



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 300 664**

51 Int. Cl.:  
**A01G 15/00** (2006.01)  
**B64D 1/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03816015 .6**  
86 Fecha de presentación : **27.02.2003**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1638388**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **29.03.2006**

54 Título: **Procedimiento y equipamiento para desencadenar precipitación en forma de lluvia de nubes convectivas de tipo cúmulos por pulverización de gotas de agua de tamaño controlado.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.06.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.06.2008**

73 Titular/es: **Imai Takeshi**  
**Rue Caldino Barbosa 200 Macedo**  
**CEP-07115-040 Guarulhos/SP, BR**

72 Inventor/es: **Takeshi, Imai**

74 Agente: **Vázquez Fernández-Villa, Concepción**

ES 2 300 664 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y equipamiento para desencadenar precipitación en forma de lluvia de nubes convectivas de tipo cúmulos por pulverización de gotas de agua de tamaño controlado.

El propósito de esta patente de invención es un procedimiento y el equipamiento diseñado para desencadenar artificialmente la precipitación en forma de lluvia de nubes convectivas de tipo cúmulos, mediante la aplicación de agua a estas nubes usando un sistema que produce la recolección de gotas de agua de tamaño controlado, usando aviones equipados adecuadamente con el equipamiento que es materia objeto de esta solicitud de patente, y que desencadena la lluvia con eficacia, productividad y con un bajo coste.

Las nubes cúmulos son responsables de 75 por ciento de las lluvias en las zonas de clima tropical y también son las responsables de la mayoría de las lluvias en las zonas de clima subtropical. Sin embargo, los investigadores muestran que la mayoría de las nubes convectivas no precipitan. Es probable que aproximadamente el 20% de estas nubes se conviertan en lluvia, principalmente durante el verano, mientras que el resto de las nubes se disipan al final de la tarde o son arrastradas por los vientos (Kampe y Weickman 1975). Los frentes de nubes que vienen cubriendo el cielo son arrastrados sin precipitación o con precipitación incompleta de lluvias pequeñas, localizadas y dispersas. Después de esta lluvia parcial, la nube sigue siendo visible y llena de agua. La falta de lluvias, con presencia de nubes que no precipitan o precipitan de una forma incompleta durante los periodos de menos lluvia, conlleva problemas graves a la comunidad.

La posibilidad de controlar las nubes convectivas con la tecnología propuesta, provocando precipitación en forma de lluvia mediante la conversión integral de las nubes existentes en lluvia, sobre los sitios en los que se requiere lluvia, constituye un importante valor nacional e incluso mundial. Hay múltiples aplicaciones para esta invención. También son posibles aplicaciones nuevas y valoradas, con grandes beneficios para la gente y la sociedad.

1. Aumento de las lluvias sobre cuencas y presas de centrales eléctricas, para la producción y distribución de más energía.

2. Aumento de la cantidad de agua dulce para el consumo humano, que es un recurso muy escaso en todo el mundo.

3. Aumento de la producción de alimentos en agricultura o para prevenir las pérdidas durante la época de sequía.

4. Limpieza del aire contaminado sobre grandes áreas metropolitanas.

El desencadenamiento de lluvias de las nubes mediante siembra es una de las materias más fascinantes y también polémicas en las investigaciones de modificación del clima. Desde 1946, los científicos han podido registrar la precipitación en forma de lluvia cuando se demostró por primera vez en Estados Unidos la posibilidad de una precipitación en forma de lluvia controlada por el hombre en nubes supercongeladas, sembradas con hielo seco a  $-40^{\circ}\text{C}$  (Schaefer y Langmuir). Durante las décadas de los 60 y 70, científicos americanos (Grant/68), (Heymsfield/69), (Rhea/70), (Justo y Holroyd/70), (Campbell/74), (Hobbs, Grant y Radke/73) y (Vardiman/74), y también científicos rusos lograron la precipitación en forma de lluvia en nubes frías en intervalos de temperatura de  $-21^{\circ}\text{C}$  a  $-6^{\circ}\text{C}$  usando yoduro de plata, cuya vaporización instantánea produce grandes cantidades de núcleos de cristales de hielo, absorbiendo vapor de agua vaporizado del aire, y después provocando la lluvia.

En las nubes convectivas calientes (aquellas que no tienen cristales de hielo), las pruebas de pulverización de agua sobre las nubes usando toberas de pulverización tradicionales, movían las nubes y hacía que se produjera la lluvia. Sin embargo, la enorme cantidad de agua necesaria para desencadenar la lluvia hizo que este procedimiento fuera económicamente inviable (J.S. Weisberg Meteorology, Rainmaking). En la búsqueda de materiales más ligeros, menos voluminosos y muy higroscópicos para sembrar nubes, científicos israelitas y americanos lograron importantes precipitaciones en forma de lluvia con microgotas (10 a 40 micrómetros) de solución salina acuosa saturada (Gagin y Neumann Israel/74), (Elliot California/71), (Simpson/71), (Olsen/73), (Miller Dakota/74), (Simpson y Dennis/74), (Wooley/75), durante los años 70. Estos experimentos pioneros se repitieron ampliamente durante los años 70 y 80 en el CTA, Centro Técnico Aeronáutico (Centro técnico aeronáutico brasileño), en el proyecto Modart en la región noreste brasileña y también en muchos países del mundo. Los resultados a veces son positivos, a veces negativos o no concluyentes.

Durante un importante congreso patrocinado por la Sociedad Americana de Meteorología, cuyo tema era: "Modificación del clima: ¿Dónde estamos ahora y donde deberíamos ir"? un grupo de los científicos más importantes (I.R. Sax NOAA National Hurricane and Experimental Meteorology Lab, - FLA, S.A. Changnon Illinois State Water Survey, I.O. Grant Colorado State University, W.F. Hirschfeld McGill University Montreal, P.V. Hobbs University of Washington, A.M. Kahan Bureau of Engineering and Research Center Denver, (J. Simpson University of Virginia), concluyeron: "... Después de un cuarto de siglo de esfuerzos, ahora tenemos seis o más ejemplos de éxitos en los que se ha demostrado de forma concluyente la hipótesis de la modificación de las nubes cúmulos: realmente se pueden modificar... Muchos de nosotros reconocemos que los experimentos se hicieron basándose en fundamentos inadecuados que deben ser revisados y reforzados... La principal dificultad afrontada durante las modificaciones de los cúmulos es la gran fluctuación de todas las variables. Aunque los factores de una precipitación natural varían de 10 a 10.000, los mejores resultados logrados en la siembra de nubes hecha por el hombre no superan un factor

## ES 2 300 664 T3

cercano a 3... Otro problema que hace que los experimentos no sean concluyentes o sean negativos es que no nos ajustamos a la situación real de la nube y también se debe al objetivo cuestionable de los materiales de siembra... Ahora necesitamos invertir tiempo, esfuerzo, dinero y los mejores talentos científicos disponibles con el fin de resolver los problemas fundamentales que quedan relacionados con las nubes convectivas, para que la modificación controlada sea una realidad”.

Los experimentos confirman la posibilidad de provocar precipitación en forma de lluvia de nubes cúmulos. Era necesario encontrar la tecnología y el procedimiento de trabajo que permitiera el control humano de la precipitación en forma de lluvia. Este procedimiento es la materia objeto de la presente patente de invención.

