



13 MAR 1967

364771

Como divisional de la patente de invención n.º 349,481

CLASIFICACION I. P. S.

CLASE D. D. 1

SUBCLASE C

MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de concesión de una

PATENTE DE INVENCION

SOLICITANTE: HITCO

RESIDENCIA: 1600 W. 135th Street, GARDENA, Cali-
fornia 90249, Estados Unidos.

ENUNCIADO: "UN APARATO PARA REFORZAR MATERIALES
CARBONOSOS EN FORMA DE CABOS O VELOS"

Prioridad: Patente estadounidense n.º 617.187 del 20-2-1.967

gc.-

**POOR
QUALITY**



1

Se preparan fibras de carbono uniformes y mejoradas por calentamiento ohmico continuo de fibras carbonosas amorfas, pasando una corriente eléctrica a través de las fibras para calentarlas por lo menos a unos 2000°C durante hasta
5 unos 10 segundos en una atmósfera inerte. Se preparan fibras de carbono de módulo de elasticidad elevado estirando permanentemente las fibras de un 10 a un 50 % al tiempo que se calientan. El mecanismo para calentar las fibras consiste en pasar los cabos o velos que las contienen entre por lo menos
10 un par de electrodos relativamente próximos para cerrar un circuito que caliente las fibras por resistencia, al tiempo que se ejerce una tensión sobre éstas mediante una fuerza o medios de estiraje constante. .

10

15

Se sabe desde hace tiempo que las fibras carbonosas son especialmente útiles por sus propiedades a temperaturas elevadas. Debido a su alto contenido en carbono las fibras de carbono son bastante estables y mantienen su integridad a temperaturas elevadas en atmósferas inertes. Las formas cristalinas y no cristalinas del carbono no funden sino que
20 a temperaturas extremadamente altas subliman; además tienen una gran resistencia al choque térmico, y presentan varios grados de conductividad térmica y eléctrica. Estos factores, junto con el carácter químicamente inerte de las fibras, ha conducido a su utilización en una amplia variedad de aplicaciones estructurales y en aislamientos protectores a temperaturas rigurosas y en ambientes corrosivos.

20

25

30

En la preparación de las fibras de carbono, los materiales celulósicos tales como el algodón, rayón y análogos, se calientan en condiciones controladas a temperaturas que se elevan sucesivamente con el fin de carbonizar las estruc-



1969

1 turas celulósicas. Los componentes y compuestos volátiles
se expulsan como gases en tanto que se mantiene la integri-
dad básica de las fibras. Este tipo de pirolisis ha sido uti-
lizado en la preparación de materiales carbonosos y grafíti-
5 cos en forma de tejidos, cintas, hilos y análogos y se en-
cuentra descrita, por ejemplo, en la patente estadounidense
nº 3.294.489. Uno de los mayores inconvenientes de las fi-
bras carbonosas ha sido que presentan un módulo de elastici-
dad y una resistencia a la tracción relativamente bajos así
10 como falta de uniformidad. En consecuencia se han buscado mé-
todos para incrementar el módulo de elasticidad, la resis-
tencia a la tracción y la uniformidad de estas fibras carbo-
nosas. Las características de módulo de elasticidad y resis-
tencia a la tracción elevados son necesarias cuando las fi-
15 bras han de utilizarse en la preparación de compuestos, arro-
llamientos de filamentos y similares, y especialmente cuando
estos productos se destinan a aplicaciones en las que inter-
vienen grandes variaciones de temperatura y a fuerzas físi-
cas. El recubrimiento de las fibras con productos sintéticos
resinosos para incrementar la resistencia mecánica tiene tan-
20 solo una utilidad limitada, por cuanto las características
de la fibra determinan las características esenciales del
producto resultante. Cualquier mejora sustancial de las pro-
pias fibras no solamente puede ampliar la utilidad de un pro-
ducto en el que intervienen estas fibras sino que permite la
25 correspondiente reducción en el tamaño, peso y costo del pro-
ducto.

30 Se ha comprobado que al someter a tensión las fibras
carbonosas al tiempo que se calientan dan lugar a un produc-
to con un módulo de elasticidad y resistencia a la tracción



1 notablemente superiores. Los métodos utilizados hasta ahora
para incrementar el módulo de elasticidad y la resistencia
a la tracción de las fibras carbonosas consistían en calentar
un cabo de las fibras en el interior de un horno a tempera-
5 turas adecuadas, al mismo tiempo que se aplicaba una tensión
para estirar las fibras durante su paso a través del horno.
Si bien por este método se lograron mejorar las propiedades
mecánicas, no es del todo satisfactorio por numerosas razo-
nes. El empleo de un horno exige el calentamiento por induc-
10 ción o radiación de las fibras, lo que conduce a un calenta-
miento gradual de los cabos de fibras de afuera a adentro.
Este tipo de calentamiento gradual y no uniforme es lento y
da lugar a resultados algo inseguros debido a que los diáme-
tros de las fibras y de los cabos varían según las caracterís-
15 ticas de las fibras iniciales y pirolizadas. Además, a fin
de asegurar un calentamiento completo de las fibras, es nece-
sario mantener éstas en el interior del horno durante un pe-
riodo de tiempo relativamente largo, es decir hasta unos 10
minutos o más. Ello incrementa el costo del proceso, debido
20 a que el tiempo de residencia en el interior del horno ha de
alcanzarse bien aumentando la longitud del horno, disminuyen-
do la velocidad de paso, o ambas cosas. Los métodos utiliza-
dos hasta ahora requerían también un precalentamiento o que-
mado de las fibras a temperaturas de unos 1000° a 1200°C du-
25 rante o a continuación de su pirolisis a fin de lograr los
porcentajes de carbono deseados. En general sería preferible
alcanzar las propiedades finales mediante procedimientos más
rápidos, menos costosos y que requirieran menos manipulación.

30 Un problema importante que se presentaba en las técni-
cas de calentamiento y estirado utilizadas hasta ahora se de-



1960

1 bía a los prolongados periodos de calentamiento necesarios
para que las fibras se calentaran en su totalidad. Este ti-
po de calentamiento lento daba lugar al crecimiento de cris-
talitos relativamente grandes dentro del material fibroso.
5 Estos cristallitos grandes se resisten a la orientación por
estiramiento lo que se traduce en una reducción de la efec-
tividad en el proceso de estiramiento. Además el tamaño de
los cristallitos a lo largo de la sección transversal de los
cabos calentados por inducción no es tan uniforme como sería
10 de desear.

El presente invento proporciona un método para pre-
parar materiales de carbono fibrosos que consiste en el ca-
lentamiento eléctrico ohmico y continuo de una parte de un
cabo o velo de fibras carbonosas en movimiento que ha sido
15 pirolizado a una temperatura de por lo menos unos 310°C
o más. Se pasa una corriente a través del cabo o velo duran-
te un intervalo relativamente breve para calentar las fibras
a unos 2000°C o más con el fin de inducir el crecimiento de
los cristallitos con orientación simultánea de los mismos.

20 De acuerdo con el invento, se puede ejercer una ten-
sión sobre el cabo o velo durante el tiempo de calentamiento
para estirar las fibras en el cabo o velo hasta un valor com-
prendido entre un 10 y un 50 % de su longitud original.

En otra modalidad del invento se pueden preparar fi-
25 bras a partir de materiales inicialmente celulósicos median-
te un tratamiento previo a una temperatura relativamente ba-
ja, en un procedimiento de elevado alargamiento. Las fibras
de bajo contenido en carbono pueden tratarse seguidamente de
forma rápida calentando ohmica y continuamente las fibras en
30 una primera zona con el fin de elevar eficazmente su conteni-



1 do en carbono por encima del 90 % aproximadamente. Estas fi-
bras precalentadas se pasan entonces directamente a una segun-
da zona y se calientan ohmicamente a unos 2000°C o más du-
rante un periodo de tiempo muy breve para inducir la crista-
5 lización e incrementar además el contenido en carbono. Las
fibras se deben estirar simultáneamente para incrementar de
forma considerable su módulo de elasticidad y resistencia a
la tracción dentro de un periodo de tiempo muy corto.

De acuerdo con el invento la instalación comprende
10 por lo menos un par de electrodos conductores en el interior
de una atmósfera inerte y el paso de un cabo o velo en un re-
corrido que hace contacto con ambos electrodos. Los electro-
dodos se encuentran relativamente próximos entre sí y son con-
ductores, preferiblemente del tipo de roldana, conectados
15 a una fuente de energía, de tal forma que el circuito se cie-
rra a través del tramo relativamente corto del cabo o velo.
Pueden disponerse sistemas de rodillos asociados a ambos la-
dos de los electrodos para estirar las fibras durante el ca-
lentamiento. Con estos sistemas asociados se puede aplicar
20 una tensión al hilo bien mediante una fuerza constante o bien
mediante un estirado constante.

De acuerdo con otro aspecto de este invento, el cabo
o velo puede calentarse previamente con un segundo par de
electrodos situados antes del primer par a lo largo del re-
25 corrido del velo. Puede utilizarse ventajosamente el preca-
lentamiento para expulsar los volátiles o bien puede emplear-
se de forma diferente para aumentar notablemente el contenido
en carbono y de aquí la conductividad eléctrica.

Para comprender mejor el invento se hará referencia
30 a la siguiente descripción, en conjunción con los esquemas



1 que se acompañan, en los que

La Figura 1 es una representación diagramática de conjunto de un método según el invento;

5 La Figura 2 es un diagrama de conjunto de distintos aspectos del método según el invento;

La Figura 3 es una perspectiva simplificada, con un corte parcial de una primera forma de aparato para la fabricación de materiales carbonosos según el invento;

10 La Figura 4 es un diagrama de conjunto combinado con una perspectiva simplificada de una disposición distinta del aparato de acuerdo con el invento.

