DISPOSITIVO SEPARADOR CILÍNDRICO DE CARGAS EXPLOSIVAS EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE CARBÓN

DESCRIPCIÓN

SECTOR TECNOLÓGICO

El dispositivo se encuentra relacionado principalmente con la industria de minería; el dispositivo separador cilíndrico es un dispositivo de ingeniería diseñado para optimizar las operaciones de voladura en minería subterránea de carbón.

TECNOLOGIA ANTERIOR

Se conocen diferentes dispositivos, para generar espacios vacíos (CAMARAS DE AIRE), en procesos de voladuras ya sea en minería, construcción y demolición. Se basa en el efecto del “air deck” o cámara de aire. Mejorando el tiempo de onda de choque con el medio. lo cual en minería es lo que se desea, para que se fragmente el barreno (cañón o taladro), aprovechando al máximo la energía del explosivo en la fragmentación.

Actualmente para realizar voladuras se utiliza explosivo tipo hidrogel aluminizado, con sustancias gelificantes que evitan la segregación de las sustancias oxidantes y combustibles sensibilizados en la mezcla; sensible al detonador eléctrico permisible con excelente resistencia al agua y alta energía específica. Presenta confiabilidad a temperaturas por debajo de 0°C y seguridad en el manejo debido a su baja sensibilidad al roce y al impacto.

Empleado en la minería subterránea de carbón con posible presencia de gas grisú y polvo de carbón. Produce humos permisibles de acuerdo a la agencia MSHA (Mine Safety and Health Administration).

El detonador eléctrico permisible para minería subterránea de carbón, corresponde a un detonador con cápsula de cobre capaz de convertir un impulso eléctrico en una detonación. Este compuesto de:

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

En tal sentido pueden citarse dispositivos capaces de generar espacios vacíos como:

- Esfera solida: Hecha en plástico de alta densidad, presenta problemas en el momento de instalación, debido a que los barrenos (cañón o taladro) presentan irregularidades ya sea por las condiciones de perforación o por su naturaleza en si, como las condiciones geológicas. Lo que hace que el diámetro del barreno no sea constante. Y la esfera no se asegure de la mejor manera o que no genere la cámara de aire de la longitud deseada.

- Cono plástico expandible: El cono plástico expandible puede comprometer la seguridad de la operación debido al riesgo de ruptura del cable del detonador durante la instalación. Además, La forma cónica hace que su instalación sea un proceso más complejo y demorado sobre todo en barrenos horizontales. Esto aumenta el tiempo de trabajo y reduce la productividad en comparación con el dispositivo de invención. Por último, su recuperación en caso de la ruptura del cable del detonador es compleja laboriosa debido a su forma y dureza.
- Bolsa de aire expandible (Air deck): presenta problemas el proceso de retacado ya que al estar echa de material expandible su dureza no soporta los golpes al retacar.
- Tubos y mangueras: El uso de tubos y mangueras para generar cámaras de aire puede resultar peligroso, debido a los materiales con los cuales están hechos, ya que la fricción durante su manipulación genera electricidad estática. Esta carga eléctrica podría, en condiciones propicias, activar prematuramente el detonador, desencadenando una explosión accidental. Por esta razón, nuestro dispositivo innovador está fabricado con materiales antiestáticos, garantizando la seguridad del proceso.
- Tapón de detritos: no garantiza la longitud precisa de la cámara de aire

Para la creación y formación de este modelo de utilidad, se ha tomado como referencia el documento 'Teoría para accesorio de voladura Chandber', el cual proporciona el marco teórico para el diseño y la optimización de accesorios de voladura, incluyendo principios que han sido aplicados y adaptados en el presente desarrollo , el cual describe la implementación y beneficios del uso de cámaras de aire en los procesos de voladura, particularmente en minería subterránea de carbón. Se menciona que la creación de cámaras de aire en los barrenos puede optimizar la eficiencia de la voladura al concentrar la energía del explosivo, reducir la fragmentación excesiva de la roca y mejorar la seguridad y ventilación en la zona de trabajo.

Uno de los principios fundamentales detrás del uso de cámaras de aire en voladuras es el efecto del "cañón obstruido", donde la energía del explosivo se emplea más eficazmente en la fragmentación del material en lugar de disiparse en proyecciones no deseadas (flyrock). Además, se destaca que el uso de estas cámaras permite reducir el consumo de explosivos, logrando los mismos resultados con una menor cantidad de carga, lo que disminuye los costos operativos y el impacto ambiental.

