tools.com.ar>

Medios para generación de estática	Humedad Relativa 10% a 20%	Humedad Relativa 65% a 90%
Caminar sobre alfombra	35 000 V	1 500 V
Caminar sobre suelo de vinilo	12 000 V	250 V
Persona en mesa de trabajo	6 000 V	100 V
Sobres de vinilo con instrucciones	7 000 V	600 V
Retirar bolsa de plástico de mesa de trabajo	20 000 V	1 200 V
Persona en silla forrada con poliuretano	18 000 V	1 500 V

Tabla 2: Capacidad de una persona estándar, de porte militar y de una máquina.

Fuente: NTP 311.356-7.

DESCRIPCION	CAPACIDAD
Persona estándar	300 pF
Persona de porte militar	500 pF
Máquina perforadora	2500 pF

Ante la necesidad de querer determinar la resistencia de los detonadores de encendido eléctrico y no eléctrico utilizados en minería, se ha desarrollado una máquina de descargas electrostáticas que garantice los límites de seguridad a las personas que manipulen estos artefactos, así como a las máquinas que vienen desempeñando diferentes funciones dentro del campo de trabajo minero.

La determinación de la resistencia en las diferentes configuraciones de manipulación de los detonadores, servirán como estándares para el control de calidad en el proceso de fabricación y en la evaluación de productos importados. El presente trabajo siguió la vertiente de la física experimental; en primer lugar, se desarrolló un profundo estudio de los fenómenos físicos a analizar y en segundo lugar se desarrollaron una serie de procesos físicos experimentales.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Por ser este trabajo de tipo exploratorio, se estudió cada una de las distintas partes de las cuales se compone la máquina, también se sometió a las pruebas de desempeño para verificar su eficacia de funcionamiento.

La prueba de desempeño se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias y de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería y finalmente en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la fábrica FAMESA

S.A.C [2]. en las distintas probabilidades de uso de los detonadores.



Figura 1: Disposición del prototipo de la máquina de descargas electrostáticas. (Fuente: Elaboración propia.)

3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto a los detonadores, cuya evaluación es motivo de nuestra investigación, en el mercado nacional existen los siguientes tipos:

- Fulminante de encendido Eléctrico Sensible.
- Fulminante de encendido Eléctrico Insensible.
- Fulminante de encendido Eléctrico Altamente Insensible.
- Fulminante de Antiestático de encendido No Eléctrico.

Los cuales son fabricados por FAMESA S.A.C. e importados por EXSA [3]. A partir de 1990 ante la apertura de la importación, estas empresas se vieron en la necesidad de cumplir con los estándares del mercado global, pues las empresas mineras y usuarios de detonadores exigían el cumplimiento de éstos. Uno de los problemas presentes según manifiestan los fabricantes y usuarios de los explosivos de detonadores y accesorios de voladura es la descarga electrostática, que puede provenir de parte de una máquina o del operador, que dependiendo del nivel de energía acumulada lo puede llegar a iniciar, con resultados generalmente de tipo mortal.

Actualmente, las empresas mineras y las constructoras de obras civiles al momento de adquirir los detonadores contratan a empresas internacionales certificadoras para la verificación y la seguridad en el manipuleo de éstos. Esta investigación se ha centrado en el desarrollo de una máquina de descargas electrostáticas para determinar la resistencia de detonadores utilizados en minería, lo cual evitará accidentes personales y/o a

las máquinas y equipos debido a la presencia de la electricidad electrostática, así como en el sistema productivo de exploración y extracción mineras teniendo presente también que nuestro país es eminentemente minero, por lo que creemos que esta máquina será de un gran aporte tecnológico. La investigación de la teoría de la física, la electricidad, la electrostática y su aplicación en cada uno de los componentes de la máquina, ha llenado un vacío teórico y experimental en el campo de la electrostática referida a accesorios utilizados en minería.

Tabla 3: Valores de la constante dieléctrica relativa y de la resistencia dieléctrica.

Fuente: Google, constante dieléctrica, imágenes.