La Figura 5 es otra perspectiva simplificada de otro aparato según el invento; y

15 La Figura 6 es una representación simplificada en alzado de otro aparato más de acuerdo con el invento.

El presente invento, refiriéndonos ahora a la Figura 1, comprende un método que consiste en calentar cabos o velos que contienen carbono amorfo en atmósfera inerte, a una temperatura superior a unos 2000°C y preferiblemente entre 2400°C y 3200°C, durante un tiempo de hasta unos 10 segundos y preferiblemente entre 1/50 y 10 segundos. Este método se representa en la Figura 1 como etapa B. El proceso de calentamiento se puede efectuar de forma continua utilizando un aparato en el que las fibras carbonosas pasan sobre los electrodos o forman con los mismos otro tipo de contacto de forma continua. Más específicamente, los cabos o velos de las fibras, tal como se encuentran en un carrete, huso, devanadera o análogos, pueden pasar en forma continua sobre los electrodos o formando con los mismos otro tipo de contacto, los cuales poseen suficiente tensión para provocar el

20

25

30



18-10

1 calentamiento de las fibras carbonosas hasta la temperatura deseada. De este modo, la fibra carbonosa se calienta instantánea y uniformemente a todo lo largo del cabo comprendido entre los electrodos.

5 Los procedimientos de calentamiento descritos aquí, en los que los cabos de fibras se calientan eléctricamente entre electrodos, se llevan a cabo en atmósfera inerte. Se entiende por atmósfera inerte una composición gaseosa cuyos componentes no reaccionan con las fibras ni las degradan de
10 otro modo. Específicamente debe utilizarse una atmósfera no oxidante, tal como nitrógeno o helio, de tal forma que elimine el exceso de productos volátiles que se concentran en las proximidades del cabo de fibras calientes. De acuerdo con ésto, se prefiere llevar a cabo el procedimiento en el interior de una vasija cerrada o cubierta, renovando continuamente la atmósfera inerte de nitrógeno con el fin de eliminar los productos volátiles.

15 Las fibras de carbono que pueden emplearse en el procedimiento del presente invento son las que se pirolizaron preferentemente en atmósfera inerte a temperaturas de por lo
20 menos unos 310°C hasta unos 1900°C. Estos métodos de pirólisis son perfectamente conocidos en la técnica anterior y dan lugar a fibras carbonosas esencialmente amorfas que poseen un contenido en carbono del orden del 70 % o más, hasta un
25 99 % aproximadamente. Estas fibras amorfas se caracterizan también por poseer una resistencia a la tracción comprendida entre unas 20.000 y 60.000 libras/pulgada² (1406 y 4218 kg/cm²) y un módulo de elasticidad comprendido entre 3 x 10⁶ y 7 x 10⁶ libras/pulgada² (2,11 x 10⁵ y 4,92 x
30 10⁵ kg/cm²). La expresión "módulo" que se emplea aquí, se re-



1962

1 fiere al módulo de Young, o módulo de elasticidad de la fibra según lo entienden los expertos en esta técnica.

5 Las fibras carbonosas pueden ser las preparadas a partir de materias celulósicas u otros materiales que conducen por pirolisis a fibras carbonosas, tales como el poliacrilonitrilo, cloruro de polivinilo y análogos.

10 Puesto que un aspecto del invento lo constituye el calentamiento eléctrico y óhmico de un cabo de fibras carbonosas (Fig. 1, etapa B), conviene señalar que con el fin de conseguir ésto, se debe hacer conductor eléctrico al cabo de fibras. El carbono es de caracter semiconductor y las sustancias carbonosas varían desde características esencialmente dieléctricas a resistividades eléctricas relativamente bajas a medida que el contenido en carbono pasa desde aproximadamente menos de un 70 % a más de un 90 a un 99 % por calentamiento a temperaturas elevadas. El tiempo de residencia a estas temperaturas ejerce también cierto efecto sobre la conductividad eléctrica. Así, las fibras carbonosas que se han pirolizado a temperaturas de hasta unos 350°C generalmente no tienen un contenido en carbono o una conductividad eléctrica lo suficientemente elevados para poder utilizarlas en la etapa B de la Figura 1.

25 Las fibras carbonosas que se han tratado previamente a temperaturas comprendidas entre unos 400° y 1900°C y cuyo contenido en carbono es superior a un 85 % son lo suficientemente conductoras de la electricidad para tratarlas directamente de acuerdo con la etapa B. Sin embargo uno de los aspectos más significativos del presente invento es la introducción de una etapa continua de precalentamiento o etapa de quemado mediante la cual los cabos o velos pirolizados se

30



1 calientan a temperaturas por encima de unos 400°C hasta unos
1900°C, precisamente antes de someterlos al tratamiento a
temperatura elevada. En este intervalo de temperatura, el
cabo pirolizado de fibras carbonosas amorfas aumenta su con-
5 tenido en carbono sin que se produzca un aumento significa-
tivo en el tamaño de los cristalitas. La etapa de precalen-
tamiento continuo elimina las sustancias volátiles y no car-
bonosas con lo que se mejora la calidad global de las fibras
al tiempo que aumenta su conductividad eléctrica. Esta eta-
10 pa de precalentamiento comprende el calentamiento de un ca-
bo corto de fibras a una temperatura comprendida entre unos
400°C y 1900°C - etapa A en la Figura 1. Incluso cuando el
cabo de fibras carbonosas que se va a tratar a temperatura
elevada sea ya un conductor eléctrico, si tiene un conteni-
15 do en carbono inferior a un 95 % aproximadamente, es con
frecuencia conveniente precalentarlo de acuerdo con la eta-
pa A a temperaturas comprendidas entre 900° y 1900°C con el
fin de eliminar nuevamente productos volátiles y mejorar la
calidad de la fibra antes de que pase a la etapa B. Esta con-
20 binación de etapas A y B permite que las fibras de bajo con-
tenido en carbono relativamente baratas sean procesadas con-
tinua y rápidamente y den lugar a fibras superiores como pro-
ducto final.

Se cree, aun cuando el invento no se limita a la teo-
25 ría, que la etapa B de calentamiento (Fig. 1), en la cual
las fibras carbonosas se calientan eléctricamente por enci-
ma de unos 2000°C y preferiblemente entre unos 2400°C y
3200°C durante un tiempo breve, provoca la formación de cris-
talitos en las fibras carbonosas amorfas. Cuanto más eleva-
30 da es la temperatura y más prolongado el tiempo de calenta-



1969

1 miento, mayor es el tamaño de los cristalitas. Por otra parte,
te, si en este intervalo de temperaturas se somete a tensión la fibra, estira, alineándose los cristalitas con un
nuevo aumento del módulo y resistencia a la tracción, como se muestra en la etapa C, Figura 1. Es importante que la
5 etapa de calentamiento a elevada temperatura se efectúe solo durante el tiempo suficiente para permitir que la orientación y el crecimiento de los cristales sean óptimos. A estas temperaturas son suficientes, tiempos comprendidos entre 1/50 y unos 10 segundos. El calentamiento a alta temperatura mejora la uniformidad de las características físicas y además volatiliza y elimina residuos no carbonosos. Si
10 bien no resulta una estructura verdaderamente gráfica las fibras muestran en su interior un grado de cristalinidad considerable.

15 Las fibras carbonosas pirolizadas que se han quemado independientemente a temperaturas suficientes, tal como se describe en la patente estadounidense nº 3.294.489, y que no tienen un recubrimiento superficial pueden tratarse por
20 calentamiento por resistencia eléctrica de corto alcance por encima de 2000°C, directamente como se muestra en la Figura 1, etapa B, sin ningún precalentamiento como se describió anteriormente. Estas fibras son las que han sido quemadas a temperaturas comprendidas entre unos 800°C y 1900°C,
25 utilizando en general hornos y atmósferas inertes, y contienen un porcentaje en carbono de más de alrededor del 90 % y, si bien son conductores eléctricos, son esencialmente amorfos.

30 Pueden emplearse materiales de revestimiento con el fin de reducir la fricción del cabo de fibras durante el pro



1 ceso y eliminar prácticamente la abrasión de los cabos cuando entran en el sistema. Los revestimientos pueden estar
constituídos por materiales poliméricos adecuados que no inhiben ni afectan al proceso. Entre los polímeros adecuados
5 se encuentran los polímeros de fluoretileno, tal como el politetrafluoretileno (Teflón) y sus copolímeros, y poliéteres de peso molecular elevado, como los polietilenglicoles, etc. Los cabos y velos pueden revestirse con los polímeros en
cualquier momento antes de su introducción en el proceso del
10 invento. Estos materiales de revestimiento pueden emplearse también para proteger los cabos o velos acabados, una vez que se completó el procedimiento descrito anteriormente.

Los filamentos, cabos y velos de fibras carbonosas que pueden utilizarse ventajosamente en el procedimiento del
15 presente invento se preparan carbonizando materiales celulósicos fibrosos que se impregnaron con un haluro higroscópico que forma hidratos y se carbonizaron después a temperaturas de por lo menos 315°C. Estas fibras y los métodos para prepararlas se describen en la solicitud copendiente nº 517.951
20 registrada el 3 de Enero de 1966, concedida al concesionario del presente invento. Los métodos de acuerdo con el presente invento hacen uso de esta etapa de carbonización para obtener fibras carbonosas de mayor calidad que poseen módulos de elasticidad y resistencias a la tracción uniformes
y extraordinariamente elevados. Estas fibras carbonosas
25 presentan propiedades destacadas para algunos fines debido a que se aproximan al máximo teórico de contenido en carbono, con lo cual disminuyen los residuos que se acumulan en el aparato de tratamiento térmico. Estas fibras se pueden precalentar de acuerdo con la etapa A y calentar a altas tempe-
30



1 raturas de acuerdo con la etapa B.