En cuanto a la medición de la efectividad de las cámaras de aire, el documento menciona el uso de sensores resistivos de carbón para medir la presión interna, monitores de velocidad de detonación (VOD) y análisis de imágenes para evaluar la distribución granulométrica. Se ha demostrado que las voladuras con cámaras de aire presentan una fragmentación más uniforme y controlada en comparación con las técnicas tradicionales.

Estudios previos han señalado que la ubicación y el tamaño de la cámara de aire influyen directamente en la eficiencia de la voladura. Se recomienda ubicar la cámara de aire en la parte media del barreno para obtener mejores resultados en términos de fragmentación y reducción de

vibraciones. Además, se ha observado que el uso de estas cámaras permite mejorar la productividad en minería, aumentar la eficiencia en el uso de explosivos y minimizar los daños en estructuras cercanas**.**

En este contexto, resulta fundamental destacar la importancia de la investigación y el desarrollo en el campo de las voladuras. Autores como B. K. Mishra, en su obra "Blasting Principles and Practices", y A. K. Raina, en "Rock Blasting: Theory and Practice", han contribuido significativamente a la comprensión de los principios teóricos y prácticos de las voladuras, incluyendo el uso de cámaras de aire.

Asimismo, revistas científicas de renombre como *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* y *Journal of Explosives Engineering* publican regularmente investigaciones que exploran el efecto de las cámaras de aire en la fragmentación de roca, la propagación de ondas de choque y la reducción de vibraciones. Estos estudios, que a menudo involucran modelos numéricos y analíticos, buscan optimizar los parámetros de la voladura y mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones.

DESCRIPCIÓN

Este innovador dispositivo introduce un separador cilíndrico diseñado para optimizar los procesos de voladura en minería subterránea de carbón. Su función principal es generar una cámara de aire controlada dentro del barreno (cañón o taladro), lo que mejora significativamente la interacción de la onda de choque con el medio, aumentando así la eficiencia y seguridad de la detonación.

El separador tiene una estructura cilíndrica con aberturas y ranuras estratégicamente diseñadas, que permiten el paso seguro del cable detonante y minimizan la fricción durante la explosión. Esta configuración optimizada contribuye a una fragmentación más precisa del material, reduce el consumo de explosivos y disminuye las vibraciones generadas, creando un entorno más seguro y sostenible. *(Ver Dibujo 1).*

Gracias a su diseño versátil, el dispositivo puede instalarse y recuperarse de manera rápida y segura, sin afectar los tiempos de carga. La cámara de aire controlada que genera permite una distribución más eficiente de los explosivos, reduciendo su consumo hasta en un 35%. Además, minimiza los riesgos asociados a las voladuras, disminuyendo significativamente los costos operativos y el impacto ambiental al mitigar la generación de gases de combustión y residuos adicionales.

La incorporación del separador proporciona un control superior en la fragmentación del material, ya que permite una distribución más uniforme de la energía de la detonación. Esto da como resultado una fragmentación más precisa y uniforme de la roca. Además, la cámara de aire creada actúa como un amortiguador, dispersando de manera uniforme la energía de la explosión y reduciendo la concentración de esfuerzos en puntos específicos. Esto minimiza los daños

colaterales y protege las infraestructuras cercanas, ofreciendo beneficios directos para su preservación.

La reducción de vibraciones, el menor consumo de explosivos y las propiedades antiestáticas del material del separador contribuyen a un entorno de trabajo más seguro, disminuyendo los riesgos de accidentes laborales y daños estructurales.

Por otro lado, al disminuir la cantidad de explosivos utilizados y optimizar el proceso de combustión, el dispositivo reduce significativamente las emisiones de gases contaminantes, como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Esto mejora la calidad del aire en las zonas de trabajo, reduce el riesgo de enfermedades respiratorias entre los trabajadores y mitiga el impacto ambiental de las operaciones mineras.

