

“TUBO CONDUCTOR DE CHISPA TÉRMICA CON USO DE PARTÍCULAS NANOMÉTRICAS”

[01] Se refiere la presente Patente de Invención al tubo conductor de chispa térmica, aplicado como transmisor de señal para conexión e iniciación de columnas de explosivos, usualmente complementado por espoleta de retardo o utilizado como unidad de retardo, el que emplea mezcla pirotécnica nanométrica de baja toxicidad, con desempeño térmico superior de la chispa, que mantiene las ventajas del tubo de choque pirotécnico actual con relación al tubo de conducción de onda de choque, o sea, producto con mayor sensibilidad y perceptibilidad de transmisión, mantenimiento de propagación incluso con cortes o agujeros de los tubos y baja clasificación de riesgo en el transporte del tubo y proceso con posibilidad de dosificación continua y separada de los componentes no activados, concomitantemente con la formación del tubo plástico y presenta ventajas adicionales de reducción o incluso eliminación de uso de sustancias contaminantes de aguas de capas subterráneas, de presentar menor riesgo de conducir una descarga electrostática del cuerpo humano para su extremidad, y de usar proceso de producción de la mezcla pirotécnica bastante simple y con menor riesgo de accidentes debido a la fricción y choques mecánicos.

[02] Desde el inicio de la década de 1980, son ampliamente aplicados para conexión e iniciación de explosivos en el área civil, los tubos transmisores de señal, conocidos comercialmente como “detonadores no eléctricos” o “*shock tubes*”, y comercializados con marcas tales como NONEL, EXEL, BRINEL, etc.. Tales dispositivos sustituyen las espoletas eléctricas conectadas a través de hilos metálicos en la mayoría de las aplicaciones, representando una revolución en el área de accesorios de detonación, ya sea por su facilidad de conexión y aplicación, o por la

seguridad intrínseca contra igniciones accidentales por inducción de corriente eléctrica espuria.

[03] Actualmente, hay los siguientes procesos principales para producción de estos dispositivos y productos resultantes:

[04] 1) La patente americana nº 3,590,739 es la referencia original del tubo de choque convencional. Describe un proceso de extrusión plástica que forma el tubo circular de diámetro externo variando de 2,0 a 6,0 mm y diámetro interno variando de 1,0 a 5,0 mm, donde se introduce continuamente y concomitantemente polvo explosivo secundario, tales como HMX, RDX o PETN o Tetranitrato de Pentaeritritol o Nitropenta, previamente mezclado con Aluminio en polvo, en su periferia interna, al mismo tiempo en que se forma el tubo, obteniéndose producto denominado tubo de choque no eléctrico, encontrado en el mercado con nombres comerciales tales como NONEL y EXEL, que al ser iniciado por una espoleta de explosivo primario, genera una onda gaseosa de choque e impacto con velocidades de 1.800 a 2.200 m/s;

[05] 2) La patente Brasileña BR 8104552, de la solicitante, es la referencia original del tubo de choque pirotécnico. Describe proceso de extrusión plástica formando tubo circular de diámetro externo variando de 2,0 a 6,0 mm y diámetro interno variando de 1,0 a 5,0 mm, donde se introduce continuamente y concomitantemente polvo de mezcla pirotécnica $K_2Cr_2O_7 + Al$ o Mg , o $Fe_2O_3 + Al$ o Mg , o $Sb_2O_3 + Al$ o Mg , $Sb_2O_5 + Al$ o Mg u $O_2 + Al$ o Mg , en su periferia interna, al mismo tiempo en que se forma el tubo, obteniéndose producto denominado tubo de choque no eléctrico pirotécnico, que al ser iniciado por una espoleta de explosivo primario, reacciona por aluminotermia sin generación de gases, y genera un plasma de conducción de energía;

[06] 3) La patente americana nº 4,757,764, describe un sistema no eléctrico de control de señal de iniciación de

despiece utilizando tubo plástico con mezclas pirotécnicas de retardo adheridas en su interior, particularmente usando deflagración en baja velocidad, o sea, en velocidades mucho menores que las de los tubos de choque convencionales y cordón detonante, con el objetivo de utilizar longitudes determinadas de tubo para obtención de un tiempo de retardo rápido, de la orden de milisegundos, en sustitución al elemento de retardo convencional. Por presentar este concepto, las espoletas utilizadas son obligatoriamente instantáneas, sin elemento de retardo, y no hay una preocupación del inventor en optimizar el desempeño térmico de la chispa, en garantizar el paso por restricciones en el tubo, o en disminuir la Perceptibilidad a la fricción y choque de la mezcla. Está claro por el informe descriptivo de la patente, y por todos los ejemplos, que su uso como elemento de retardo está limitado al rango de las decenas de milisegundos, no siendo adecuado para la mayoría de los retardos utilizados en la práctica.