5 La duración del calentamiento por resistencia eléctrica de corto tramo depende de la velocidad del cabo o velo, del voltaje aplicado y del periodo de calentamiento que se
10 desee. La temperatura de calentamiento se regula variando la corriente que pasa a través de las fibras carbonosas. Sin embargo es preferible emplear una longitud de cabo o velo comprendida entre un cuarto y unas seis pulgadas (6,35 y 152,4 mm) y preferentemente entre media y unas dos pulgadas (12,7 y 50,8 mm). Son velocidades de paso adecuadas para los cabos y velos las comprendidas entre unos 2 y 50 pies/minuto (0,61 y 15,25 m/min) y de forma preferente entre unos 5 y 40 pies/minuto (1,52 y 12,20 m/min). A estas velocidades el tiempo de calentamiento total de cualquier punto dado, situado en
15 el tramo corto que se calienta está comprendido entre 1/50 y unos 10 segundos. Los tiempos que intervienen en el procedimiento de este invento son significativamente más cortos que los utilizados hasta ahora bien para quemar las fibras carbonosas o bien para calentarlas y estirarlas con el fin
20 de obtener materiales con elevados módulos de elasticidad y resistencia a la tracción.

25 Aun cuando el invento se ha descrito en términos generales como consistente en calentar cabos simples o porciones de cabos o velos carbonosos, debe señalarse que se pueden utilizar uno o más tramos en cada fase de calentamiento. De acuerdo con esto el material fibroso pirolizado se puede precalentar a temperaturas de hasta unos 1900°C en una o más etapas, por ejemplo, entre dos o más electrodos. Además puede utilizarse más de un cabo en el mismo aparato y a un tiempo.
30 po. Esta pluralidad de tramos, electrodos y cabos puede em-



1 plearse también en las etapas de elevada temperatura y esti-
ramiento. Debe tenerse presente que las velocidades del pro-
ceso y los tiempos de calentamiento son aplicables tanto a
5 las fases de precalentamiento como a las de temperaturas ele-
vadas del invento que se describe, como se mostrará con ma-
yor detalle.

De acuerdo con el invento, al preparar los productos
fibrosos de carbono con módulo de elasticidad y resistencia
a la tracción elevados que se describen aquí, se aplica una
10 tensión al cabo o velo cuando se calienta por encima de unos
2000°C, según se muestra en la etapa C de la Figura 1, con
el fin de estirar las fibras. El estirado se puede efectuar
por cualquiera de los medios apropiados, entre los que se
incluye la aplicación de una fuerza constante sobre el cabo
15 o velo a medida que se va calentando. Aunque este método es
aceptable en muchos casos, las fibras individuales no se es-
tiran uniformemente si, como ocurre generalmente, la porción
de cabo que pasa por la zona de alta temperatura es varia-
ble. De este modo, cuando una porción del cabo de fibras es
20 más débil que otra porción del mismo a una temperatura deter-
minada, sufre un alargamiento mayor que la porción más resis-
tente al estar sometidos a una fuerza constante. Según esto,
este método de estirado da lugar a un producto final que
posee un módulo de elasticidad y una resistencia a la trac-
ción muy mejorados en conjunto, pero también conduce a una
25 heterogeneidad que depende de las variaciones del cabo o ve-
lo que atraviesa el proceso. En muchas aplicaciones hay con-
figuraciones tales que variaciones entre cabos o entre por-
ciones de un solo cabo no son perjudiciales, aun cuando sean
30 muy significativas desde un punto de vista porcentual. Sin



1 embargo, en otras configuraciones, los puntos débiles pueden ser mucho más críticos y las variaciones en resistencia a la tracción no pueden ser inferiores a un valor mínimo pre-fijado.

5 Con otro método, en el que las fibras pueden estirarse según un proceso instantáneo, se logran alargamientos prácticamente constantes y un producto más uniforme que con la técnica de la fuerza constante. Utilizando el método del estira-
10 do constante el grado de estiramiento depende menos de la resistencia de la fibra y de la temperatura específica por encima de la necesaria para un alargamiento determinado, y que es la que se emplea en la etapa de calentamiento. En efecto, la utilización de un estiramiento porcentual constante tiende a compensar las zonas de variación de temperatura y
15 los tamaños de los cabos que resultan de las variaciones en la conductividad y sección transversal de los mismos. Según esto, cuando se emplea esta técnica de estirado constante sobre los cabos de fibras carbonosas, se lograrán mejoras importantes en los módulos de elasticidad y resistencia a la
20 tracción de las fibras. Por otra parte, el método de estirado constante reduce mucho las roturas de los cabos o velos, debido a que las porciones más finas ya no adelgazan una vez que han estirado una cantidad determinada.

25 Del procedimiento del presente invento se derivan ventajas importantes al calentar casi instantáneamente los cabos carbonosos que se mueven continuamente a temperaturas elevadas durante intervalos de tiempo muy breves a la vez que se estiran. El calentamiento inicia el crecimiento de los cristaliticos en tanto que el estirado orienta estos cristaliticos
30 en crecimiento. El procedimiento ofrece ventajas significati-



1 vas sobre los métodos anteriores en los que los cabos de fi-
bras se calentaban desde medio minuto hasta unos diez minu-
tos. Cuando se emplean estos dilatados tiempos de calenta-
5 miento, como se expone en la solicitud nº 580.187; registrada
el 10 de Septiembre de 1966, las estructuras de cristalitos
crecen hasta tamaños tan grandes que el estirado que se rea-
liza durante el calentamiento no es eficaz debido tanto al
tamaño de los cristalitos como a su distribución no uniforme
a lo largo del cabo de fibras. La falta de uniformidad de las
10 fibras producidas por este procedimiento se debe en parte al
hecho de que en un sistema en que se calienta el cabo de fi-
bras carbonosas en el interior de un horno o por otro medio
de calentamiento de tipo radiante, el exterior del cabo fi-
broso se calienta durante un periodo de tiempo mayor y a una
15 temperatura más alta que los del interior del cabo. Puesto
que el crecimiento de los cristalitos se debe, al menos en
parte, a la temperatura que alcanza el carbono, así como al
tiempo en que se mantiene a esa temperatura, y, dado que el
diámetro del cabo fibroso varía de un punto a otro, la dis-
20 tribución de los cristalitos tanto a lo largo como a través
del cabo fibroso no será uniforme sino al azar. Se deduce de
aquí también que el tamaño de los cristalitos será mayor en
las fibras exteriores del cabo que en las del centro. Por
otra parte, los breves periodos de calentamiento instantáneo
25 utilizados en el presente invento permiten a los cristalitos
formarse uniformemente a lo largo de las fibras y del cabo,
debido al calentamiento uniforme a lo largo de la sección
transversal de éste. El tamaño de los cristalitos será rela-
tivamente pequeño debido al corto periodo de calentamiento lo
30 que facilita relativamente el estirado y la orientación con-



1 comitante de los cristalitos.

5 Cuando se procesa de acuerdo con el invento un cabo fi-
broso no conductor, la etapa de precalentamiento se efectúa
calentando por radiación el cabo de fibras manteniendo junto
al cabo no conductor y en íntimo contacto con él un cabo con-
ductor que se calienta a una temperatura suficientemente ele-
vada para que el cabo no conductor adyacente se carbonice
más completamente y se vuelva conductor. Será suficiente un
solo paso de una porción de cabo no conductor junto a una por-
10 ción de cabo conductor que tenga una temperatura superior a
unos 1200°C. Inicialmente cuando se comienza el procesado de
un cabo no conductor, es necesario pasar un pequeño tramo de
cabo conductor junto al cabo no conductor, con lo que el ca-
bo conductor se calienta. Una vez que una parte del cabo no
15 conductor se hace conductora, tendrá temperatura suficiente
para inducir el calentamiento por radiación en la porción de
cabo no conductora contigua que acaba de llegar, con lo que
se calienta por radiación hasta tal punto que se convierte
en conductora, y así sucesivamente de forma continua. De este
20 modo, una vez que una porción de cabo se ha hecho conductor,
puede prescindirse de la fibra iniciadora conductora que se
utilizó para empezar el proceso.

25 Las fibras de carbono de módulos elevados preparadas
según el presente invento poseen módulos de elasticidad com-
prendidos entre 20×10^6 y 70×10^6 libras/pulgada² ($1,41 \times$
 10^6 y $4,92 \times 10^6$ kg/cm²) y resistencias a la tracción gene-
ralmente comprendidas entre 130.000 y 400.000 libras/pulgada²
($9,10$ y $28,12 \times 10^3$ kg/cm²). A fin de obtener resistencias a
la tracción de este orden a partir de fibras carbonosas no
30 conductoras y amorfas, que poseen módulos comprendidos entre



1969

1 unos 3×10^6 y 7×10^6 libras/pulgada² ($2,11$ y $4,92 \times 10^5$
kg/cm²) y resistencias a la tracción entre unas 20.000 y
5 60.000 libras/pulgada² ($1,41 \times 10^3$ y $4,22 \times 10^3$ kg/cm²) de-
ben efectuarse estirados comprendidos entre un 10 % y un
50 % o más, preferiblemente entre un 25 % y un 40 % a tem-
peraturas superiores a unos 2400°C. Es importante que los
cables carbonosos posean un equilibrio adecuado entre el mó-
dulo de elasticidad y la resistencia a la tracción puesto
que un desequilibrio acusado de uno u otro indica un mate-
10 rial fibroso bien demasiado frágil o demasiado elástico. La
ventaja de los cables y velos de fibras carbonosas preferi-
dos, preparados según este invento, es que la relación de mó-
dulo de elasticidad a resistencia a la tracción $\times 10^2$ es in-
ferior a 2,0, lo que indica un producto muy satisfactorio.
15 Más concretamente, la resistencia a la tracción es por lo
menos el 0,5 % del módulo de elasticidad.