Este dispositivo puede colocarse en diferentes posiciones dentro del barreno, según lo requerido, como se ilustra en (*Dibujo 2)*:

- Para separar cargas explosivas entre sí.
- Para separar el retacado de la carga explosiva.
- Para separar la carga explosiva del material a remover.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- **Materiales:**

Polipropileno de alta densidad antiestático (HDPE): Este material de alto rendimiento, formulado con aditivos antiestáticos, ofrece una excelente resistencia a la corrosión, químicos e impactos. Su capacidad para disipar la electricidad estática lo hace ideal para aplicaciones en entornos con riesgo de explosión, como la minería subterránea de carbón. Cumple con las normativas ATEX, garantizando la seguridad en operaciones críticas

- **Versatilidad:**

Su diseño cilíndrico versátil permite su adaptación a diferentes diámetros de barrenos, lo que lo convierte en una herramienta indispensable en diversas aplicaciones de voladura.

- **Diseño:**

El separador tiene una forma cilíndrica con dimensiones variables en función de la longitud y diámetro del barreno, así como de la calidad del material a remover. Incluye ranuras longitudinales para optimizar el espacio libre y evitar fricción de los gases durante la detonación, minimizando la resistencia al flujo de gases. Además, puede tener tapas o tapones (redondos o cónicos) al final del cilindro o en un solo lado, fabricados con el mismo material, tiene anillos o topes para que la carga explosiva quede incrustada impidiendo su movimiento y garantizando el espacio libre, como se puede ver en el (dibujo 3).

VARIACIONES DEL SEPARADOR CILÍNDRICO

El separador cilíndrico, en su diseño estándar, tiene una forma cilíndrica con dimensiones variables según la longitud y el diámetro del barreno. Presenta orificios en los extremos y anillos o topes que evitan que el explosivo se introduzca más allá del punto deseado, permitiendo así la conservación de la cámara de aire necesaria para la detonación. Sin embargo, este dispositivo puede presentar diversas modificaciones o variaciones para adaptarse a diferentes necesidades operativas. A continuación, se describen las principales variaciones:

- **Extremo cerrado con tapa o tapón**

Esta variante del separador cilíndrico, diseñada en diferentes longitudes y diámetros, se caracteriza por tener uno de sus extremos cerrado mediante una tapa, un tapón o desde su fabricación. Esta configuración permite su uso como un elemento de separación entre la carga explosiva y el material de retacado, asegurando una correcta configuración de la cámara de aire. Esto optimiza la propagación de las ondas explosivas y mejora el control sobre la fragmentación de la roca.

- **Ranuras longitudinales optimizadas**

En esta versión, el separador cilíndrico incluye más de dos ranuras longitudinales distribuidas uniformemente a lo largo de su superficie. Estas ranuras tienen el propósito de maximizar la distribución de la onda de choque generada durante la detonación, mejorando los fenómenos de reflexión y refracción. Esto resulta en una interacción más eficiente de las ondas con el medio circundante, logrando una fractura uniforme y controlada de la roca.

- **Doble extremo cerrado**

Esta variante cuenta con ambos extremos cerrados, combinando las características de las versiones anteriores. Diseñada según las reivindicaciones 1 y 2, mantiene la cámara de aire tanto en la parte superior como en la inferior del explosivo, lo que contribuye a una mayor eficiencia en la transmisión de la onda explosiva. Además, en conjunto con las ranuras longitudinales, mejora la estabilidad del barreno y la fragmentación del material.

- **Sin aberturas para el cable detonador**

En esta configuración, el separador cilíndrico se presenta sin aberturas para el paso del cable detonador. Esta variante está orientada a situaciones donde la instalación del detonador se realiza por otro método o cuando no es necesario el uso de un cable dentro del barreno. Su diseño simplificado facilita la manipulación y reduce el tiempo de instalación, garantizando un ajuste preciso y seguro dentro del taladro.

- **Sin ranuras y sin aberturas**

Esta versión del separador cilíndrico se caracteriza por no contar con ranuras ni aberturas en su superficie. Su diseño compacto y liso está pensado para aplicaciones en las que no se requiere la distribución de ondas explosivas a través de ranuras ni la presencia de un cable detonador. Proporciona un ajuste preciso en el barreno y es ideal para configuraciones donde se busca un aislamiento completo de la carga explosiva sin afectar su rendimiento**.**

OBSERVACIÓN. Los ejemplos de las variantes que se presentan son meramente enunciativos más no limitativos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Dibujo 1. Separador cilíndrico con aberturas estratégicamente diseñadas, A) El separador cilíndrico puede tener un lado vacío, B) Ranuras longitudinales, C) Puede contar con uno o dos espacios cerrados.