MATERIAL	CONSTANTE DIELECTRICA RELATIVA (ϵ_r)	RESISTENCIA DIELECTRICA E_{max} (kV/mm)
Vacío o Aire	1,00000	----
Aire (seco) (1 atm)	1,00059	3
Aire (100 atm)	1,0548	----
Baquelita	4,9	24
Cuarzo fundido	3,78	8
Vidrio	5 - 10	35
Vidrio Pyrex	5,6	14
Polietileno	2,25	----
Polycarbonato	2,8	30
Poliestireno	2,56	24
Teflón	2,1	60
Caucho de neopreno	6,7	12
Nylon	3,4 - 8	14
Papel	3,7 - 7	16
Agua a 20°C	80	----
Aceite de silicón	2,5	15
Mica	3...4,9 ...6	10 - 100
Mylar	3,1	----
Cloruro de Polivinilo	3,18	----
Plexiglás	3,40	40
Neopreno	6,70	12
Germanio	16	----
Glicerina	42,5	----
Aceite de transformador	2,24	12
Poliéster	—	60
Polipropileno	2,25	70
Parafina	2,3	10
Porcelana	7	5,7
Aceite de ricino	4,6	----
Aceite mineral	2,7	----
Alcohol	15-30	----

4. DESARROLLO DE LA MAQUINA DE DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS

4.1. Configuración del equipo

El equipo de descargas electrostáticas tendrá la configuración como se muestra en el esquema de la figura 2.

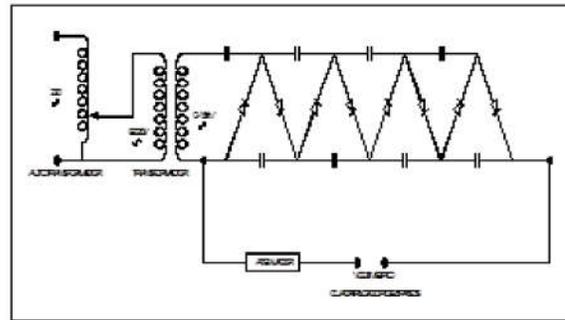


Figura 2: Esquema del equipo de descargas electrostáticas.

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Diodos

Los diodos de selenio, que tienen como característica la de soportar alto voltaje pico inverso y serán utilizados para la construcción de un rectificador de onda completa y de los multiplicadores de alto voltaje. Las condiciones de operación de los diodos de selenio, según el manual ECG, son las siguientes:

Tabla 4: Condiciones de operación de los diodos de selenio.

Fuente: Manual ECG

Tipo ECG	Condiciones de operación			
	Salida DC (Volt)	Entrada pico (Volt)	I_f máx. a 50°C (mA)	Caída voltaje (Volt DC)
504	20000	24000	0,5	400 a 3 mA



Figura 3: Puente de diodos de onda completa.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Multiplicador de alto voltaje

Para satisfacer la necesidad de obtener voltajes variables de 0 a 40000 Volt, se ha desarrollado un cuadruplicador de voltaje de 8 pasos.

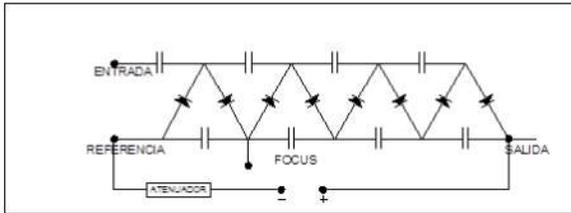


Figura 4: Cuadruplicador para alto voltaje de 8 pasos
Fuente: Manual ECG.

4.1.3. Condensadores planos

Para el desarrollo de los condensadores planos se ha tomado en cuenta la siguiente relación:

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon \frac{A}{d} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

- C: Capacitancia (Faradio)
- Q: Carga en cualquier placa (Coulomb)
- V: Diferencia de potencial entre las placas (Volt)
- d: Separación entre las placas (metro)
- A: Área de cualquier placa (m²)
- ϵ_0 : Permisividad del vacío (8,85x10⁻¹² C²/N.m² = 8,85x10⁻¹² F/m)
- ϵ_r : Constante dieléctrica relativa

De la Tabla 3: Valores de la constante dieléctrica relativa y de la resistencia dieléctrica se toman los valores correspondientes para el Mylar, utilizado para la construcción de los condensadores.

Para el dimensionamiento de los condensadores planos utilizaremos los siguientes datos:

- Capacitancia de los condensadores: 300x10⁻¹² F, 500x10⁻¹² F y 2500x10⁻¹² F
- Material dieléctrico: Mylar
- Constante dieléctrica relativa: 3,1
- Permisividad del vacío: 8,85x10⁻¹² F/m
- Separación entre placas: 300x10⁻⁶ m

Fórmula para el cálculo del área de las placas conductoras:

$$A = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$



Figura 5: Fabricación de un condensador plano
Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Medidor de alto voltaje

Para medir voltajes hasta 10000 Volt, en corriente continua, se hace necesario hacer uso de un divisor de voltaje de tipo resistivo, que soporte la corriente y la potencia a ser utilizada.