En numerosos ejemplos reales, realizados según el pro-
cedimiento del invento, los cables de fibra de carbono se ca-
lentarón ohmicamente a unos 2900°C durante 0,4 segundos, cal-
20 culados tomando como base una velocidad de 20 pies/minuto
(6,09 m/min) y una distancia entre electrodos de 1,5 pulga-
das (38,1 mm) mediante un procedimiento continuo bajo ten-
sión, con lo que las fibras del cable se estiraron un 40 %
aproximadamente. Las fibras resultantes (once muestras) po-
25 seían una resistencia a la tracción media de unas 179.000
libras/pulgada² ($12,58 \times 10^3$ kg/cm²) y un módulo comprendido
entre 25×10^6 y 41×10^6 libras/pulgada² ($1,76 \times 10^6$ y
 $2,88 \times 10^6$ kg/cm²) (promedio $32,2 \times 10^6$ libras/pulgada² -
 $1,56 \times 10^6$ kg/cm²). El material del cable de partida poseía
30 una resistencia a la tracción media de 40.000 libras/pulgada²



1069

1 (2,81 x 10³ kg/cm²) y un módulo medio de 5 x 10⁶ libras/pulgada² (3,51 x 10⁵ kg/cm²).

5 Cuando se emplea un método de estirado a fuerza constante los expertos en esta técnica pueden determinar con facilidad el peso necesario para alargar un cabo determinado de fibra carbonosa a temperaturas adecuadas. De forma análoga, cuando se utiliza un método de estirado constante, puede determinarse también fácilmente la variación de la velocidad de arrollado opuesta a la velocidad de entrada del cabo de
10 fibras carbonosas con el fin de obtener este alargamiento. Debe entenderse que el aumento específico del módulo y de la resistencia a la tracción dependerá principalmente del grado de estirado a que se somete el cabo de fibras que a su vez estará limitado por la rapidez y la temperatura a la que están sometidos los cabos en el proceso de calentamiento a tem-
15 peraturas elevadas. Las condiciones óptimas para los distintos tamaños y tipos de cabos o velos de fibras pueden variar con lo que se logran resistencias determinadas diferentes útiles según las aplicaciones a que se destinan.

20 Incluso cuando las fibras no se estiran simultáneamente con la etapa de calentamiento eléctrico a temperatura elevada, pueden obtenerse mejoras de los productos. Así en numerosos ejemplos reales, los cabos de fibra carbonosa se calientan por inducción en un horno a 2400^oC durante aproximadamente 1
25 hora. Los cabos resultantes poseen una resistencia media a la tracción de 81.000 libras/pulgada² (5,69 x 10³ kg/cm²) y un módulo medio de 5,3 x 10⁶ libras/pulgada² (3,73 x 10⁵ kg/cm²). Por otro lado, los mismos cabos de fibras carbonosas calentados ohmicamente a unos 2400^oC entre 0,5 y 10 segundos
30 de acuerdo con el invento, poseen una resistencia a la trac-



1967

1 ción media de 110.000 libras/pulgada² ($7,73 \times 10^3$ kg/cm²) y
un módulo medio de $11,4 \times 10^6$ libras/pulgada² ($8,05 \times 10^5$
kg/cm²).

5 En la Figura 2 se muestra un método completo para tra-
tar cabos carbonosos con el fin de lograr fibras de módulo
y resistencia a la tracción uniformes y elevados. De acuer-
do con las características del procedimiento expuestas an-
teriormente y representadas en aquel esquema, se piroliza
10 un cabo o velo de fibras a una temperatura de por lo menos
310°C en una atmósfera inerte (etapa 1). El cabo de fibras pi-
rolizado se precalienta a continuación a temperaturas com-
prendidas entre unos 800° a 1900°C con el fin de eliminar
los productos volátiles. Una vez que el cabo pirolizado se
vuelve conductor eléctrico, puede calentarse ohmicamente en-
15 tre electrodos a una temperatura comprendida entre unos 800°
y 1900°C (etapa 2) y a continuación se le somete directamen-
te a un calentamiento a temperatura elevada (etapa 3). Si el
cabo de fibra pirolizado no es suficientemente conductor, se
calienta por radiación con la porción de cabo contigua ca-
20 lentada ohmicamente a una temperatura comprendida entre unos
800° y 1900°C, con lo que la parte de cabo no conductora se
vuelve conductora. Seguidamente el cabo precalentado se ca-
lienta ohmicamente de forma continua por encima de 2000°C du-
rante unos 10 segundos (etapa 3). La fibra se estira simultá-
25 neamente entre un 10 % y un 50 % con lo cual los cristalitos
que se forman se orientan aumentándose con ello la resisten-
cia del cabo de fibra (etapa 4).

Los aparatos para procesar de acuerdo con el invento
los cabos o velos pueden adoptar diversas formas por cuanto
30 pueden variarse en detalles particulares con el fin de lo-



1944

1 grar características diferentes de los diversos tipos de pro-
ductos con que se opera. Por ejemplo, puede interesar que
las características físicas sean óptimas, o bien hacer ópti-
ma la velocidad de producción aun cuando las características
5 físicas, si bien mejores, no sean las óptimas. Es importante
el estado del material de partida proporcionado, puesto que
éstos materiales pueden tener un porcentaje mayor o menor de
carbono, dependiendo del tratamiento previo. En general, los
10 materiales que se procesan deberán estar en forma de cabos,
aplicándose normalmente el término "cabo" a los filamentos,
hilos, cordelería y análogos. Sin embargo es también facti-
ble procesar materiales en forma de velo, incluyendo cintas,
tejido tubular estrecho y formas similares. Se ilustran y des-
criben para distintos fines diversos mecanismos y aparatos,
15 si bien se apreciará que se dan únicamente a título de ejem-
plo y que pueden realizarse numerosas modificaciones y va-
riaciones de acuerdo con el concepto del invento.

El mecanismo para cabos o velos de la Figura 3 hace re-
ferencia a un sistema a fuerza constante para procesar mate-
20 riales carbonosos. El producto carbonoso 10, que aquí se ilus-
tra en forma de cabo, es suministrado por la aspadera alimen-
tadora 12 y se pasa a través del sistema a un arrollador 14.
Tanto la aspadera alimentadora 12 como el arrollador 14 es-
tán aislados del resto del sistema, en el sentido de que no
25 se utilizan para introducir o ajustar las fuerzas a lo largo
del cabo 10. Así la aspadera alimentadora 12 puede simplemen-
te estar montada para que gire y estar sometida a una lige-
ra fuerza de fricción cuando se desee frenarla, en tanto que
el arrollador 14 va movido por un motor 15 que ejerce una li-
30 gera torsión constante para que el cabo 10 se recoja unifor-



1069

1 mamente a medida que pasa a través del sistema. El aisla-
miento mecánico del resto del sistema de las devanaderas 12
y 14 se asegura mediante un tren de poleas motrices 16 y 17,
constituído cada uno por un conjunto de tres poleas motri-
5 ces situadas muy próximas entre sí, a través del cual el ca-
bo 10 sigue un camino tortuoso.

10 El primer grupo de poleas motrices 16 se halla contiguo
a la aspadera alimentadora 12, y cada una de las poleas mo-
trices es movida a través de una transmisión por correa con-
vencional 18, por un motor de velocidad variable 19 que se
ajusta para que el cabo 10 pase a la velocidad de alimenta-
ción seleccionada. El segundo conjunto de poleas motoras 17
está análogamente movido, a través de una transmisión por
correa 21, por un motor de velocidad variable 22 que puede
15 ajustarse con una velocidad de arrollamiento conveniente.
El elevado ángulo de arrollamiento en torno a las poleas in-
dividuales y la longitud relativamente grande de la superfi-
cie de contacto con las poleas, distribuye las fuerzas que
actúan sobre el cabo 10 de modo que se absorben las variacio-
20 nes transitorias y se evitan fuerzas de carga concentradas.

25 El cabo 10 va guiado a la entrada y salida del recinto
prácticamente cerrado en el que existe una atmósfera inerte,
representado generalmente como un recipiente en forma de cam-
pana 23, a través de cuya base 24 existen unas pequeñas
guías con aperturas de baja fricción 25 y dos ruedas guías
26 y 27 situadas adecuadamente. Para purgar el recinto de
oxígeno y mantener una atmósfera inerte dentro de la campa-
na 23, se conecta el conducto 28 unido a la campana 23 a
una fuente 30 con presión positiva de nitrógeno.

30 A lo largo del recorrido del cabo 10 se sitúan dos pares



1949

1 independientes de electrodos de roldana. En la rama ascen-
dente del cabo 10 se situa un par de electrodos de roldana
precalentadores 32 y 33, cada uno de los cuales puede girar
sobre un elemento de soporte representado aquí como un pa-
5 nel 35. Los electrodos de roldana precalentadores 32 y 33
están constituidos por un material de conductividad eléctri-
ca muy elevada tal como cobre, aun cuando pueden fabricarse
también de latón, aluminio, grafito u otros materiales simi-
lares. Cada electrodo de roldana recibe la corriente a tra-
10 vés de un anillo deslizante conductor 37 y una escobilla
estacionaria conectora 38, u otro elemento de contacto, pro-
porciona la conexión externa, a través de conductores ade-
cuados, con una fuente externa de potencia 40, representada
aquí como fuente de corriente alterna.

15 El circuito eléctrico entre los electrodos de roldana
32 y 33 se cierra a través del cabo 10 y pasa a través de
un dispositivo de ajuste de intensidad 42, tal como una re-
sistencia graduable, un transformador o un potenciómetro en
serie con la fuente de potencia 40. La potencia aplicada se
20 mide por un dispositivo sensible a la corriente 43, que pue-
de ser un amperímetro clásico. No es necesario emplear una
fuente de corriente alterna, si bien para la mayoría de los
fines se hallará que una fuente clásica de 110 voltios y
60 ciclos de salida suministra una potencia adecuada a los
25 objetivos que se describen más adelante. También puede uti-
lizarse eficazmente una fuente de corriente continua. Media-
te la rueda guía 44 que se halla en el interior de la campa-
na 23 contigua a la guía de apertura 25 situada sobre la
base 24 y la rueda intermedia envolvente 46 en torno a la
30 que gira el cabo 10 al dirigirse hacia el par de electrodos



1949

1 de roldana a elevada temperatura 48 y 49, se mantiene un ángulo de arrollamiento relativamente pequeño pero adecuado en torno a los electrodos de roldana de precalentamiento 32 y 33. Como se describió al referirse a los electrodos de roldana de precalentamiento 32 y 33, los electrodos de roldana a elevada temperatura 48 y 49 son ambos de material conductor y forman circuito eléctrico con una fuente de energía de corriente alterna 50, efectuándose el contacto a través de los anillos conductores deslizantes 37 y los elementos de contacto 38.