Dibujo 2. diferentes posiciones dentro del barreno. A) retacado de la carga explosiva. B) separar cargas explosivas entre sí. C) separar la carga explosiva del material a remover.

Dibujo 3. Es una vista del separador cilíndrico con diferentes longitudes que van desde los 150 mm hasta 400 mm de largo, con diámetros de 30 mm a 40 mm con tapones superior o inferior, ranuras longitudinales de 2 a 10 y con topes.

Dibujo 4. Vista en perfil del separador cilíndrico, con ranura longitudinal y anillos o topes.

Dibujo 5. Vista de perfil del dispositivo en sección, se observa una variación en su diseño donde uno de sus extremos están completamente cerrados , Además, se aprecia el anillo interno donde el diámetro del dispositivo se reduce.

Dibujo 6. Diferentes vistas del separador cilíndrico, incluyendo sus ranuras longitudinales, anillo y abertura.

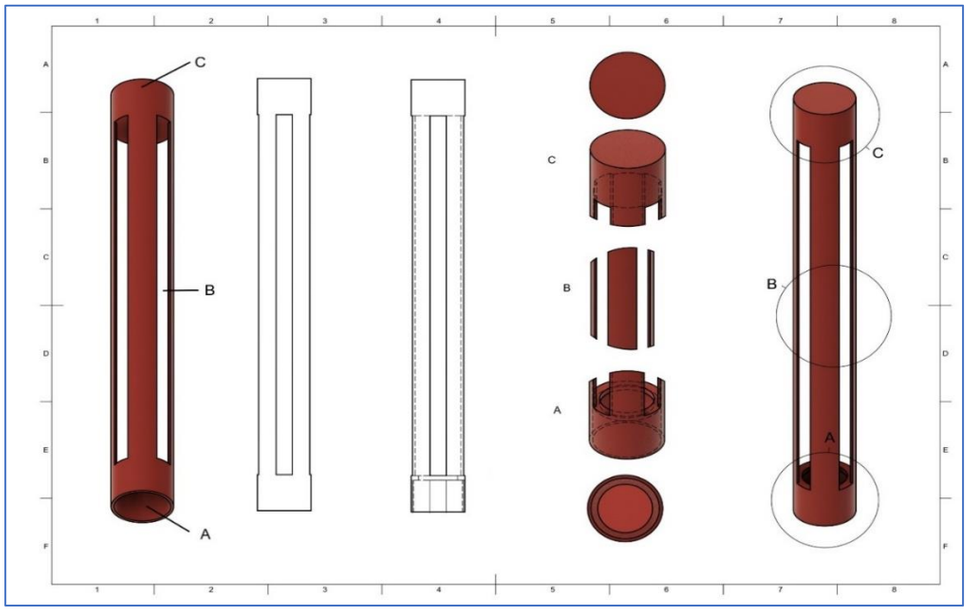
Dibujo 7. Vista isométrica del separar Cilíndrico

Dibujo 8. Abertura

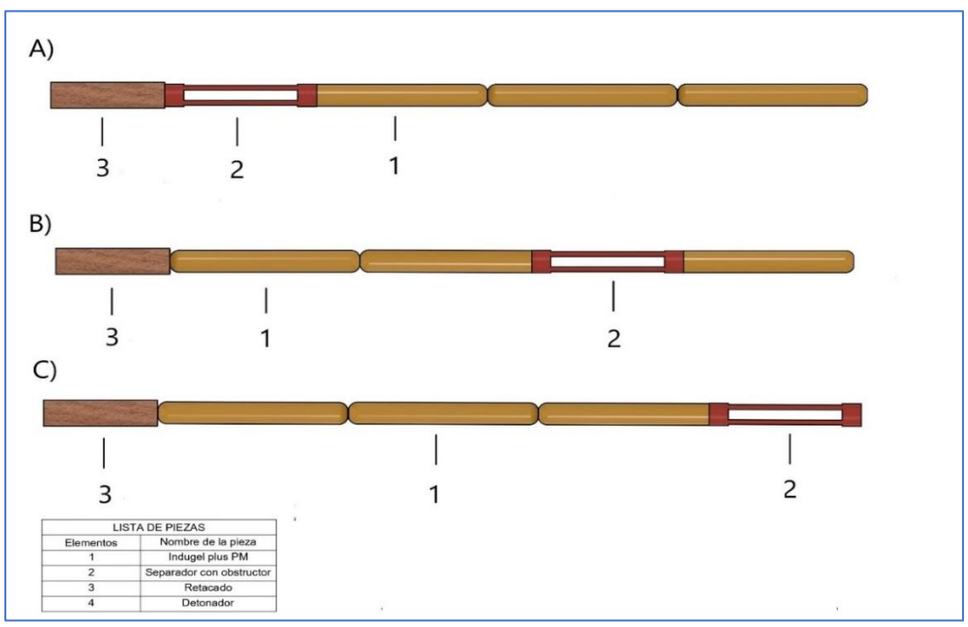
Dibujo 9. Variación del separador cilíndrico con doble tapón