Como ingeniero y experto en gotas, su producción, manipulación de la modificación y características, que ha dedicado tres décadas a esta materia objeto, su diseño y fabricación de equipamientos de pulverización en general, el autor ha estudiado las nubes convectivas que son, esencialmente, una enorme cantidad de gotas. Mediante el desarrollo durante los años 80 de los primeros pulverizadores con la tecnología de gotas de tamaño controlado para aplicaciones agrícolas, el autor observó una gran ventaja en este procedimiento comparado con los tradicionales, porque en aplicaciones en experimentos científicos en herbicidas de la soja, el consumo de agua era 20 veces menor y el consumo de herbicidas era ocho veces menor, con mejores resultados en el control de hierbas.

Por otra parte, en la pulverización de nubes con agua aplicando las toberas de pulverización habituales los resultados siempre eran positivos y previsibles: siempre era posible provocar la precipitación en forma de lluvia. El único defecto de este procedimiento estaba relacionado con el aspecto económico más que con razones técnicas: el excesivo consumo de agua y el peso del agua que había que transportar en aviones. Mediante el desarrollo y la adaptación de la tecnología de gotas de tamaño controlado para las mejores prácticas de aplicación de estas gotas dirigidas a lograr una mayor eficacia de colisión y coalescencia, hay muchas posibilidades de una reducción espectacular de los volúmenes de agua aplicados en este procedimiento, lo cual es el objetivo de la solicitud de patente. Después de calibrar el sistema, se pueden lograr niveles de 30 a 80 metros cúbicos de agua de lluvia por litro de agua pulverizada, calculado por procedimientos matemáticos de ingeniería de gotas. Esto elimina de una forma práctica y original el único impedimento existente para convertir este procedimiento en una solución operativa y económicamente viable.

El “procedimiento y equipamiento para desencadenar la precipitación en forma de lluvia de nubes convectivas de tipo cúmulo por pulverización de gotas de agua de tamaño controlado” que es el objetivo de esta patente de invención viene a resolver este problema, proporcionando una producción de lluvias fácil, eficaz y rentable, controlada por el hombre. Estas lluvias se pueden desencadenar sobre sitios donde sean realmente necesarias, por la precipitación integral de las nubes convectivas existentes, que de otra forma no precipitarían en forma de lluvias o precipitarían sólo de forma parcial o diseminada. La descripción de las características de un procedimiento innovador justifica esta solicitud de patente de la invención.

A continuación se da una descripción, con los detalles técnicos necesarios, de las etapas importantes para la formación de las gotas de las nubes, su crecimiento y el mecanismo de la precipitación en forma de lluvia natural, completa e incompleta en las nubes convectivas, y el modo en el que las nubes se disipan cuando no precipitan en forma de lluvias. Esta descripción se basa en los trabajos clásicos de los físicos de las nubes, principalmente R.R. Rogers y H.R. Pruppacher de la Universidad de California, modificados con la conclusión el autor. Los detalles y mecanismos técnicos del procedimiento del objeto de la presente invención se describen a continuación. Además, hay una comparación de los diferentes enfoques para la solución del problema: el procedimiento que han creado los autores de la invención y los experimentos científicos publicados, con una exposición de las razones técnicas para la innovación y el éxito.

Para una mejor comprensión de la tecnología aplicada, se usan textos, diagramas, dibujos técnicos y fotos de los trabajos. También se usan figuras con detalles de las nubes, esquemas de procedimiento y esquemas para la construcción del equipamiento de esta solicitud de patente. Los valores presentados son la media o valores típicos adoptados por la bibliografía estándar de la física de las nubes. Las formas de construcción del equipamiento mostradas en las figuras son simplemente ilustrativas, con el fin de demostrar una de las posibles soluciones mecánicas que se puede usar para lograr los originales objetivos de la patente. Por lo tanto, debe entenderse que se pueden elaborar fácilmente modos alternativos de construcción con modificaciones en los conceptos mecánicos que conducen al mismo resultado práctico, y estos cambios no se pueden considerar como un procedimiento diferente cuando se compara con este procedimiento creado y presentado en la patente de invención en el presente documento.

la fig. 1 muestra una vista esquemática de una nube convectiva creciendo, con detalles ampliados que muestran los núcleos de condensación, las gotas de tamaño crítico recién creadas y las gotas de la nube creciendo.

la fig. 2 muestra una vista esquemática de una nube convectiva, el final de un proceso de crecimiento y el principio de la fase de precipitación natural.

la fig. 3 muestra una vista del perfil transversal del equipamiento de pulverización que produce las gotas de agua con un tamaño controlado, mediante un disco rotatorio con canales asimétricos dentro y dientes de formación de gotas, accionado por un motor eléctrico con la siembra controlada electrónicamente, y su barra del perfil alar para la alimentación de agua, suministro eléctrico y el soporte del equipamiento en el ala del avión.

la fig. 4 muestra una vista esquemática del sistema completo montado en un avión.

## ES 2 300 664 T3

la fig. 5 muestra una vista ilustrada de la operación de pulverización en el aire, dentro de las nubes con gotas de agua de tamaño controlado.

la fig. 6 muestra una vista esquemática del avión, los agujeros usados para aumentar la turbulencia y proporcionar más productividad en la operación de pulverización.

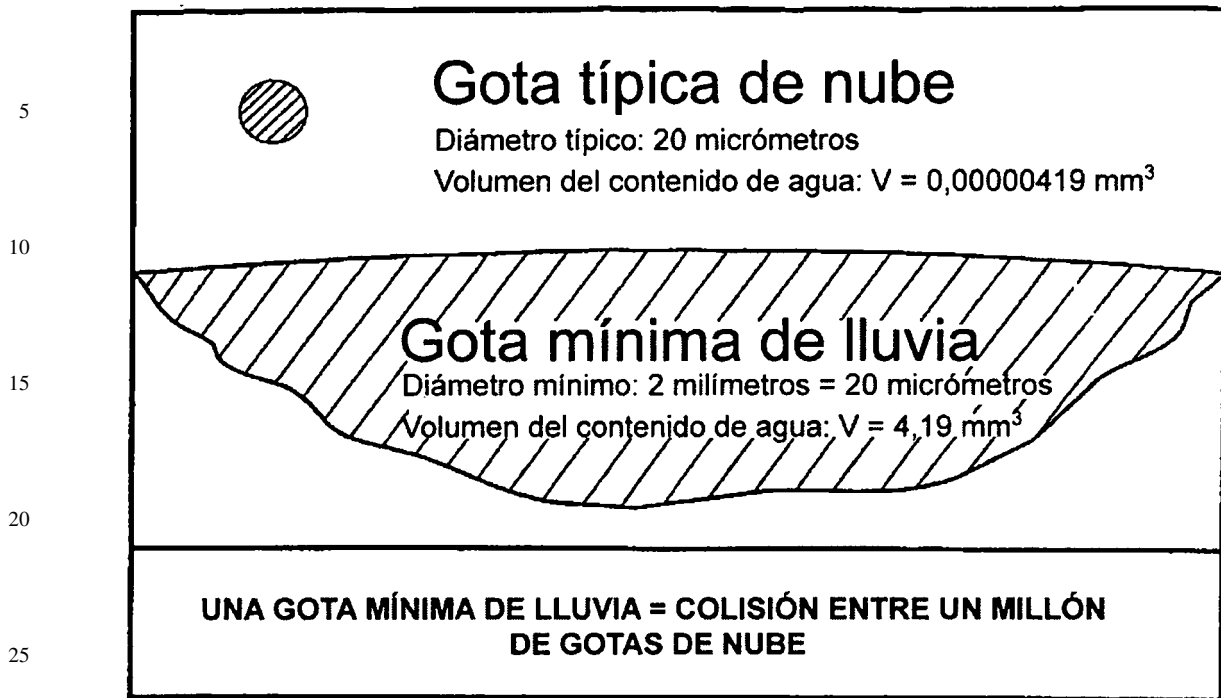
Las nubes convectivas se forman por corrientes ascendentes de aire húmedo. Cuando este aire sube, estas corrientes empiezan a enfriarse hasta que alcanzan el punto de saturación de humedad. En este momento, empieza la primera fase de la formación de la nube convectiva: la formación inicial de gotas denominadas gotas de tamaño crítico.

