



REPÚBLICA ARGENTINA
PODER EJECUTIVO NACIONAL
MINISTERIO DE PRODUCCIÓN

INSTITUTO NACIONAL de la PROPIEDAD INDUSTRIAL

TÍTULO DE PATENTE DE INVENCION

AR106003B1

LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE PATENTES, CONFORME LO RESUELTO EN EL EXPEDIENTE RESPECTIVO Y EN VIRTUD DE LO DISPUESTO POR LA LEY 24.481 (T.O.1996), Y SU DECRETO REGLAMENTARIO (DECRETO 260/96, ANEXO II), EXTIENDE EN NOMBRE DE LA NACIÓN ARGENTINA EL PRESENTE TÍTULO A COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA; CONICET (CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS). INVENTOR / ES CABRERA, ANALÍA; SOBRERO, CÉSAR; SERRANO, GERMÁN; MALACHEVSKY, MARÍA TERESA; SERQUIS, ADRIANA CRISTINA.

QUE ACREDITA LA CONCESIÓN DE PATENTE DE INVENCION SOBRE: MÉTODO PARA LA FABRICACIÓN DE CABLES SUPERCONDUCTORES.

CUYA DOCUMENTACIÓN ANEXA ES COPIA FIEL DE LA DEPOSITADA EN EL INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL CONFORME A LO ESTABLECIDO EN EL ART. 35 DE LA LEY 24.481 (DECRETO 260/96 - ANEXO I), EL TÉRMINO POR EL QUE SE ACUERDA LA PATENTE ES POR VEINTE AÑOS IMPRORROGABLES CONTADOS A PARTIR DE LA PRESENTACIÓN DE LA SOLICITUD, POR LO CUAL EXPIRARÁ EL DÍA: 13 DE SEPTIEMBRE DE 2036.

BUENOS AIRES, 12 DE ENERO DE 2022.



Patentes de Invención
Modelos de Utilidad



Marcas



Modelos y Diseños
Industriales



Transferencia de
Tecnología



Información
Tecnológica



Memoria Descriptiva de la Patente de invención.

Sobre:
"METODO PARA LA FABRICACION DE CABLES
SUPERCONDUCTORES"

Solicitada por:
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (CONICET)
Comisión nacional de Energía Atómica, (CNEA)

Inventores:
Adriana Cristina Serquis
Maria Teresa Malachevsky
Germán Serrano
César Sobrero
Analía Cabrera

Domicilio:
Godoy Cruz 2290, (C.P.: 1425), Dirección de Vinculación Tecnológica;

Por el plazo de: **20** años.

METODO PARA LA FABRICACION DE CABLES

SUPERCONDUCTORES

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método para la fabricación de cables superconductores empleando métodos tradicionales tales como PIT (Powder In Tube) y lo similar.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente, un cable superconductor necesita de una entorno refrigerante a su alrededor para mantenerlo a una temperatura inferior a la temperatura crítica del material que lo forma. Es evidente que si se dispusiera de un superconductor que trabajara a la temperatura ambiente (o mayor) el sistema de refrigeración no sería necesario. Claro que, si se tuviera un elemento conductor fabricado con los nuevos materiales cerámicos con temperaturas críticas superiores a la de los superconductores convencionales que requieren helio líquido, el sistema de refrigeración se simplificaría muchísimo en su diseño y disminuiría mucho su costo de fabricación. Nos referimos a los actuales cables superconductores. Aunque la filosofía del diseño permanecerá con los nuevos materiales superconductores llamados de alta temperatura crítica.

20

Puede hacerse, a grandes rasgos, una distinción entre las características de los cables superconductores a partir de sus componentes: el aislamiento térmico y el sistema conductor eléctrico.

Por otro lado, con respecto a la construcción mecánica, se tienen tres tipos de cables superconductores:

1) Rígidos. El aislamiento y el conductor se fabrican con tubos rígidos. Una de las dificultades principales de este diseño es que la longitud máxima de manufactura transportable es de 20 metros aproximadamente, de lo que resulta un gran número de uniones. Se requieren, además, componentes corrugados y de pequeñas secciones para compensar las contracciones térmicas y para una mayor estabilidad térmica.