[07] Los tubos de transmisión de señal habitualmente se complementan con la inserción de una espoleta de retardo en su extremidad, constituida de una cápsula metálica que contiene una capa de explosivo secundario prensada en su interior, seguida de una capa de explosivo primario, y de un elemento de retardo constituido de un cilindro metálico que contiene en su interior una columna compactada de mezcla pirotécnica de retardo en polvo y, frecuentemente, una columna adicional de mezcla pirotécnica iniciadora sensible al calor generado por la onda de percusión e impacto.

[08] El proceso de fabricación de tubo de conducción de onda y percusión presenta las siguientes desventajas:

[09] la) La fabricación de tubo cargado con explosivos (RDX o Nitropenta son tóxicos y peligrosos) ofrece riesgos tanto de explosiones accidentales como por manipulación de productos

tóxicos, exigiendo cuidados especiales y protecciones especiales en la línea de fabricación. El hecho de utilizar explosivo molecular impide la dosificación de componentes no activados durante la extrusión del tubo;

[010] b) En el tubo de conducción de onda de choque convencional, los productos de reacción generados son básicamente gases calientes, que al salir en la punta opuesta del tubo, sufren expansión con pérdida de calor, que dificulta la iniciación de mixtos pirotécnicos de retardo, siendo necesario añadir una columna de mezcla pirotécnica sensible para dar continuidad al tren explosivo o utilizar mezclas pirotécnicas más sensibles al calor y con mayor longitud. Como consecuencia, se tiene un producto, con mayor costo de fabricación y de utilización, además de ofrecer mayores riesgos en la fabricación;

[011] c) La adherencia de explosivos cristalinos, RDX o Nitropenta en tubos plásticos es baja, obligando la utilización de procesos especiales de fabricación y utilización de resinas plásticas especiales, usualmente polímeros ionoméricos como Surlyn, para minimizar la presencia de polvo no adherido y evitar porciones de tubo sin carga;

[012] d) El tubo de conducción de onda de choque convencional presenta baja Perceptibilidad de transmisión de energía a través de un espacio entre dos porciones de tubo alineadas “air gap”, generalmente menor que 1 cm, de manera que eventuales cortes o agujeros en el tubo ocasionan fallos en la utilización, debido a la pérdida de presión de la onda de choque;

[013] e) El tubo de conducción de onda de choque convencional presenta sensibilidad al efecto llamado en la industria de “*snap, slap, andshoot*”, pudiendo ocurrir ignición accidental cuando el tubo es traccionado y roto, conforme reconocido en artículo presentado en

la 28ª. Conferencia Anual de la ISEE, Las Vegas, 2002, y en todos los catálogos y manuales de utilización de los tubos de choque convencionales.

[014] f) El tubo de choque convencional se clasifica como explosivo para transporte en muchos países, lo que conlleva costos y dificultades adicionales para transporte, principalmente tras el aumento del rigor de la fiscalización de productos peligrosos debido al combate al terrorismo;

[015] g) El tubo de choque convencional presenta fallos tras exposición a agua en presiones superiores a 2 bar, el que ocurre frecuentemente en la aplicación de explosivos, debido a las características hidrófilas de las resinas ionoméricas tipo Surllyn;

[016] h) Los tubos fabricados con resinas del tipo Surllyn presentan baja tensión de ruptura, y alta permeabilidad de hidrocarburos presentes en las emulsiones explosivas calientes, lo que obliga a la coextrusión de una capa externa adicional de polietileno;

[017] i) Las resinas ionoméricas representan un alto costo con relación a resinas más comunes, tales como polietilenos;

[018] j) Las velocidades de deflagración del tubo varían entre 1800 y 2200 m/s, de acuerdo con las especificaciones divulgadas por los fabricantes, o sea, +/- un 10 % alrededor de la velocidad media, que interfiere con la precisión del elemento de retardo. Por ejemplo, tanto las patentes americanas 5,173,569, 5,435,248, 5,942,718, y la brasileña BR 9502995, utilizan tubo de choque como iniciador de espoletas de retardo electrónico. Tales espoletas se caracterizan por un elemento de retardo electrónico de alta precisión, pero el error de tiempo de retardo de una longitud determinada de tubo se incorpora al error intrínseco al circuito electrónico. En una longitud típica de 21 m, utilizado en detonaciones de minas a cielo abierto, el error sería de +/- 1 ms, mientras la precisión intrínseca de los circuitos electrónicos es típicamente de +/- 0,1 ms; y

