

PATENTE DE INVENCION  
=====

ELECTROSTATIQUE. Cas I.

+ 1ere Addition Ref.835/46.  
=====

172314



172314

MEMORIA DESCRIPTIVA

sobre:

"Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles"

=====

Solicitantes: CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
residente en: 13 Quai d'Orsay, PARIS, Francia.

=====

Sabido es que las condiciones de funcionamiento de las máquinas electrostáticas generatrices o motrices, dependen considerablemente del medio dieléctrico fluido en el que trabajan y que estas condiciones se mejoran cuando la rigidez dieléctrica de este medio se aumenta.

5. Con este objeto, es conocido el empleo de los gases de gran rigidez, tales como los compuestos clorados o fluorados, o aire corriente sometido a presión.

En el transcurso de estudios realizados con objeto de introducir perfeccionamientos en las máquinas elec-

10.

172314



trostáticas actualmente existentes, se ha tratado de deter-  
 minar el aumento de potencia que, teóricamente, es posible  
 obtener sustituyendo el medio dielectrico de potencia induc-  
 tora especifica  $\epsilon$  y de rigidez  $E_m$  que rodea a una máquina  
 15. electrostática, por otro medio de potencia inductora  $\epsilon'$  y  
 de regidez  $E'_m$  diferentes de los primeros. El resultado de  
 esta investigación, notablemente sencilla, es el siguiente:

Si la potencia de una máquina electrostática no  
 está limitada más que por la rigidez del medio fluido en que  
 20. trabaja, la sustitución de un medio de constante dielectrica  
 $\epsilon$  y de rigidez  $E_m$  por otro medio de constante dielectrica  
 $\epsilon'$  y de rigidez  $E'_m$  tiene por efecto multiplicar la poten-  
 cia maxima de esta máquina por la relación  $\epsilon' E_m^2 / \epsilon E_m^2$   
 es decir, por la relación  $\frac{\epsilon' E_m^2}{8\pi} / \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$  de las densidades

25. de energia maxima de los dos medios. En estas formulas las  
 unidades a utilizar son las del sistema mecánico C.G.S. y  
 del sistema electrostático C.G.S. Lo mismo ocurre para todas  
 las formulas en esta Memoria, salvo indicación en contrario.

El resultado anterior se explica observando que  
 30. la carga máxima de los órganos transportadores de una máqui-  
 na electrostática es proporcional a la inducción electrica  
 máxima  $\epsilon E_m$  que pueda existir en el medio. A velocidad cons-  
 tante ocurre lo mismo con la corriente máxima transportada  
 por estos órganos, mientras que el potencial maximo de los  
 35. órganos colectores es proporcional a  $E_m$ . La potencia máxi-  
 ma producto de la corriente o intensidad máxima por el poten-  
 cial máximo, es proporcional a  $\epsilon E_m^2$  es decir, a la densidad  
 máxima de energia  $\frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$ .

Sin embargo, hasta la actualidad no ha sido posi-  
 40. ble, colocando una máquina electrostática de órganos conducto



res móviles, tal como una máquina de WIMSHURD y TOEPLER en un medio de rigidez dieléctrica muy grande, el obtener de la misma una potencia igual al producto de la potencia que desarrollaría el funcionamiento en el aire corriente por la  
45. relación de las densidades de energía máxima del medio y del aire a presión ordinaria.

Este invento tiene precisamente por objeto un procedimiento que permite determinar las características principales de una máquina electrostática, generatriz o motriz, de  
50. órganos conductores móviles con objeto de obtener de la misma funcionando en un medio de rigidez dieléctrica muy grande, potencias específicas considerablemente más aumentadas que las obtenidas hasta la actualidad y que pueden llegar a ser hasta 100 ó 200 veces la que se obtendría de la misma máquina fun-  
55. cionando en el aire a presión ordinaria.

Sabido es que, en una máquina electrostática de órganos conductores móviles, se pone en juego energía eléctrica por medio de capacidades variables conseguidas por órganos fijos y órganos móviles, o por dos series diferentes  
60. de órganos móviles. Las dimensiones y el valor de estas capacidades, con la diferencia de potencial que pueden soportar y que está limitada por la rigidez dieléctrica del medio en que funciona la máquina, determinan la cantidad de electricidad de que pueden cargarse y que los órganos transportadores  
65. al descargarse, transmiten a los órganos colectores. La intensidad de la corriente es proporcional a esta cantidad de electricidad y al número de cargas y de descargas de los órganos transportadores por segundo, es decir, en especial, a la velocidad relativa de estos órganos en relación con los  
70. productores. La potencia es igual al producto del potencial

172314



de los órganos colectores por la intensidad de corriente.

Así puede esquematizarse el funcionamiento de las máquinas de órganos conductores móviles, tales como las conocidas con el nombre de máquinas de TOEPLER, de WIMSHURST y de WOMMELSDORF.

En el transcurso del estudio antes citado, dedicado especialmente a estas máquinas, se ha comprobado que hasta la actualidad se ha despreciado un aspecto esencial del proceso de transformación del trabajo mecánico en energía eléctrica, o al contrario.

Sabido es que la energía eléctrica producida por una máquina electrostática que funciona como generatriz, proviene solo del trabajo mecánico absorbido por las fuerzas electrostáticas resistentes aplicadas a los órganos móviles. Recíprocamente, en el funcionamiento motor, el trabajo mecánico suministrado o rendido por la máquina solo se debe a estas mismas fuerzas electrostáticas.

A las regiones de los órganos móviles en que se aplican las fuerzas precedentes, se les llamará a continuación "partes activas" de la máquina, por extensión de la terminología empleada para las máquinas electromagnéticas, en las que se denominan "conductores activos" los conductores a que se aplican las fuerzas electromagnéticas. Si  $\epsilon_m$  es la rigidez dieléctrica del medio dieléctrico en contacto con las partes activas de la máquina, y  $\bar{C}$  el poder inductor específico de este medio, el valor mayor que puede alcanzar, sin inconveniente, la presión electrostática en dichas partes es igual a  $\frac{\epsilon \epsilon_m^2}{18\pi}$ .

Para determinar la naturaleza de las características de las partes activas de los órganos móviles conducto-

172314



res en las que hace falta actuar para permitir la obtención de potencias específicas elevadas, así como la naturaleza de esta acción en sí misma, se ha calculado el trabajo máximo que pueden desarrollar las fuerzas electrostáticas que se ejercen sobre un órgano móvil conductor.

105.

Es necesario distinguir aquí varios casos diferentes, según que los órganos conductores móviles estén en contacto con un medio dieléctrico fluido solamente, o que estos órganos estén en contacto no solo con tal medio fluido sino también con un aislante sólido.

110.

Para el cálculo antes indicado, en el caso de un órgano conductor móvil en contacto con un medio dieléctrico fluido, se proyecta este órgano - siendo las proyectantes las curvas cerradas descritas por los distintos puntos del órgano en su movimiento en funcionamiento normal - sobre un plano perpendicular a todas las proyectantes en el punto en que estas lo atraviesan. A continuación y por analogía con hidrodinámica se denomina "superficie del par principal" del órgano conductor móvil considerado, la superficie de la proyección así obtenida en el caso sencillo en que cada proyectante solo atraviesa dos veces la superficie del órgano, para pasar del medio fluido al órgano, y luego de éste al medio fluido otra vez.

115.

120.

En el caso general en que las proyectantes atraviesen  $2n$  veces la superficie del órgano conductor móvil, siendo  $n$  entero, se multiplica por  $n$  al elemento de superficie limitado por estas proyectantes en el plano de proyección y se denomina "superficie de par principal" del órgano conductor móvil considerado, la superficie ficticia o ideal constituida por la suma de las superficies todos los elemen-

125.

130.

172314



- 6 -

tos, multiplicadas cada una de ellas por el factor  $n$  correspondiente..

- Es evidente que el trabajo maximo que se trata de determinar es igual al de una fuerza única de intensidad igual
135. al producto de la superficie del par principal del órgano móvil conductor por la presión electrostática maxima  $\frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$  ejercida sobre las partes activas de este órgano y cuyo punto de aplicación sea el centro de gravedad de la superficie del par principal supuesto relacionado o unido al órgano movil y cuya
140. recta de acción sea la tangente a la trayectoria de dicho centro. El centro de gravedad de la superficie del par principal se define atribuyendo a cada elemento de esta superficie una masa igual al producto de su área geometrica por el factor  $n$  antes definido.
145. Si el órgano conductor móvil considerado está en contacto con un medio dieléctrico fluido y con un aislante sólido, conviene tener en cuenta, en la determinación de la superficie de par principal de las partes activas de los órganos conductores móviles, no sólomente las fuerzas de presión electrostática que se ejercen directamente por estos órganos
150. sino tambien las fuerzas que se ejercen sobre el aislante solidario de las partes móviles cuando estas fuerzas suministran un trabajo mecánico no - nulo durante el movimiento de estas partes.
155. Estas últimas fuerzas son debidas a dos causas.
- 1º) la polarización del aislante, que hace aparecer cargas de polarización que no modifican la divergencia del vector inducción electrica.
- 2º) la electrización ordinaria del aislante, por
160. frotación, fijación de iones u otra causa cualquiera, debida

172314



a la presencia de cargas que modifican la divergencia del vector inducción.

La mayor parte de los aislantes estan bastante proximos del estado de dieléctrico perfecto para que en la practica pueda sustituirse, como se sabe, el sistema de las fuerzas de polarización que actuan sobre ellos por un sistema equivalente de presiones normales a su superficie, de valor  $\frac{\epsilon' - \epsilon}{8\pi} E^2 \left[ 1 - \frac{\epsilon' - \epsilon}{\epsilon'} \cos^2 \alpha \right]$  en donde  $\epsilon'$  designa la constante dieléctrica del solido,  $E$  la intensidad del campo en el fluido en las proximidades del sólido, y  $\alpha$  el ángulo de este campo con la normal a la superficie del sólido. La presión se dirige hacia el exterior del sólido en el caso, muy frecuente en la practica, en que  $\epsilon' > \epsilon$ .

