



PATENTE DE INVENCION

1954.3.
=====

337882

Memoria Descriptiva

sobre:

"Perfeccionamientos en dispositivos de producción y de interacción de haces de plasma".

Solicitante: COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, entidad francesa, residente en 29, rue de la Fédération, Paris 15^e, - Francia.

La presente invención tiene por objeto un dispositivo de producción y de interacción de haces intensos de plasma constituídos por electrones y por iones de alta energía.

5. Se ha utilizado ya la acción simul



337882

11

MAR 1951

- tánea sobre un plasma de un campo electromagnético -
de muy alta frecuencia y de un campo magnético está-
tico cuya dirección es paralela al gradiente de la -
componente eléctrica del campo electromagnético; se
5. sabe que cada partícula del plasma queda entonces so-
metida a una fuerza: esta fuerza comprende una compo-
nente importante paralela al gradiente del campo elec-
tromagnético y según que la partícula se halle situa-
da en una zona donde su frecuencia ciclotrón f_c (fre-
10. cuencia de rotación natural de la partícula en el -
campo magnético) sea superior o inferior a la frecuen-
cia f del campo electromagnético, la partícula inte-
resada es arrastrada hacia una zona donde el campo -
eléctrico es máximo o mínimo.
15. Se sabe, por otra parte que, entre
los problemas de confinamiento de un plasma, se plan-
tea el que va ligado a la convexidad de las líneas -
de fuerza del campo magnético axial en el espacio com-
prendido entre las bobinas de dos espejos magnéticos
20. y a la inestabilidad de un plasma sometido a tal cam-
po; se ha propuesto ya resolver este problema yuxta-
poniendo al campo axial un campo radial multipolar,
de modo que el campo total resultante aumente en to-
das las direcciones a partir de la zona de acumulación
25. del plasma y que las superficies de flujo sean cónc-
vas. Se designa por el término de "campo radial mul-
tipolar" un campo eléctrico radial del tipo creado -
por un número par de conductores situados paralela-
mente entre sí, recorridos por corrientes de igual -
30. intensidad y repartidos a intervalos angulares igua-
les en torno a un eje de dicha zona, estando recorri-

337882



dos dos conductores adyacentes por las corrientes en dos direcciones opuestas.

- La invención se propone principalmente la concepción de un dispositivo que permite, -
5. al poner en aplicación una combinación de campos -
eléctricos y magnéticos de valor adecuado, producir
haces de plasma y provocar su interacción, presentando
una intensidad elevada y estando constituidos por
electrones y por iones de alta energía.
10. Entre otras ventajas de la invención, se puede anotar que permite realizar haces de
intensidad y de energía extremadamente elevadas, en
particular cuando la sobretensión de la cavidad se -
mantiene a un valor bajo, próximo a la unidad, y so-
bre todo que la presencia de plasma no perturba el -
15. campo eléctrico, puesto que éste, ventajosamente, es
nulo en la zona próxima al plano medio, fijando ade-
más la existencia de este mínimo localizado la zona
de acumulación.
20. De manera más precisa, la presente invención se refiere a un dispositivo de producción
y de interacción de haces de plasma constituidos
por electrones y por iones de alta energía, caracteriz
ándose dicho dispositivo por el hecho de que comprende
25. de:
- una cavidad cilíndrica, sensiblemente de revolución
en torno a su eje, constituida por un conducto
perforado con una serie de orificios circulares,
 - medios para excitar en dicha cavidad un campo -
30. eléctrico alterno, de dirección perpendicular a dicho

337882



eje y que presenta una distribución sensiblemente si
métrica de intensidad con respecto al plano medio de
la cavidad y una intensidad sensiblemente nula en el
plano medio,

5. - medios para hacer un vacío acusado en la cavidad,
- medios dispuestos simétricamente con respecto al
plano medio para crear en dicho conducto un campo -
magnético axial estático cuya intensidad varía a lo
largo del eje de la cavidad según una ley sensiblemente
10. te parabólica,
- y unos conductores paralelos al eje y recorridos
por una corriente, repartidos a intervalos angulares
iguales en torno al conducto, estando dos conductores
sucesivos recorridos por una corriente en sentido in
15. verso.

La intensidad del campo magnético
en los puntos en los que el campo eléctrico es máxi-
mo es tal que la frecuencia ciclotrón de los electrone
nes en estos puntos igual a la frecuencia del campo
20. eléctrico.

- En una forma de realización pre-
ferida del invento, la totalidad de la bocanada de -
plasma se crea en un tiempo muy corto, directamente
en zona central de la cavidad, por presionización -
25. provocada por iluminación por medio de un haz laser
intenso dirigido sobre un blanco de naturaleza convene
niente, de hidruro de litio, por ejemplo.