[019] k) El tubo de choque convencional, por generar productos de reacción básicamente gaseosos produciendo una onda de percusión e impacto, dispersa gran parte de la energía térmica generada en la expansión de estos gases al salir por la punta del tubo, de modo que solo consigue iniciar elementos de retardo muy sensibles al calor, exigiendo elementos encendedores sensibles adicionales sobre los elementos de retardo lentos, aumentando los riesgos y costos del proceso industrial;

[020] EL tubo de choque pirotécnico presenta las siguientes desventajas:

[021] A) Las mezclas pirotécnicas utilizan productos tóxicos $K_2Cr_2O_7$, Sb_2O_3 y Sb_2O_5 y solventes inflamables, exigiendo reciclaje de los solventes, cuidados de manipulación, y disposición adecuada de residuos;

[022] B) El proceso de extrusión del tubo plástico involucra la dosificación de la mezcla pirotécnica sensible previamente preparada, durante la formación del tubo plástico, con riesgos de iniciación accidental y propagación al restante de la mezcla;

[023] C) El tubo de choque pirotécnico no resiste al ataque químico de los hidrocarburos utilizados en las formulaciones de emulsiones explosivas calientes, que son el ambiente más frecuentemente encontrado en las aplicaciones de explosivos civiles actualmente, habiendo fallos en la continuidad de la chispa tras este ataque;

[024] D) La mezcla de $O_2 + Al$ o Mg , prevista en la patente del tubo de choque pirotécnico no se mostró factible en la práctica, debido a la pérdida de gases en la fabricación y utilización del producto

[025] E) La mezcla de $Fe_2O_3 + Al$ o Mg , prevista en la patente del tubo de choque pirotécnico no se mostró factible

en la práctica, debido a la baja sensibilidad de la mezcla pirotécnica a los estímulos de ignición encontrados en la aplicación en espoletas o encendedores eléctricos y alto índice de fallos de continuidad, que se debe a la alta temperatura de Tammann de los componentes;

[026] F) Debido a las limitaciones presentadas en los ítems D y E, las únicas opciones restantes emplean sustancias altamente tóxicas $K_2Cr_2O_7$, Sb_2O_3 y Sb_2O_5 y mezclas sensibles a la fricción y choque;

[027] G) Los productos de reacción formados en las reacciones de aluminotermia, Al_2O_3 , K_2O , Sb, óxidos de antimonio, Cr_2O_3 , obligatoriamente sólidos por las limitaciones de la patente presentan baja conductibilidad térmica, lo que dificulta la ignición de elementos de retardo pocos sensibles;

[028] H) Los productos de reacción sólidos formados en las reacciones de aluminotermia, obligatoriamente sólidos por las limitaciones de la patente Al_2O_3 , K_2O , Sb, óxidos de antimonio, Cr_2O_3 , presentan baja conductibilidad térmica, lo que dificulta la ignición de elementos de retardo pocos sensibles; y

[029] I) La mezcla pirotécnica en polvo presenta baja adherencia al plástico del tubo.

[030] El sistema de control de señal de iniciación de despieces no eléctrico de la Patente Americana US 4,757,764 presenta las siguientes desventajas:

[031] Aa) El proceso de extrusión del tubo plástico involucra la dosificación de la mezcla pirotécnica sensible previamente preparada, durante la formación del tubo plástico, con riesgos de iniciación accidental y propagación al restante de la mezcla;

[032] Bb) El sistema, por utilizar conexiones directas de tubo-a-tubo, proporcionando un retardo de tiempo

exclusivamente a través de una longitud determinada de tubo, está limitado a retardos rápidos, hasta el rango de decenas de milisegundos, mientras las aplicaciones exigen retardos hasta el rango de segundos, normalmente hasta 10 s;

[033] Cc) Las mezclas en polvo, que no contienen aditivo promovedor de adherencia, presentan baja adherencia al plástico del tubo, exigiendo utilizar como material del tubo resina ionomérica tipo Surlyn®, o silicona, conforme observado en todos los ejemplos; y

[034] Dd) Como el objetivo del autor fue obtener un sistema de retardo a través de un tubo con velocidad substancialmente reducida, eliminando el elemento de retardo del interior de la cápsula, no hubo una optimización del desempeño térmico de las formulaciones. Así, las mezclas con baja velocidad no inician retardos lentos directamente.