2) Semiflexibles. En este caso también el sistema de aislamiento térmico consta de tubos rígidos con componentes corrugados para compensar las contracciones térmicas. Sin embargo, el conductor es flexible y puede consistir de un tubo corrugado, o de alambres doblados en forma helicoidal sobre un soporte cilíndrico hueco. Estos cables superconductores pueden fabricarse en longitudes de 200 a 500 metros y ser transportados en tambores.

3) Completamente flexibles. En este tipo de cable el aislamiento térmico también es flexible. El cable está construido con tubos corrugados, de manera que no hay problemas con respecto al transporte o a las contracciones térmicas. El conductor puede ser, otra vez, un tubo corrugado o alambre doblado en forma helicoidal.

En los tipos de cable rígido y semiflexible todos los conductores pueden acomodarse en una envoltura térmica rígida común, lo que tiene un efecto para evitar pérdidas térmicas.

Estos cables han sido utilizados hasta ahora, principalmente, para la construcción de electroimanes de gran intensidad de campo y en pocos casos para líneas de transmisión.

Es necesario mencionar que la tecnología de fabricación varía dependiendo de si el cable va a transportar corriente directa o corriente alterna. La diferencia se

refiere a la disposición de los superconductores dentro del cable. Sin embargo, el esquema general permanece prácticamente sin cambio. Los materiales convencionales más utilizados hasta este momento siguen siendo Nb_3Sn y NbTi .

Hay que mencionar que las cualidades mecánicas de los nuevos materiales superconductores cerámicos para la fabricación de alambres son muy pobres. Sin embargo, se está trabajando febrilmente en desarrollar una tecnología que permita hacer alambres con estos nuevos materiales; ya se están comercializando algunas pequeñas bobinas para diferentes usos, especialmente en las fábricas de componentes electrónicos muy pequeños (de los llamados microchips).

Los cerámicos son inherentemente frágiles por lo cual fabricarlos en forma de alambres flexibles requiere de técnicas especiales. Por ello se desarrollaron técnicas como el PIT (Powder in Tube) para poder conformarlos a pesar de su falta de ductilidad. Esta es la técnica que se emplea en la actualidad para aplicaciones con alambres del superconductor de alta temperatura BSCCO ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+x}$). Para hacer alambres con diboruro de magnesio (MgB_2) se debe recurrir a técnicas similares debido a que este material es frágil y se comporta de manera similar a un cerámico.

Desde que fue descubierto el estado superconductor, principios del siglo XX, se ha investigado sobre su fenomenología y se han puesto en práctica técnicas para obtener materiales que transporten corriente sin resistencia eléctrica. Se debe tener en cuenta que además de los requerimientos de superconductividad, estos materiales van a ser sometidos a diferentes sollicitaciones mecánicas según sea la aplicación tecnológica y antes de eso se plantea el problema de la conformabilidad. En este caso, se busca realizar una bobina superconductora con cables mono o multifilamentarios. El MgB_2 es un material intermetálico frágil (con propiedades mecánicas similares a los cerámicos), con lo cual los procesos que se pueden llegar a usar son muy limitados al

igual que la geometría final. Es por esta razón que surge la necesidad de componer un material superconductor que tenga una combinación de las propiedades mecánicas de los metales dúctiles con la propiedad eléctrica del MgB_2 . Además, para optimizar las propiedades del material, es necesario estudiar la posible reacción química o interdifusión entre materiales, la segregación de compuestos o la modificación de la microestructura en las interfases vaina metálica-superconductor, que afectan los fenómenos de transferencia de corriente y tienen un fuerte impacto sobre su rendimiento.

Como el diboruro de magnesio es frágil, para fabricar cables los filamentos superconductores deben estar embebidos en una matriz metálica que les provea estabilidad eléctrica, térmica y mecánica. El método convencional se conoce como powder-in-tube (PIT). El método PIT es una de las tecnologías más empleadas para la fabricación de materiales duros y frágiles en forma de cables flexibles de gran longitud. Para formar cables "monofilamentarios" (cable de metal con alma de superconductor), se rellenan tubos de metal dúctil con el polvo precursor deseado y mediante trefilado u otras técnicas de deformación se forman los alambres. Rellenando los tubos de metal con N alambres monofilamentarios y repitiendo el proceso de deformación, se pueden preparar cables con N filamentos (multifilamentarios). Como el MgB_2 es un material muy duro, la distribución del tamaño de partícula del polvo de partida y la dureza de la vaina empleada son dos parámetros claves para lograr buenas propiedades de transporte, directamente relacionadas con la densidad del material superconductor. Una combinación adecuada de polvo fino (con o sin aditivos y dopantes) con vaina dura permite alcanzar alta densidad del MgB_2 del interior del cable, mejorando sus propiedades de transporte y su estabilidad mecánica.