- Los planos anexos representan, a
título de ejemplo, una forma de ejecución de la in-
30. vención. Las disposiciones particulares de realiza-

337882

11



ción que vamos a considerar habrán de estimarse como formando parte de la invención, bien entendido que - todas las disposiciones equivalentes podrán utilizarse igualmente sin salirse de su marco.

5. En los planos:
La figura 1 es una vista esquemática, en perspectiva y en sección parcial, de un dispositivo de interacción de plasma, que constituye una forma de realización del invento;
10. la figura 2 es un gráfico representativo de las variaciones a lo largo del eje Z de la amplitud E de la componente eléctrica de un campo electromagnético estacionario (en trazo continuo) y de un campo eléctrico constituido por dos ondas progresivas (en línea de trazos);
15. la figura 3 es una gráfica representativa de la variación a lo largo del eje Z de la relación B_z/B_r del campo magnético estático axial local y del campo correspondiente a la resonancia ciclotrón de los electrones;
20. la figura 4 es un diagrama que da esquemáticamente el movimiento axial Z (γ) de un electrón en el dispositivo de la figura 1, así como la evolución de las energías paralela $V_{\parallel 2}$ y perpendicular $V_{\perp 2}$;
25. la figura 5 muestra muy esquemáticamente medios de pre-ionización del gas en el dispositivo de la figura 1, en sección según un plano horizontal que pasa por el eje Z.
30. El dispositivo que aparece en la

337882



figura 1 comprende un resonador de acumulaci^on de plasma constituido por una cavidad 10 cilindrica y que comprende dos aberturas opuestas 12 y 12' alineadas segun el eje Z de la cavidad 10. Las dimensiones de la cavidad 10 representada son tales que resuena a muy alta frecuencia segun el modulo TE 112 - cuando es excitada por una onda electromagnetica de frecuencia adecuada; el reparto del campo electrico a lo largo del eje Z es entonces el indicado en linea continua en la figura 2, con un minimo practicamente nulo en el centro de la cavidad 10.

El campo electrico alterno transversal E asi creado puede presentar o bien una polarizacion transversal al eje Z en un plano fijo, o bien una polarizacion circular recta (girando entonces el vector campo electrico en el plano perpendicular al eje Z de revolucion de la cavidad).

Pueden utilizarse diversas formas de excitacion de la cavidad resonante. La solucion adoptada en el dispositivo de la figura 1 presenta la ventaja de asegurar un montaje perfectamente simetrico y de facilitar el enlace de la cavidad 10 con un recinto comunicado con una bomba de vacio, como se vera mas adelante. Consiste en utilizar dos generadores de muy alta frecuencia 14 y 14', que pueden estar constituidos por klistrones independientes de banda ancha y de gran potencia, que permiten realizar la modulacion o sintonia. Estas guias de ondas 16 y 16' comunican con las aberturas 12 y 12' por intermedio de ventanas que pueden ser del tipo descrito



337882

en la solicitud depositada en el día por los mismos solicitantes.

5. Se pueden reemplazar los generadores de klistrones, por dos generadores de muy alta frecuencia, constituido cada uno de ellos por un tubo oscilador de ondas progresivas (del tipo designado por la marca "carcinotron") que ataquen a un "carcinotron" amplificador. El deslizamiento de frecuencia, cuando los generadores salen de la banda de sintonía con la
10. cavidad, puede regularse y rectificarse por un sistema clásico electrónico de sintonía o modulación automática.

15. En lugar de dos generadores 14 y 14', se puede evidentemente utilizar un solo generador que alimente, después de división de la potencia, dos cabezas acopladas a los extremos de la cavidad - 10.

20. En lugar de un campo electromagnético estacionario, se puede utilizar un campo eléctrico creado por dos ondas electromagnéticas progresivas (propagándose desde las aberturas 12 y 12' hacia el plano medio de la cavidad: En este caso las ondas progresivas se amortiguan en el plasma que crean y - sus intensidades presentan el reparto indicado en lí
25. nea de trazos en la figura 2, con un valor también - nulo en el plano medio.

30. En torno a la cavidad 10 y coaxialmente a ésta, va situado un recinto 22 que sirve de caja de vacío: la cavidad 10 está constituida por un conducto perforado por una serie de orificios circu-

337882



lares de comunicación con el recinto 22; ~~este~~ construc

ción permite, pues, obtener una transparencia del or
den del 50%, que ofrece a un tiempo un excelente pa
so a las partículas neutras de la cavidad 10 hacia -

5. el recinto 22 unido por una abertura 23 a la bomba de
vacío (no representada), sin dejar huir, sin embargo,
de manera sensible el campo eléctrico de muy alta -
frecuencia.