Hay una gran cantidad de partículas o aerosoles de tamaño de micrómetros o submicrómetros en suspensión en el aire entorno a la región donde se forman las nubes. Estas partículas o aerosoles se convierten en centros de condensación del vapor de agua, los cuales forman las gotas iniciales sobre las partículas, denominadas núcleos de condensación que pueden ser higroscópicos, neutros o hidrófobos; y también depende de la cantidad de aerosoles disponibles y de la saturación de vapor de agua. Durante esta fase, el tamaño crítico de estas gotas puede variar de 1 a 10 micrómetros. Las gotas formadas sobre los núcleos higroscópicos tales como sal, tienen tendencia a hacerse más grandes que las formadas sobre núcleos neutros tales como sílice y cenizas de combustión. Los núcleos higroscópicos solubles tales como la sal se vuelven húmedos con 98% de humedad, antes de la saturación del aire. Los núcleos neutros necesitan una saturación de 101,5% o más con el fin de empezar la formación de gotas. Los núcleos hidrófobos normalmente producen gotas sólo después de que los núcleos higroscópicos y neutros existentes se hayan convertido en gotas.

Las nubes oceánicas, que se forman principalmente por núcleos de sal, normalmente tienen gotas de tamaño crítico grande, pero en una cantidad pequeña por volumen de nube (son valores típicos de 10 a 30 gotas por  $\text{cm}^3$ ). Las nubes continentales, que contienen una mayoría de partículas neutras en grandes cantidades, que resultan de la combustión y el polvo, tienden a producir gotas de tamaño crítico menor, pero en cantidades mayores (son valores típicos de 200 a 600 gotas por  $\text{cm}^3$ ). Esta diferencia en la cantidad y tamaño de las gotas entre las nubes oceánicas traídas por los vientos y las nubes continentales formadas localmente, tiene un impacto directo en el mecanismo de precipitación en forma de lluvia, como se verá más adelante.

La segunda fase es el crecimiento de las gotas de tamaño crítico recién creadas, mediante la difusión de las moléculas de vapor del aire saturado sobre la superficie de estas gotas. Durante esta fase, las gotas crecen desde el tamaño crítico inicial para convertirse en una gota de nube típica. Este crecimiento se produce por difusión de las moléculas de vapor de agua del aire saturado a la superficie de las gotas recién creadas. Durante esta fase, el crecimiento es simultáneo en toda la población de partículas de modo que su diámetro se iguala esencialmente, estrechándose de esta forma el espectro de gotas: por ejemplo, dos gotas creadas a partir de diferentes núcleos de condensación que tienen un tamaño crítico de 1 micrómetro (núcleos neutros) y 10 micrómetros (núcleos higroscópicos), después del mismo periodo de tiempo de exposición durante el crecimiento por difusión, alcanzan diámetros de 10 micrómetros y 14 micrómetros respectivamente. Con el aire ascendente y su enfriamiento, se produce más saturación de humedad del aire, formándose nuevas gotas sobre nuevos núcleos de condensación en suspensión en el aire, que producen el crecimiento continuo por difusión de las gotas previamente formadas. De acuerdo con esto, la cantidad de agua por metro cúbico de nubes tiende a hacerse mayor desde la base hasta la parte superior: a la altura de 1,0 km los valores típicos son 0,5 g de agua por  $\text{m}^3$  de nube. A la altura de 2,0 km, el valor típico es 1,0  $\text{g}/\text{m}^3$  y a la altura de 3,0 km es de 1,5  $\text{g}/\text{m}^3$ . Estos valores no cambian de forma significativa entre las nubes oceánicas y continentales, a pesar de la diferencia entre la cantidad y tamaño de las gotas.

La figura (1) muestra un perfil de una nube cúmulo en crecimiento vertical debido a la corriente ascendente de aire húmedo (1). La línea (2) indica la base de la nube en la que empieza la saturación del aire. El detalle ampliado (3) muestra la presencia de aerosoles o partículas de nivel micrométrico o submicrométrico (4) flotando en el aire en la base de la nube. El detalle ampliado (5) muestra las gotas de tamaño crítico (6) recién creadas, las gotas de nube en la fase de crecimiento por difusión (7) cuyo tamaño está en el intervalo de 10 a 15 micrómetros y que crecen hasta 200 metros aproximadamente desde la base (2) de la nube (8). El detalle ampliado (9) muestra la presencia de aerosol (4) a una altura de 600 m desde la base (2) de la nube (8) y también gotas de tamaño crítico (6) y gotas de nube (7) que se hacen más grandes, con tamaños ahora en el intervalo de 10 a 25 micrómetros. El detalle ampliado (10) a la altura de 1.200 m desde la base (2), muestra las gotas del mismo tamaño crítico (6) con las gotas de nube (7) creciendo de 10 a 30 micrómetros indicando la presencia de las primeras gotas de 36 micrómetros.



El diagrama anterior permite visualizar la naturaleza de la tarea de convertir las gotas de nube ya formadas en gotas de lluvia. Es necesario que las gotas de lluvia de 3 mm de tamaño junten el agua contenida en aproximadamente 3 millones de gotas de nube típicas.

La tercera fase del crecimiento de las gotas se conoce como crecimiento por colisión y coalescencia (adherencia). Con el fin de empezar esta fase, cuando las gotas crecen por colisión y deslizamiento, es obligatorio que al menos algunas de las gotas se hagan más grandes y que superen el límite del diámetro mínimo teórico de 36 micrómetros. Por debajo de estos valores, la masa de las gotas, su velocidad en caída libre y la alta tensión superficial debida a los pequeños radios de curvatura y también la resistencia del aire de la capa de aire que envuelve cada gota, impiden la colisión y coalescencia entre las gotas de nube (el único proceso que puede desencadenar las lluvias). La gota más grande se llama entonces *gota colectora*.