Quando el aislante sólido esté en contacto con un conductor electrizado, la presión que se ejerce sobre su superficie es  $\frac{\epsilon' - 1}{8\pi \epsilon'} E^2$  ya que  $\alpha = 0$ , y puede suponerse para el cálculo, que un espacio vacio infinitamente delgado separa el aislante solido del cuerpo conductor. Esta presión se añade a la presión electrostática parcial  $\frac{\epsilon E^2}{8\pi}$  que actua sobre el conductor para dar la presión electrostática resultante o total  $\frac{\epsilon' E'^2}{8\pi}$  en la que  $\epsilon'$  es la constante dieléctrica del aislante sólido y  $E'$  la intensidad del campo en este aislante, en las proximidades del conductor.

Las fuerzas electrostáticas que actuan sobre las partes móviles de la máquina, resultan pues:

- A) de las presiones electrostáticas  $\frac{\epsilon E^2}{8\pi}$  aplicadas a las partes de la superficie de los conductores móviles en contacto con el medio fluido.
- B) de las presiones electrostáticas  $\frac{\epsilon' E'^2}{8\pi}$  aplicadas a las partes de la superficie de los conductores movi-

172314



les en contacto con el aislante sólido.

C) de las presiones  $\frac{\epsilon' - \epsilon}{8\pi} E^2 \left[ 1 - \frac{\epsilon' - \epsilon}{\epsilon'} \cos^2 \alpha \right]$

aplicadas a las partes de la superficie del aislante sólido en contacto con el medio fluido.

195.

D) de las fuerzas aplicadas a las cargas introducidas por el aislante sólido, que modifican la divergencia del vector inducción. El cálculo de estas últimas fuerzas es conocido; solo tienen importancia en las máquinas en que las cargas fijadas en el aislante de las partes móviles, y que

200.

modifican la divergencia del vector inducción, representan una parte importante, o la totalidad de las cargas transportadas por los órganos móviles, como ocurre, por ejemplo, en las máquinas de CHAUMAT, o en las máquinas de correa de VAN DE GRAAF.

205.

En este caso es también preciso distinguir dos posibilidades:

1ª) el aislante sólido que está en contacto con un órgano conductor móvil dado, forma una masa prácticamente autónoma, distinta del aislante que está en contacto con otros

210.

órganos conductores móviles.

2ª) la misma masa de aislante sólido está en contacto con más de un órgano conductor móvil. Este caso se da por ejemplo en las máquinas de WOMMELSDORF, en las que todos los órganos conductores móviles están incluidos en una misma

215.

masa aislante.

En el primer caso, hay que considerar tres "superficies de par principal" obtenidas proyectando, en las condiciones antes enunciadas, respectivamente, la superficie de separación del órgano conductor móvil propiamente dicho de

220.

con el medio dieléctrico fluido; la superficie de separación

172314

- 9 -



de este órgano de con el aislante sólido, y la superficie de separación de este último de con el medio dielectrico fluido multiplicandose los elementos de cada una de estas superficies proyectadas por los coeficientes deseados, del modo antes indicado. Estas tres superficies se llaman a continuación respectivamente "superficie de par principal de un órgano conductor recubierto por el medio fluido", "superficie de par principal de un órgano conductor recubierto por el aislante sólido" y "superficie de par principal del aislante sólido".

En este caso, el trabajo máximo que se trata de determinar es igual al de una fuerza única obtenida por la composición de tres fuerzas cuyas intensidades son respectivamente iguales a los productos de las presiones electrostaticas definidas en los párrafos A), B), y C) anteriores por las superficies de par principal correspondientes y de una fuerza correspondiente a las fuerzas definidas en el parrafo D). La fuerza única en cuestión se aplica en un punto del plano de proyección, supuesto relacionado con el órgano móvil conductor, y su recta de acción es tangente a la trayectoria de este punto.

En el segundo caso, se dividen las masas de aislante sólido contiguas a dos o más de dos órganos conductores móviles diferentes, por superficies geométricas virtuales de forma tan sencilla y tan simétrica como sea posible, que pasen con preferencia por los puntos del aislante sólido en que la intensidad del campo eléctrico es más debil. Estas superficies separan o dividen el conjunto del aislante sólido en partes virtualmente autónomas, cada de las cuales puede considerarse como solidaria de un solo órgano conductor móvil.

172314

- 10 -



De este modo la cuestión se reduce al primer caso, permaneciendo iguales las definiciones de las superficies de par principal. Cuando una proyectante atraviesa una superficie virtual de separación, pasa del aislante sólido al aislante sólido y el punto proyectado no pertenece a una superficie de par principal.

En la mayor parte de los modelos de máquinas electrostáticas construidos hasta la actualidad, los órganos conductores móviles están constituidos por delgadas hojas metálicas cuyo par principal tiene una superficie muy pequeña a causa de esta delgadez. La fuerza máxima que puede actuar sobre un órgano de esta naturaleza es muy limitada, y no puede poner en juego una potencia mecánica importante. Del mismo modo es reducida la potencia eléctrica.

Con objeto de corregir este inconveniente, de acuerdo con este invento, a cada una de las superficies de par principal de las partes activas de los órganos conductores móviles, se le dá un área suficientemente grande, y a estas partes activas así como, eventualmente, a los dieléctricos sólidos que de ellas son solidarios, se les comunica una forma determinada, de modo conocido en esencia, para que las fuerzas electrostáticas que se ejercen sobre los órganos móviles sean lo más próximas posibles de su límite superior admisible, determinado por el hecho de que la presión electrostática en las cercanías de un punto de un conductor, no puede exceder del límite  $\frac{\epsilon E_m^2}{8\eta}$  en donde  $E_m$  designa la rigidez dieléctrica del dieléctrico en contacto con el conductor en este punto y  $\epsilon$  la constante dieléctrica de dicho dieléctrico, teniendo en cuenta el volumen, el peso y las características de utilización de la máquina.

172314

- 11 -



- En la aplicación práctica de este invento, el valor de la rigidez dielectrica del - o de los - medios dieléctricos fluidos y eventualmente sólidos en contacto con los órganos conductores móviles debe escogerse la más favorable a la seguridad de funcionamiento, de acuerdo con lo que a este respecto se sabe, para evitar la formación de chispas penachos, efluvios u otras causas análogas de pérdidas de energía. Es posible, por ejemplo, tener en cuenta el hecho de que el campo máximo posible es mayor en las proximidades de una parte curvada, que cerca de una superficie plana.
285. Cuando el valor exacto de la rigidez de un medio es ligeramente incierta, como ocurre en los medios de gran rigidez, debe escogerse este valor, de acuerdo con la experiencia, para que el funcionamiento quede garantizado con seguridad.
290. En el caso de la presencia de dieléctricos fluidos y sólidos, en la elección del sólido hay que conformarse igualmente a las reglas conocidas a este respecto. Por ejemplo, en general, es necesario elegir un sólido de rigidez  $E'_m$  superior a  $\frac{\epsilon}{\epsilon'} E_m$  donde  $\epsilon$  y  $E_m$  son respectivamente la constante dieléctrica y la rigidez del medio fluido y  $\epsilon'$  la constante dielectrica del medio sólido, en defecto de lo cual no podría utilizarse toda la rigidez del medio fluido, sin correr el riesgo, en muchísimos casos de una perforación o por lo menos de una alteración del aislante sólido.
295. Cuando una máquina electrostática comprende no solamente órganos conductores móviles sino también órganos conductores fijos, estos últimos están sometidos a fuerzas electrostáticas resultantes de la igualdad de la acción y de la reacción, fuerzas que proporcionarían un trabajo meca-
300. lido.
305. Cuando una máquina electrostática comprende no solamente órganos conductores móviles sino también órganos conductores fijos, estos últimos están sometidos a fuerzas electrostáticas resultantes de la igualdad de la acción y de la reacción, fuerzas que proporcionarían un trabajo meca-
310. lido.

172314

- 12 -



nico si se pusieran en movimiento estos órganos fijos, sin cambiar el desplazamiento relativo de las diferentes partes de la máquina, que solo pone en juego energía eléctrica. En este caso, es ventajoso preparar también de acuerdo con este

315. invento estos órganos conductores fijos, considerando el movimiento relativo con respecto a los demás órganos conductores

Este invento se expone con más detalles en la descripción siguiente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

320. Las figs. 1 a 3 son esquemas explicativos del modo de obtención de las superficies de par principal;

La fig. 4 es una vista esquemática, en perspectiva, de una máquina electrostática del tipo TOEPLER;

325. La fig. 5 es un corte esquemático, a mayor escala, por V-V de la fig. 4, de un sector transportador de dicha máquina, entre dos láminas de productor;

Las figs. 6 y 7 son variantes de la fig. 5;

330. La fig. 8 una vista análoga, en la que los sectores transportadores de la máquina están completamente incluidos en el aislante sólido;

La fig. 9 es una vista análoga, en el caso en que una misma masa de aislante sólido está en contacto con dos sectores, sin que estos estén completamente envueltos en dicho aislante; y

335. La fig. 10 es una vista análoga en el caso de un sector al cual está unida una masa aislante, sin que ésta esté en contacto con otro órgano de la máquina.

Tal como antes se ha dicho, para obtener la superficie de par principal de un órgano conductor móvil representado esquemáticamente en 1, (figs. 1 y 2) se proyecta este

340.

172314

- 13 -



345. órgano punto por punto - estando constituidas las proyectantes por las trayectorias de los distintos puntos durante el funcionamiento normal, en este caso por círculos tales como 2 cuyo centro 3 se encuentra en el eje de rotación de la máquina - sobre un plano 4 perpendicular a todas las proyectantes en los puntos en que éstas lo atraviesan. En el caso representado, el plano 4, normal a las trayectorias 2 contiene el eje de rotación de la máquina y, por consiguiente, los centros 3 de dichas trayectorias 2.

350. En el caso de la fig. 1 en que cada proyectante solo atraviesa dos veces la superficie del órgano móvil 1, a saber, una vez en un punto tal como 5 para pasar del medio ambiente al órgano móvil y una vez en un punto tal como 6, para pasar de este órgano al medio ambiente, la superficie de par principal es la misma superficie proyectada 7.

360. Si, por el contrario, algunas proyectantes atraviesan  $2n$  veces la superficie del órgano móvil 1, por ejemplo cuatro veces en el caso representado en la fig. 2 o sea,  $n=2$ , la superficie de par principal se obtiene multiplicando por el coeficiente  $n$  correspondiente, los elementos de superficie proyectada que contienen los puntos relativos a tales proyectantes y sumando entre sí los elementos así multiplicados.