- V_{in} : Voltaje a medir (máx 10000 Volt)
- I: Corriente que circula por ($R_1 + R_2$)
- R_1 : Resistencia del atenuador (990 M Ω)
- R_2 : Resistencia del voltímetro (10 M Ω)
- V_{out} : Lectura medida en el voltímetro (x100)

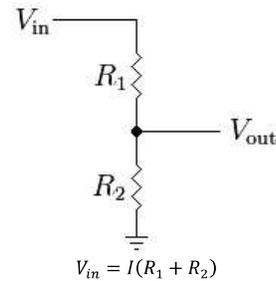


Figura 6: Divisor resistivo.
Fuente: Google, divisor resistivo, imágenes



Figura 7: Atenuador de 1000 M Ω .
Fuente: Elaboración propia

5. DETONADORES DE ENCENDIDO ELÉCTRICO



Figura 8: Detonadores de encendido eléctrico.
Fuente: FAMESA S.A.C.

5.1. Aplicación

El detonador eléctrico, está diseñado para ser usado en voladuras de minería a cielo abierto,

subterránea y obras civiles, en donde se requiere de una secuencia de salida de los tiros, logrando un mayor control de la voladura a través de una baja dispersión.

5.2. Descripción

El detonador eléctrico estándar, corresponde a un detonador de alta potencia (Dispositivo que contiene material altamente explosivo primario que se utiliza para iniciar una secuencia explosiva) capaz de convertir un impulso eléctrico en una detonación. Los detonadores eléctricos están compuestos por tres partes fundamentales:

- Cápsula de aluminio o cobre, que contiene una carga primaria de explosivos, una carga secundaria y un tren de retardo excepto el detonador instantáneo
- Dos alambres conductores revestidos por un plástico semiconductor.
- Un elemento inflamador (eléctrico-pirotécnico) alojado en un dispositivo antiestático y soldado a dos alambres conductores.



Figura 9: Cápsula de aluminio.
Fuente: FAMESA S.A.C.



Figura 10: Elemento inflamador.
Fuente: FAMESA S.A.C.

6. DETONADORES DE ENCENDIDO NO ELÉCTRICO

Diseñado por Per Anders Persson en 1960. Es un tubo plástico con un contenido de octógeno aluminizado (HMX) adherido al tubo en su parte interior (adherencia > 95%).

La carga del tubo es aproximadamente 0,015 gramos por metro de tubo. La velocidad de detonación del tubo de choque es de alrededor de 2000 m/s. Este tipo de detonador es un sistema eficaz de iniciación para en minería subterránea, superficial y obras civiles, que ofrece los beneficios de

sincronización sin riesgo, eliminando toda posibilidad de conexiones erróneas. Está formado por los siguientes componentes:

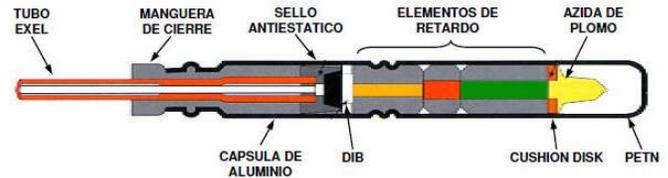


Figura 11: Estructura Interna del Detonador de Encendido No Eléctrico.

Fuente: FAMESA S.A.C.

7. DISPOSICIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYO

El equipo de ensayo a utilizar para certificar la resistencia a descargas de energía eléctrica estática de detonadores de encendido eléctrico y no eléctrico utilizados en minería tendrá la disposición como se muestra en la figura 12.

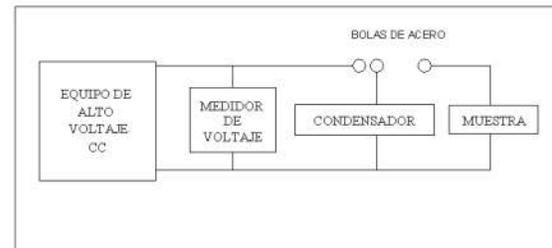


Figura 12: Disposición del equipo de ensayo.