La figura 2 muestra esquemáticamente todo el proceso, desde la formación de la gota de nube a partir de los núcleos de condensación (1), en los que el vapor saturado condensa y forma la gota de tamaño mínimo (2), que asciende y entonces empieza el crecimiento por difusión de las moléculas de vapor sobre su superficie formando una gota de nube (3). Esta asciende también y crece por difusión hasta que llega al punto (4) donde su diámetro es de 36 micrómetros. Después, el crecimiento por difusión continúa desde este tamaño y empieza en este punto el crecimiento por colisión hacia arriba. La gota (5) asciende cogida por el flujo ascendente, pero otras gotas de nube con diámetro menor ascienden más rápido, produciendo colisiones de fondo. Estas colisiones dan como resultado el crecimiento de las gotas, disminuyendo así su velocidad hasta que paran en el punto (6) en el que la velocidad de caída libre es igual a la velocidad de la corriente de flujo ascendente. Las gotas de nube más pequeñas continúan ascendiendo y colisionando. Esto hace que la gota se vuelva más pesada y en (7) empieza a descender colisionando contra miles de gotas y sigue creciendo hasta que llega a la parte inferior de la nube en forma de gota de lluvia (8). Cuando la gota más grande es de 36 a 40 micrómetros, los valores de la eficacia de colisión ( $\eta$ ) siguen siendo muy bajos (0,5% a 2,3%), y por lo tanto, la posibilidad de desencadenar lluvia es muy baja. Con el fin de formar gotas más grandes son necesarias corrientes de flujo ascendente más fuertes y un volumen de aire grande para formar nubes más altas con mayor diámetro.

## ES 2 300 664 T3

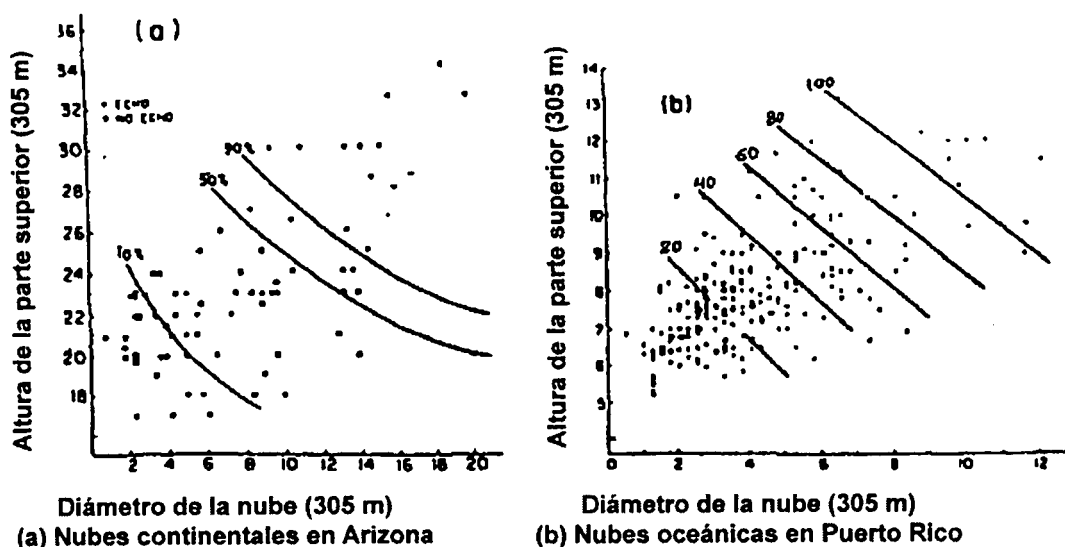
*Eficacia de colisión ( $\mu$ )*

<b>Gotas colectoras</b>	<b>Gota de nube</b>				
	10 $\mu$	15 $\mu$	20 $\mu$	30 $\mu$	40 $\mu$
36 $\mu$	0,005	0,01	0,012	0,07	-
40 $\mu$	0,006	0,015	0,023	0,026	0,005
50 $\mu$	0,009	0,026	0,054	0,13	0,006
60 $\mu$	0,013	0,058	0,17	0,48	0,54
70 $\mu$	0,026	0,15	0,32	0,56	0,61
80 $\mu$	0,18	0,36	0,45	0,60	0,65
100 $\mu$	0,19	0,40	0,50	0,66	0,72
150 $\mu$	0,26	0,50	0,62	0,78	0,88
200 $\mu$	0,30	0,58	0,69	0,82	0,88
500 $\mu$	0,58	0,72	0,80	0,91	0,93
1000 $\mu$	0,61	0,82	0,88	0,93	0,98

*Tamaño de la gota    Velocidad de caída*

$\mu$	m/s
20 $\mu$	0,01
40 $\mu$	0,05
80 $\mu$	0,19
100 $\mu$	0,27
200 $\mu$	0,72
500 $\mu$	2,06
1.000 $\mu$	4,03
2.000 $\mu$	6,49

Las nubes continentales que tienen gotas más pequeñas necesitan alturas mayores con el fin de formar gotas usando el crecimiento por difusión que sean mayores que 40 micrómetros de tamaño con el fin de desencadenar lluvias.



Sociedad Americana de Metereología

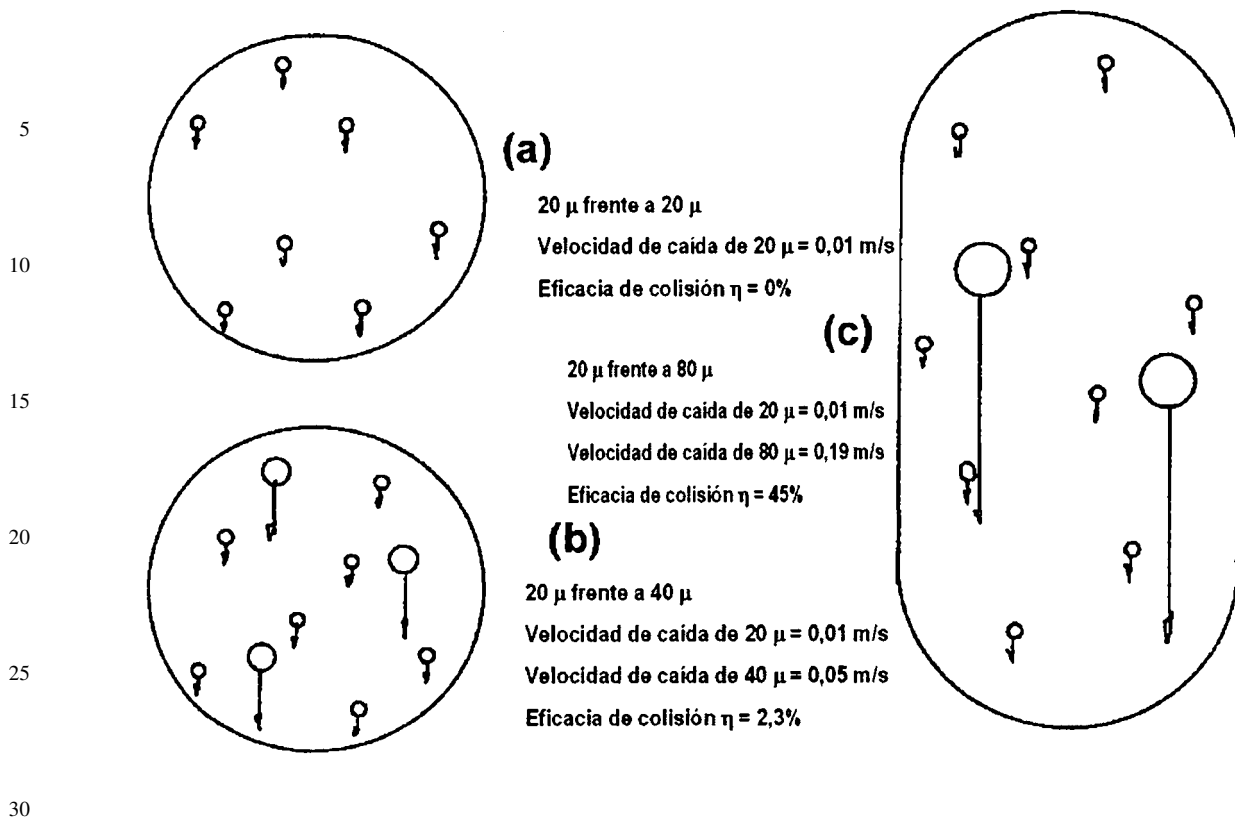
Los diagramas anteriores muestran la aparición o no de precipitación en forma de lluvia en nubes cúmulos en función de la altura máxima y el diámetro de la nube: (a) nubes continentales de Arizona y (b) nubes oceánicas de Puerto Rico. Estos diagramas demuestran el pequeño porcentaje de nubes que precipitan en forma de lluvias.