RESUMEN DE LA INVENCION

Es entonces un objeto de la presente invención proveer un método para la fabricación de cables superconductores, en donde el proceso propuesto es la producción de cables por una variante del método convencional. El método consiste en formar
5 inicialmente un “arrollado” colocando el polvo precursor sobre una plancha metálica a medida que se enrolla la misma (tipo pionono). Este enrollado se introduce en el tubo inicial y se procede al trefilado. Esto permitiría en una sola etapa de trefilado llegar a tener un cable de pequeñas secciones tipo multifilamentario. Con ésta última técnica, se
10 facilitaría el armado de un cable tipo multifilamentario, pudiéndose incluso lograr distintas geometrías en la disposición de los filamentos. Otra variante para armar el enrollado sería depositar una película gruesa por dip coating, sol gel o pintura sobre la plancha metálica y luego enrollarla tipo pionono.

Es por lo tanto un objeto de la presente invención proveer un método para la fabricación de cables superconductores, en donde el método comprende los pasos de:

- 15 a) Reducir el tamaño de partícula de un primer compuesto;
b) Adicionar un porcentaje en peso de un segundo compuesto;
c) Alternativamente, agregar dopantes
d) Preparar el enrollado de la plancha metálica con el polvo

Alternativamente depositar una película gruesa por dip coating, sol gel o
20 pintura sobre la plancha metálica y para preparar el enrollado

Alternativamente introducir un arreglo de separadores en forma de alambres a 45 ° del eje de enrollado

- e) Proceder con el llenado de la combinación de los compuestos en un tubo;
f) Continuar con el trefilado y tratamiento térmico

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para mayor claridad y comprensión del objeto de la presente invención, se lo ha ilustrado en varias figuras, en las que se ha representado el mismo en una de las formas preferidas de realización, todo a título de ejemplo, en donde:

La figura 1 muestra un esquema de fabricación de alambres y cintas MgB_2 por el método tradicional de PIT, tanto para fabricar alambres monofilamentarios como multifilamentarios. A modo de ejemplo se muestra a la derecha imágenes de microscopía electr de cortes transversales de las diferentes configuraciones posibles (las zonas más oscuras corresponden al MgB_2). En la figura 1 arriba, la etapa A representa la mezcla de polvos en Molinos de Bolas, de allí se pasa a la etapa B que es el llenado de tubos llegando a la etapa C de trefilado y tratamiento térmico para dar el alambre AL; en la Figura 1 debajo, dicho alambre AL puede ser convertido en una cinta CIN por medio de una etapa D de Laminado + Tratamiento Térmico o dicho alambre AL puede ser utilizado en una etapa E de Llenado de Tubos para luego pasar a una etapa F de Trefilado + Tratamiento Térmico para llegar a Multifilamento MUL.

La figura 2 muestra un método alternativo para la fabricación de alambres y cintas MgB_2 . Se presenta la secuencia (A) y herramientas (2) utilizadas para lograr el enrollamiento de la placa metálica (1) introduciendo el polvo en pasos intermedios (a la izquierda arriba). Otra variante sería depositar sobre la placa metálica el polvo precursor en forma de pintura o gel. Sobre la derecha se ven imágenes de cortes transversales de esta disposición. A la izquierda abajo el paso de tratamiento térmico y trefilado. Se muestra a la derecha (B) imágenes de microscopía electr de cortes transversales de las diferentes configuraciones posibles.

La Figura 2 superior izquierda responde al dispositivo enrollador o herramienta de enrollado (2) que, como puede ser apreciado, comprende tres partes, una parte fija inferior (4) con dos canales (5) de donde se forman los alambres por medio de una plancha metálica (1) que se enrolla sobre sí misma de manera de obtener el polvo precursor arrollado sobre un perno de enrollado (7) y una parte móvil superior (6) también con un canal (5) que presiona alternativamente sobre el perno de enrollado (7) en los canales (5) de la parte fija inferior (4) transportando la plancha metálica (1) de un canal (5) a otro y compactándola a medida que se va enrollando sobre sí misma en cada canal (5). Terminando con la etapa de trefilado y tratamiento térmico (3).