DIBUJOS.

Dibujo 1.

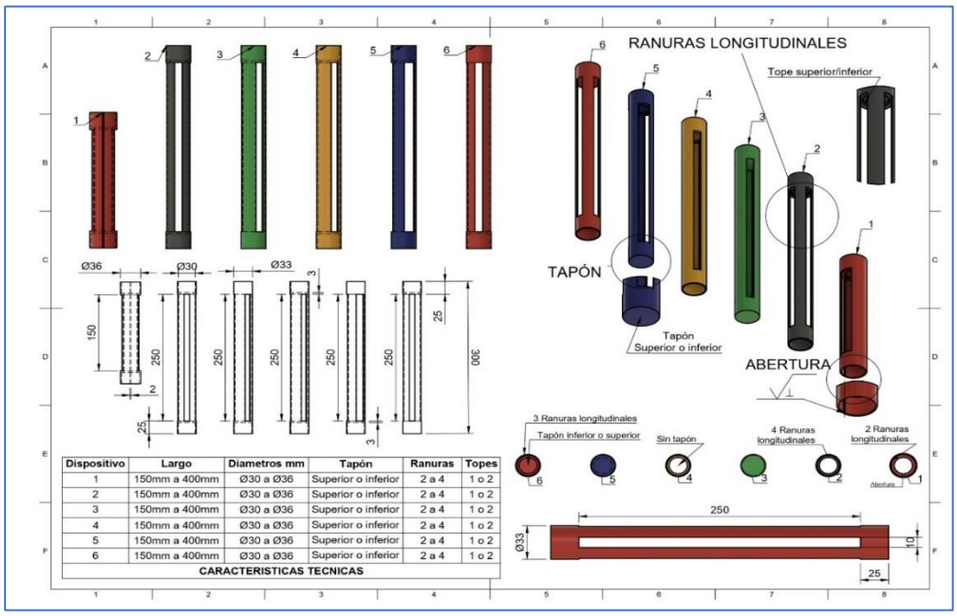


Dibujo 2.



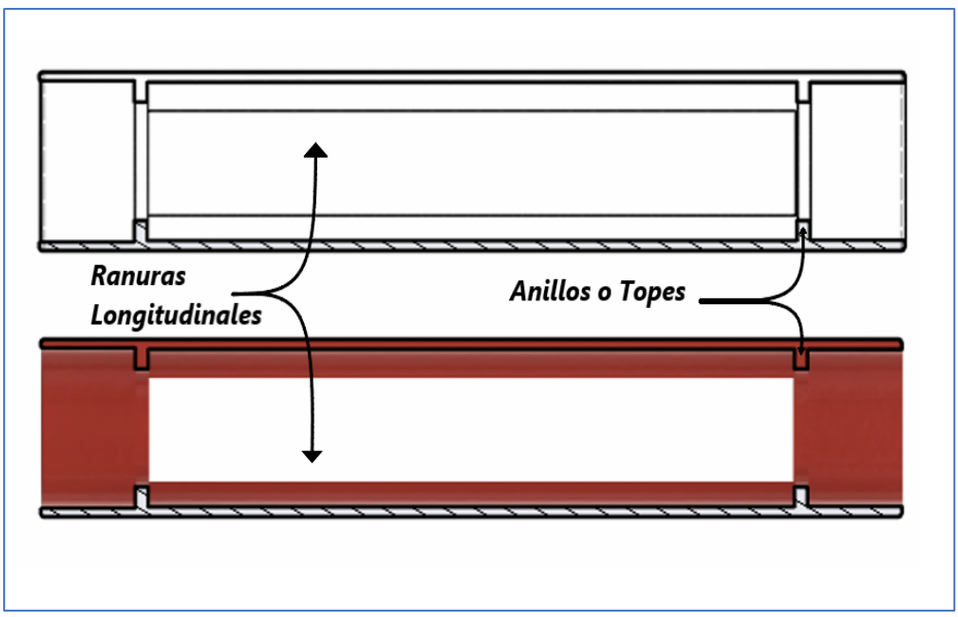
LISTA DE PIEZAS	
Elementos	Nombre de la pieza
1	Indugel plus PM
2	Separador con obstructor
3	Retacado
4	Detonador