Kampe y Weikmann (1957) demostraron que las nubes cúmulos oceánicas necesitan alturas mayores de 2,5 km desde la parte inferior a la superior para alcanzar una probabilidad de lluvia de 20%. Las nubes cúmulos continentales necesitan alturas mayores de 6 km con el fin de alcanzar la misma posibilidad de precipitación en forma de lluvia. La posibilidad de que las nubes convectivas sobrepasen estas alturas durante las estaciones de corrientes de flujo ascendente más débiles (invierno) explica la presencia diaria de nubes sin precipitación en forma de lluvia.

La tendencia natural de crecimiento de las gotas por difusión es el crecimiento homogéneo y estable de todas las gotas. La precipitación en forma de lluvia sólo ocurre cuando algunas de las gotas alcanzan diámetros mayores con el fin de iniciar la desestabilización de la nube y su precipitación en forma de lluvia. Esta desestabilización puede ocurrir de forma natural por suficiente altura de la parte superior de la nube, cuando el crecimiento por difusión hace que algunas de las gotas lleguen a la parte superior de la nube con diámetros en el intervalo de 40 a 50 micrómetros o más. En este caso, se forma una gran cantidad de gotas recolectoras, que provocan la precipitación integral de la nube en forma de lluvia.

El crecimiento de una cantidad razonable de gotas puede ocurrir incluso aunque la nube no alcance la altura necesaria. El crecimiento de las gotas lo causa, entre otros factores, la combinación de vientos laterales y de flujo ascendente y turbulencias, que provocan las lluvias incompletas y dispersas.

El detalle (a) de la siguiente figura muestra gotas ligeras con velocidad de caída libre terminal baja de 20 micrómetros, que tienen una película de aire que envuelve la superficie y también una tensión superficial alta causada por el diámetro pequeño. Esto produce un deslizamiento lateral entre las gotas que evita la colisión durante esta fase.



El detalle (b) de la figura (11) muestra gotas de 40 micrómetros que caen a una velocidad de 0,5 m/s que tienen la posibilidad de colisión y adherencia con gotas más pequeñas de 10 a 20 micrómetros con una eficacia de colisión de 0,5% a 2,6%. El detalle (c) de la figura (11) muestra gotas de 80 micrómetros en caída libre a velocidades 20 veces mayores que producen la recolección con una eficacia de colisión de 45% (en el intervalo de 18% a 60% para las gotas de 10 a 30 micrómetros).

Está demostrado que el proceso de crecimiento por colisión y coalescencia se hace más eficaz cuando los tamaños mayores de gota son 60, 70, 80 micrómetros o más. En este caso, la eficacia de la colisión para colisionar contra gotas de 20 micrómetros sube sustancialmente a 17%, 32%, 45% o más. Estas gotas son esencialmente más grandes y más pesadas y tienen velocidades de caída libre más rápidas, con trayectorias que apenas pueden desviarse por la capa de aire superficial que envuelve la gota. Debido a este hecho, estas gotas se llaman gotas colectoras: su función es descender en caída libre con mayor peso y velocidad, causando así millones de colisiones con las gotas de nube y adhiriéndose entonces a las gotas de nube que se deslizan sobre estas gotas colectoras dando como resultado entonces la precipitación en forma de lluvia. La conversión completa o incompleta de estas nubes en lluvia depende esencialmente de la cantidad disponible de gotas colectoras, puesto que cada gota colectoras se convierte en gota de lluvia por colisión o adherencia.

Las nubes convectivas crecen con las corrientes de aire de flujo ascendente producidas por la incidencia de los rayos del sol sobre la superficie de la tierra. Normalmente, al amanecer estas corrientes de aire de flujo ascendente cesan o incluso invierten la dirección convirtiéndose en flujo descendente. Entonces absorben el agua de las gotas que empiezan a vaporizarse y las nubes empiezan a disiparse. La vida media de las nubes convectivas que crecen diariamente por las corrientes de flujo ascendente es de 5 a 10 horas. Por lo tanto, hay una posibilidad baja de formar gotas mayores (gotas colectoras) en nubes cúmulos antes de disiparse. Cuando el viento las recoge de otras regiones, formando bloques mayores denominados "frentes" que normalmente cubren el cielo, evitando que los rayos del sol lleguen a la superficie de la tierra (disminuyendo las corrientes de flujo ascendente y descendente) la vida de estos frentes de nubes tiende a ser más largo (sin crecimiento o disipación importante) durante algunos días.

Uno de los principales experimentos científicos conocidos intentado era sembrar núcleos de condensación higroscópicos en forma de polvo y también de vapor con el objetivo de formar gotas de tamaños mínimos mayores. También se intentó sembrar gotas de soluciones saturadas de sal en agua (por lo tanto, higroscópicas) que podían tener más posibilidad de crecer con más eficacia durante la fase de difusión para formar gotas más grandes que producirían la precipitación en forma de lluvia.

El procedimiento que es el objeto de esta solicitud de patente, pulveriza gotas de agua colectoras de tamaño controlado dentro de las nubes. Estas gotas se producen ya con el diámetro correcto de modo que durante su caída empieza la recolección de las gotas existentes dentro de la nube por colisión y adherencia.

## ES 2 300 664 T3

Las variables que causan dificultades en estos experimentos se vuelven secundarias en este procedimiento. Durante la aplicación, el procedimiento no depende de la condensación sobre los núcleos higroscópicos, difusión de moléculas de vapor saturado sobre las superficies de las gotas, las corrientes de flujo ascendente o descendente. Tampoco depende de si las nubes son continentales u oceánicas. Sólo es necesario tener nubes con gotas que recoger, reduciendo así el gran número de variables que pueden afectar al procedimiento.

La figura (3) muestra una vista del perfil transversal del equipamiento de pulverización de gotas de tamaño controlado. El sistema integral está montado en un tubo semioblargo (1) para llevar agua. Este tubo está recubierto con una placa (2) en una forma de superficie aerodinámica. La alimentación de agua a la tobera de pulverización se hace por el tubo inyector (7) y a través de un tubo flexible (3). Hay un cable eléctrico (4) en la parte trasera del plano aerodinámico. El cable se usa para activar el motor eléctrico (5) que produce la rotación del disco dentado (6). Esta velocidad de rotación se controla electrónicamente y provoca la producción de las gotas (10) de tamaño controlado. Estas gotas son producidas por la fuerza centrífuga que manda el agua por los dientes asimétricos (8) con el fin de producir gotas como se demuestra en (9), un momento antes de que la gota sea lanzada al espacio. El conjunto de toberas de pulverización se monta en la barra del ala (1) y (2) mediante la placa espaciadora (12) y el soporte (13).