10. La cavidad 10 es igualmente sometida a un campo magnético axial simétrico con respecto
al plano medio creado por cuando menos un par de bobinas dispuestas simétricamente con respecto a este plano medio. En la forma de realización descrita, -
se han previsto dos pares de bobinas 24-24' y 26-26'
15. alimentadas en corriente eléctrica continua establ
zada y dispuestas en torno a unas prolongaciones de
la cavidad 10, a uno y otro lado del recinto 22.

- Estas bobinas, si se utilizasen -
solas, proporcionarían más allá del máximo un campo
20. decreciente rápidamente a la zona ocupada por las -
guías de ondas, con lo que la condición de igualdad
de la frecuencia ciclotrón y de la frecuencia del campo
eléctrico podría correr el riesgo de cumplirse en
la parte lateral externa de estas guías de ondas, de
25. donde se derivarían fugas radioeléctricas importan-
tes.

- Por otra parte, si fuesen utilizada
das solas, proporcionarían en la parte del conducto
22 situado en el interior de la cavidad, un campo -
30. magnético cuyas líneas de fuerza, sensiblemente para

337882



lelas al eje Z en la parte próxima al eje, serían -
convexas en las partes alojadas del eje.

5. Para evitar el primer riesgo, se disponen dos bobinas suplementarias, una sola de las cuales, 27' se ha representado en la figura 1, simétricamente, más allá de las guías de onda 16 y 16' y levantan la intensidad del campo magnético axial en éstas para proporcionar la distribución final representada en línea continua en la figura 3. Para su-
10. primir el segundo riesgo (convexidad de las líneas de fuerza en la parte alejada del eje), se superpone al campo magnético axial un campo magnético radial multipolar destinado a dar al campo magnético resultante una estructura de líneas de fuerza de concavidad dirigida hacia la zona de confinamiento del plasma.
15. Este campo eléctrico radial se crea por un número par de conductores tales como 28 (figura 1) situados junto al conducto 22 y en el interior de éste. - Para que estos conductores no perturben la forma de
20. excitación de la cavidad resonante 10, están revestidos de cerámica aislante.

25. Se pueden utilizar como conductores 28 unos hilos supraconductores contenidos en una cubierta de recepción de helio líquido: estas cubiertas pueden ser entonces utilizadas igualmente para - condensar vapor de titanio y participar al mantenimiento del vacío en el recinto.

30. Para asegurar un funcionamiento satisfactorio de la intensidad del campo magnético en la cavidad 10, debe cumplir una condición de manera -

337882



- aproximada por lo menos: la intensidad B del campo magnético en las zonas donde el campo eléctrico E, de pulsación ω_{HF} , presenta su valor máximo debe ser tal que tengamos en estas zonas $\omega_{ce} = \omega_{HF}$. En esta fórmula, ω_{ce} es la frecuencia ciclotrón de un electrón, que va ligado a la carga q, al campo E y a la masa en movimiento m del electrón por la relación
5.
$$\omega_{ce} = \frac{qB}{m}$$
 . Esta relación es válida tanto en el caso de una cavidad resonante como en el de ondas amortiguadas. Para permitir la regulación del emplazamiento de la resonancia $\omega_{ce} = \omega_{HF}$, se ha previsto una alimentación estabilizada ajustable (no representada) de los diversos bobinados. Se puede así eventualmente tener en cuenta los efectos relativista, diamagnético o Doppler.
10. 15.

Funcionamiento del dispositivo:

Antes de la aplicación de los campos a la cavidad, se realiza en ella un vacío acusado. Cuando se aplica un impulso, el gas neutro o pre-ionizado de la cavidad se somete, por el hecho de la resonancia en las zonas en las que el campo eléctrico es máximo, a fuerzas axiales dirigidas desde cada extremo del conducto hacia el plano medio. El campo eléctrico de muy alta frecuencia transfiere su energía (eventualmente en su casi totalidad) a los electrones bajo la forma, primero, de energía perpendicular, después de energía paralela; simultáneamente, por el mecanismo de la carga de espacio, hay transmisión de energía de los electrones a los iones.

20. 25.