365. Antes se ha visto que, en el caso en que los órganos móviles están en contacto con un medio dielectrico fluido únicamente, el trabajo máximo que pueden desarrollar las fuerzas electrostáticas que actúan sobre dicho órgano es igual al de la fuerza  $\frac{\epsilon E_m^2}{8\pi} S$  aplicada en el centro de gravedad del par principal del cual  $S$  es la superficie. Para poner en juego la potencia de la máquina, es preciso que esta fuerza tenga un cierto valor  $F$  que se sabe calcular. En consecuen-

370.

172314

- 14 -



- cia, la superficie del par principal que debe poseer el órgano considerado es por lo menos igual a  $\frac{8 \pi F}{\epsilon E_m^2}$ . Obtenido este primer resultado, es preciso, como es corriente hacer, repartir convenientemente el campo en las proximidades
375. de las partes activas y de los órganos móviles en general, dando a estas partes formas convenientes que se saben determinar, por ejemplo por el cálculo o por métodos gráficos. Para cada una de las formas que figuran en el curso de esta Memoria, se calcula, para cada órgano móvil el trabajo de las
380. fuerzas electrostáticas aplicadas. Este trabajo es igual al de una fuerza única, aplicada en el centro de gravedad del par principal considerado como relacionado con el órgano móvil, y cuya recta de acción sea tangente a la trayectoria de éste. Si el campo electrico en las cercanias del órgano conductor móvil llega en algun punto a la rigidez  $E_m$  del medio, pero no excede de ella, la intensidad de esta fuerza es de la forma  $\frac{K \epsilon E_m^2 S}{8 \pi}$  siendo S la superficie de par principal del órgano considerado, y K un coeficiente, inferior o igual a la unidad, que caracteriza la utilización del par
390. principal y que a continuación se denominará "índice de forma". El índice de forma K depende no solamente de la forma del órgano móvil, sino tambien de la distancia, de la forma de los demás órganos conductores, fijos o móviles, así como de las piezas aislantes que tengan una potencia dielectrica
395. diferente de  $\epsilon$ .

Si K es el índice de forma, la superficie mínima de par principal que debe poseer el órgano conductor móvil considerado es  $\frac{8 \pi F}{K \epsilon E_m^2}$ .

- En el caso en que los órganos conductores móviles esten en contacto, no solo con un medio dielectrico flui-
- 400.



do sino tambien con un aislante sólido, se ha visto tambien que era necesario tener en cuenta tres superficies de par principal correspondientes a las tres categorias de presiones definidas en los parrafos A), B) y C) anteriores.

405. Estas superficies de par principal se determinan de modo análogo al expuesto para el caso anterior, multiplicando cada uno de los elementos de la superficie obtenida por proyección, por un coeficiente igual al número de veces que un observador, que recorriera las proyectantes correspondientes a este elemento, en sentido contrario al movimiento generador, o en el sentido del movimiento motor de la maquina, atravesaria, según el caso, bien la superficie del órgano conductor móvil para penetrar ya sea en el fluido dieléctrico, ya sea en el aislante sólido, o bien la superficie del aislante sólido para penetrar en el medio fluido.
- 410.
- 415.

- En el caso en que el aislante sólido está en contacto con varios órganos conductores móviles, por ejemplo dos órganos 1,  $1a$  (fig. 3), se divide la masa de aislante sólido  $S$  por superficies geométricas virtuales tales como  $9$ , que pasan preferentemente por los puntos del aislante sólido en que la intensidad del campo eléctrico es menor; estas superficies separan o dividen el conjunto en partes virtualmente autónomas que se consideran aisladamente para la determinación de las superficies de par principal. El paso de una proyectante a traves de una superficie  $9$  no debe tenerse en cuenta para esta determinación.
- 420.
- 425.

- Sean  $S$  la superficie de par principal de un órgano conductor móvil recubierta por el medio fluido;  $S'$  la superficie de par principal del mismo órgano recubierta por el aislante sólido;  $S''$  la superficie de par principal del aislan
- 430.

172314

- 16 -



- te sólido solidario de este órgano conductor móvil; obteniéndose sobre el mismo plano de las tres proyecciones que definen S, S', S". En una primera aproximación, el trabajo de las presiones A) aplicadas al órgano conductor móvil, es
435. igual al de una fuerza única, aplicada en el centro de gravedad G de la superficie S, considerándose este punto como solidario del órgano conductor móvil y siendo tangente a la trayectoria de este punto la recta de acción de esta fuerza; o sea, siendo normal al plano de proyección y siendo su
440. intensidad  $\frac{\epsilon E_m^2 S}{8\pi}$ , en la que  $\epsilon$  y  $E_m$  son las características dieléctricas del medio fluido. El trabajo de las presiones B) es, en primera aproximación, igual al de una fuerza análoga aplicada al centro de gravedad G' de la superficie S' y de intensidad  $\frac{\epsilon' E_m'^2 S'}{8\pi}$ ; siendo  $\epsilon'$  y  $E_m'$  las características dieléctricas del aislante sólido. El trabajo
445. de las presiones C) en primera aproximación, es igual al de una fuerza aplicada en el centro de gravedad G" de la superficie S" y de intensidad  $\frac{(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2 S''}{8\pi \epsilon'}$  pues el ángulo  $\alpha$  es en general pequeño, a causa del gran valor que muy a menudo tiene la relación  $\frac{\epsilon'}{\epsilon}$ . El trabajo de las fuerzas D) aplicadas al aislante solidario del órgano conductor móvil considerado es igual al de una fuerza aplicada en un punto G''' del plano de proyección, fuerza de la que se sabe calcular la intensidad por procedimientos conocidos.
450. Las cuatro fuerzas anteriores son paralelas y pueden sustituirse sin cambiar sus trabajos en el movimiento normal de los órganos móviles, por otras cuatro fuerzas de la misma dirección aplicadas en un punto P del plano de proyección que contiene a G, G', G", G''', punto considerado como solidario del órgano conductor móvil. Estas cuatro nuevas
- 460.

172314



fuerzas tienen respectivamente como intensidades:

$$\frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi} , \quad \frac{k' \epsilon' E_m'^2 S'}{8\pi} \quad \frac{k''(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2 S''}{8\pi \epsilon'} , \quad k''' \phi$$

siendo k, k', k'' y k''' cuatro coeficientes numéricos determinados por las posiciones respectivas de G, G', G'', G''' y

465. de P. Las cuatro fuerzas aplicadas en P, por ser paralelas, pueden sustituirse por la fuerza única

$$\frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi} + \frac{k' \epsilon' E_m'^2 S'}{8\pi} + \frac{k''(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2 S''}{8\pi \epsilon'} + k''' \phi$$

Para hacer entrar en juego la potencia de la máquina, es preciso que esta fuerza tenga una cierta intensidad F que se sabe calcular. En consecuencia, las superficies S y S' de par principal del órgano conductor móvil recubiertas respectivamente por el medio fluido y por el aislante sólido, vendrán dadas, en primera aproximación, por:

470. 
$$\frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi} + \frac{k' \epsilon' E_m'^2 S'}{8\pi} = F - k''' \phi - \frac{k''(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2 S''}{8\pi \epsilon'}$$

Como se ha indicado en el caso en que no se utiliza aislante sólido, obtenido este primer resultado, es preciso repartir el campo en las proximidades de las partes activas y de los órganos móviles en general, dando a estos últimos formas convenientes que se saben determinar, Como anteriormente, para cada forma mencionada en el curso de esta Memoria, se calcula, para cada órgano conductor móvil, el trabajo de las fuerzas de presión electrostática A) y B) que se le aplican y, para el aislante sólido solidario de este órgano conductor móvil, el trabajo de las presiones C) y el de las fuerzas D). Si el campo eléctrico en las proximidades del órgano móvil alcanza en algún punto la rigidez  $E_m$  del medio dielectrico fluido, pero no excede de ella, el trabajo de las presiones A) será igual al de una fuerza única, aplicada en el punto P y de intensidad  $K \frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi}$ ; así mismo el trabajo de las presiones B) será igual al de una

475. Como se ha indicado en el caso en que no se utiliza aislante sólido, obtenido este primer resultado, es preciso repartir el campo en las proximidades de las partes activas y de los órganos móviles en general, dando a estos últimos formas convenientes que se saben determinar, Como anteriormente, para cada forma mencionada en el curso de esta Memoria, se calcula, para cada órgano conductor móvil, el trabajo de las fuerzas de presión electrostática A) y B) que se le aplican y, para el aislante sólido solidario de este órgano conductor móvil, el trabajo de las presiones C) y el de las fuerzas D). Si el campo eléctrico en las proximidades del órgano móvil alcanza en algún punto la rigidez  $E_m$  del medio dielectrico fluido, pero no excede de ella, el trabajo de las presiones A) será igual al de una fuerza única, aplicada en el punto P y de intensidad  $K \frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi}$ ; así mismo el trabajo de las presiones B) será igual al de una

480. Como se ha indicado en el caso en que no se utiliza aislante sólido, obtenido este primer resultado, es preciso repartir el campo en las proximidades de las partes activas y de los órganos móviles en general, dando a estos últimos formas convenientes que se saben determinar, Como anteriormente, para cada forma mencionada en el curso de esta Memoria, se calcula, para cada órgano conductor móvil, el trabajo de las fuerzas de presión electrostática A) y B) que se le aplican y, para el aislante sólido solidario de este órgano conductor móvil, el trabajo de las presiones C) y el de las fuerzas D). Si el campo eléctrico en las proximidades del órgano móvil alcanza en algún punto la rigidez  $E_m$  del medio dielectrico fluido, pero no excede de ella, el trabajo de las presiones A) será igual al de una fuerza única, aplicada en el punto P y de intensidad  $K \frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi}$ ; así mismo el trabajo de las presiones B) será igual al de una