[035] Más recientemente, ha surgido un avance tecnológico importante revelado en la patente brasileña BR 0303546-8, que se basa en la combinación de sustancias en las que una reacción pirotécnica de alta energía desarrollada ($\text{Al} + \text{Fe}_3\text{O}_4$, por ejemplo), genera chispa de metal fundido con alta transferencia de calor por conducción y convección para el medio a iniciar. Sin embargo, exige una tercera sustancia de baja temperatura de Tammann [$T_{\text{Tammann}} = T_{\text{fusión}}/2$], siendo las temperaturas expresas en unidades absolutas, o sea con escala en que el punto cero coincide con el cero absoluto, tales como K (Kelvin) o R (Rankine) para proporcionar una energía de activación suficientemente baja tanto para la ignición del tubo como para la propagación de la chispa en condiciones críticas, como por ejemplo en el caso de entrada de aceite diésel en el interior del tubo.

[036] Aunque haya sido un gran avance tecnológico, el inventor ha investigado nuevas soluciones utilizando los conocimientos técnicos industriales actualmente disponibles, resolviendo las desventajas, limitaciones e inconvenientes de reducción o incluso la eliminación de uso de sustancias contaminantes de aguas de capas subterráneas, presentar gran riesgo de conducir una descarga electrostática del cuerpo humano para su extremidad, y usar proceso de producción de la mezcla pirotécnica bastante compleja y con riesgos de accidentes por fricción y choques mecánicos.

[037] “TUBO CONDUCTOR DE CHISPA TÉRMICA CON USO DE PARTÍCULAS NANOMÉTRICAS”, objeto de la presente patente se ha desarrollado para superar las desventajas, inconvenientes y limitaciones de los tubos actualmente existentes, pues consigue eliminar la sustancia de baja temperatura de Tammann, aunque la energía de activación permanezca alta, por la utilización de partículas de diámetro nanométrico, lo que sorprendentemente permitió la ignición por los medios usuales y la propagación de la chispa a través del tubo, incluso en condiciones críticas de utilización, permitiendo de este modo la eliminación de sustancias que confieren a la mezcla una mayor Perceptibilidad a la fricción y choque, y que son muchas veces prohibidas por las reglamentaciones gubernamentales de diversos países, principalmente los percloratos, que se elimina en formulaciones de explosivos en los EUA. Además, los percloratos son sales que se ionizan con facilidad cuando expuestos a la humedad, incluso la humedad remaneciente en el aire atmosférico del interior del tubo, y por esta razón contribuyen para un resultado inadecuado en la prueba de *flash-over* EN-13763-12 de la Unión Europea.

[038] Adicionalmente utiliza partículas de aluminio recubiertas con capas eléctricamente aislantes de sílice u óxido de

aluminio, de manera que tales partículas no conducen electricidad estática por el interior del tubo.

[039] El presente invento resolvió los siguientes problemas que las soluciones del estado técnico no resolvieron:

[040] 1. Las sustancias de baja temperatura de Tammann que realmente funcionaron comercialmente para el producto de invención anterior fueron los percloratos inorgánicos, principalmente el perclorato de potasio, que ha sido objeto de prohibiciones reglamentares en varios países, tales como los EEUU y de la Unión Europea, pues los percloratos contaminan fuentes de agua, pudiendo provocar metahemoglobinemia e hipertiroidismo por eliminar iodo. El objeto principal ha sido explosivos a base de percloratos inorgánicos, principalmente las emulsiones explosivas de uso en minas subterráneas, que tienen perclorato de sodio, amonio o potasio en sus formulaciones;

[041] 2. La propia característica de baja energía de activación de los compuestos de baja temperatura que propicia una Perceptibilidad a la fricción y choque mayor en las mezclas pirotécnicas que contiene tales sustancias, aumentando el riesgo de accidentes;

[042] 3. Los percloratos de sodio y potasio también se presentan en forma de sales cristalinos con diámetro medio de partícula muy grande para aplicación directa en las mezclas generadoras de chispa de la invención anterior (diámetro medio mayor que 40 μm), de manera que es necesaria una operación previa de micronización (reducción del diámetro de partícula) en micronizadores por choque mecánico de chorros de aire comprimido, en múltiples etapas costosas tanto en cuestión de precios como en consumo de energía, hasta que se obtenga un diámetro de partícula medio de 1,5 μm o menos; y