Dibujo 3

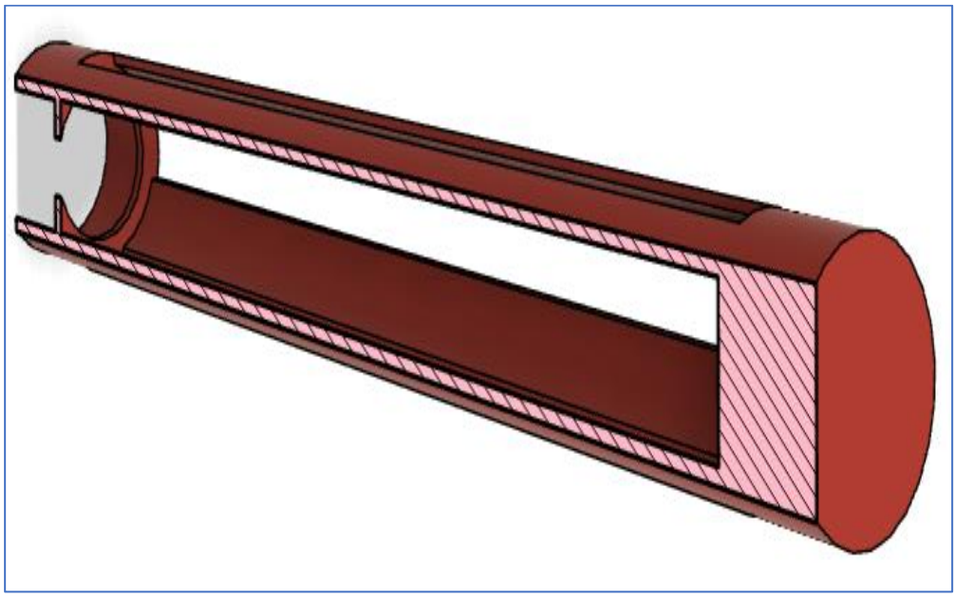


Dispositivo	Largo	Diametros mm	Tapón	Ranuras	Topes
1	150mm a 400mm	Ø30 a Ø36	Superior o inferior	2 a 4	1 o 2
2	150mm a 400mm	Ø30 a Ø36	Superior o inferior	2 a 4	1 o 2
3	150mm a 400mm	Ø30 a Ø36	Superior o inferior	2 a 4	1 o 2
4	150mm a 400mm	Ø30 a Ø36	Superior o inferior	2 a 4	1 o 2
5	150mm a 400mm	Ø30 a Ø36	Superior o inferior	2 a 4	1 o 2
6	150mm a 400mm	Ø30 a Ø36	Superior o inferior	2 a 4	1 o 2
CARACTERISTICAS TECNICAS					

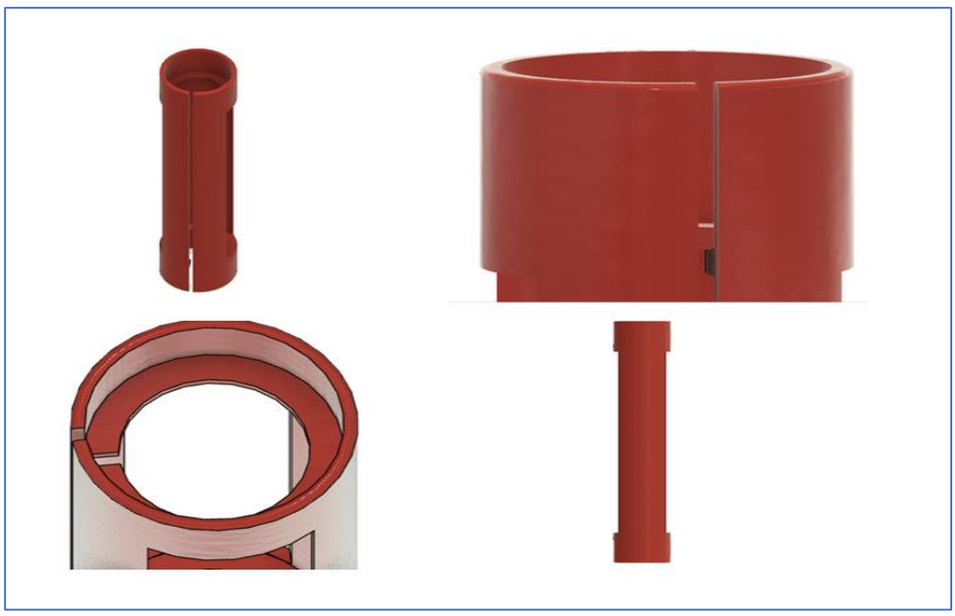
Dibujo 4.