5
10 Como se describió previamente, el circuito de elevada temperatura está constituido por el cabo 10 y un dispositivo de ajuste de corriente 52 en serie con los electrodos de roldana individuales 48 y 49 y el generador de energía 50. En este circuito se utiliza también un dispositivo de medida de corriente independiente 53. Desde el par de electrodos de roldana de elevada temperatura 48 y 49, el cabo 10 sale de la campana 23 a través de dos rodillos de tensión 55, 56 y pasa a la rueda guía de salida 26.

15
20 Se mantiene una tensión determinada a lo largo de toda la longitud del cabo 10 mediante un sistema mecánico sesgado entre la rueda guía 26 de salida y el segundo grupo de poleas motrices 17.

25
30 Es conveniente que este sistema comprenda una rueda intermedia envolvente 58 montada en una relación fija con el sistema y una rueda sesgada 60, con movimiento mecánico vertical dispuesta como un elemento que gira libremente, del cual cuelga un peso adecuado ajustable 61. El peso 61 introduce una fuerza de tensión controlada sobre el cabo 10, y esta fuerza se ejerce en toda la longitud del cabo 10 dentro



1 de la campana 23.

5 En el funcionamiento del sistema de la Figura 3 se man
tiene una velocidad diferencial determinada entre el primero
y segundo tren de poleas motrices 16,17, manteniéndose el
5 segundo tren de poleas motrices 17 a una velocidad superior
suficiente para arrollar el cabo estirado 10 que pasa a tra
vés del sistema. De este modo el cabo 10 sale de la aspadera
alimentadora 12 frenada por fricción, entra en la campana 23
de donde se retira después del tratamiento incluyendo el es-
10 tirado para enrollarse en torno al arrollador 14. La fuente
de nitrógeno con presión positiva 30 mantiene una atmósfera
inerte en el interior de la campana 23 a través de la cual
pasa el cabo 10 bajo una tensión determinada debida a la
acción del peso 61.

15 El material del cabo 10 procedente de la aspadera ali-
mentadora 12 contiene un elevado porcentaje de carbono amor-
fo. En general el material del cabo está constituido por un
hilo obtenido por pirolisis de un material de partida de ra-
yón, realizándose ésta a una temperatura tal que el contenido
20 en carbono exceda del 70 % al 80 %. Este material posee baja
resistividad eléctrica, que se reduce más adelante de forma
sustancial por tratamiento del cabo a temperaturas superio-
res. Para incrementar la resistencia para los fines del pro-
ceso de reducir los problemas de abrasión y desgaste, se pue-
25 de revestir el cabo 10 con un material adecuado de baja fric-
ción como un apresto o Teflón. Es preferible eliminar median-
te el par de electrodos precalentadores de roldana 32, 33
los materiales de recubrimiento orgánicos o inorgánicos de
este tipo. La corriente que pasa a través del cabo 10, y en
30 consecuencia la temperatura del cabo 10, se ajustan variando



1 el dispositivo de ajuste de corriente 42 para mantener la
longitud corta del cabo entre los electrodos precalentadores
32, 33, a una temperatura comprendida entre 800 y 1900°C.
Por la acción de precalentamiento se eliminan eficaz y total-
5 mente por descomposición los materiales de la superficie con
lo que se reduce la resistividad eléctrica a medida que se
incrementa el contenido en carbono.

El cabo 10 limpio se pasa a continuación bajo tensión
según se describió, entre los electrodos de roldana de eleva-
10 da temperatura 48, 49. Aquí circula a través del cabo 10 su-
ficiente intensidad de corriente para llevarlo a una tempera-
tura notablemente superior, v.g. 2000°C o más. Con este dis-
positivo se logra un calentamiento bajo tensión casi instan-
táneo de un corto tramo, que se ha comprobado es el que le co-
15 munica las propiedades adecuadas de elasticidad y resisten-
cia a la tracción. Con un espaciado relativamente pequeño de
los electrodos de roldana 48, 49, de por ejemplo 1,5 pulga-
das (38 mm) y una velocidad de aproximadamente 25 pies/minu-
to (7,62 m/min) se eleva la temperatura, se tensa y se enfría
20 la longitud del cabo 10 que se encuentra en la zona crítica
de operación en un intervalo de tiempo extraordinariamente
corto, del orden de 0,3 segundos o menos. De este modo, en
una longitud elemental del cabo 10 se calienta la totalidad
de su espesor lo que induce el crecimiento de los cristalitas
25 al tiempo que éstos se hacen móviles. Las fuerzas de tensión
aplicadas estiran el cabo 10 a la vez que tienden a alinear
los cristalitas. Este alargamiento es del orden de hasta un
50 % aun cuando puede aumentarse más en las condiciones ade-
cuadas que se describirán más adelante. Sin embargo virtual-
30 mente cualquier alargamiento es beneficioso para aumentar la



1969

1 resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad.

5 Debe destacarse que el calentamiento óhmico del tramo corto realizado de este modo ejerce por lo menos varios efectos importantes. Todas las fibras del cabo o velo se
10 calientan prácticamente por igual, debido a que, aun cuando no se encuentren en contacto directo con los electrodos, se hallan en íntimo contacto entre si y reciben corriente, y también se calientan por radiación de las fibras contiguas. En ambos extremos del tramo corto existe un gradiente de temperatura extraordinariamente elevado, aumentando la temperatura del cabo desde prácticamente la ambiente a la temperatura máxima en una fracción de pulgada y disminuyendo en el extremo opuesto del tramo. Prácticamente toda la zona intermedia del cabo se encuentra a la temperatura deseada, la cual no solamente es muy elevada sino que también es casi uniforme y fácil de controlar. El choque térmico producido por el calentamiento de las fibras hasta mucho más de 2000°C dentro de un intervalo de tiempo de 1/50 de segundo no ejerce un efecto perjudicial sobre las fibras carbonosas.

15
20 En el mecanismo de la Figura 4 se calienta un corto tramo de material carbonoso bajo tensión, pero se logran numerosas ventajas particulares que en algunos aspectos difieren de las que proporciona el dispositivo de la Figura 3. Para brevedad y claridad de la representación se ha omitido en el dispositivo de la Figura 4 el mecanismo para mantener una atmósfera inerte. Asimismo no se representan tampoco con detalle los mecanismos de alimentación y recogida del cabo. La disposición mostrada en la Figura 4 permite utilizar tanto la técnica de fuerza constante como la de estirado constante, suministrándose el cabo mediante un meca-

25
30



1000

1 mismo de arrollado de velocidad graduable 66, utilizándose
una diferencia de velocidades apropiada para alargar el ca-
bo 10 durante el proceso en condiciones de régimen estacio-
nario. Al arrancar puede utilizarse un dispositivo de fuerza
5 constante interponiendo temporalmente en el sistema de reco-
gida del cabo una polea con un peso, según se describió al
referirse a la Figura 3.

10 El cabo 10 que se somete a proceso, al que aquí nos
referimos como cabo 10 principal, pasa en este dispositivo
a un juego de tres electrodos de roldana 68, 69, 70, proce-
dente de una polea tensora de entrada 67 y se le conduce des-
de los electrodos 68, 69, 70, siguiendo una trayectoria ade-
cuada, a través de un conjunto de tres poleas tensoras de sa-
lida 72, 73, 74. Los tres electrodos de roldana 68, 69, 70
15 son de un material conductor apropiado y tienen conexiones
eléctricas con una fuente externa 76, representándose estas
conexiones esquemáticamente para mayor simplicidad. Es ven-
tajoso, aunque no necesario, disponer los electrodos 68, 69
y 70 aproximadamente en línea, con una distancia entre los
20 centros relativamente corta, de aproximadamente unas 2,5 pul-
gadas (63,5 mm) para el primer par de electrodos 68, 69 y de
aproximadamente 1,5 pulgadas (38,1 mm) para el segundo y ter-
cer electrodos de roldana 69, 70. Las conexiones del circuito
con la fuente de corriente alterna 76 se efectúan de forma
25 que el electrodo central 69 se encuentre con un potencial
opuesto al de los electrodos de los extremos 68, 70. De este
modo existen dos circuitos de energía independientes en los
que la corriente se varía mediante los dispositivos de ajus-
te de corriente independientes 78, 79 con sus correspondien-
tes aparatos de medida de corriente 81, 82.
30



1969

1 El cabo principal 10 que se procesa pasa en torno al
primero y segundo electrodos de roldana 68, 69, por lo me-
nos una vez para formar un bucle completo. El número de bu-
cles formados alrededor del primero y segundo electrodos de
5 roldana 68, 69 puede ser mayor, y si se desea estos electro-
dos de roldana 68,69 pueden desplazarse axialmente uno con
respecto a otro para guiar el cabo 10 según distintas trayec-
torias predeterminadas a medida que recorre vueltas consec-
tivas. Una vez que el cabo principal 10 abandona el primero
10 y segundo electrodos de roldana 68, 69, atraviesa el elec-
trodo de roldana 70 y llega a las poleas tensoras de sali-
da 72,74.

En conjunción con este montaje, puede emplearse tam-
bién un cabo iniciador 84 que acompaña al cabo principal 10
15 recorriendo su misma trayectoria de forma continua. El cabo
iniciador 84 se representa independientemente, aunque en la
realidad puede hallarse en contacto con el cabo principal 10
a lo largo de todo el sistema, excepto en el arrollamiento
de la aspadera alimentadora y arrollador. El cabo inicia-
20 dor 84 puede también formar varios bucles alrededor de los
electrodos de roldana primero y segundo 68, 69 para lograr
un mejor contacto.