La figura (4) muestra el sistema entero montado en un avión, en el que los depósitos conectados (1) liberan agua para ser pulverizada, va a la bomba eléctrica (2) y después es alimentada en las toberas de pulverización (5) a través del tubo de soporte del ala (4). El sistema lo controla el piloto mediante un mando eléctrico (3) que activa las toberas rotatorias (5) y la bomba del motor (2). El mando (3) contiene un controlador rotacional electrónico del motor (5) de las toberas rotatorias, con el fin de producir gotas (6) del tamaño deseado variando la rotación de los motores.

La figura (5) muestra en perspectiva la operación de pulverización de la nube con gotas de tamaño controlado.

La figura (6) muestra los casos en los que la eficacia de colisión todavía es baja (17% con 60 micrómetros). La capacidad de la tecnología de aplicación de la pulverización de gotas puede aumentar su eficacia pulverizando el avión con un régimen alto de turbulencia de aire (3) producido por la rotación propulsora y la baja velocidad de vuelo del avión con las aletas abiertas (si es posible) produciendo un aumento significativo de los caminos de las gotas en un patrón aleatorio. Esto produce el aumento de la eficacia de colisión contra la gota de nube en fase inicial, puesto que después de los primeros cientos de colisiones, estas gotas colectoras aumentarán rápido, dando como resultado un aumento de la eficacia de colisión.

Las fotos técnicas muestran las diferencias entre los sistemas de pulverización convencionales y el sistema de gotas de tamaño controlado. En los sistemas convencionales, las gotas se rompen en tamaños aleatorios produciendo de esta forma una amplia variedad de gotas. En el ejemplo (a) y (b) de las figuras, el 80% de las gotas producidas son demasiado pequeñas (10 a 30 micrómetros), pero su consumo de agua es sólo aproximadamente 10%. Se producen menos de 10% de las gotas con el tamaño ideal de 60 a 80 micrómetros, consumiendo 6% de agua. El resto de las gotas, aproximadamente 10%, son demasiado grandes y consumen toda el agua restante. Debido a que son más grandes, gastan un gran volumen de agua.

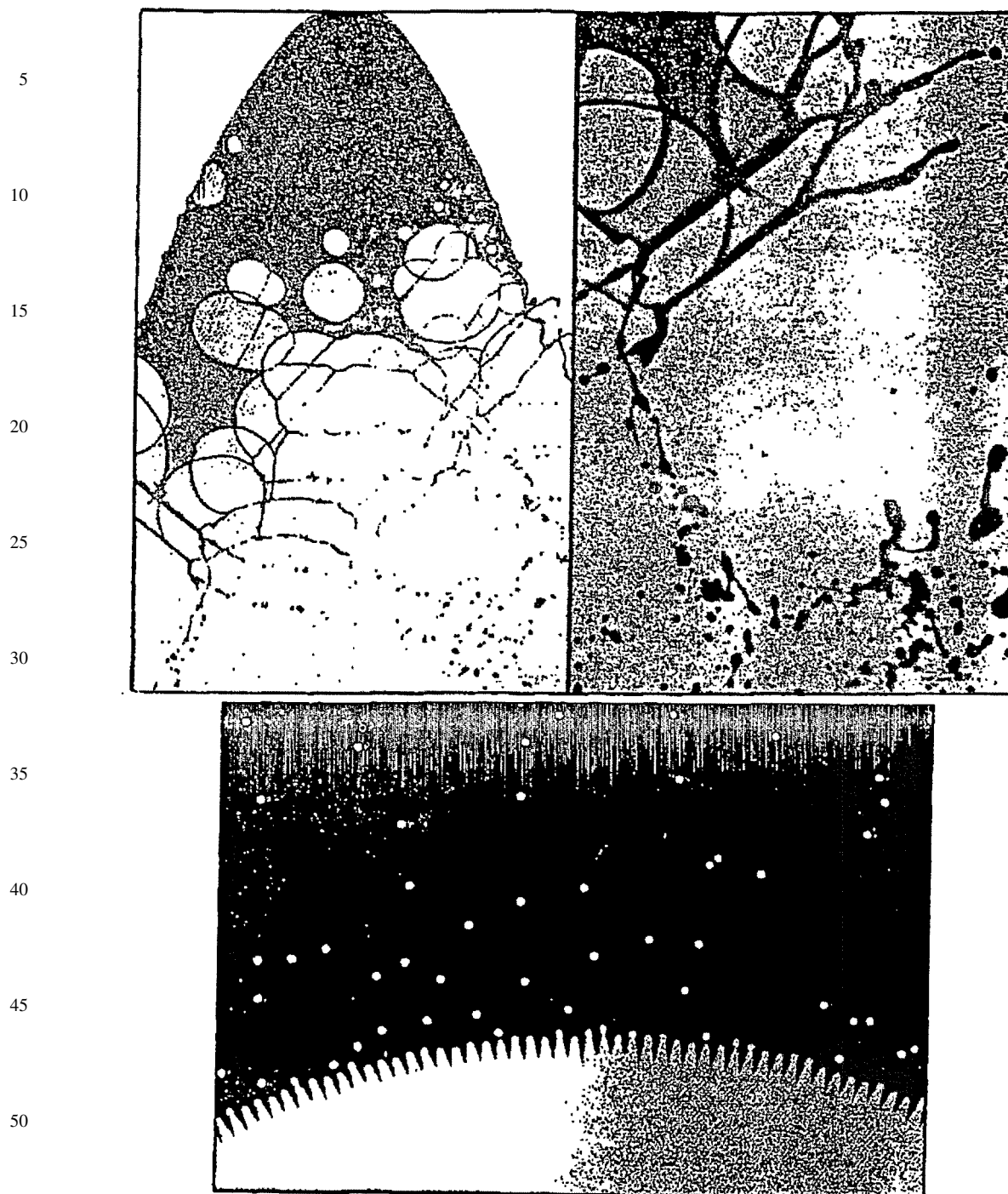
(Esquema pasa a página siguiente)

50

55

60

65



55 Con las gotas colectoras de tamaño controlado, el 100% del agua se convierte en gotas de tamaño ideal, optimizándose el uso del agua pulverizada. Mediante la variación electrónica de la rotación del motor de la tobera, se puede cambiar fácilmente el tamaño de las gotas. Un litro de agua puede producir 8 billones de gotas colectoras de 60 micrómetros de diámetro. Cuando se aplican con una velocidad de 50 gotas colectoras por centímetro cuadrado, por ejemplo, serán necesarios 28 litros de agua para aplicar estas gotas sobre 1 kilómetro cuadrado de área de nube. Si la altura de la nube es 2 ó 3 km de alto, con valores típicos de 0,5 a 1,5 g de agua por metro cúbico de nube en el primer y tercer kilómetro, habrá aproximadamente 30 a 80 metros cúbicos de agua para lluvia, con un margen de seguridad de 60%.