En esta figura 2, las flechas superiores indican la dirección del movimiento de arrollado junto con la fuerza de empuje que recibe la parte móvil superior y las flechas inferiores los pasos consecutivos que se realizan alternativamente en cada canal inferior para lograr el arrollado final sobre el perno de enrollado (7) . En dicha figura destacamos que la lámina central más a la izquierda es la plancha metálica (1).

La figura 3 muestra en su parte superior (3A) el armado de alambres multifilamentarios introduciendo un retorcido (twisting) de los filamentos para disminuir las corrientes parásitas utilizando el método tradicional y en la parte inferior, el método alternativo (3B) propuesto en la presente solicitud. En lugar de agregar el paso de retorcido de los alambres, se introduce un arreglo de separadores en forma de alambres a 45° del eje de enrollado para así lograr el mismo efecto sin agregar pasos en la fabricación.

La figura 3 muestra la reducción del acoplamiento por el método tradicional en la parte superior que comprende el enrollado tipo twisting (3A) y el método alternativo (en el enrollado) en la parte inferior (3B) que comprende colocar alambres que separen el polvo para que se logre el resultado final tipo twisting en un solo paso.

Se incluye en dicha figura las referencias de la herramienta de enrollado terminando con la etapa de trefilado y tratamiento térmico (3).

La presente solicitud también refiere al armado de alambres multifilamentarios introduciendo un retorcido (twisting) de los filamentos para disminuir las corrientes parásitas utilizando el método tradicional y el método alternativo propuesto en la presente patente. En lugar de agregar el paso de retorcido de los alambres, se introduce un arreglo de separadores en forma de alambres a 45 ° del eje de enrollado para así lograr el mismo efecto sin agregar pasos en la fabricación.

DESCRIPCION DETALLADA DEL EJEMPLO DE REALIZACION

Haciendo referencia a las figuras 1 a 2, se puede apreciar el método objeto de la presente invención. En efecto, partiendo de MgB_2 comercial en polvo, se reduce el tamaño de partícula por molienda de atrición en atmósfera de nitrógeno. Se adiciona un 5 wt% (porcentaje en peso) extra de magnesio en polvo para compensar pérdidas durante los tratamientos térmicos sucesivos. Eventualmente se pueden agregar dopantes como nanopartículas de CSi, en proporción de 2-5 wt%. También se ensayó el método in-situ que consiste en formar el diboruro de magnesio una vez armado el alambre durante el tratamiento térmico final. Para ello se realizó una mezcla de los precursores (magnesio y boro en polvo en cantidades estequiométricas) en un molino de bolas de ágata dentro de una caja de guantes con atmósfera de nitrógeno seco para asegurar una atmósfera libre de oxígeno.

Analizamos la reducción del tamaño de partícula y la cristalinidad del polvo resultante por difracción de rayos x y microscopía TEM. El empleo de un polvo muy fino de MgB_2 permite aumentar la densidad verde del superconductor y lograr interfases superconductor-vaina más homogéneas.

Se realiza el enrollamiento de la placa metálica introduciendo el polvo en pasos intermedios (ver Fig. 2). Una variante es depositar sobre la placa metálica el polvo precursor en forma de pintura o gel. Otra variante es introducir un arreglo de separadores en forma de alambres a 45 ° del eje de enrollado para así lograr el efecto del
5 retorcido de alambres necesario para un mejor funcionamiento.

Una vez armado el arrollado, se procede al trefilado. Esto se realiza mediante pasos sucesivos de 10% de deformación en frío, con un recocido intermedio a 400 °C durante 20 minutos, hasta obtener un alambre del diámetro deseado (generalmente entre 1.5 y 0.9 mm de diámetro final). Finalmente los alambres fueron
10 sometidos a un tratamiento térmico durante una hora a 800-850 °C en una atmósfera de argón para poder formar el MgB₂.

El enrollado se hace por medio de donde la herramienta de enrollado (2) comprende una parte fija inferior (4) con dos canales de enrollado (5), una parte móvil
15 superior (6) con un canal de enrollado (5) y un perno de enrollado (7).