[043] 4. El resultado negativo (inadecuado) en la prueba de "*flash-over*", esto es, la prueba específica de la Unión Europea

que exige que la mezcla pirotécnica cuando dispuesta en la forma final en el interior del tubo no aumente la distancia de quiebra de la resistencia dieléctrica del aire atmosférico de este mismo interior. Tal exigencia se debe al riesgo de que una descarga electrostática del nivel de energía normalmente acumulado en el cuerpo humano tenga lugar en la extremidad opuesta de un tubo que se puso en contacto con un individuo electrostáticamente cargado, lo que puede iniciar una espoleta conectada a este tubo. En otras palabras, la mezcla pirotécnica debe presentar una baja conductividad eléctrica. Sin embargo, tanto el aluminio como el perclorato de potasio iónico son buenos conductores de electricidad.

[044] En el invento actual, estos problemas se han resuelto con la utilización solo de dos componentes que no están prohibidos (aluminio y óxido de hierro u óxido de cobre en diámetros de partícula de la orden de nanómetros), y que, por presentar temperaturas de Tammann mayores que el perclorato, presentan mayor energía de activación y hacen sus mezclas pirotécnicas menos sensibles a la fricción y choque mecánicos.

[045] El Aluminio de la presente invención se presenta en la forma eléctricamente aislante, pues sus partículas están recubiertas por una capa dura (mecánicamente resistente) de sílice (óxido de sílice) u óxido de aluminio eléctricamente aislante. El perclorato de potasio fue eliminado o sustancialmente reducido en la presente invención, pues incluso una humedad baja del aire es suficiente para volver mezclas pirotécnicas que contiene sales fácilmente ionizables eléctricamente conductivas a punto de ser reprobadas en la prueba “*flash-over*”. La utilización de las cantidades mínimas de perclorato se aplica principalmente en algunas aplicaciones en que el paso por pliegues o nudos pueden suceder.

[046] El objeto de la presente patente presenta ventajas de dispensar el uso de sustancia de baja temperatura de Tammann, por eso la mezcla pirotécnica en su interior, es menos sensible a la fricción y choque, dispensa el uso o permite la reducción sustancial de percloratos contaminantes de aguas de capas subterráneas, se aprueba en la prueba “*flash-over*”, o sea, presenta menor riesgo de conducir una descarga electrostática del cuerpo humano para su extremidad, y el proceso de producción de la mezcla pirotécnica es bastante simple, por simple mezcla de los componentes en un molino de bolas de polímero elástico.

[047] Se han realizado diversas pruebas para determinación de los rangos de porcentaje de los componentes, siguen nombre y descripción detallada de cada uno de ellos:

[048] 1) Prueba de “flash-over”

[049] Esta prueba se realiza en equipo de “flash-over” conforme Norma Europea EN 13763-24: Explosivos para Uso Civiles – Detonadores y Transmisores – Parte 24: Determinación de la no-conductividad eléctrica del tubo de choque. La prueba se describe sucintamente a continuación:

[050] Treinta muestras de tubo conductor de chispa con 100 mm de longitud se utilizan en la prueba, que consiste en atravesar dos electrodos en formato de varilla fina, uno en cada extremidad de la muestra, perfectamente alineados con el centro del tubo, aplicar una tensión de 10 kV en corriente continua entre los electrodos, y aproximar sus puntas lentamente hasta que ocurra el paso de una chispa entre ellos. La distancia en milímetros en la que cuanto mayor y más conductivo eléctricamente sea el medio interior del tubo, mayor será el riesgo de conducir una descarga electrostática proveniente del cuerpo humano para el interior del tubo. El límite de especificación de la Norma Europea es de como máximo 20 mm.