485. Como se ha indicado en el caso en que no se utiliza aislante sólido, obtenido este primer resultado, es preciso repartir el campo en las proximidades de las partes activas y de los órganos móviles en general, dando a estos últimos formas convenientes que se saben determinar, Como anteriormente, para cada forma mencionada en el curso de esta Memoria, se calcula, para cada órgano conductor móvil, el trabajo de las fuerzas de presión electrostática A) y B) que se le aplican y, para el aislante sólido solidario de este órgano conductor móvil, el trabajo de las presiones C) y el de las fuerzas D). Si el campo eléctrico en las proximidades del órgano móvil alcanza en algún punto la rigidez  $E_m$  del medio dielectrico fluido, pero no excede de ella, el trabajo de las presiones A) será igual al de una fuerza única, aplicada en el punto P y de intensidad  $K \frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi}$ ; así mismo el trabajo de las presiones B) será igual al de una

490. Como se ha indicado en el caso en que no se utiliza aislante sólido, obtenido este primer resultado, es preciso repartir el campo en las proximidades de las partes activas y de los órganos móviles en general, dando a estos últimos formas convenientes que se saben determinar, Como anteriormente, para cada forma mencionada en el curso de esta Memoria, se calcula, para cada órgano conductor móvil, el trabajo de las fuerzas de presión electrostática A) y B) que se le aplican y, para el aislante sólido solidario de este órgano conductor móvil, el trabajo de las presiones C) y el de las fuerzas D). Si el campo eléctrico en las proximidades del órgano móvil alcanza en algún punto la rigidez  $E_m$  del medio dielectrico fluido, pero no excede de ella, el trabajo de las presiones A) será igual al de una fuerza única, aplicada en el punto P y de intensidad  $K \frac{k \epsilon E_m^2 S}{8\pi}$ ; así mismo el trabajo de las presiones B) será igual al de una



fuerza única, aplicada también en P, y de intensidad  $K' k' \frac{\epsilon' E_m^2}{8\pi} S'$ . El trabajo de las presiones C) será igual al de una fuerza única aplicada en P y de intensidad  $K'' k'' \frac{(\epsilon' - \epsilon)}{8\pi \epsilon'} E_m^2 S''$ . El trabajo de las fuerzas B) será igual al de una fuerza  $k''' \phi$ , aplicada en P. K, K' y K'' son los índices de forma relativos a las superficies de par principal S, S' y S'', análogos al índice de forma anteriormente mencionados.

Las superficies de par principal S y S' a dar al órgano conductor móvil, están determinados por:

$$k K \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi} S + k' K' \frac{\epsilon' E_m^2}{8\pi} S' = F - k''' \phi - k'' K'' \frac{(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2}{8\pi \epsilon'} S''$$

Si se admite una proporción constante entre S y S', por ejemplo  $S' = \lambda S$ , siendo  $\lambda$  un factor numérico, se tiene como

valor de S:  $F - k''' \phi - k'' K'' \frac{(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2}{8\pi \epsilon'} S$

$$S = \frac{F - k''' \phi - k'' K'' \frac{(\epsilon' - \epsilon) \epsilon E_m^2}{8\pi \epsilon'} S}{k K \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi} + \lambda k' K' \frac{\epsilon' E_m^2}{8\pi}}$$

Se obtiene una gran simplificación si el aislante sólido se limita, del lado del fluido, por planos paralelos al movimiento, disposición muy frecuente. En ese caso las superficies S'' son nulas, y desaparecen de las fórmulas. Si, además, las partes activas de los órganos conductores móviles están completamente rodeadas por el aislante sólido, como en las máquinas WOMMELSDORF por ejemplo, desaparecen también las superficies S y el valor mínimo de la superficie S' está determinado por:

$$S' = \frac{F - k''' \phi}{k' K' \frac{\epsilon' E_m^2}{8\pi}}$$

Este invento proporciona el método de suprimir prácticamente todas las pérdidas por fugas eléctricas, y de obtener por tanto máquinas electrostáticas generatrices o motrices cuya potencia máxima, para una velocidad dada es verdaderamente proporcional a la densidad máxima de energía



$\frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$  del medio en que trabajan.

Las máquinas de acuerdo con este invento pueden alcanzar, en consecuencia, potencias específicas considerables, que excedan de 2.000 kilovatios por metro cúbico de espacio ocupado, cuando trabajan en uno de los medios de gran rigidez actualmente conocidos. Estas potencias específicas son, por lo menos, 1.000 veces mayores que las de las mejores máquinas electrostáticas construidas hasta la actualidad, e incluso son superiores a las de las máquinas electromagnéticas más potentes.

La supresión prácticamente completa de las pérdidas eléctricas tiene por efecto que el rendimiento eléctrico, fracción del trabajo absorbido por las fuerzas electrostáticas que se convierte en energía eléctrica utilizable o, en el funcionamiento como motor, fracción de la energía eléctrica absorbida, transformada en trabajo motor de las fuerzas electrostáticas, puede hacerse superior al 98 %. En la práctica las pérdidas solo son debidas a los frotamientos, pero en razón del valor considerable de la potencia específica, la magnitud relativa de estos rozamientos es reducida, y el rendimiento global puede ser superior al 90 %.

A continuación figuran algunos ejemplos de aplicación del procedimiento de acuerdo con este invento.

Ejemplo 1 .

Caso de una máquina de TOEPLER cuyos órganos conductores móviles están en contacto únicamente con un medio dieléctrico fluido.

En el modo de realización representado esquemáticamente en la fig. 4, esta máquina comprende un plato que tiene tres sectores conductores 10 fijos, de modo que esten

172314

- 20 -



aislados, en un arbol 11. Estos sectores, que son los transportadores de electricidad, en su rotación, pasan por el interior de los productores de electricidad, cada uno de ellos constituido por un par de placas conductoras 12, arriostradas, montadas en el bastidor 13 de la máquina, de modo que se encuentren aisladas.

Cuando se hace funcionar la máquina los productores 12 se elevan a un determinado potencial por una o varias fuentes de electricidad convenientes para tal fin. Cuando uno de los transportadores 10 penetra entre las láminas de uno de los productores, se encuentra colocado en relación eléctrica con el suelo o con un manantial de electricidad de signo contrario a la de los productores 12, por medio de una escobilla 14, y se carga así de electricidad mientras crece la capacidad transportador-productor. Cuando esta capacidad, decrece después de haber crecido, se rompe la relación entre el transportador 10 y la escobilla 14, y el potencial del transportador se eleva, a causa de la disminución de su capacidad. El transportador entra entonces en contacto con una escobilla 15 aislada de la masa y puesta en relación con el aparato de utilización; luego se rompe la relación entre el transportador 10 y la escobilla 15, y vuelve a empezar el ciclo. La posición angular de la escobilla 15 con respecto al productor 12 que la precede, se determina, del modo conocido en función del potencial que se desea que alcancen los transportadores.

Se aumenta la potencia de la máquina disponiendo un número  $N$  de platos análogos en el mismo arbol; en tal caso los productores comprenden, en general,  $N + 1$  láminas 12 paralelas.

172314

- 21 -



En la construcción de la máquina, pueden sustituirse los sectores y las láminas de los productores por partes de superficie más complicadas que el plano, por ejemplo por superficies de revolución. También pueden disponerse los productores móviles, y hacerlos girar en sentido inverso a los transportadores.

En la disposición más frecuente, representada en el dibujo, los sectores transportadores y las láminas de un productor se colocan de modo que formen, practicamente, condensadores planos de armaduras paralelas. A continuación se designa por  $e$  la distancia entre un sector y una lámina de un productor, y por  $2h$  el espesor de un sector.

La potencia de la máquina alcanza su límite, para un modo de funcionamiento dado, cuando el campo, en las proximidades de cualquier parte conductora que se considere adquiere la rigidez  $E_m$  del medio en el que funciona dicha máquina. Esta circunstancia puede producirse más o menos fácilmente, según las formas más o menos favorables dadas a las piezas conductoras, pero no es posible exceder de un máximo, obtenido cuando el campo uniforme reinante entre las caras paralelas de los sectores móviles y de las láminas llega a  $E_m$ , es decir, cuando la diferencia de potencial entre un sector 10 y una lámina 12 alcanza el valor  $U = E_m e$ . Este máximo de potencia tiene por valor  $\frac{1}{4} n n' C U^2$ , siendo  $n$  el número de transportadores,  $n'$  el de las revoluciones por segundo realizadas por el plato o platos con respecto a los productores y  $C$  la capacidad máxima del conjunto de los transportadores y de los productores, corregida si hay caso, de las capacidades parásitas.

La determinación, de acuerdo con este invento,



de las características que es preciso dar a la máquina, para que pueda obtenerse efectivamente este máximo de potencia, se realiza del modo siguiente:

615. Cuando la diferencia de potencial entre un sector 10 y una lámina 12 es  $U$ , la energía del condensador que forman, de capacidad  $c$ , es  $\frac{1}{2} c U^2$ . En una pequeña rotación  $d\alpha$  del sector, la capacidad  $c$  varía en  $dc$ , y el trabajo de las fuerzas electrostáticas, es  $\frac{1}{2} U^2 dc$ . Este trabajo es igual al de una fuerza única aplicada en el centro de gravedad  $G$  del par principal del sector, cuya intensidad

es:

$$F = \frac{1}{2} \frac{U^2}{r} \frac{dc}{d\alpha}$$

si  $r$  es la distancia de  $G$  al eje de rotación. El par principal de las partes activas de un sector tiene un contorno

625. asimilable, en la práctica, a un rectángulo alargado, de longitud  $a$  y de anchura  $2h$ , cuya superficie es  $2ha$ . Puede escribirse:

$$\frac{1}{2} \frac{E_m^2 e^2}{r} \frac{\int ra}{2\pi e} = \frac{\int E_m^2}{8\pi} 2ea$$

De acuerdo con este invento, el valor mínimo a

630. dar a la superficie  $2ha$  es:

$$\frac{8\pi F}{\int E_m^2} \text{ es decir, que debe tenerse } 2ha \gg 2ea, \text{ ó sea, } h \gg e \text{ (fig.5)}$$

Elegido el espesor de los sectores de acuerdo con estos resultados, es preciso escoger para sus bordes, que son sus partes activas, un perfil favorable que asegure una

635. buena distribución del campo, es decir, tal que el campo, en todo el borde, permanezca inferior o, todo lo más igual, a  $E_m$  cuando alcanza este valor en la cara plana del sector.