30. Se obtienen así dos haces de plas

337882 11



- ma compuestos de electrones de energía esencialmente perpendicular y de iones de energía paralela que nacen cada uno de una mitad del conducto y son reflejados en la otra mitad. La zona central de la cavidad, donde el campo eléctrico es mínimo o nulo, constituye una zona de interacción de los haces. Puede acumularse en ella un plasma intenso sin modificar, sin embargo, profundamente la frecuencia de resonancia de la cavidad cargada.
- 5.
10. En las zonas laterales, donde $\omega > \omega_{ce}$ ω_{HF} , hay compatibilidad con la interacción del campo H F progresivo o estacionario, incluso cuando están ocupadas por un plasma denso, es decir, tal como $N_p > N_c$, donde N_p : densidad plasma, y N_c : densidad de corte = $\frac{4\pi^2 f^2 n \epsilon_0}{e^2}$
- 15.
- Entre dos reflexiones sucesivas, los haces ganan energía al tiempo que permanecen confinados. En la figura 5 se ve la evolución del movimiento axial Z y de las energías paralelas Z'^2 y perpendicular $(X'^2 + Y'^2)_1$, tal como se ha determinado teóricamente sobre un calculador analógico en función de $\tau = \omega_{HF} \cdot t$
- 20.
- Es en la zona central -donde las energías paralelas y las densidades son máximas-, donde se pueden obtener más reacciones de fusión en el caso de que el medio ionizado sea deuterio: es allí, en efecto, donde la densidad y las secciones eficaces son máximas. Esta zona está, por otra parte, desprovista de todo campo eléctrico de alta fre
- 25.
- 30.

337882

11



cuencia y presenta así las mejores condiciones de estabilidad: la figura 5 muestra esquemáticamente, en trazos mixtos, la asección recta circular mínima ocupada en esta zona por los haces en interacción.

5. La débil sobretensión de la cavidad favorece el acoplamiento del generador H F a la cavidad cargada por el plasma. El plasma queda confinado tridimensionalmente como consecuencia del efecto combinado de los tres campos. En particular, el
10. campo magnético radial, además de su misión clásica de confinamiento refleja las trayectorias de las partículas de gran energía perpendicular, y por tanto - reduce las pérdidas de partículas por la pared lateral y mantiene el plasma lejos de esta pared; en cuanto
15. al confinamiento axial, queda asegurado por las bobinas 24, 24', 26 y 26' que constituyen espejos magnéticos y cuya eficacia se logra por el mantenimiento de la proporción $v_{\perp} / v_{\parallel}$ por el campo eléctrico de alta frecuencia a valores superiores a 100.
20. La energía H F transferida al plasma puede perderse bajo la forma de radiación o bajo - la forma de partículas.
25. La primera forma de pérdida carece de consecuencias graves, ya que la energía, radiada - principalmente a la frecuencia ciclotrón de los electrones, se reabsorbe después de una reflexión sobre las paredes de la cavidad.
30. En cuanto al confinamiento de las partículas, es tridimensional a las colisiones excepto sobre las partículas neutras: las pérdidas en par

337882



tículas se hacen, pues, esencialmente por choques de carga con moléculas del gas neutro residual y es esencial trabajar a baja presión, superior a 10^{-7} Torr.

5. Para asegurar un correcto funcionamiento, es necesario realizar una inyección de gas ionizado rápido (de preferencia en un tiempo inferior a $1 \mu s$), localizada, densa (para inyectar en una vez el número total de partículas necesarias) y ocupando muy pequeño volumen (para perturbar poco al principio del impulso el módulo de la cavidad).

10. Un procedimiento que permite realizar una pre-ionización que responde a estas condiciones consiste en focalizar un haz laser, disparado después de la iniciación del impulso con un retraso regulable electrónicamente, sobre un blanco situado en el conducto; este blanco puede ser fijo, en levitación o, más sencillamente, en caída libre en la cavidad en el plano medio, donde el campo H F es mínimo.

15. En la realización representada en la figura 5, el blanco 30 que puede ser un micro-gránulo de hidruro de litio $D_2 Li$ intercepta al caer un pincel de luz 32, suministrado por un laser de gas -
20. 34; una célula fotoeléctrica 36 de recepción del pincel 32 descarga entonces un haz intenso de luz procedente de un laser de rubí 38, focalizado por una lente 40 sobre el grano 30 que se ioniza. Con 1 julio de energía y micro-granos que contienen de 10^{16} a -
25. 10^{17} átomos neutros, se pueden crear iones y electro
- 30.



nes en igual número, que presenten una energía de 25 a 100 eV, en un volumen del orden del mm^3 . El microplasma así constituido sufre la acción de los campos y se acumula desarrollándose en la zona central.

5. El plasma así realizado queda bien confinado y despegado de las paredes de la cavidad 10, sin que sea necesario prever paredes materiales dieléctricas; en particular el campo magnético radial multipolar retiene los electrones que a su vez confinan los iones por efecto de carga de espacio.

10. El dispositivo permite, pues, realizar en una estructura única unos haces cuya intensidad y energía sobrepasan las que se podrían realizar en los dispositivos donde el plasma sólo experimenta una aceleración.