- [051] 2) Prueba de Velocidad de Propagación
- [052] Una porción de tubo con longitud que mide 5 m se pone entre dos sensores ópticos conectados a un cronómetro de precisión. Cuando iniciado el tubo, la luz de la chispa, al pasar por el primer sensor, inicia el recuento de tiempo, y, cuando pasa por el segundo sensor, interrumpe este recuento. Se obtiene la velocidad de propagación dividiendo por el tiempo obtenido en segundos.
- [053] 3) Prueba de Espacio Mínimo de Propagación entre Pliegues.
- [054] En 10 muestras, la chispa del tubo debe pasar por 10 pliegues de 180° realizadas en el mismo, a una distancia determinada entre ellas. La menor distancia entre las siguientes: 1 m, 50 cm, 30 cm, 20 cm y 10 cm en que todas las muestras propaguen hasta la punta se registra como “distancia mínima entre pliegues”.
- [055] 4) Prueba de Esfuerzo de Tracción Máxima de Paso por Nudos
- [056] La muestra de tubo con longitud de 80 cm con un nudo simple en la mitad de su longitud, hecho sin apretar, se sujeta en sus extremidades a un dispositivo traccionador con una célula de carga capaz de medir el esfuerzo de tracción con precisión de 100 gf y un indicador digital del esfuerzo de tracción de la célula de carga. El tubo se tracciona manualmente a través de una palanca y cuando se alcanza el esfuerzo entre tracción deseado, el tubo se inicia en una de sus puntas a través de accionador manual con espoleta de oído. El paso de la chispa por el nudo o el fallo en la continuidad de la chispa por el nudo es observado por el oscurecimiento relativo del tubo en la sesión quemada. Si el tubo falla, una tracción de menor esfuerzo será intentada con una nueva muestra. Si la chispa pasa el nudo, una tracción de mayor esfuerzo será intentada en

una nueva muestra. El resultado de la prueba será la mayor tracción en la cual 5 muestras sucesivas funcionen sin fallos

[057] 5) Prueba de Iniciación por Cordón Detonante de Bajo Gramaje (% de fallos)

[058] Se someten 100 muestras de 1 m de tubo a la ignición con cordón detonante con carga de 2 g de PETN/m lineal, conocido en la industria como NP-02, sujetadas al cordón a través de conector tipo “J”. El número de piezas falladas se anota como “porcentaje de fallos en la iniciación del cordón”.

[059] 6) Prueba de Perceptibilidad al Impacto

[060] La prueba se realiza en equipo BAM Fallhammer desarrollado originalmente por el BAM Instituto Federal para Investigación y Prueba de Materiales de Alemania, de acuerdo con la Norma Europea EN 13631-4: Explosivos para Uso Civil – altos explosivos – Parte 4: Determinación de la Perceptibilidad al Impacto de Explosivos. La prueba se describe sucintamente a continuación:

[061] Se somete una muestra de la mezcla en polvo al impacto de un peso conocido en caída libre a partir de una altura determinada.

[062] La energía en que 5 muestras sucesivas deflagran es calculada por la fórmula $E = m \cdot g \cdot h$, donde m = masa del peso en caída libre; g = aceleración de la gravedad local y h = altura mínima para ignición.

[063] 7) Prueba de Perceptibilidad del Elemento de Retardo Lento

[064] Un elemento de retardo de 9 s de tiempo de retardo, con 30 mm de longitud de la columna, conteniendo mezcla de retardo lenta, sin capa adicional de mezcla iniciadora, se posiciona en la punta de una manguera de PVC cristal de 6 mm de diámetro con longitud

variable, con la extremidad de un tubo conductor de chispa de acuerdo con las formulaciones de la presente invención, de longitud de 1 m alineada con la otra extremidad de la manguera de PVC. Al iniciarse el tubo, la chispa debe atravesar el espacio libre del interior de la manguera e iniciar el elemento de retardo, cuanto mayor la longitud de la manguera en que los elementos inician un mínimo de 5 elementos sucesivos, mejor será considerado el desempeño térmico de la chispa. La mayor longitud de la manguera en que los elementos inician sin fallos se anota como “Perceptibilidad del Elemento de Retardo Lento”.

[065] 8) Prueba de “*Air Gap*” de Tubo a Tubo

[066] Un pedazo de tubo conductor de chispa con 3 m de longitud se corta transversalmente en dos mitades de 1,5 m, y estas mitades se alejan con un espaciamiento determinado, manteniéndolas alineadas dentro de una guía de aluminio en formato de “1/2 – caña”. La mayor distancia en que la chispa, al atravesar el espacio de aire libre entre las porciones de tubo, inicia la segunda porción en 5 muestras sucesivas, se anotada como “*Air Gap* de Tubo a Tubo”.

[067] 9) Prueba tras Exposición a la Emulsión Explosiva Caliente

[068] Treinta muestras de tubo de 12 m, con las extremidades selladas por casquillo de goma y una cápsula de espoleta conforme estándar usual de la industria se sumergen en emulsión explosiva convencional con aceite diésel marítima, que ocasiona mayor agresividad al plástico, a una temperatura de 65 ° C por veinticuatro horas. Los tubos se inician y el porcentaje de piezas falladas se anota como “Fallo por Exposición a Emulsión Explosiva Caliente”.