A título de ejemplo, se llenan las condiciones anteriores tomando  $h = 1,5 e$ , y dando al perfil la forma de

640. una semi-elipse cuya relación de los ejes esté comprendida

172314

- 23 -



entre 2 y 3, siendo el eje mayor paralelo a las caras del sector (fig. 6). El índice de forma de este perfil es, por tanto,  $K = 1/1,5 = 0,67$ . De modo general, las formas favorables están dadas por las curvas alargadas al modo de una elipse, es decir, cuya curvatura débil o nula en los puntos en que se juntan con la parte plana del sector, aumenta hasta el vértice del borde, donde es máxima.

En determinados casos, la rigidez del medio, en una región curvada tal como el borde de un sector, puede alcanzar un valor  $E'_m$  superior al que tiene en las proximidades de las regiones planas y que se ha denominado  $E_m$ . La superficie mínima de par máximo es entonces  $-\frac{8}{\epsilon} \frac{\pi}{E_m^2} \frac{F}{m}$  es decir que debe tenerse  $h \gg e \frac{E_m^2}{E'_m}$ .

Todavía es preciso escoger una forma de borde favorable, tal que el campo en cada punto no exceda de la rigidez del medio, teniendo en cuenta la curvatura del perfil, cuando haya alcanzado el valor  $E_m$  en la cara plana del sector.

A título de ejemplo, si  $E'_m = 1,5 E_m$ , puede utilizarse el perfil de la fig. 7 próximo al de una semi-elipse y para el cual  $h = 0,62 e$ .

Por estar sometidas las láminas 12 de los productores a las mismas fuerzas que los sectores transportadores a consecuencia de la igualdad de la acción y de la reacción, conviene darles, en general, el mismo espesor y el mismo perfil que a los sectores transportadores.

Si no se satisfacen las condiciones antes indicadas, relativas al espesor de los sectores y a la elección de su perfil, no puede obtenerse ya con seguridad y sin pérdidas la potencia máxima  $\frac{1}{4} n n' C U^2$ . Solo puede obtenerse una parte de ella, tanto más pequeña cuanto mayor sea la

172314



separación de las prescripciones de acuerdo con este invento.

Una máquina de la clase TOEPLER preparada de acuerdo con este invento, puede desarrollar una potencia importante, si trabaja en un medio de rigidez  $E_m$  suficiente.

675. La capacidad  $C$  puede tomarse igual a  $\frac{\epsilon N S_0}{4 \pi e}$ , si  $S_0$  es la superficie de una cara de un plato de la máquina. El espesor de un plato es próximo a  $2e$  y el espesor total de una máquina de  $N$  platos es prácticamente  $6 Ne$  o sea, un volumen o espacio ocupado aproximadamente igual a  $6NeS_0$ . La

680. potencia máxima  $\frac{1}{4} n n' C U^2$  tiene por fórmula:

$$\frac{1}{4} n n' \frac{\epsilon N S_0}{4 \pi e} E_m^2 e^2 = \frac{1}{2} n n' (NeS_0) \frac{\epsilon E_m^2}{8 \pi}$$

Designando por  $w$  la densidad máxima de energía  $\frac{\epsilon E_m^2}{8 \pi}$  y dividiendo por  $6 NeS_0$ , se obtiene la potencia específica por unidad de volumen  $\frac{1}{12} n n' w$ .

685. Si  $w = 0,005$  julios por centímetro cúbico, valor que se obtiene por ejemplo con freon ( $C Cl^2 F^2$ ) sometido a la presión de 5 atmósferas, o con anhídrido carbónico ( $CO^2$ ) a la presión de 17 atmósferas, la potencia específica, para  $n = 8$  y  $n' = 15$  revoluciones por segundo, es:

690.  $\frac{8}{12} \times 15 \times 0,005 \text{ wats/cm}^3 = 0,05 \text{ wats/cm}^3 = 50 \text{ kilovatios/m}^3$

Ejemplo II.

Caso de una máquina WIMSHURST.

En esta máquina. dos platos aislantes, provistos de sectores conductores estrechos, giran en sentidos inversos

695. Los dos platos pasan entre dos peines colectores y sobre los sectores de cada uno de ellos frotan dos escobillas diametralmente opuestas, unidas a tierra.

El cálculo, de acuerdo con este invento, de la superficie a dar al par principal de los sectores, se realiza del modo siguiente:

700. za del modo siguiente:

172314



Sea  $N$  el número de sectores por plato,  $S_0$  la superficie de la proyección de un sector en el plano de su plato,  $E_m$  la rigidez del medio dieléctrico en el que funciona la máquina. La cantidad máxima de electricidad que puede contener un

705. sector, es:

$$Q = \frac{\epsilon E_m}{4\pi} S_0$$

En una rotación de  $1/n$ ésimo de vuelta, cada peine recibe  $2Q$  ó

$$\frac{\epsilon E_m}{2\pi} S_0$$

710. Sea  $2V$  la diferencia de potencial máxima entre los peines, compatible con la rigidez del medio y en general con un buen funcionamiento. Para una rotación de  $1/n$ ésimo de vuelta, la energía eléctrica producida es

$$W = 2V \cdot 2Q = \frac{\epsilon E_m}{\pi} S_0 V$$

715. la potencia máxima de la máquina es pues  $nN \frac{\epsilon E_m}{\pi} S_0 V$ , si dá  $n$  vueltas por segundo.

Para la posición corriente de las escobillas diametrales, los  $2/3$  aproximadamente de los sectores de cada plato están cargados y son por tanto el asiento de fuerzas electrostáticas útiles. Estas fuerzas útiles, en primera

720. aproximación, están igualmente repartidas entre todos los sectores cargados, en número de  $4/3 N$ . Sea  $F$  la fuerza útil que actúa sobre un sector; su momento con respecto al eje, es

725.  $F \cdot R$ , si  $R$  es la distancia del centro de un sector al eje y su trabajo en la rotación de  $1/n$ ésimo de vuelta es  $\frac{2\pi}{n} F \cdot R$ . El trabajo de todas las fuerzas útiles, es  $\frac{8\pi}{3} F \cdot R$ .

Igualando este trabajo a la energía eléctrica producida

$$\frac{8\pi}{3} F \cdot R = \frac{\epsilon E_m}{\pi} S_0 V$$

se obtiene el valor mínimo de las fuerzas útiles:

730. 
$$F = \frac{3}{8\pi} \frac{\epsilon E_m V}{R} S_0$$

172314



De acuerdo con el invento, es preciso dar a un sector una superficie de par principal igual, por lo menos a

$$\frac{8 \pi F}{\epsilon E_m^2} = \frac{3}{\pi} \frac{V}{E_m R} S_0$$

o practicamente  $\frac{V}{E_m R} S_0$ . Es preciso pues, tomar

735.  $S \gg S_0 \frac{V}{E_m R}$  o, teniendo en cuenta el indice de forma

$$S \gg \frac{S_0 V}{K E_m R}$$

El valor de S dado por el cálculo, solo es vale-

dero si todas las fuerzas útiles aplicadas a dos sectores son constantes e iguales entre sí. No pudiendo realizarse exacta-

740. mente estas condiciones, conviene multiplicar la superficie S por un coeficiente de aumento  $m$  que, para los modelos corrientes de máquinas de WIMSURST está comprendido entre 1,2 y 2. En cuanto al índice de forma K, muy a menudo es de un valor cercano a 0,5.

745. A título de ejemplo, si se considera una máquina de WIMSURST para la cual en el aire a presión ordinaria ( $E_m = 30 \text{ kV/cm}^3$ )  $V = 69 \text{ kV}$ , y  $R = 20 \text{ cm}$ , se obtiene

$$S = \frac{m}{K} \frac{S_0}{10} \text{ o, aproximadamente } 0,3S_0$$

La superficie de par principal así determinada,

750. puede obtenerse, por ejemplo, sustituyendo las láminas delgadas por láminas gruesas cuyos bordes tengan un perfil por ejemplo semi-circular destinado a repartir el campo. Puede tambien usarse una hoja metálica delgada cuyo borde se arro-lla de modo que constituya la parte activa del sector.

755. Para cada máquina electrostática, si no se cum- plen las prescripciones de acuerdo con este invento, resul- ta imposible, especialmente en los medios de gran rigidez, alcanzar e incluso aproximarse a la potencia maxima cuyo valor se ha visto para las máquinas citadas como ejemplo.

760. De modo general, se ha comprobado que es venta-

172314



- joso dar a los órganos conductores móviles de una máquina electrostática un espesor de 0,2 cm. por lo menos, o una superficie de par principal de, por lo menos,  $0,2a$  cm.<sup>2</sup> siendo  $a$  la mayor dimensión en centímetros de la proyección que define el par principal. Como, ante todo son los bordes de los órganos conductores los que han de tener el espesor indicado,  $a$  designará este espesor para la denominación "espesor marginal" que se definirá, en general, como la menor distancia que pueden adoptar las dos garras paralelas de un cursor, cuando ambas son tangentes a la superficie del órgano conductor considerado.
- 765.
- 770.

Ejemplo III .

- Caso de una máquina de la clase TOEPLER en la que los sectores del mismo plato están completamente incluidos en una misma masa de aislante sólido (figura 8).
- 775.

- Se designa por  $e$  el espesor de fluido dieléctrico de constante  $\epsilon$  y de rigidez  $E_m$  existente entre un sector transportador 10 y una lámina de un productor 12, y por  $e'$  el espesor de aislante sólido 16 de constante dieléctrica  $\epsilon'$  y de rigidez  $E'_m$ . La diferencia de potencial entre productor y transportador llega a su valor máximo  $U$  cuando el campo alcanza la rigidez  $E_m$  del medio en la región en que es uníforme, a condición de que se satisfaga la conocida relación
- 780.

$$E'_m > \frac{\epsilon}{\epsilon'} E_m$$

- 785.
- $$U = E_m e + \frac{\epsilon}{\epsilon'} E_m e' = E_m \left( \frac{e}{\epsilon} + \frac{e'}{\epsilon'} \right)$$

- Se divide el aislante sólido de un mismo plato móvil en secciones relativas a un solo sector transportador por superficies virtuales 9. La superficie de par principal  $S$  de un sector recubierto por el fluido, es nula. Lo mismo ocurre con la superficie  $S''$  de par principal del aislante
- 790.



sólido recubierta por el medio fluido, si, como corrientemente y tal como se representa, el aislante está limitado del lado del fluido por planos paralelos al movimiento. Solo queda por considerar la superficie  $S'$  de par principal de un sector, recubierta por aislante sólido.