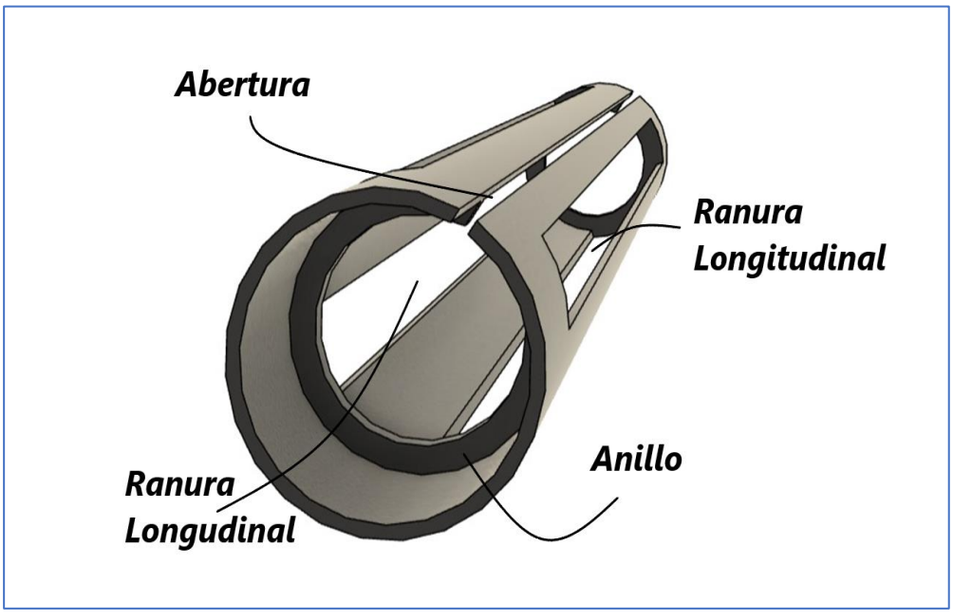
Dibujo 5.



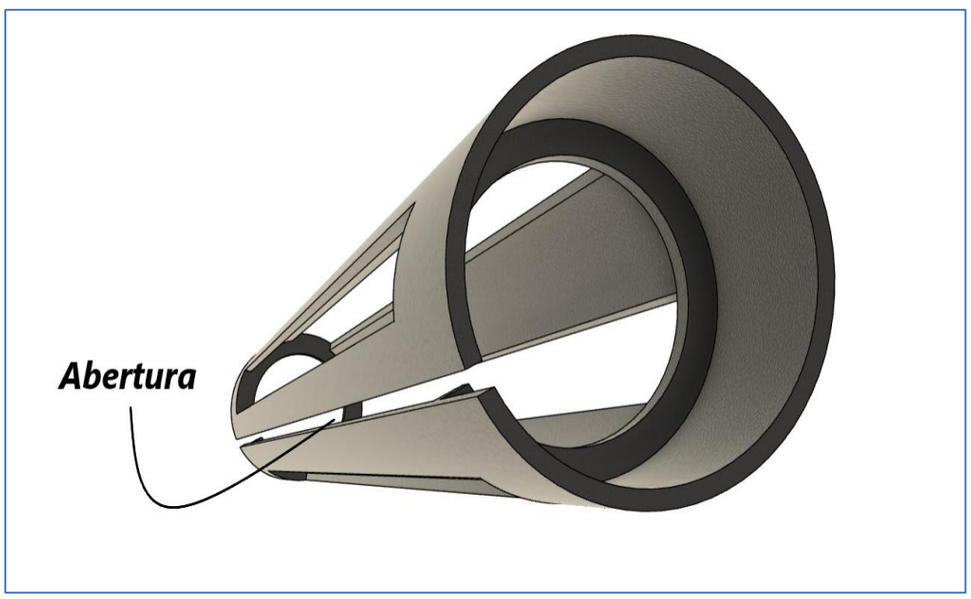
Dibujo 6.