REIVINDICACIONES

Habiendo así especialmente descrito y determinado la naturaleza de la presente invención y la forma como la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara reivindicar como de propiedad y derecho exclusivo:

5

1. Un método para la fabricación de cables superconductores, estando el método caracterizado porque comprende los pasos de:

a) reducir el tamaño de partícula de un primer compuesto a la forma de polvo;

10 b) adicionar un porcentaje en peso de un segundo compuesto en forma de polvo;

c) opcionalmente, agregar dopantes;

d) mezclar los polvos obtenidos en los pasos a), b) y c) sobre una plancha metálica (1);

15 e) alternativamente depositar una película gruesa por dip coating, sol gel o pintura sobre la plancha metálica (1);

f) llevar a cabo un arrollado de los polvos en la plancha metálica (1) la cual se enrolla sobre sí misma de manera de obtener el polvo precursor arrollado sobre la plancha metálica utilizando una herramienta de enrollado (2), donde la herramienta de enrollado (2) comprende una parte fija inferior (4) con dos canales de enrollado (5), una parte móvil superior (6) con un canal de enrollado (5) y un perno de enrollado (7);

20 g) proceder con el llenado de la combinación del polvo precursor arrollado en la placa metálica (1) en un tubo obteniéndose alambres de la combinación de los compuestos; y

h) realizar el trefilado y tratamiento térmico (3) de los alambres de la combinación de los compuestos llenados en el tubo.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho
5 primer compuesto del paso a) es un compuesto binario tal como diboruro de Magnesio MgB_2 .

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el
paso a) de reducción del tamaño de partícula se realiza por molienda de atrición en
10 atmósfera de nitrógeno.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho
porcentaje del segundo compuesto en peso en el paso b) es del orden el 5 wt%
(porcentaje en peso).

15

5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho
segundo compuesto en el paso b) es magnesio en polvo.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque los
20 dopantes agregados en el paso c) comprenden nanopartículas de CSi.

7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque el
agregado de dichos dopantes en el paso c) están en una proporción del orden del 2 a 5
wt% (porcentaje en peso).

25

8. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque comprende el paso opcional de formar diboruro de Magnesio MgB_2 una vez armado el alambre durante el tratamiento térmico final del paso h).

5 9. El método de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque el paso de formar diboruro de Magnesio MgB_2 en el paso h) se lleva a cabo mediante una mezcla de los precursores (magnesio y boro en polvo en cantidades estequiométricas) en un molino de bolas de ágata dentro de una caja de guantes con atmósfera de nitrógeno seco para asegurar una atmósfera libre de oxígeno, una vez armado el alambre durante
10 el tratamiento térmico final.

10 10. El método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el trefilado en el paso h) se realiza mediante pasos sucesivos pasos de 10% de deformación en frío, con un recocido intermedio a 400 °C durante 20 minutos, hasta obtener un
15 alambre del diámetro deseado entre 1.5 y 0.9 mm de diámetro final.

20 11. El método de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque el tratamiento térmico en el paso h) también comprende someter los alambres durante una hora a una temperatura entre 800-850 °C en una atmósfera de argón para poder formar
20 el MgB_2 .

12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque la placa metálica (1) contiene un arreglo de separadores en forma de alambres a 45° del eje.