[069] 10) Prueba de Adherencia de la Mezcla al Tubo.

[070] Diez muestras de tubo con longitud de 3 m cada se pesan en balanza de laboratorio con precisión de 0,0001 g. Enseguida, se sopla el interior de los tubos en boquilla de aire comprimido a una presión de 0,2 kgf/cm² manométrica, y a un caudal de 0,2 Nm³/min. por 2 min., a fin de retirar la fracción de polvo no-adherido a la pared interna del tubo. Se pesa el tubo nuevamente, con precisión de 0,0001 g. Enseguida, se lava el interior de los tubos con un flujo de solución acuosa de Hidróxido de Sodio al 0,2% para disolución del Aluminio y del eventual Perclorato, y arrastre del Óxido de Hierro nanométrico y del Talco, a un caudal de 200 ml/min., por un tiempo mínimo de 3 min. El tubo con todo el polvo retirado se lava nuevamente con Acetona a un caudal de 200 ml/min. durante 1 min., y enseguida seco por un caudal de aire comprimido seco de 0,2 Nm³/min. a una presión de 0,5 Nm³/min. por un período mínimo de 3 min. para secado de la Acetona. El tubo plástico vacío y seco se pesa con precisión de 0,0001 g. Se calcula por diferencias la masa de polvo inicialmente presente en el tubo, y la masa de polvo que permaneció adherida al tubo tras la retirada inicial con aire comprimido, y enseguida se calcula el porcentual en masa de polvo suelto con relación a la masa total de polvo inicialmente presente en el tubo.

[071] Se han realizado diversas pruebas para determinación de los rangos de porcentaje de los componentes con, por ejemplo, la siguiente prueba que obtuvo la formulación preferencial de la presente patente: se hizo una mezcla en molino de bolas con bolas de goma polivinílica, por 30 minutos, de Aluminio en polvo eléctricamente aislante recubierto con sílice tipo Powdal 2900 de la SchlenkMetallpulver de Alemania, óxido férrico (Fe₂O₃) con diámetro medio de partícula de 30 nm da Nanophase de Inglaterra, y talco en las siguientes proporciones en peso:

[072] - Aluminio Powdal 2900: el 45 %; y

[073] - Óxido de hierro NanoArc FE-300 Nanophase 30 nm: el 54 %.

[074] - Talco: el 1 %.

[075] Se ha probado también el Aluminio en polvo nanométrico con diámetro de partícula de 20 a 100nm eléctricamente aislante recubierto con óxido de aluminio juntamente con el óxido de hierro nanométrico y se obtuvo resultados compatibles.

[076] Como en la prueba de pliegues y nudos, los límites de distancia entre pliegues para funcionalidad total y de paso de la chispa por nudos bajo esfuerzo de tracción han quedado abajo del esperado para muchas aplicaciones prácticas, se ha probado el uso de formulaciones con cantidades pequeñas de perclorato de potasio que permiten mejorar los límites en la prueba de pliegues y nudos, obteniéndose el valor mínimo del 6 % de perclorato de potasio y rango recomendable del 8 al 12 %.

[077] Se obtuvo los siguientes resultados, como descritos en la TABLA 1 mostrada al final de esta descripción.

Con las pruebas realizadas, se ha concluido que la formulación del tubo conductor de chispa térmica de la presente patente presenta la siguiente formulación en porcentaje en peso:

[078] - Aluminio en polvo con morfología tipo “flake”, pureza mínima del 99,5 %, recubierto y estabilizado por sílice u otro material eléctricamente aislante, con diámetro de partícula medio entre 5 y 18µm, como el Powdal 2900 de la SchlenkMetall pulver o similar: del 35 % al 62 % ;

[079] - Óxido de hierro nanométrico con morfología casi esférica facetada, diámetro de partícula medio entre 10 y 100 nm, como el NanoArc FE-300 Nanophase o similar: del 32 % al 60 %;

[080] - Perclorato de Potasio: variando del 0 % al 25 %.