15. A título de ejemplo, una potencia electromagnética de 2 MW permite obtener haces de plasma de densidad comprendida entre 10^{13} y 10^{14} si están bien focalizados, y estando comprendida la energía de las partículas entre 10 y 100 keV, pueden observarse reacciones de fusión. A título de ejemplo, se ha realizado un dispositivo en el cual la cavidad 10 resonaba según el módulo TE 112 sobre una frecuencia de 1250 MHz.

20. El funcionamiento en régimen pulsado no se diferencia prácticamente del de régimen continuo más que por las potencias puestas en juego: en régimen pulsado, la potencia puede alcanzar 4 MW durante 100 ps; las bobinas y los conductores lineales que proporcionan el campo multipolar pueden igualmente ser

30.

337882



alimentados en régimen pulsado; los conductores en particular pueden ser alimentados por osciladores de gran potencia (que sobrepasen 4 MW) y de frecuencia comprendida entre 1 y 200 MHz durante 100 μ seg.: se

5. proporciona así al plasma un complemento de energía de caldeo y de estabilización.

N O T A

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo

10. en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento corresponde a una solicitud de patente

15. presentada en Francia con fecha 11 de Marzo de 1.966, bajo el número PV. 53.204, acogiéndose por tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente

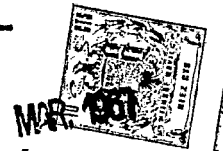
20. de Invención por 20 años en España sobre: "PERFECCIONAMIENTOS EN DISPOSITIVOS DE PRODUCCION Y DE INTERACCION DE HACES DE PLASMA"; caracterizándose por lo siguiente:

1ª.- Perfeccionamientos en dispositivos de producción y de interacción de haces de

25. plasma, caracterizados porque dicho dispositivo se constituye con una cavidad cilíndrica, sensiblemente de revolución, en torno a un eje, constituida por un conducto perforado con una serie de orificios circulares,

30. con medios para excitar en dicha cavidad un -

337882



- campo eléctrico alterno de dirección perpendicular a dicho eje y que presenta una distribución sensiblemente simétrica de intensidad con relación al plano medio de la cavidad y una intensidad sensiblemente nula en el plano medio, con medios para hacer un vacío acusado en la cavidad, con medios dispuestos simétricamente con respecto al plano medio para crear en dicho conducto un campo magnético axial estático cuya intensidad varía a lo largo del eje de la cavidad según una ley sensiblemente parabólica, y con conductores paralelos al eje y recorridos por una corriente, distribuidos a intervalos angulares iguales en torno al conducto, estando recorridos dos conductores sucesivos por una corriente en sentido inverso, siendo tal la intensidad del campo magnético en los puntos en que el campo eléctrico es máximo, que la frecuencia ciclotrón de los electrones en estos puntos es igual a la frecuencia del campo eléctrico.
- 5.
- 10.
- 15.

20. 2ª.- Perfeccionamientos, según la reivindicación 1, caracterizados porque en dicho dispositivo se dispone un laser que permite crear una bocanada de plasma directamente en la porción central de la cavidad por iluminación intensa de un blanco de naturaleza adecuada.

25. 3ª.- Perfeccionamientos, según la reivindicación 2, caracterizados porque el blanco es de hidruro de litio.

30. 4ª.- Perfeccionamientos en dispositivos de producción y de interacción de haces de plasma; tal y como queda sustancialmente descrito -

337882



MAR. 1957

en la presente Memoria y en los adjuntos dibujos.

Esta Memoria consta de diecisiete hojas, escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