Fuente: Elaboración propia

El equipo de alto voltaje será de tipo variable (0 a 40kV) en DC, proporcionará la energía necesaria al condensador elegido para el ensayo (300pF/40kV, 500pF/40kV y 2500pF/40kV), y el detonador será ubicado en una poza de concreto relleno con arena que estará ubicada en un cuarto especialmente construido de concreto armado. Para realizar el ensayo, primero se debe cargar el condensador, para lo cual las bolas de acero del equipo de alto voltaje y del condensador estarán unidas y el voltaje de carga será medido con el multímetro enseriado con el atenuador. Una vez que el condensador se ha cargado, esta energía debe ser descargada sobre la muestra colocada para el ensayo. Para ello será necesario unir las bolas de acero del condensador con la bola de acero de la muestra. Se tomará nota del resultado de ensayo y se procederá a ensayar una nueva muestra.



Figura 13: Pruebas intensivas de desempeño.
Fuente: Elaboración propia

8. MANIPULACIÓN Y PLAN DE ENSAYOS DE DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE DETONADORES UTILIZADOS EN MINERÍA

8.1. Configuraciones de manipulación de detonadores de encendido eléctrico.

a. Configuración de manipulación A

Se conecta el cuerpo del detonador al polo negativo del condensador y los terminales cortocircuitados al polo positivo, descargando así la energía almacenada en el condensador.

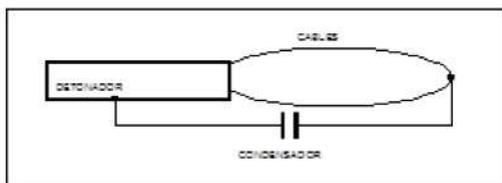


Figura 14: Configuración de manipulación A.
Fuente: Elaboración propia.

b. Configuración de manipulación B

Se conecta el polo negativo del condensador a la superficie de uno de los cables del detonador (sin perforar el forro) a aproximadamente 5 cm del engargolado, y los terminales cortocircuitados al polo positivo, descargando así la energía almacenada en el condensador.

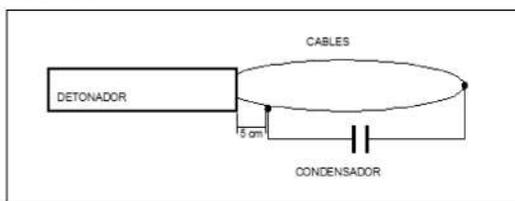


Figura 15: Configuración de manipulación B.
Fuente: Elaboración propia.

c. Configuración de manipulación C

Se conecta el polo negativo del condensador al cuerpo del detonador y uno de los cables al polo positivo, descargando así la energía almacenada en el condensador.

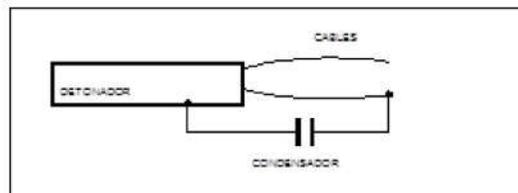


Figura 16: Configuración de manipulación C.
Fuente: Elaboración propia

d. Configuración de manipulación D

Se conectan los cables del detonador a los polos negativo y positivo del condensador, descargando así la energía almacenada en ella.

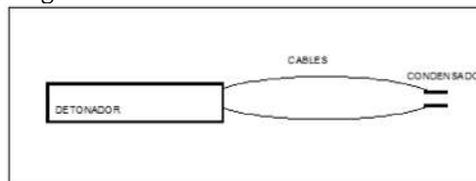


Figura 17: Configuración de manipulación D.
Fuente: Elaboración propia.

9. PLAN DE ENSAYOS DE DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DETONADORES DE ENCENDIDO ELÉCTRICO

a. Detonadores de encendido eléctrico sensible

Para este tipo de detonadores se ha efectuado ensayos con condensadores de 300pF/40kV y 500pF/40kV, bajo las siguientes condiciones:

Tabla 5: Plan de ensayos para detonadores de encendido eléctrico sensible con condensadores de 300pF/500pF
Fuente: Elaboración propia.

CONFIGURACION DE MANIPULAC..	VOLTAJE (VOLT)	CONDENSADOR (pF)	ENERGÍA (Joule)
A	17000	300/500	0,043/0.0723
B	17000	300/500	0,043/0.0723
C	17000	300/500	0,043/0.0723
D	17000	300/500	0,043/0.0723

b. Detonadores de encendido eléctrico insensible

Para este tipo de detonadores sólo se han realizado mediciones de resistencia a descargas electrostáticas con el condensador de 2500pF/40kV, en las siguientes condiciones:

Tabla 6: Plan de ensayos para detonadores de encendido eléctrico insensible con condensador de 2500pF.
Fuente: Elaboración propia

CONFIGURACION DE MANIPULAC.	VOLTAJE (VOLT)	CONDENSADOR (pF)	ENERGÍA (Joule)
A	8000	2500	0,080
B	8000	2500	0,080
C	7000	2500	0,061
D	7000	2500	0,061

c. Detonadores de encendido eléctrico altamente insensible

Para este tipo de detonador se han realizado los ensayos con el condensador de 2500pF/40kV, en las siguientes condiciones.