795.

El trabajo de las fuerzas electrostáticas durante una rotación  $d\alpha$  de un sector  $10$  es igual al de una fuerza única, aplicada al centro de gravedad  $G$  del par principal del sector, de intensidad

800.

$$F = -\frac{1}{2} \frac{U^2}{r} \frac{dc}{d\alpha}$$

si  $r$  es la distancia de  $G$  al eje de la máquina, y  $c$  la capacidad sector-productor. El par principal de las partes activas de un sector es asimilable a un rectángulo de superficie  $S' = 2ha$ , siendo  $h$  el semi-espesor y  $a$  la longitud de la proyección del sector sobre el plano de proyección. El valor a

805.

dar a esta superficie, es por lo menos igual a  $\frac{8\pi F}{\epsilon' E_m^2}$ .

$$F = \frac{1}{2} \frac{\epsilon^2 E_m^2 \left(\frac{e}{\epsilon} + \frac{e'}{\epsilon'}\right)^2}{r} \frac{r a}{2\pi \left(\frac{e}{\epsilon} + \frac{e'}{\epsilon'}\right)} = 2 a \left(e + \frac{\epsilon}{\epsilon'} e'\right) \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$$

de donde

$$\frac{8\pi F}{\epsilon' E_m^2} = 2 a \left(e + \frac{\epsilon}{\epsilon'} e'\right) \frac{\epsilon E_m^2}{\epsilon' E_m^2}$$

810. debe verificarse pues,

$$h \gg \left(e + \frac{\epsilon}{\epsilon'} e'\right) \frac{\epsilon E_m^2}{\epsilon' E_m^2}$$

Obtenido este primer resultado es preciso elegir

para el borde 17 de los sectores un perfil favorable que asegure una buena distribución del campo, es decir, tal que

815.

el campo en todo el borde, permanezca inferior o igual a  $E'_m$  rigidez del aislante sólido, cuando alcanza el valor  $E_m$  en el fluido en donde el campo es uniforme.

A título de ejemplo, si el aislante sólido tiene una constante dieléctrica  $\epsilon' = 3\epsilon$  y una rigidez  $E'_m = 0,4 E_{mp}$

820.

se satisfacen las condiciones anteriores cuando  $e' < 0,2 e$ , to-

172314

- 29 -



mando  $h = 3 (e + e')$  y dando al borde 17 un perfil semi-circular, de radio  $h$ . El índice de forma  $K'$  de este perfil es entonces proximo a 0,7.

825. Siendo iguales y opuestas las fuerzas que se ejercen entre los productores y los transportadores, conviene dar a las láminas 12 de los productores un espesor por lo menos igual a  $2 (e + \frac{\xi}{\xi'} e')$  y escoger para sus bordes un perfil favorable que asegure una buena distribución del campo. Se satisfaran estas condiciones, por ejemplo, tomando para espesor de una lámina 3 ( $e + e'$ ) y dándole como perfil para sus bordes una semi-elipse cuya relación de ejes esté comprendida entre 2 y 3, siendo el eje mayor paralelo a las caras planas de la lámina.

835. Si se englobaran las láminas de los productores en una misma masa de aislante sólido, con objeto de obtener platos análogos a los platos móviles, convendría dar a estas láminas, en general, el mismo espesor y el mismo perfil que a los sectores transportadores.

840. Si no se satisfacen las condiciones anteriormente encontradas, no puede alcanzarse con seguridad la potencia máxima  $\frac{1}{2} n n' C U^2$  cuyo valor se ha calculado anteriormente. Como en estas condiciones el que está en contacto con los sectores es un aislante sólido, este aislante puede deteriorarse por el campo exagerado reinante en las partes activas, y ello imposibilita el funcionamiento de la máquina.

#### Ejemplo IV.

Caso de una máquina de la clase TOEPLER, en la que en el intervalo de dos sectores consecutivos (fig. 9) se dispone un aislante sólido.

850. En este caso, la fuerza  $F$  tiene como valor

172314



855.  $-\frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$  (2 ea) dado que las caras fronterizas de los sectores transportadores 10 y de los productores 12 solo estan separadas por el medio fluido, pero una parte del par principal de un sector está cubierta por el fluido y otra por el aislante sólido 18. Si  $\lambda$  es la fracción de la superficie total de par principal  $2ha$  cubierta por el sólido, se tiene:

$$S = (1 - \lambda) 2ha \quad S' = \lambda \cdot 2ha \quad \text{y} \quad S'' = 0$$

si el aislante sólido está limitado, del lado del fluido, por planos paralelos al movimiento. El trabajo de las fuerzas electrostáticas que actuan sobre las partes activas, es inferior o igual al de la fuerza

$$2 ha \left[ (1 - \lambda) \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi} + \lambda \frac{\epsilon' E_m'^2}{8\pi} \right]$$

aplicada en el mismo punto que F.

De lo anterior se deduce que

865.  $2 ha \left[ (1 - \lambda) \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi} + \frac{\lambda \epsilon' E_m'^2}{8\pi} \right] \geq \frac{\epsilon E_m^2}{8\pi}$  (2ea)

es decir,

$$h \geq \frac{e}{1 - \lambda + \frac{\lambda \epsilon' E_m'^2}{\epsilon E_m^2}}$$

870. Escogido el espesor de los sectores 10 de acuerdo con este resultado, es preciso elegir para su bordes 17 un perfil que asegure una buena distribución del campo, es decir tal que el campo, en el fluido, permanezca inferior o igual a  $E_m$  y, en el sólido, inferior o igual a  $E_m'$  cuando es igual a  $E_m$  en la cara plana del sector en donde el campo es uniforme.

875. A título de ejemplo, si el aislante sólido tiene una constante dieléctrica  $\epsilon' = 3 \epsilon$  y una rigidez  $E_m' = 0,45 E_m$  se satisfacen las condiciones anteriores, cuando  $\lambda = 0,5$ , tomando  $h = 2e$ , y dando al borde 17 un perfil elíptico, de ejes  $h$  y  $2h$  siendo el eje mayor paralelo a las caras planas del

880. sector 10. El índice de forma K de la parte de par principal

172394



885. cubierta por el fluido, es próximo a 0,60, y el K' de la parte cubierta por el sólido, próximo a 0,66. En cuanto a las láminas 12 de los productores, si están únicamente rodeadas por el medio fluido, su caso es idéntico al de los sectores transportadores estudiados anteriormente.

Es pues preciso tratarlas de acuerdo con las mismas reglas.

Ejemplo V.

890. Caso de una máquina de la clase TOEPLER, en la que se han fijado en el borde posterior de los sectores transportadores, piezas aislantes (fig. 10).

895. Esta disposición permite dar al conjunto de los sectores 10 y de las piezas aislantes unidas 19, formas aerodinámicas fuseladas que sería imposible dar a una pieza enteramente conductora, sin provocar pérdidas eléctricas.

900. En este caso, el aislante sólido se divide en partes unidas a los diferentes sectores y materialmente distintas, contrariamente a lo que ocurre en el caso anterior. Se designa por  $\lambda$  la fracción de la superficie total de principal  $2ha$  recubierta por el aislante sólido. Se tiene

$$S = (1 - \lambda) 2ha, \quad S' = \lambda \cdot 2ha, \quad S'' = S' = \lambda \cdot 2ha.$$

La fuerza  $F$  tiene siempre el valor  $-\frac{\xi H_m^2}{8\pi} (2ea)$

y se obtiene, como primera aproximación.

$$-\frac{\xi H_m^2}{8\pi} (2ea) = 2ea \left[ (1 - \lambda) \frac{\xi H_m^2}{8\pi} + \lambda \frac{\xi' H_m^2}{8\pi} + \frac{(\xi' - \xi) \xi}{8\pi \xi'} H_m^2 \right]$$

905.

$$h = \frac{e}{1 - \lambda - \lambda \frac{\xi' H_m^2}{\xi H_m^2} + \frac{(\xi' - \xi)}{\xi'}}$$

Este valor de  $h$  en la gran mayoría de los casos, es aproximado por defecto.

Obtenido este primer resultado, es preciso elegir para el borde 17 de los sectores 10 un perfil favorable

172314



910. que asegure, como en los casos anteriores, una buena distribución del campo en el aislante sólido y en el fluido. A título de ejemplo, si el aislante sólido tiene una constante dieléctrica  $\epsilon' = 3\epsilon$  y una rigidez  $E'_m = 0,4 E_m$ , se satisfacen las condiciones anteriores cuando  $\lambda = 0,5$ , tomando  $h=1,5e$
915. y dando al borde un perfil elíptico de ejes  $H$  y  $2H$  al cual está unida una cola aislante 19 que tiene la forma de un diedro de  $60^\circ$  cuya arista 20 está a  $0,67h$  del vértice del borde. El índice de forma  $K$  de la parte del par principal del sector recubierta por el fluido, se aproxima a  $0,8$ ;
920. el  $K'$  de la parte de par principal del sector recubierta por el aislante sólido, se aproxima a  $0,6$  y  $K''$ , índice de forma del par principal del aislante sólido recubierto por el fluido se aproxima a  $0,45$ . En cuanto a las láminas de los productores, si están únicamente rodeadas por el medio fluido, su
925. caso es idéntico al de los sectores transportadores antes estudiados. Será pues preciso tratarlas de acuerdo con las mismas reglas.

Ejemplo VI.

930. Caso de una máquina de WIMSHURST, o máquina análoga, en la que todos los sectores de un mismo plato están rodeados, como ha hecho WOMNELSDORF, por un dieléctrico sólido, de rigidez  $E'_m$  y de constante dieléctrica  $\epsilon'$ .

935. Si las caras de los platos son planas y perpendiculares al eje, las superficies  $S''$  son nulas. La superficie de par principal  $S'$  de un sector, se deducirá de la superficie de par principal  $S$ , calculada como se indica en el Ejemplo II, por la relación

$$S' = S \frac{\epsilon E_m^2}{\epsilon' E'_m^2}$$

Si la máquina funciona en el aire a presión ordinaria, cuya

172314



- 33 -

940. densidad máxima de energía es pequeña, S' puede ser menor que S pero lo contrario ocurre, en general, en un medio de rigidez muy grande, cuya densidad máxima de energía excede de la de muchos aislantes sólidos.