[081] - Talco: Variando del 0,8 al 1,5 %

[082] Con las pruebas realizadas, se ha concluido también que la formulación preferencial del tubo conductor de chispa térmica de la presente patente es la siguiente en porcentaje en peso:

[083] - Aluminio en polvo con morfología tipo “flake”, pureza mínima del 99,5 %, recubierto y estabilizado por sílice u otro material eléctricamente aislante, con diámetro de partícula medio 11 μm , como el Powdal 2900 o similar: el 45 %;

[084] - Óxido de hierro nanométrico con morfología casi esférica facetada, diámetro de partícula medio de 30nm, como NanoArc FE-300Nanophase o similar: el 54 %; y

[085] - Talco: el 1 % para aplicaciones comunes, donde no sea importante el paso por pliegues y nudos; o alternativamente:

[086] - Aluminio en polvo con morfología tipo “flake”, pureza mínima del 99,5 %, recubierto y estabilizado por sílice u otro material eléctricamente aislante, con diámetro de partícula medio entre 5 y 18 μm , como el Powdal 2900 o similar: el 45 %;

[087] - Óxido de hierro nanométrico con morfología casi esférica facetada, diámetro de partícula medio de 30nm, como NanoArc FE-300Nanophase o similar: el 44 %

[088] - Perclorato de Potasio: el 10 %; y

[089] - Talco: el 1 % para las aplicaciones donde sea importante el paso por pliegues y nudos;

[090] Con las pruebas realizadas, se concluye que, alternativamente, la formulación del tubo conductor de chispa térmica de la presente patente puede ser la siguiente en porcentaje en peso:

[091] - Aluminio en polvo nanométrico con morfología tipo “flake”, pureza mínima del 99,5 %, recubierto y estabilizado por sílice u otro material eléctricamente aislante, con diámetro de partícula medio de 20 la 100 nm: del 35 % al 62 % ;

[092] - Óxido de hierro nanométrico con morfología casi esférica facetada, diámetro de partícula medio entre 10 y 100 nm: del 32 % al 60 %;

[093] - Perclorato de Potasio: variando del 0 % al 25 %; y

[094] - Talco: Variando del 0,8 al 1,5 %.

Tabla 1 - Resultados de Pruebas Prácticas

FORMULACIÓN	DISTANCIA DE FLASH-OVER	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN	ESPACIO MÍNIMO DE PROPAGACIÓN ENTRE PLIEGUES;	ESFUERZO DE TRACCIÓN MÁXIMO DE PASO POR NUDOS	INICIACIÓN POR CORDÓN DETONANTE DE BAJO GRAMAJE (% DE FALLOS)	PERCEPTIBILIDAD AL IMPACTO	PERCEPTIBILIDAD DEL ELEMENTO DE RETARDO LENTO	AIR GAP DE TUBO A TUBO	FALLOS TRAS EXPOSICIÓN A EMULSIÓN EXPLOSIVA CLIENTE	ADHERENCIA DE LA MEZCLA AL TUBO
AI POWDAL 2900 64,5% Fe ₃ O ₄ nanométrico NanoArc FE300 de la Nanophase 34,5% talco 1.0%	6 mm	964 m/s	1 m	3 f-kg	8%	9.2 N	6 cm	30 mm	25%	5%
AI POWDAL 2900 45% Fe ₃ O ₄ nanométrico NanoArc FE300 de la Nanophase 54% talco 1.0%	7 mm	1091 m/s	1 m	3 f-kg	cero	9.2 N	7 cm	30 mm	cero	5%
AI 62% Fe ₃ O ₄ nanométrico NanoArc FE300 de la Nanophase 32% KCIO ₄ 5% talco 1.0%	11 mm	1083 m/s	1 tn	4 f-kg	cero	9.2N	6 cm	80 mm	cero	3.8%
AI 45% Fe ₃ O ₄ nanométrico NanoArc FE300 de la Nanophase 44% KCIO ₄ 10% talco 1.0%	15 mm	1142 m/s	40 cm	9kgf	cero	9.2 N	12 cm	100 mm	cero	6.0%
AI 35% Fe ₃ O ₄ nanométrico NanoArc FE300 de la Nanophase 39%	22 mm	1260 m/s	30 cm	2 f-kg	cero	9.2 N	5 cm	15 mm	15%	3.2%

KCIO ₄ 25% talco 1.0%										
Mezcla HMX/A1 estándar del tubo de choque convencional con capa única de plástico	6 mm	2000 m/s	1 m	2 f-kg	cero	3.8 N	FAILS TO IGNITE, EVEN AT ZERO DISTANCE	10 mm	NOT PERFORME D	NOT PERFORMED
Mezcla HMX/A1 estándar del tubo de choque convencional con doble capa de plásticos	6 mm	2000 m/s	50 cm	8 f-kg	cero	3.8 N	FAILS TO IGNITE, EVEN AT ZERO DISTANCE	10 mm	NOT PERFORME' D	NOT PERFORMED