El mecanismo de la Figura 4 se utiliza en conjunción
con una operación de pirolisis inicial que proporciona las
25 etapas finales en la fabricación de materiales carbonosos
uniformes y de elevada resistencia mecánica. Mediante su uti-
lización, el material del cabo principal 10 puede ser un ma-
terial de alto límite de elasticidad resultante del empleo
de las etapas iniciales de pirolisis en el proceso descrito
30 en la solicitud de patente nº 517951, registrada el 3 de Ene



49

1 ro de 1966. Sin embargo, el tratamiento térmico descrito en
conjunción con este procedimiento puede concluirse en un in-
tervalo comprendido entre 350°C y 500°C y después de tiempos
de calentamiento relativamente cortos. Una de las desventajas
5 encontradas hasta ahora al utilizar la técnica del límite
elástico elevado era que las fibras procesadas finalmente re-
sultaban relativamente débiles y frágiles. Sin embargo, de
acuerdo con el presente invento, las fibras económicamente
producidas de elevado límite elástico se convierten en fi-
bras de alta resistencia si el proceso de carbonización se
10 completa con un aparato como el mostrado en la Figura 4.

Después de haber concluido las etapas iniciales de pi-
rolisis a aproximadamente 350°C, las fibras no han sido tra-
tadas el tiempo suficiente o a temperatura suficiente para
15 que se vuelvan conductoras de la electricidad. El contenido
en carbono del material de alimentación del aparato es apro-
ximadamente del 70 %. Aun cuando el contenido en carbono pue-
de ser un poco superior al 70 % (según se ha determinado por
análisis químicos y espectrográficos), no tendrá sin embargo
20 una conductividad eléctrica importante. Por esto, cuando se
conecta la potencia, la diferencia de potencial entre el pri-
mero y el segundo electrodos de roldana 68, 69 permite sola-
mente el paso de una corriente muy pequeña insuficiente pa-
ra calentar el cabo principal 10. Sin embargo el cabo ini-
ciador 84 está constituido por un material eléctricamente
25 conductor con alto contenido en carbono que se calienta por
tanto a un nivel, normalmente 1000°C o más, que emite ener-
gía radiante. El cabo iniciador caliente 84 calienta a su
vez por radiación al cabo principal 10 a los pocos segundos
de suministrada la energía. Al aumentar la temperatura en
30



1 el cabo principal 10 se reduce marcadamente la resistividad
del material carbonoso de este cabo. En consecuencia, el ca-
bo principal 10 se hace suficientemente conductor para el ca-
lentamiento óhmico para permanecer después continuamente efi-
5 caz, con lo que el cabo iniciador 84 puede ser retirado.

Dependiendo del número de bucles que se forman alre-
dedor de los electrodos de roldana primero y segundo 68, 69,
se calientan distintas longitudes del cabo principal 10 (en
general únicamente dos). Este calentamiento equivale a un
quemado instantáneo o etapa final de calentamiento por piro-
lisis que completa eficazmente la pirolisis de las fibras y
eleva el contenido en carbono a más del 90 % al tiempo que se
reduce notablemente la resistividad. Inmediatamente después,
las fibras del cabo principal 10 se someten al calentamiento
15 de un corto tramo entre el segundo y tercer electrodos de rol-
dana 69, 70. Con un ajuste adecuado del dispositivo gradua-
ble de corriente 78, la temperatura alcanza en este segundo
tramo corto un valor superior a 2000°C. El estirado constante
a que se somete el cabo 10 en caliente, debido a las distin-
tas velocidades de los mecanismos de alimentación y arrolla-
do 65, 66, comunica las propiedades de resistencia a la trac-
ción adecuadas, según se describió previamente.

En el dispositivo de la Figura 5 se muestra un mecanis-
mo de tensión o estirado constante que mejora la uniformidad
del producto resultante y disminuye el número de roturas del
cabo. La aspadera de alimentación 86 y el arrollador 87 se
mueven con velocidades distintas mediante motores de veloci-
dad variable independientes 89, 90, regulado cada uno de ellos
por un control de velocidad variable 92, 93 que responde a
25 las velocidades a las que el cabo 10 se retira o alimenta.
30



1 Cada uno de los sistemas de control de velocidad están cons-
tituidos por una polea que gira libremente 94 de la cual pen-
de un peso 95, estando el mecanismo de la polea unido a un
5 brazo giratorio 97 que actúa sobre el control de velocidad
del motor particular 92 ó 93. Las velocidades de los moto-
res de alimentación y arrollamiento 89, 90 se varían de for-
ma tal que tiendan a mantener constantes las posiciones de
la polea 94 y el movimiento del cabo 10 se controla por tam-
bores de mando según se describió anteriormente.

10 En esta instalación se emplean dos dispositivos de
calentamiento de tramos cortos. Como ya se indicó, estos dis-
positivos se mantienen en un ambiente inerte, que no se re-
presenta para mayor simplicidad. Se sitúan a la entrada del
cabo un par de electrodos de roldana precalentadores 100,
15 101. La fuente de corriente regulable 103 de los electrodos
precalentadores 100, 101 se ajusta para que suministre la
corriente suficiente para precalentar el tramo corto inter-
medio del cabo a aproximadamente 800°C. Este precalentamien-
to tiene por objeto descomponer los recubrimientos superfi-
20 ciales así como también incrementar la conductividad eléc-
trica.

Los electrodos principales del aparato de la Figura 5
están constituidos por un par de electrodos de roldana en
forma de varilla 105, 106 que no se encuentran paralelos si-
25 no que están ligeramente oblicuos formando una transmisión
Godet. Junto a cada uno de los electrodos principales 105,
106 se sitúa un par de tambores de mando distintos 108, 109.
El cabo 10 envuelve varias veces a los electrodos de vari-
lla 105 ó 106 y a sus correspondientes tambores de mando 108
30 ó 109 de forma que la ligera oblicuidad de los electrodos



1969

1 de varilla separa entre sí los bucles adyacentes. El primer
tambor de mando 108 a lo largo del recorrido de la cinta
gira a una velocidad determinada mediante un motor de veloci-
dad regulable 111, y el segundo tambor de arrastre se mueve
5 también a una velocidad determinada, si bien superior, me-
diante un segundo motor regulable 112. Una vez que el cabo
10 abandona el segundo electrodo de varilla 106, sale a tra-
vés de una rueda guía 114 al sistema de arrollado.

10 Después del precalentamiento circula por el tramo cor-
to del cabo 10 comprendido entre los electrodos de varilla
105, 106, una elevada intensidad de corriente al tiempo que
se somete el cabo 10 a un estirado prácticamente constante .
Los diámetros relativamente grandes de los tambores de mando
108, 109 y la diferencia constante de velocidades entre ellos
15 aseguran un estirado uniforme evitando esfuerzos concentra-
dos perjudiciales. Cuando los materiales carbonosos han sido
sometidos a la técnica de pirolisis es difícil de evitar la
falta de uniformidad del cabo 10. Sin embargo con la técnica
de estirado constante, los puntos más delgados o débiles no
20 se tensan hasta el punto de rotura.

25 En la Figura 6 se muestra otro tipo diferente de sis-
tema de estirado constante. Al igual que en el sistema de la
Figura 5, la aspadera alimentadora y el arrollador 86, 87 se
mueven con controles de motor independientes 92, 93 que se
ajustan para que mantengan constantes las posiciones de las
poleas con el peso 94. A la entrada, el cabo 10 pasa entre
un par de electrodos de roldana precalentadores 120, 121 y
rodea al par sucesivo de tambores 123, 124 según una trayec-
toria que forma un ángulo de arrollamiento apreciable en tor-
30 no a los tambores 123, 124. El primer tambor de mando 123



1469

1 gira libremente aun cuando está conectado a un mecanismo de
freno eléctrico 126 accionado por un brazo de palanca 128.
El cabo 10 pasa en torno al segundo tambor de mando 124, a
5 continuación por los electrodos de roldana principales 130,
131 y rodea al tercer y cuarto tambor de mando 134, 135. El
segundo, tercero y cuarto tambores de mando 124, 134, 135
están accionados por un motor 136 a través de correas inde-
pendientes 138, 140, con una diferencia de velocidades deter-
minada entre el segundo y el tercer tambor 124, 134. Las co-
10 rreas 138 y 140 son del tipo de transmisión por cadena o po-
lea.

La diferencia de velocidad entre el segundo y tercer
tambor de mando 124, 134 durante el calentamiento principal
del cabo 10 proporciona el alargamiento constante deseado
15 del cabo. El control de la velocidad del cabo 10 depende so-
lamente del ajuste del esfuerzo de frenado aplicado al tam-
bor 123 mediante el freno eléctrico 126. En el caso en que
se produzca deslizamiento sobre el tambor de mando 124, se
acciona el freno eléctrico 126 para frenar el cabo 10 e in-
20 crementar el rozamiento del cabo sobre el tambor 124, lo que
fuerza al cabo 10 a mantener la velocidad del tambor de man-
do 124.

Aun cuando se han descrito e ilustrado en los esque-
mas varios métodos y aparatos según el invento, debe enten-
25 derse que el invento no está limitado a lo expuesto aquí,
sino que abarca todas las modificaciones y variaciones que
caen dentro del campo de las Reivindicaciones del Apéndice.





REIVINDICACIONES

1
5
10
15
20
25
30

1. Un aparato para reforzar materiales carbonosos en forma de cabos o velos que está constituido por: medios de alimentación y arrollamiento de material, pasando entre ellos dicho material; un par por lo menos de electrodos de roldana, siendo dichos electrodos eléctricamente conductores y estando montados de forma que giran en la trayectoria del material entre los medios de alimentación y arrollamiento, estando en contacto dichos electrodos con extremos opuestos de un tramo del material; y medios de suministro de energía, conectados a dichos electrodos de roldana para cerrar un circuito eléctrico entre los electrodos y el tramo del material.

2. Un aparato según la Reivindicación 1 en el que dicho tramo es relativamente corto y en el que dichos medios de suministro de energía hacen pasar una corriente suficiente a través de dicho tramo para incrementar la temperatura del mismo hasta por encima de 2000°C.