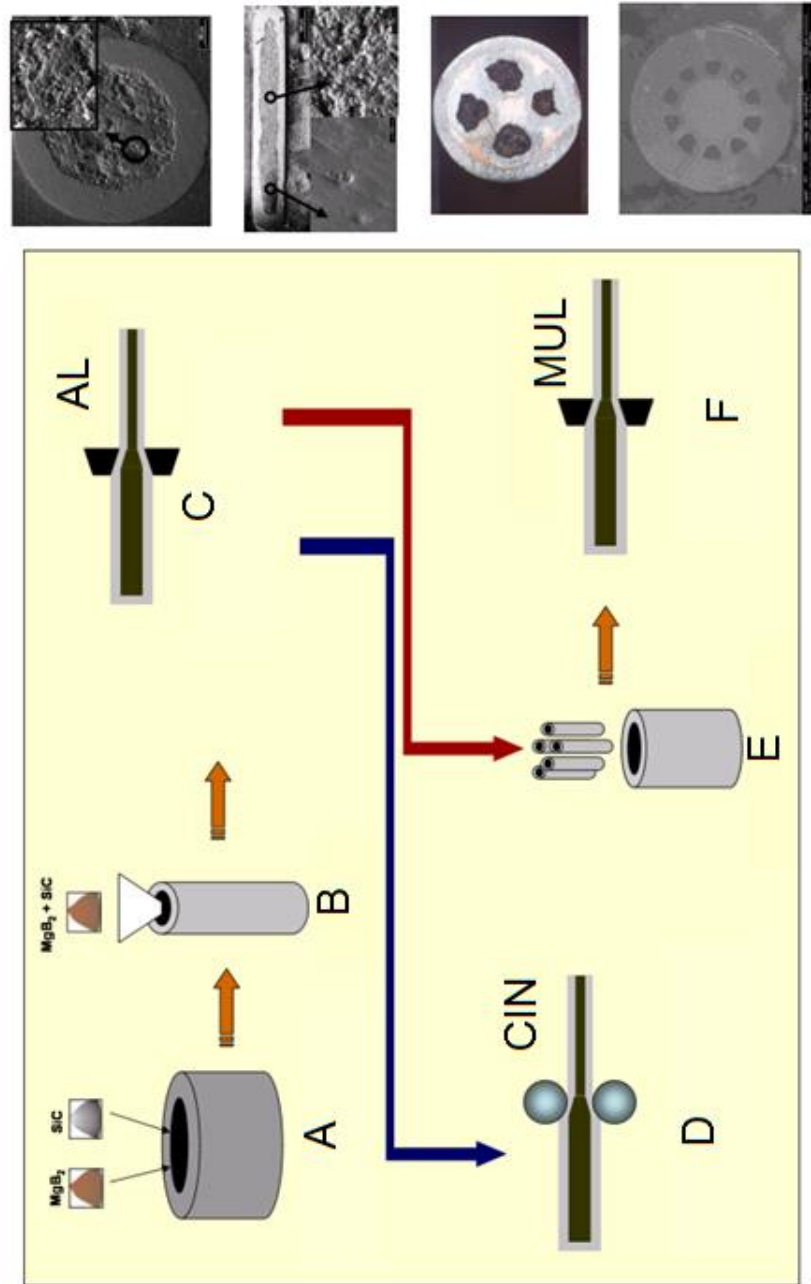


FIG 1

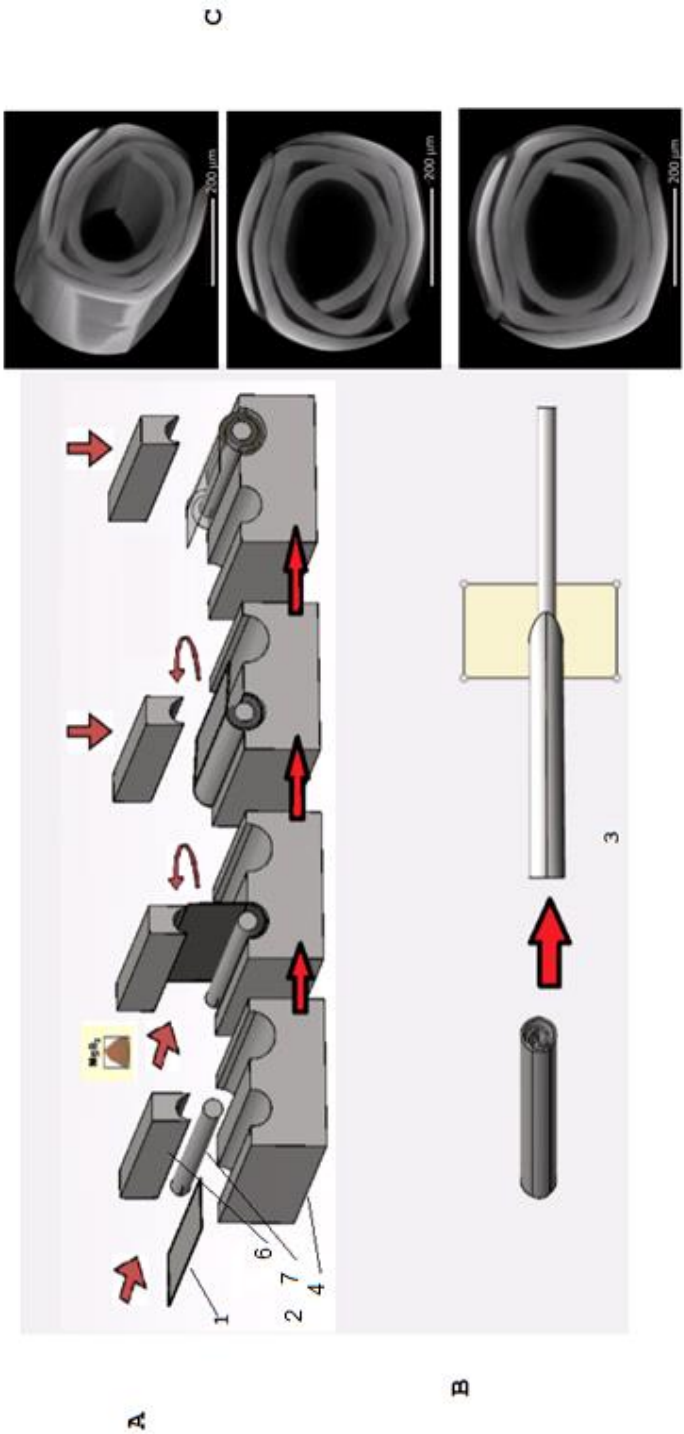
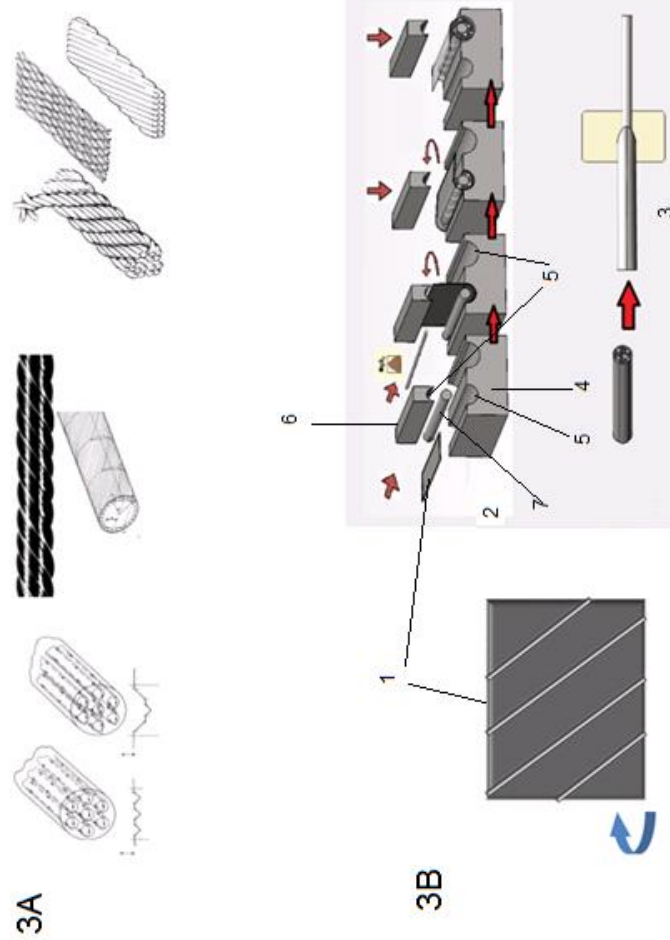


FIG 2

FIG 3





REPÚBLICA ARGENTINA

(10) PATENTE DE INVENCION

(11) RESOLUCION NUMERO: AR106003B1

(--) DISPOSICION GDE NUMERO: DI-2022-8-APN-ANP#INPI

(24) FECHA DE RESOLUCION: 12/01/2022

(--) FECHA DE VENCIMIENTO: 13/09/2036

(21) ACTA NUMERO: P20160102793

(22) FECHA PRESENTACION:13/09/2016

(51) INT.CL.7 : H01L 39/24; H01B 12/00

(30) PRIORIDAD CONVENIO DE PARIS

(54) TITULO :METODO PARA LA FABRICACION DE CABLES SUPERCONDUCTORES.

(71) TITULAR :

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

CONICET (CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS)

---- CON RESIDENCIA EN :

AV. DEL LIBERTADOR 8250 CAPITAL FEDERAL., Provincia de Buenos Aires (1429), País AR

GODOY CRUZ 2290 CIUDAD AUTONOMA DE BUENOS AIRES, Provincia de Buenos Aires (1425), País AR

(74) AGENTE :3652



INPI

INSTITUTO NACIONAL
DE PROPIEDAD INDUSTRIAL
ARGENTINA