65 Durante los años 70 y 80 la tecnología de la pulverización hizo esfuerzos para producir gotas pequeñas (10 a 40 micrómetros) para muchas aplicaciones, tales como motores que queman con pulverizadores de inyección, dispositivos de pintura electrostáticos, pulverizadores en aerosoles y otras aplicaciones industriales. Esta tecnología estaba disponible y la usaban mucho los científicos en la investigación de los experimentos de modificación de nubes cúmulo,

## ES 2 300 664 T3

aplicando soluciones de agua con sal y otras soluciones con el fin de modificar las nubes. Con el fin de pulverizar volúmenes de agua mayores, se conocía la tecnología disponible de toberas de pulverización convencionales de volumen medio y alto que se usaban en pruebas para pulverizar nubes, y demostraron ser funcionales pero no merecían la pena en términos de rentabilidad debido al gasto de agua de acuerdo con las razones explicadas antes. Por lo tanto, la idea de pulverizar agua de una forma rentable se desechó durante muchos años.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Equipamiento para desencadenar precipitación en forma de lluvia de nubes convectivas de tipo cúmulos, que  
consiste en un conjunto de equipamientos montados en un avión; estando **caracterizado** dicho equipamiento porque  
comprende depósitos de agua, bombas eléctricas, toberas de pulverización rotatorias, controlados por una caja de man-  
dos, y que producen gotas de agua colectoras de tamaño controlado que son pulverizadas dentro de nubes convectivas,  
provocando su precipitación en forma de lluvia, el mecanismo de pulverización consiste en un motor eléctrico con  
10 una velocidad de rotación que se controla electrónicamente y que dirige la rotación de un disco de pulverización que  
contiene canales asimétricos que conducen el agua suministrada por la barra de soporte a través del tubo flexible y el  
tubo inyector, con el fin de producir gotas de tamaño controlado formadas al final de los tubos asimétricos, y que se  
forman por fuerzas centrífugas que forman gotas que se lanzan al espacio con tamaño homogéneo y controlado, de  
acuerdo con la rotación del motor.

15 2. Procedimiento para desencadenar precipitación en forma de lluvia de nubes convectivas de tipo cúmulos, usando  
el equipamiento de la reivindicación precedente, **caracterizado** porque proporciona: la pulverización de gotas de agua  
de tamaño controlado aplicando agua en forma de gotas colectoras de tamaño controlado que se producen con un  
diámetro en el intervalo de 40 micrómetros a 1000 micrómetros, de modo que pueden recoger de forma eficaz durante  
la caída las gotas de nube por colisión y coalescencia y entonces crecer y convertirse en gotas de lluvia.

20 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque usa agua sin solución salina, yoduro  
de plata o cualquier otro aditivo higroscópico o productos formadores de núcleos de condensación en forma de polvo,  
vapor o soluciones saturadas en agua.