3. Un aparato según la Reivindicación 1 que comprende por lo menos dos pares de electrodos de roldana - espaciados en forma sucesiva a lo largo del recorrido del material, y medios de suministro de energía para cerrar un circuito eléctrico a través del tramo de material y los electrodos de cada par, circulando por el primer tramo una intensidad de corriente suficiente para elevar la temperatura del tramo entre 400° y 1900°C., y recibiendo el segundo tramo intensidad suficiente para calentarlo por encima de unos 2000°C.

4. Un aparato según la Reivindicación 1 que com-



1 prende además medios que incluyen por lo menos un elemen
to giratorio contiguo a dicho par de electrodos de rol--
dana para mantener una trayectoria del material que se -
extiende entre dichos medios de alimentación que separa
5 dichos electrodos y medios situados a lo largo de la tra
yectoria del material y en contacto con el mismo para -
mantener el material en tensión entre dichos electrodos.

10 5. Un aparato según la Reivindicación 4 en que los
últimos dispositivos mencionados mantienen una tensión -
suficiente para estirar el material entre un 10% y un -
50% aproximadamente.

15 6. Un aparato según las Reivindicaciones 1-3 que
está constituido además por un primer sistema de arras-
tre del cabo para recibir a éste procedente del sistema
de alimentación; sistemas para rodear el par de electro-
dos y establecer en torno a ellos una atmósfera inerte;
un segundo aparato de arrastre que recibe el cabo proce-
dente de los electrodos de roldana y lo pasa al sistema
de arrollado; y medios situados a lo largo de la trayec-
20 toria del cabo contiguos al par de electrodos de roldana
para ejercer una fuerza prácticamente constante sobre el
cabo.

25 7. Un aparato según la Reivindicación 6 en el que
el primer sistema de arrastre del cabo está situado en -
la trayectoria del mismo entre el sistema de alimentación
y los electrodos de roldana y el segundo sistema de arras-
tre está interpuesto entre los electrodos de roldana y
medios de arrollado, incluyendo cada uno de dichos siste-
mas de arrastre por lo menos dos elementos giratorios en
30 torno a los que se enrolla el cabo con un ángulo de arro



1969

1 llamamiento apreciable y sistemas para mover dichos elec-
trodos a una velocidad determinada, y en el que para que
dichos medios ejerzan una fuerza prácticamente constante,
comprenden un sistema de polea con un peso, dispuesto
5 sobre el cabo entre dichos electrodos de roldana y el se-
gundo sistema de arrastre del cabo.

8. Un aparato según las Reivindicaciones 6 ó 7 en
el que se incluyen medios para hacer girar dicho siste-
ma de arrastre a una velocidad diferencial de una sexta
10 parte, de forma que se comunica un estirado prácticamen-
te constante al cabo; y medios de arrollamiento para re-
coger el cabo.

9. Un aparato según las Reivindicaciones 6-8 en el
que además se dispone un par de electrodos precalentado-
res a lo largo de la trayectoria del cabo entre el sis-
tema de alimentación y el primer sistema de arrastre, y
15 en el que se conectan a dichos electrodos de roldana,
dispositivos de ajuste de intensidad para pasar la co-
rriente a través del cabo que se extiende entre dichos
20 electrodos precalentadores, y en el que el sistema de
control de velocidad variable, primero y segundo, se -
conecta respectivamente a dichos medios de alimentación
y arrollado del cabo, incluyendo cada uno de estos sis-
temas de control de velocidad variable unos medios para
25 formar un arrollamiento con una longitud de bucle varia-
ble, motores regulables para mover los sistemas de ali-
mentación y arrollado del cabo y medios para variar la
energización de dicho motor y la respuesta a la longi-
tud del bucle.

30 10. Un aparato según las Reivindicaciones 6-9 en



1 el que dicho primer sistema de arrastre está constituido
por un primer par de electrodos separados, en el que di-
cho segundo par del sistema de arrastre está constituido
por un segundo par de electrodos separados y en el que -
5 dicho aparato comprende también un motor único para di-
chos primero y segundo sistemas de arrastre, y sistemas
de arrastre por correa acoplados al citado motor y al -
primero y segundo sistemas de arrastre para mantener en-
tre ellos una relación previamente establecida de veloci-
10 dades.

11. Un aparato según la Reivindicación 10 que com-
prende un mecanismo de fuerza variable acoplado a uno de
los elementos de arrastre de dicho primer sistema de arras-
tre y un dispositivo de freno eléctrico que actúa selec-
15 tivamente accionando los mencionados sistemas de fuerza
variable.

12. Se reivindica por último como objeto sobre el -
que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita:
20 UN APARATO PARA REFORZAR MATERIALES CARBONOSOS EN FORMA
'DE CABOS O VELOS.

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la
presente Memoria descriptiva que consta de treinta y ocho
páginas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

25 Madrid, 13 de Marzo de 1969

BERNARDO UNGRIA
p.p.

30



13 MAR 1969

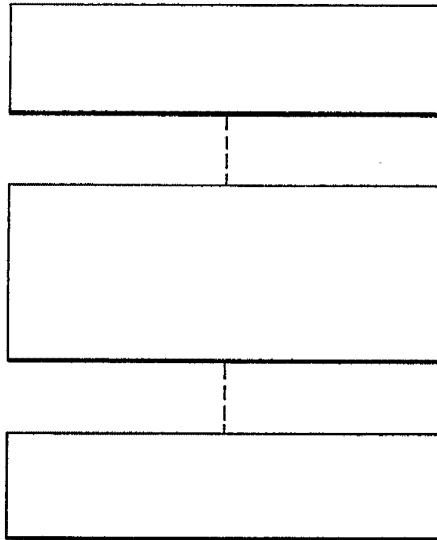


FIG.-1

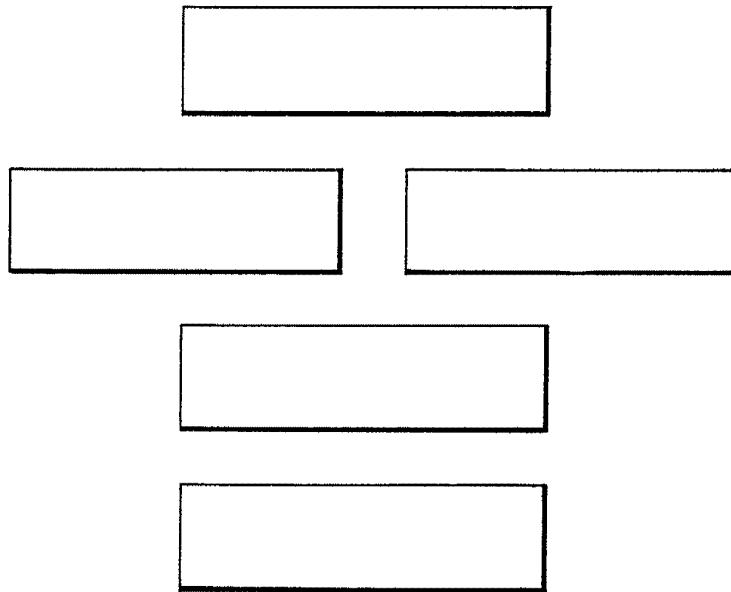


FIG.-2 ESCALA VARIABLE
MADRID, 13 DE marzo DE 1969
BERNARDO UNGRÍA
P. P.