N O T A

945. Habiendo ya descrito ampliamente la naturaleza del invento, así como la manera de llevarlo a cabo en la práctica, se hace constar que las disposiciones anteriormente descritas son susceptibles de ligeras modificaciones de detalle sin que por ello se altere el principio fundamental

950. del invento. También se hace constar que dicho invento se refiere a una Patente presentada en Francia con fecha 8 de Noviembre 1944, bajo el nº 2.544 acogiendo por lo tanto a los beneficios que conceden los convenios internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia de dicho in-

955. vento y por lo que se solicita Patente de invención por veinte años en España; "Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones, la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles"; caracterizándose por lo siguiente:

960. 1º.-Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones, la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles, caracterizado por que se dá a cada una de las superficies de par principal de las partes activas de los órganos móviles conducto-

965. res, un área suficientemente grande, y a estas partes activas así como eventualmente a los dieléctricos sólidos que de ellas son solidarios, una forma determinada de modo conocido en esencia para que las fuerzas electrostáticas que se ejercen sobre los órganos móviles estén lo más próximas posible de

172314

-34-



970. su límite superior admisible, determinado por el hecho de que la presión electrostática, en las proximidades de un punto de un conductor, no puede exceder del límite  $\xi \frac{E_m^2}{8n}$  en donde  $E_m$  designa la regidez dieléctrica del dielectrico en contacto con el conductor en este punto, y  $\xi$  la constante dieléctrica de dicho dielectrico, y teniendo en cuenta el volumen, el peso y las características de utilización de la máquina.
- 975.

- 2º.-Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones, la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles, según lo especificado en el punto 1, caracterizado por que se dá a las partes activas de los órganos conductores fijos, cuando existen, características de par principal y de forma análogas a las dadas a las partes activas de los órganos móviles, considerando el movimiento relativo de los órganos fijos con respecto a los órganos móviles.
- 980.
- 985.

- 3º.-Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones, la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles, según lo especificado en los puntos 1 y 2, caracterizado por que se dá a las partes activas de los órganos conductores fijos o móviles, un espesor marginal superior a 0,2 cm. y/o una superficie de par principal superior a  $0,2a \text{ cm}^2$ , siendo  $a$  la mayor dimensión, en centímetros, de la proyección que define el par principal de la pieza considerada.
- 990.
- 995.

- 4º.-Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones, la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles, caracterizado por una máquina electrostática de órganos conductores

172314

- 35 -



1.000. móviles, por ejemplo del tipo de las máquinas de TOEPLER WIMSHURST o de WOMNELSDORF, dispuesta de acuerdo con lo especificado en los puntos 1, 2 ó 3.

5º.-Procedimiento para aumentar, en igualdad de dimensiones, la potencia y el rendimiento de las máquinas electrostáticas con órganos conductores móviles, tal y como queda substancialmente descrito en la presente memoria, e ilustrado en los adjuntos dibujos.

Esta memoria consta de treinta y cinco hojas escritas por una sola cara.

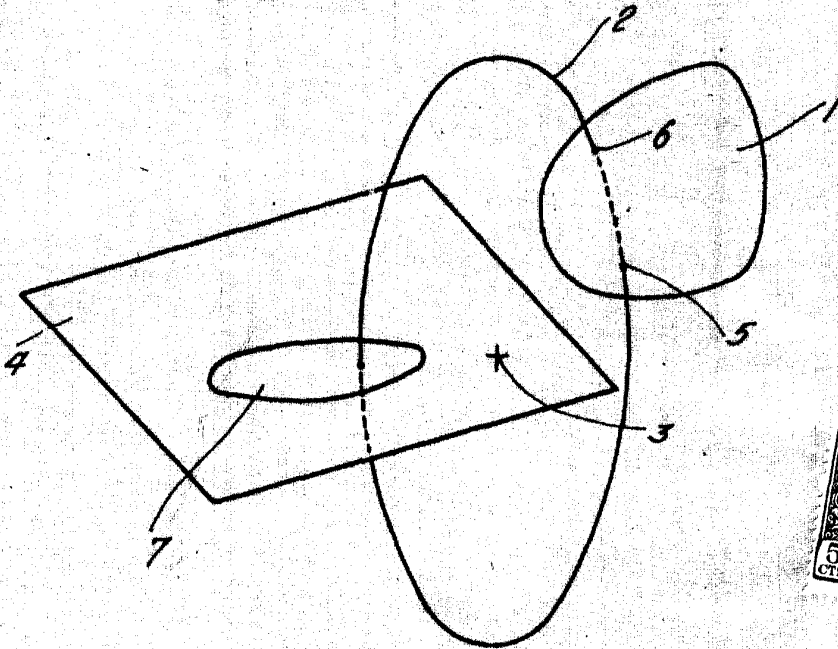
Madrid, 25 de enero de 1946

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Por Poder de J. GOMEZ ACEBAL

172314

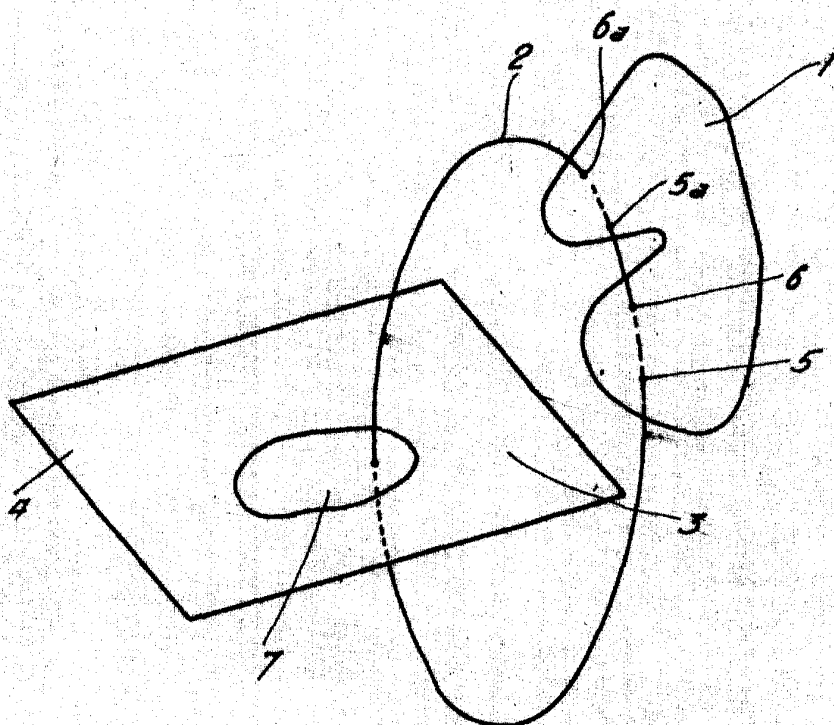
Fig.1



Madrid, 25 enero 1946.

Por Poder de J. GOMEZ ACERCA

Fig.2



172314 Fig. 3

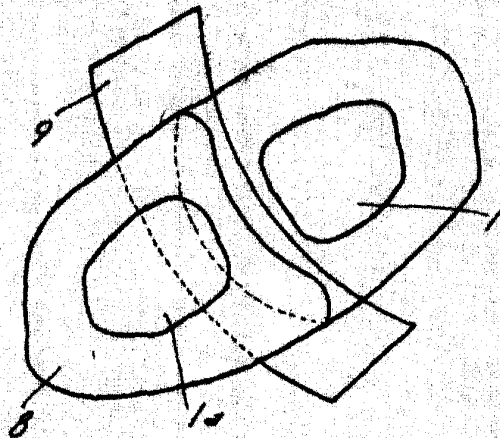
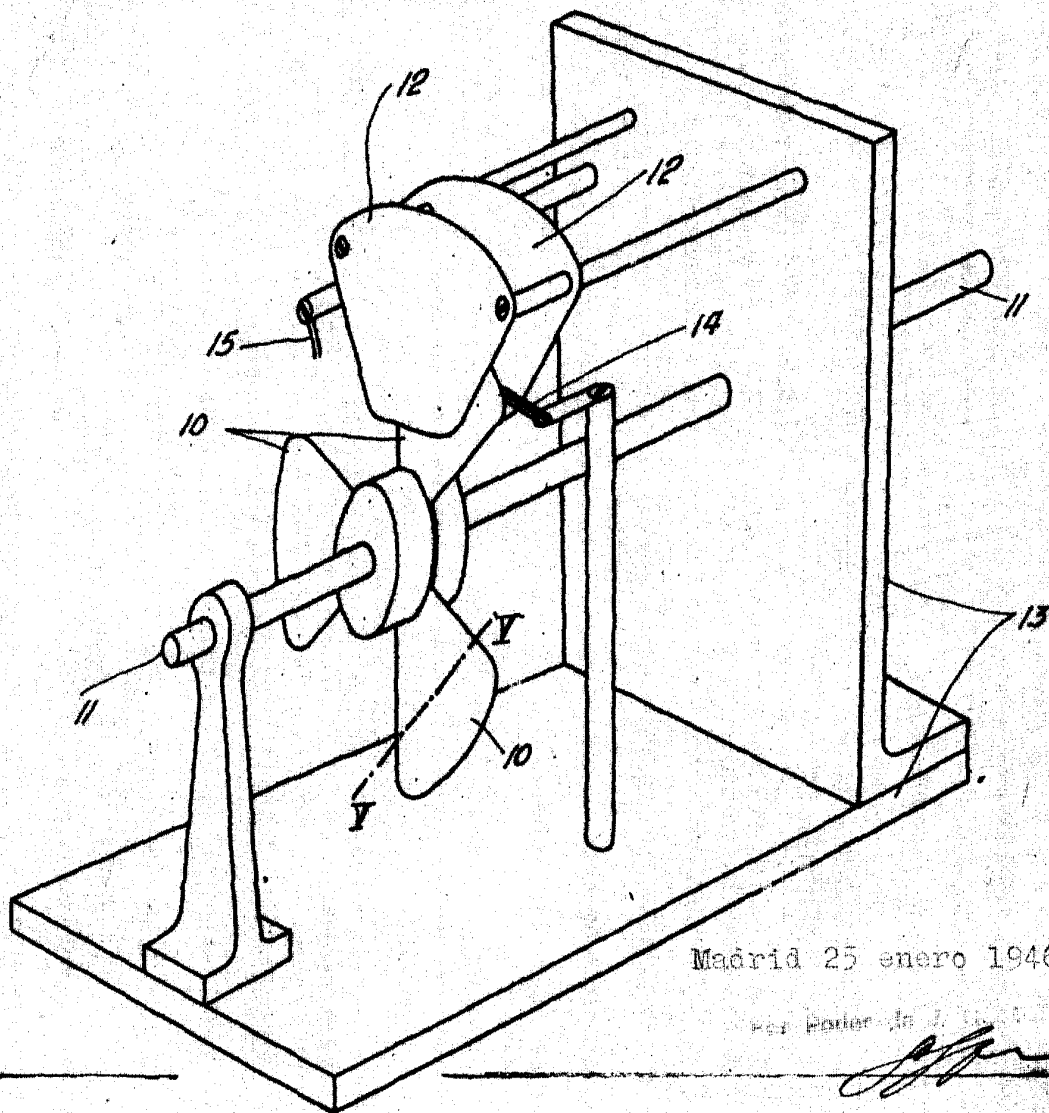


Fig. 4



Madrid 25 enero 1946.