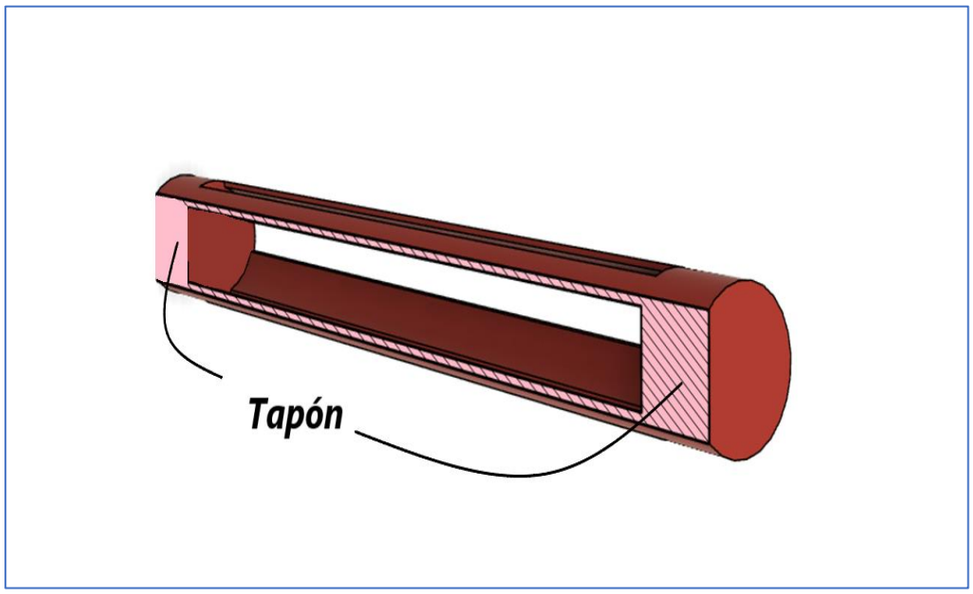
Dibujo 7



Dibujo 8



Dibujo 9



RESUMEN

El presente documento describe un dispositivo separador cilíndrico diseñado para optimizar las voladuras en minería subterránea de carbón mediante la creación de cámaras de aire controladas dentro del barreno. Su propósito es mejorar la eficiencia de la detonación, reducir el consumo de explosivos y minimizar las vibraciones y los impactos ambientales.

El separador cilíndrico se fabrica en polipropileno de alta densidad antiestático (HDPE), lo que evita la acumulación de cargas electrostáticas y garantiza seguridad en ambientes explosivos. Su diseño incluye ranuras longitudinales y aberturas estratégicamente ubicadas para permitir el paso del cable detonador, optimizar la propagación de la onda de choque y mejorar la fragmentación de la roca.

A diferencia de tecnologías anteriores como esferas sólidas, conos plásticos, bolsas de aire expandibles y tubos o mangueras, el presente dispositivo ofrece mayor versatilidad, facilidad de instalación y seguridad operativa. Su diseño permite diversas configuraciones, como extremos cerrados, ranuras optimizadas o sin aberturas, adaptándose a distintas necesidades de voladura.

El uso de este separador cilíndrico reduce el consumo de explosivos hasta en un 35%, mejora la calidad del aire al disminuir la emisión de gases contaminantes y minimiza los daños estructurales en infraestructuras cercanas. Además, su fabricación con materiales resistentes y antiestáticos lo hace ideal para operaciones en minería subterránea con presencia de gas grisú y polvo de carbón.

En conclusión, este separador cilíndrico representa una solución innovadora y segura para la generación de cámaras de aire en voladuras de minería subterránea de carbón. Su diseño optimizado, sus materiales de alta calidad y sus características de seguridad lo convierten en una herramienta esencial para mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones de voladura , aumentando la productividad y reduciendo costos operativos y ambientales.