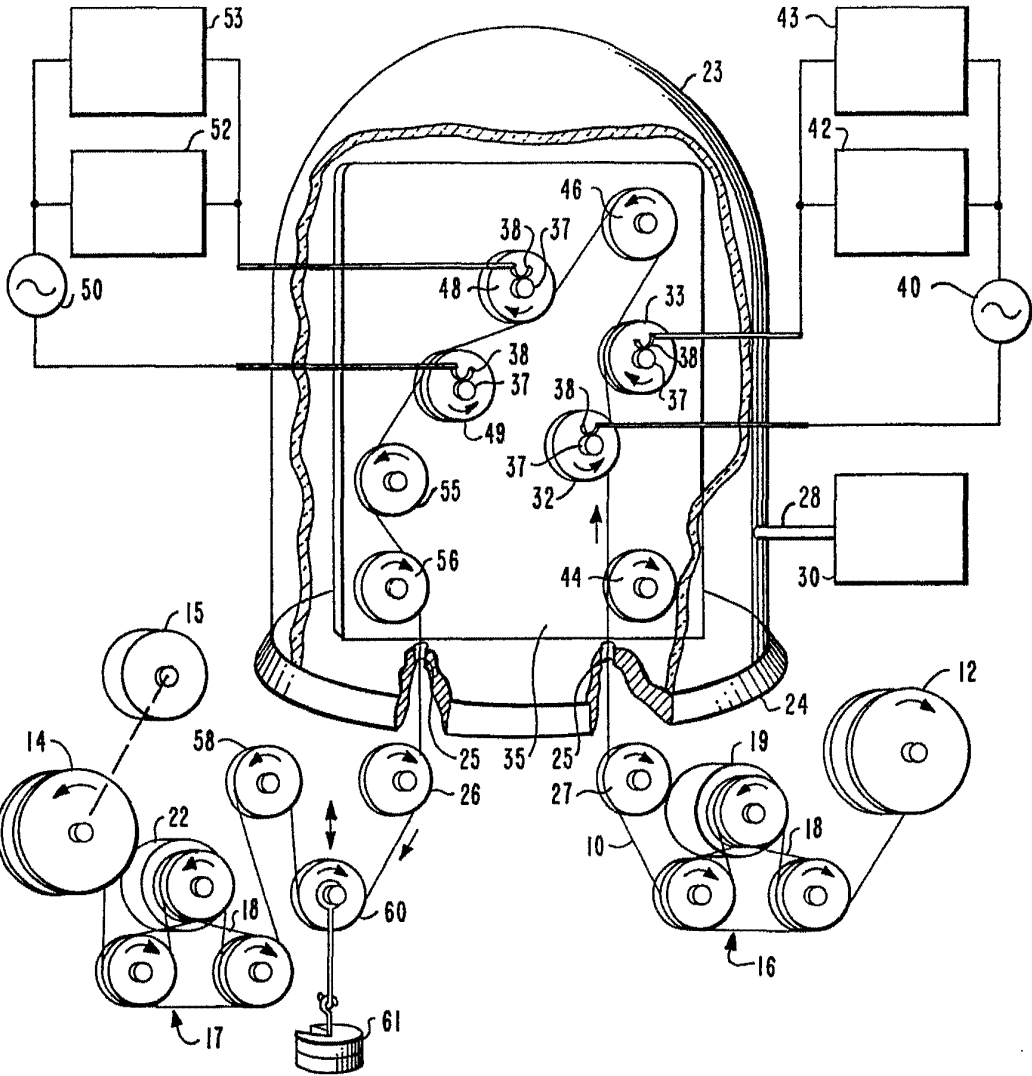


FIG.- 3

ESCALA VARIABLE
MADRID, 13 DE marzo DE 19 69

BERNARDO GONZÁLEZ

P. P. MADRID

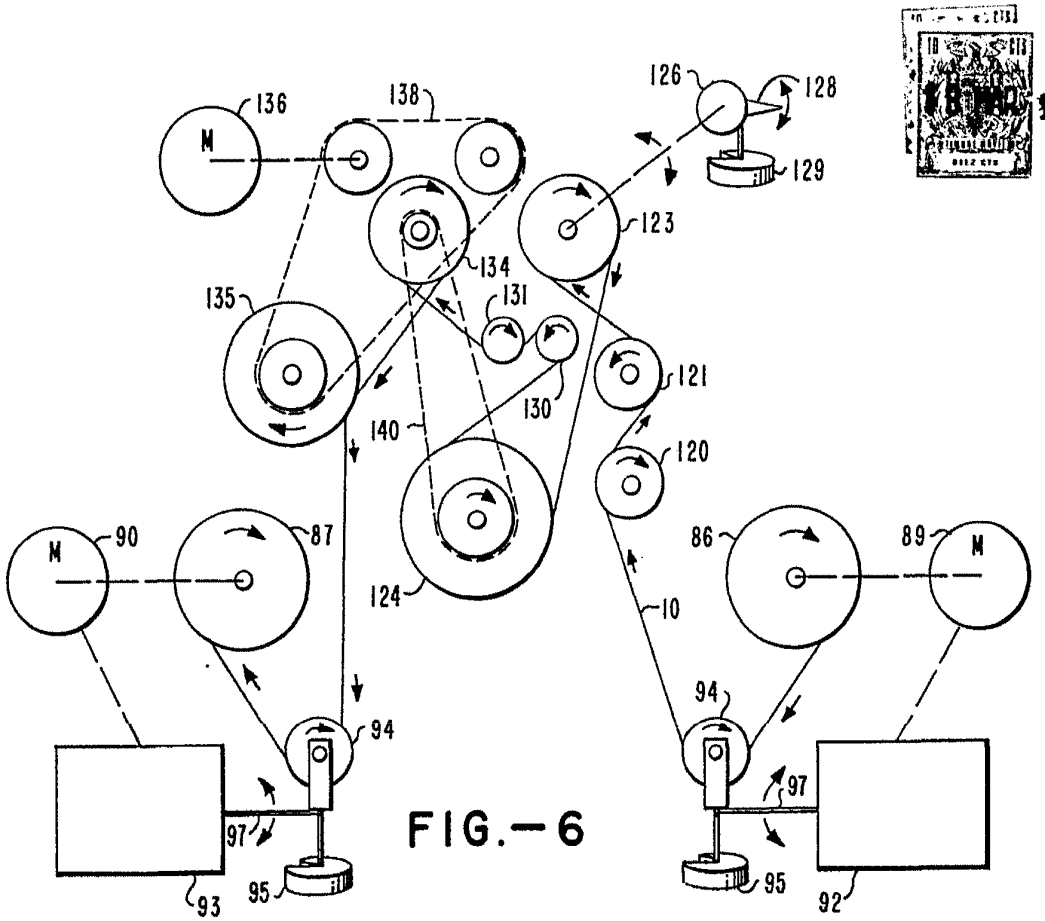


FIG.-6

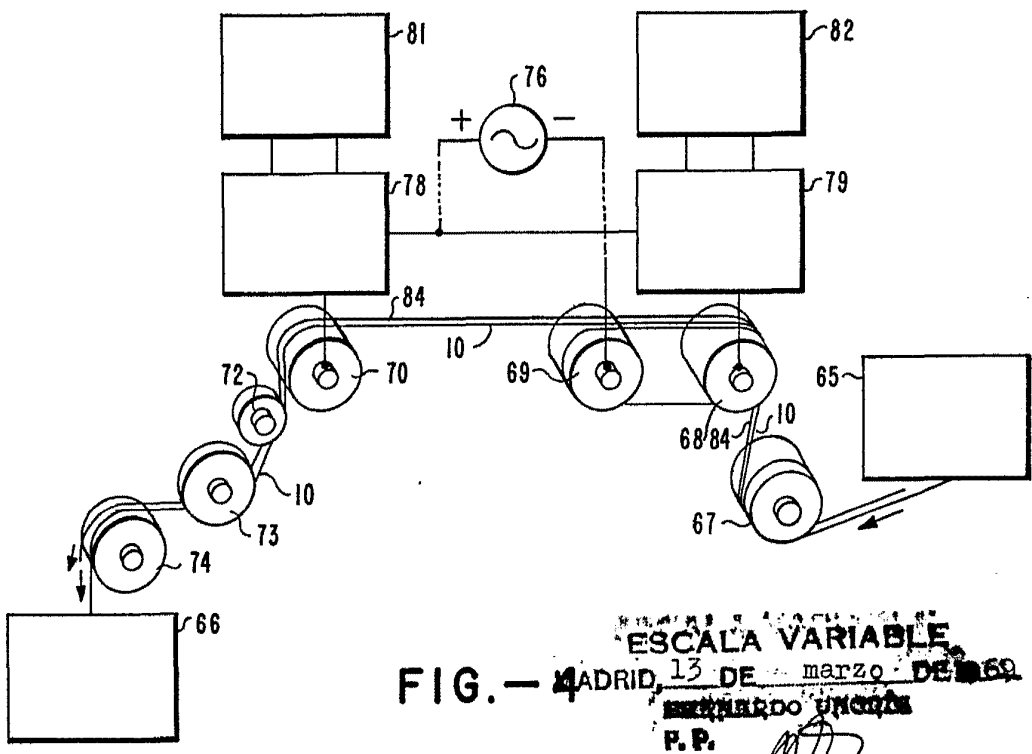


FIG.-4

ESCALA VARIABLE
 MADRID, 13 DE marzo DE 1960
 ENRIQUE UNEDA
 F. P.

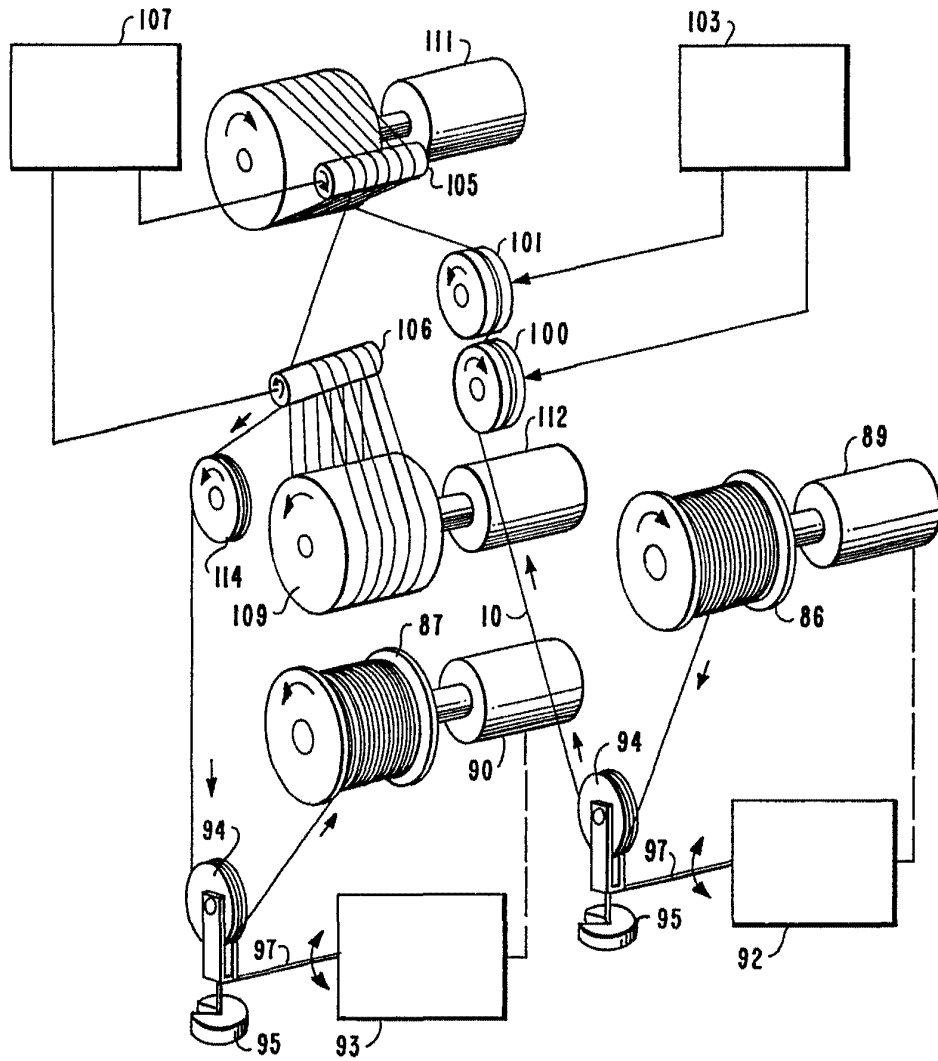


FIG. - 5

ESCALA VARIABLE
MADRID, 13 DE marzo DE 1969
BERNARDO UNGER
P. P.