Tabla 7: Plan de ensayos para detonadores de encendido eléctrico altamente insensible con condensador de 2500pF.
Fuente: Elaboración propia

CONFIGURACION DE MANIPULAC.	VOLTAJE (VOLT)	CONDENSADOR (pF)	ENERGÍA (Joule)
A	30000	2500	1,125
B	30000	2500	1,125
C	30000	2500	1,125
D	30000	2500	1,125

10. CONFIGURACIONES DE MANIPULACIÓN DE DETONADORES INICIADOS MEDIANTE UN TUBO DE CONDUCCIÓN DE ONDA DE DETONACIÓN

a. Configuración de manipulación A

Se corta 500 mm de longitud de manguera, medida desde la superficie del retardo, y se conecta el cuerpo del detonador al polo negativo del condensador y se introduce por el tubo un alambre de cobre de 1 mm de diámetro, hasta que quede a 450 mm de distancia de la superficie del retardo, y este alambre se coloca al polo positivo del condensador, descargando así la energía almacenada en ella.

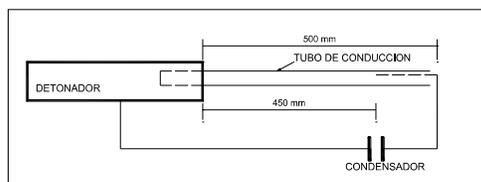


Figura 18: Configuración de manipulación A.
Fuente: Elaboración propia

b. Configuración de manipulación B

Se corta 500 mm de longitud de manguera, medida desde la superficie del retardo, y se conecta el polo negativo del condensador a la superficie de la manguera a una distancia de 300 mm del punto final de la manguera. Se introduce por el tubo un alambre de cobre de 1mm de diámetro, hasta que quede a 450 mm de distancia de la superficie del retardo,

existiendo por lo tanto una separación de 250 mm entre los terminales de los alambres de conexión, y este alambre se coloca al polo positivo del condensador, descargando así la energía almacenada en ella.

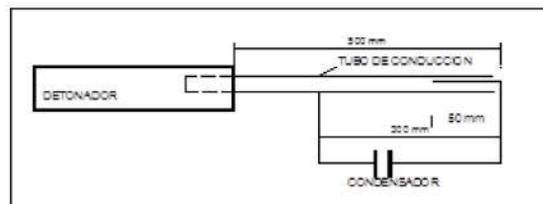


Figura 19: Configuración de manipulación B.
Fuente: Elaboración propia

c. Configuración de manipulación C

Se corta 500 mm de longitud de manguera, medida desde la superficie del retardo, y se perfora la manguera con un alfiler a una distancia de 95 mm del punto final de la manguera, conectando dicho alfiler al polo negativo del condensador, luego se introduce por el tubo un alambre de cobre de 1 mm de diámetro, hasta que quede a 450 mm de distancia de la superficie del retardo, y separado de la punta del alfiler a 45 mm de distancia, finalmente este alambre se coloca al polo positivo del condensador, descargando así la energía almacenada en ella.

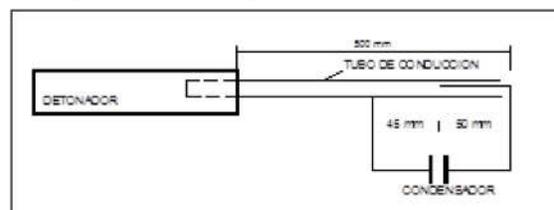


Figura 20: Configuración de manipulación C.
Fuente: Elaboración propia.

d. Configuración de manipulación D

Se corta 500 mm de longitud de manguera, medida desde la superficie del retardo, y se conecta el cuerpo del detonador al polo negativo del condensador y se introduce por el tubo un alambre de cobre de 1 mm de diámetro, hasta que quede a 25 mm de distancia de la superficie del retardo, y este alambre se coloca al polo positivo del condensador, descargando así la energía almacenada en ella.