Por Poder de J. ...

Fig. 5

172314

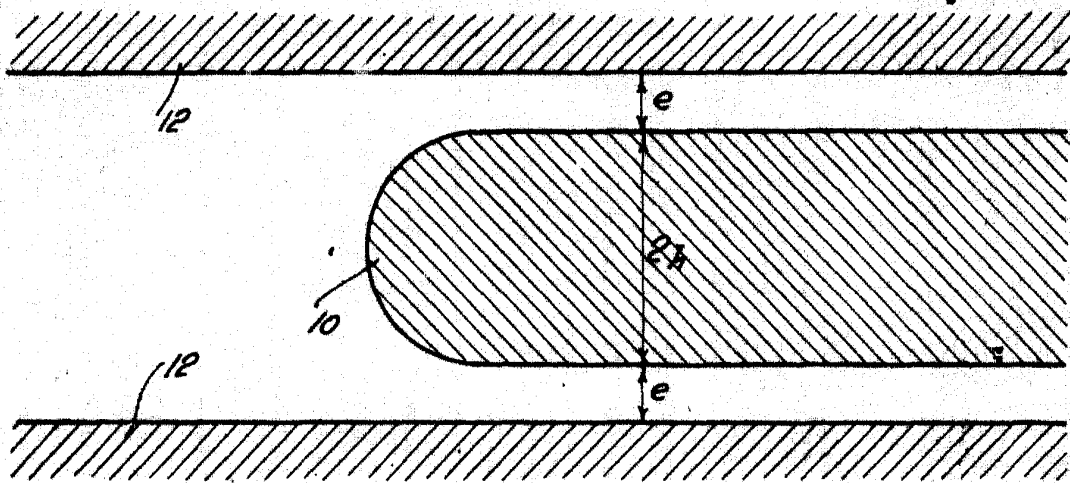


Fig. 6

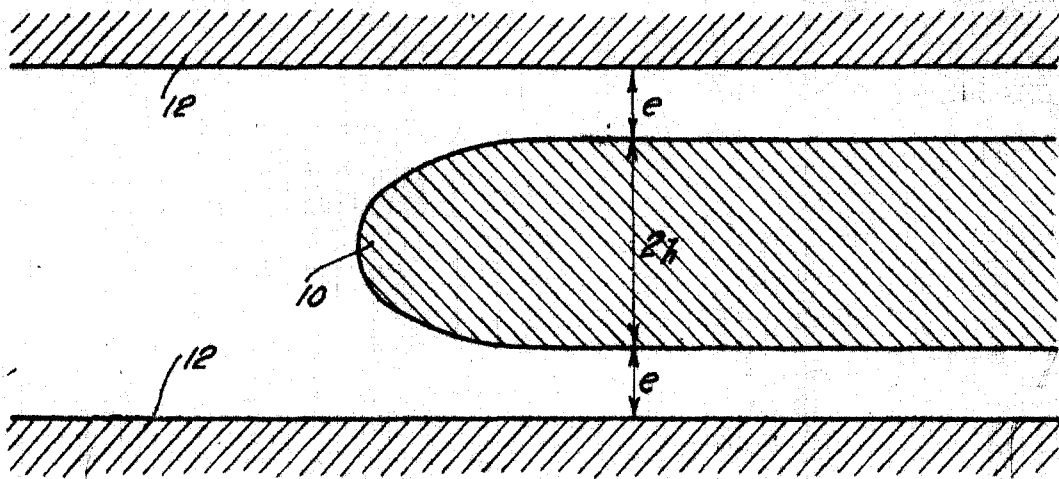
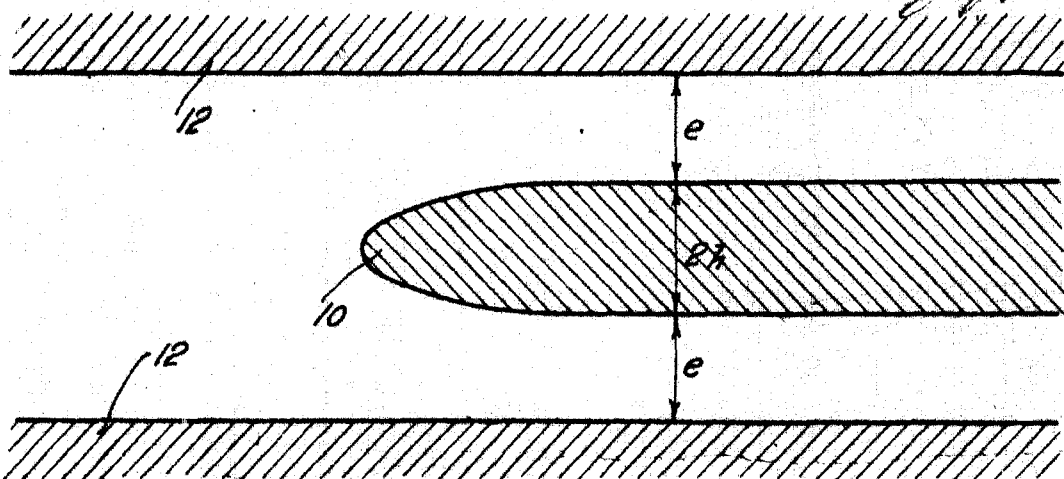


Fig. 7

Madrid 25 enero 1946.

por Pedro



172314

Fig.8

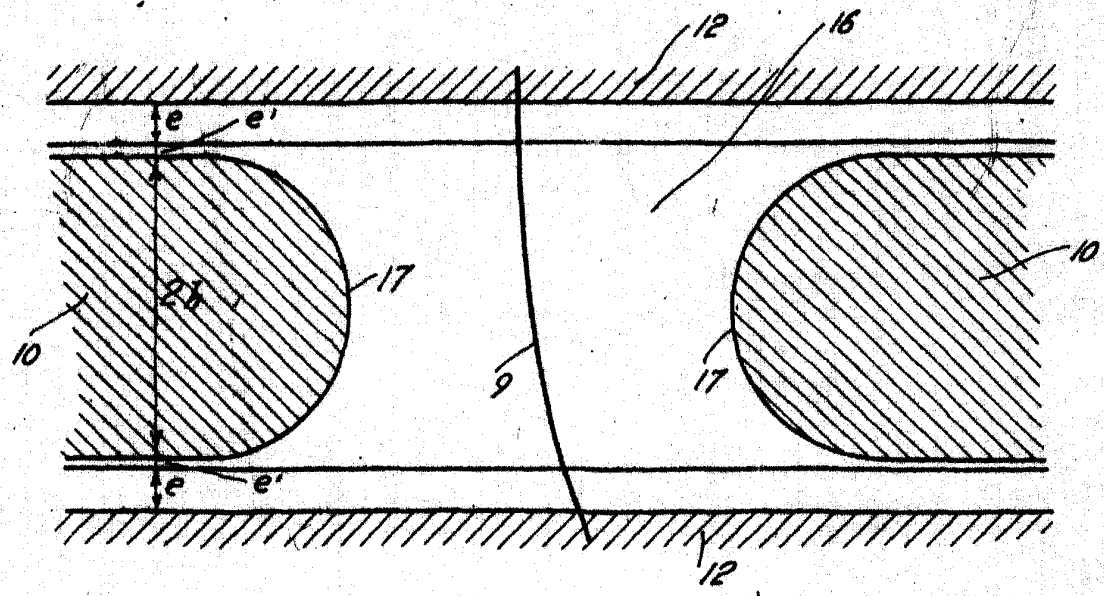
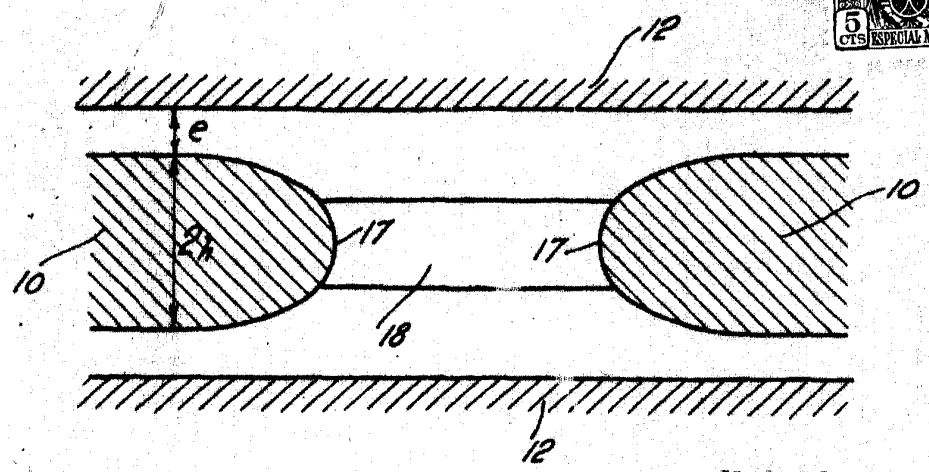


Fig.9



Madrid 25 enero 1946.

Fig.10

*J. P. ...*