11 MAR 1957

COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE,

J. GOMEZ ACEBO Y MODET
p. p. Fernando F. Hernández Ruiz

337882



337882

ESCALA VARIABLE

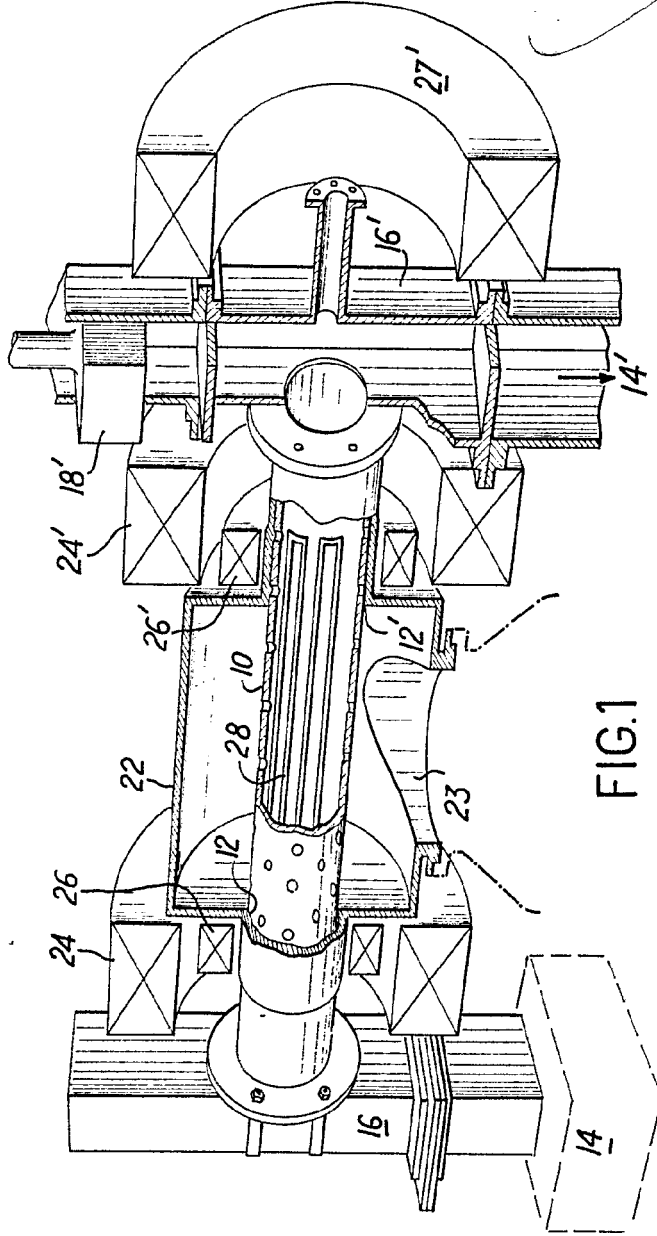
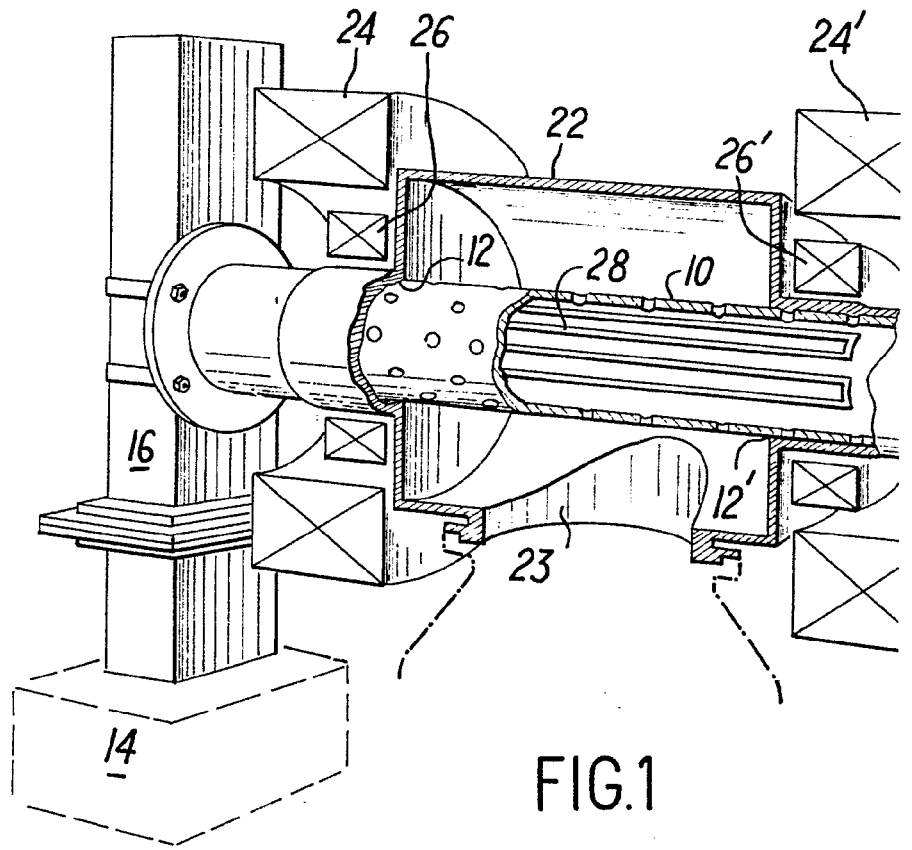