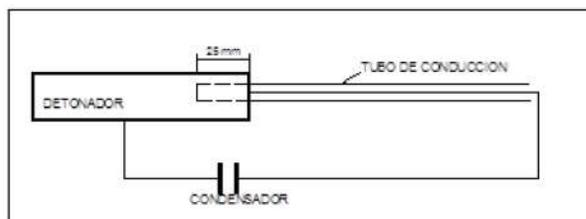


Figura 21: Configuración de manipulación D.
Fuente: Elaboración propia.

11. PLAN DE ENSAYOS DE DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DETONADORES INICIADOS MEDIANTE UN TUBO DE CONDUCCIÓN DE ONDA DE DETONACIÓN

Por ser los detonadores iniciados mediante un tubo de conducción de onda de detonación, altamente insensibles, de acuerdo a los fabricantes, se realizarán ensayos de descarga de energía electrostática sólo con el condensador de 2500 pF y con voltaje de 40000 Volt. A continuación, se presenta el cuadro de plan de ensayos.

Tabla 8: Plan de ensayos para detonadores iniciados mediante un tubo de conducción de onda de detonación con condensador de 2500pF.

Fuente: Elaboración propia

CONFIGURACION DE MANIPULAC.	VOLTAJE (VOLT)	CONDENSADOR (pF)	ENERGÍA (Joule)
A	40000	2500	2
B	40000	2500	2
C	40000	2500	2
D	40000	2500	2

Para todos los ensayos la energía descargada sobre el producto estará regida por la ecuación:

$$E = \frac{C V^2}{2}$$

E: Energía en Joule

C: Capacidad en Faradio

V: Voltaje en Volt.

La máquina de descargas electrostática fue utilizada en forma intensiva en las diferentes configuraciones de manipulación para determinar la resistencia de detonadores de encendido eléctrico utilizados en minería (sensible, insensible y altamente insensible), y también para determinar la resistencia de detonadores iniciados mediante un tubo de conducción de onda de detonación, y habiendo presentado un régimen de funcionamiento óptimo.

CONCLUSIONES

- El Perú es un país minero, en la actualidad tiene 51 proyectos en desarrollo alcanzando una inversión aproximada de US\$ 64,000 millones, por lo que tiene mucho personal laborando en sus instalaciones, así mismo cuenta con inversiones importantes en maquinaria y equipo que debe cuidar.

- La energía electrostática es uno de los grandes problemas que debe resolver la industria minera, la cual se presenta en las diferentes etapas del proceso de exploración, explotación, almacenaje y manipulación de diferentes productos principalmente los materiales pirotécnicos.
- El desarrollo de una máquina de descargas electrostáticas para determinar la resistencia de los detonadores utilizados en minería contribuirá a evitar problemas de inseguridad en esa actividad.
- Se han determinado las variables que influyen en la operatividad de los detonadores, se ha realizado las pruebas pertinentes dentro de los rangos que establecen las normas internacionales para estos casos, habiendo obtenido resultados óptimos.
- En este trabajo se muestran también los daños que pueden sufrir los detonadores utilizados en minería en las diferentes configuraciones de su manipulación, tanto humana como con las máquinas de perforación.
- El costo de la máquina es relativamente bajo (USA\$4636,70) comparados con los beneficios que brindará a la actividad minera.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministerio de Energía y Minas (Febrero 2015). Dirección de Promoción Minera de la Dirección General de Minería del. Boletín estadístico del subsector minero.
- [2] FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. km 28 Puente Piedra – Lima
- [3] EXSA Explosivos. Calle las Begonias N° 415 San Isidro -Lima.
- [4] Eusebio Sguario (1746), Dell'elettricismo, o sia delle forze elettriche de' corpi svelate dalla fisica sperimentale, Venecia, Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrostatica>
- [5] ESDA.org.
- [6] <http://europa.eu.int/comm/enterprise/newapproach/standardization/harmstds/>
- [7] Núñez Carrillo Fernando Augusto (1994). Tesis “Diseño, construcción y evaluación de simulador variable de cargas estáticas para pruebas de detonadores de iniciación eléctrica y no eléctrica utilizados en minería”.
- [8] Enrique Montero Montero. Una introducción al fenómeno de descarga electrostática en componentes electrónicos. Universidad de Cádiz.
- [9] Norma Técnica Peruana NTP 311.356-7 (2007) Explosivos y accesorios de voladura.
- [10] Department Of Defense USA (1980). Electrostatic Discharge Control Handbook for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies, and Equipment (Excluding Electrically – Initiated Explosives Devices).