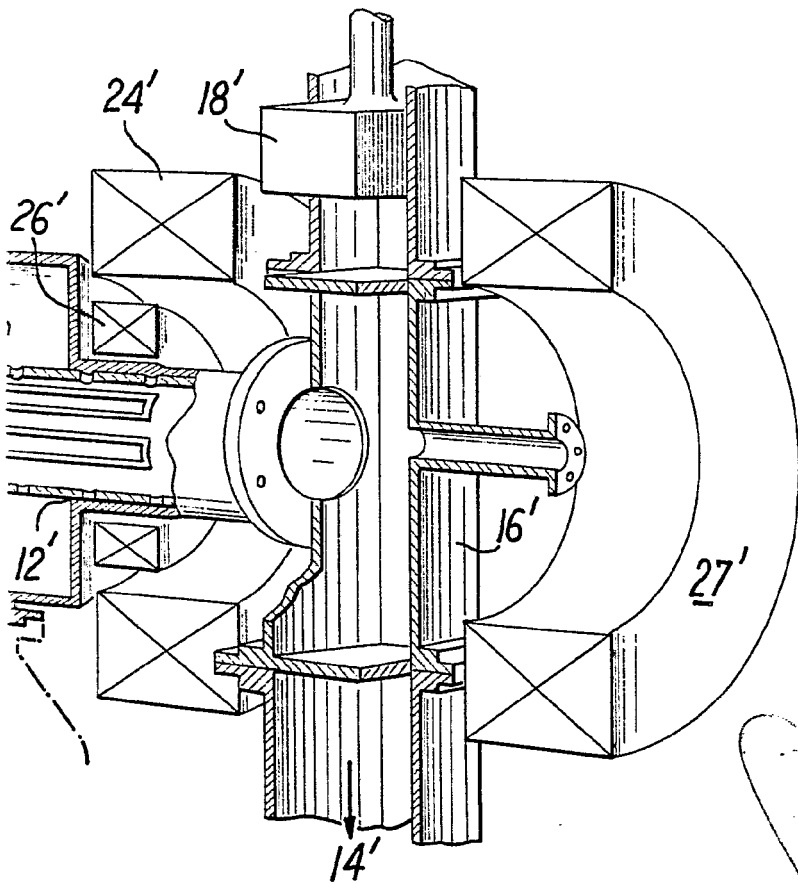
FIG.1

Madrid 11 MAR 1931
J. GOMEZ ACEBO Y SOBRI
Ingeniero de Plomería y Fontanería

537882



337882



ESCALA
VARIABLE

Madrid 11 MAR 1907

J. GOMEZ ACEBO Y MOYET
Dep. Firmador F. Hernandez Ruiz

35/882

FIG. 2

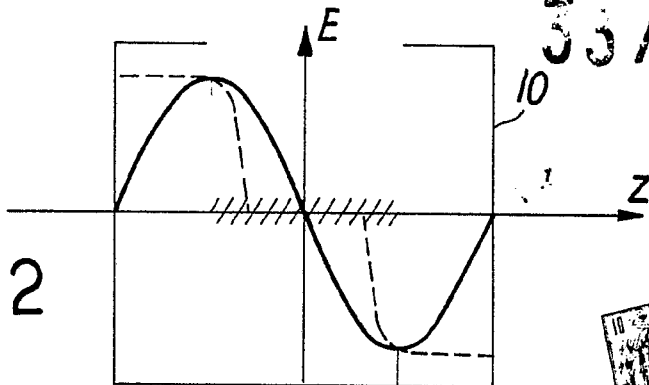
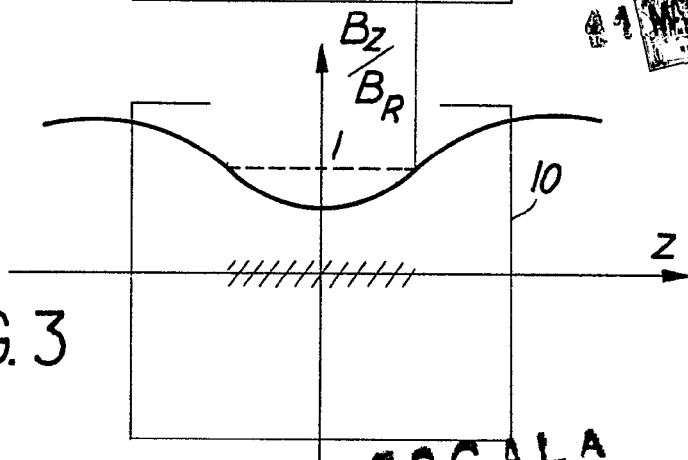


FIG. 3



ESCALA VARIABLE

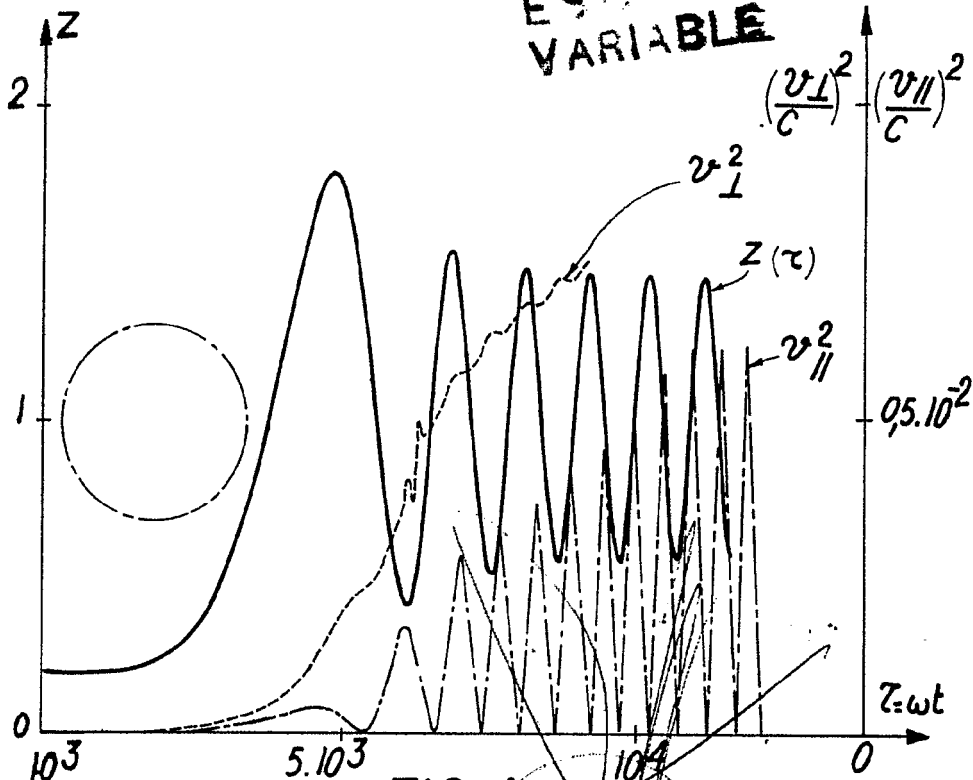


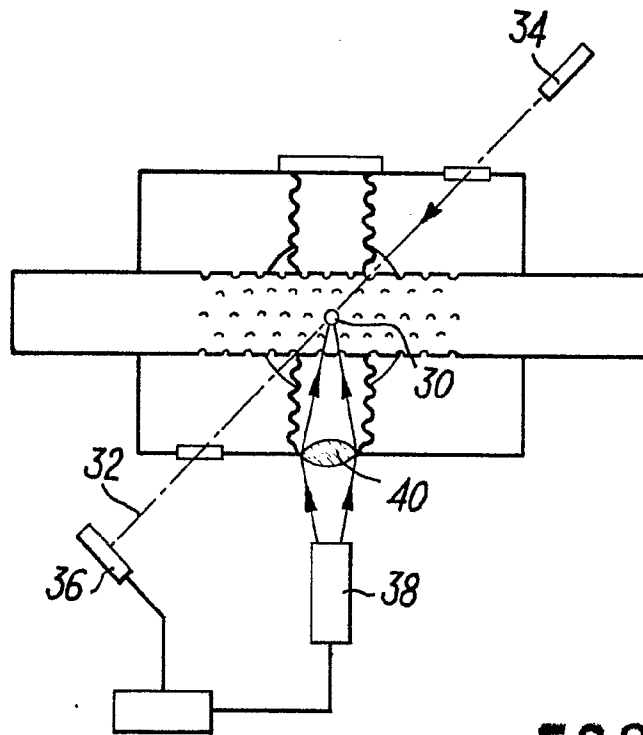
FIG. 4

Madrid 11 MAR 1967
 J. GOMEZ ACERO Y ASOCIADOS

337882

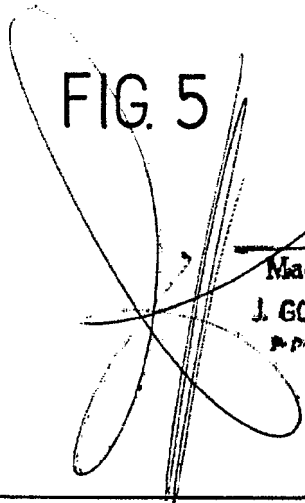


11 MAR 1961



ESCALA
VARIABLE

FIG. 5



11 MAR 1961

Madrid

J. GOMEZ AFRIO Y MURIEL
p.p. Finca Las Fr. Hernandez Rota