25

30

35

40

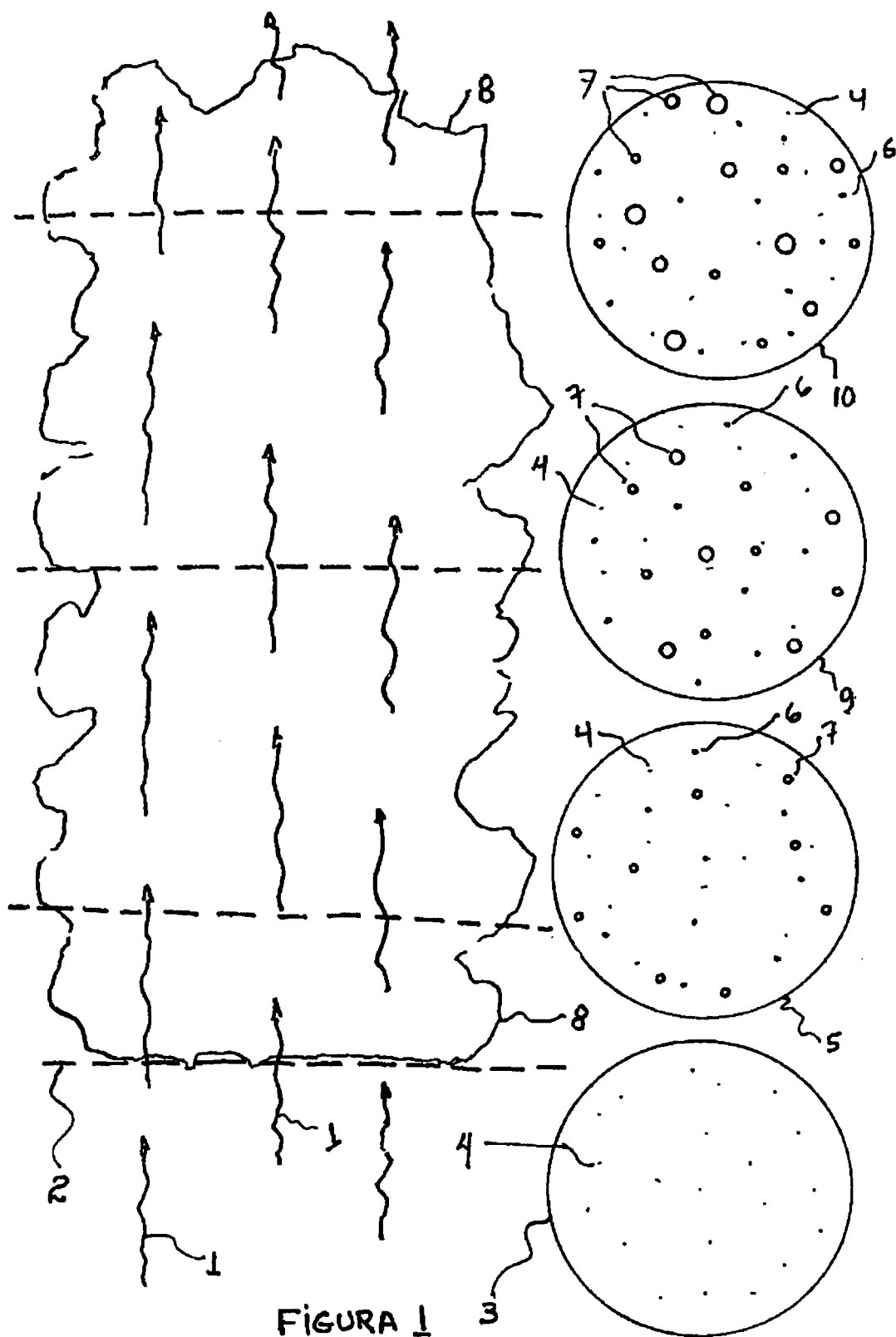
45

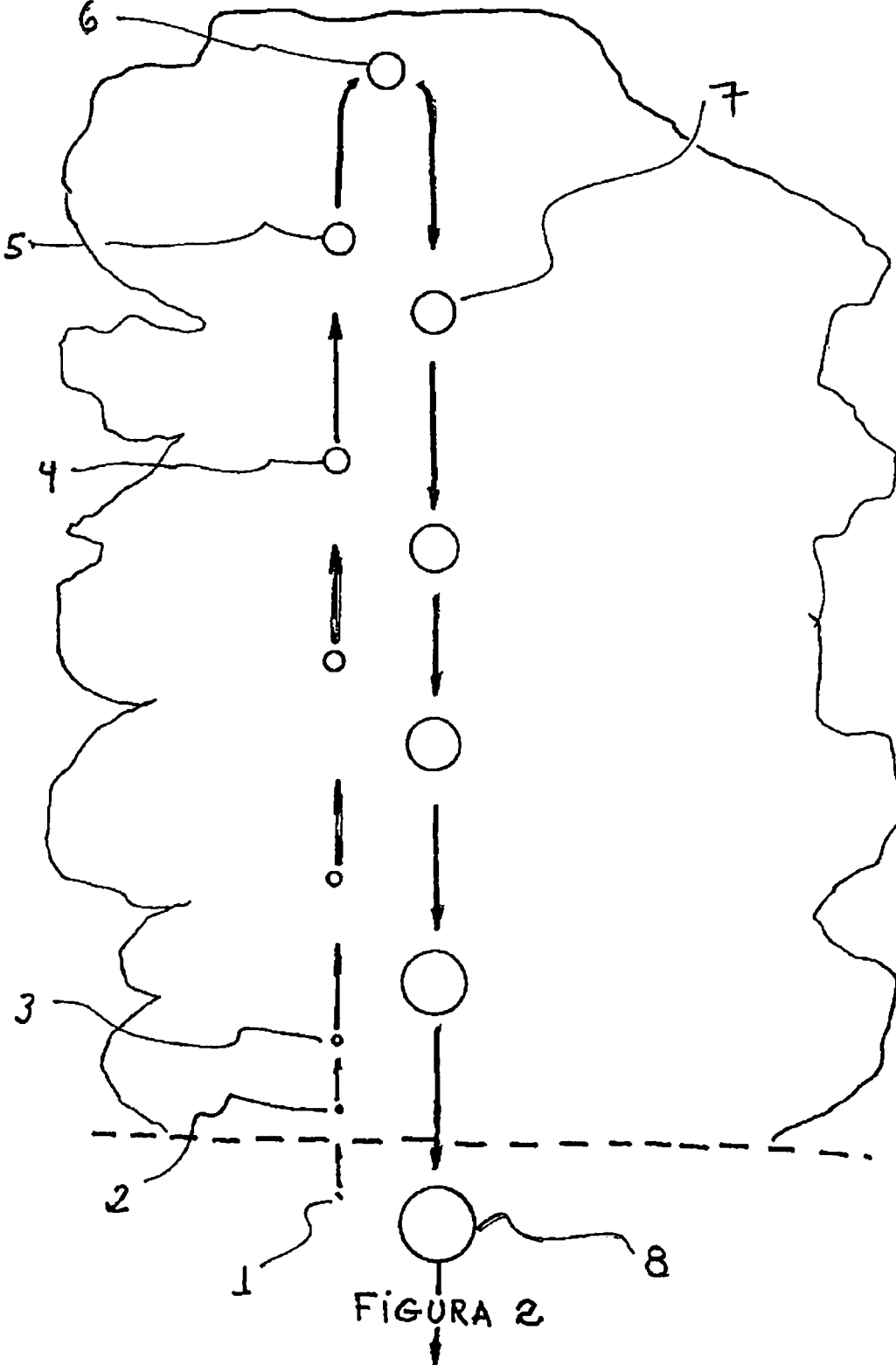
50

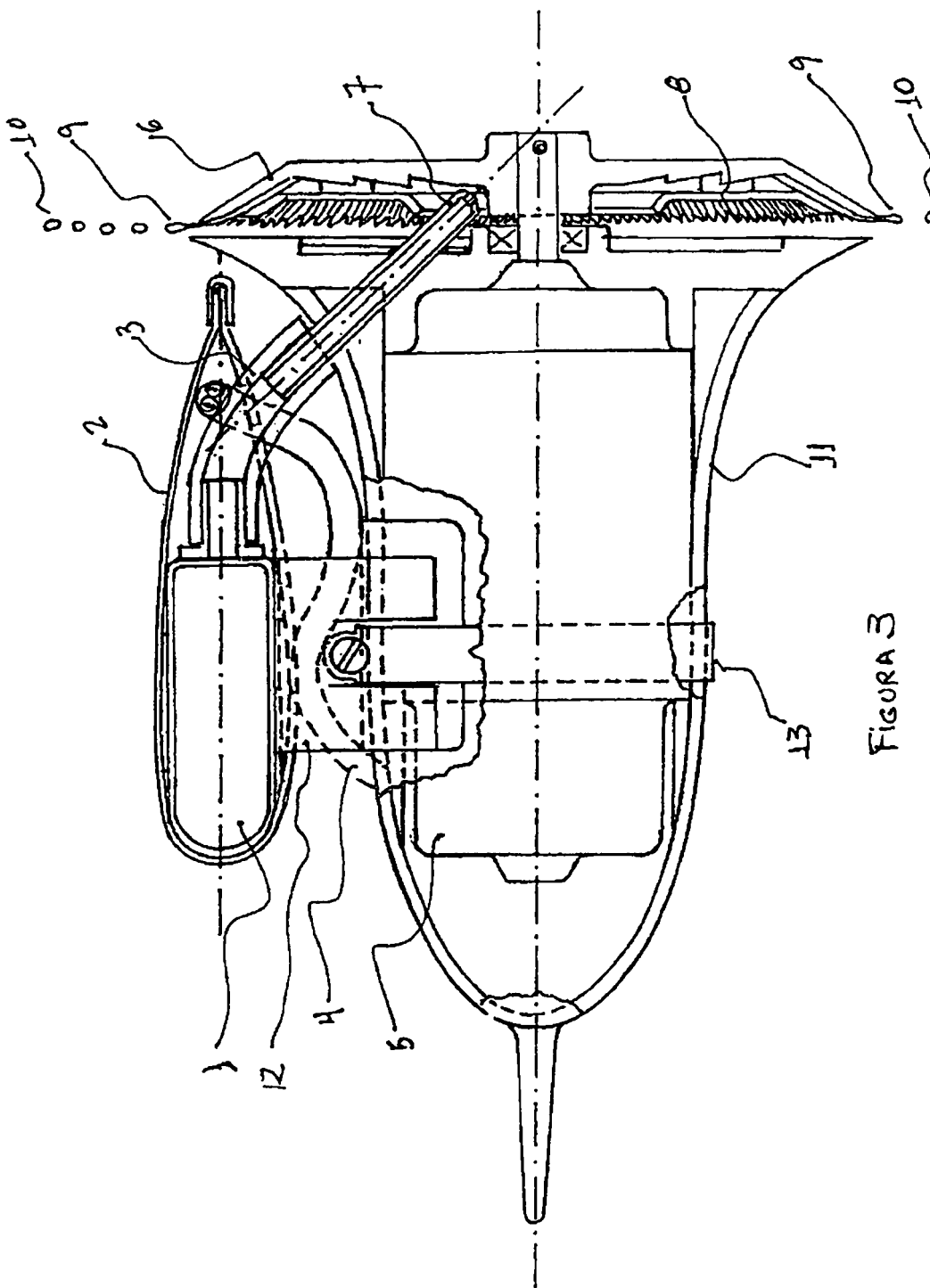
55

60

65







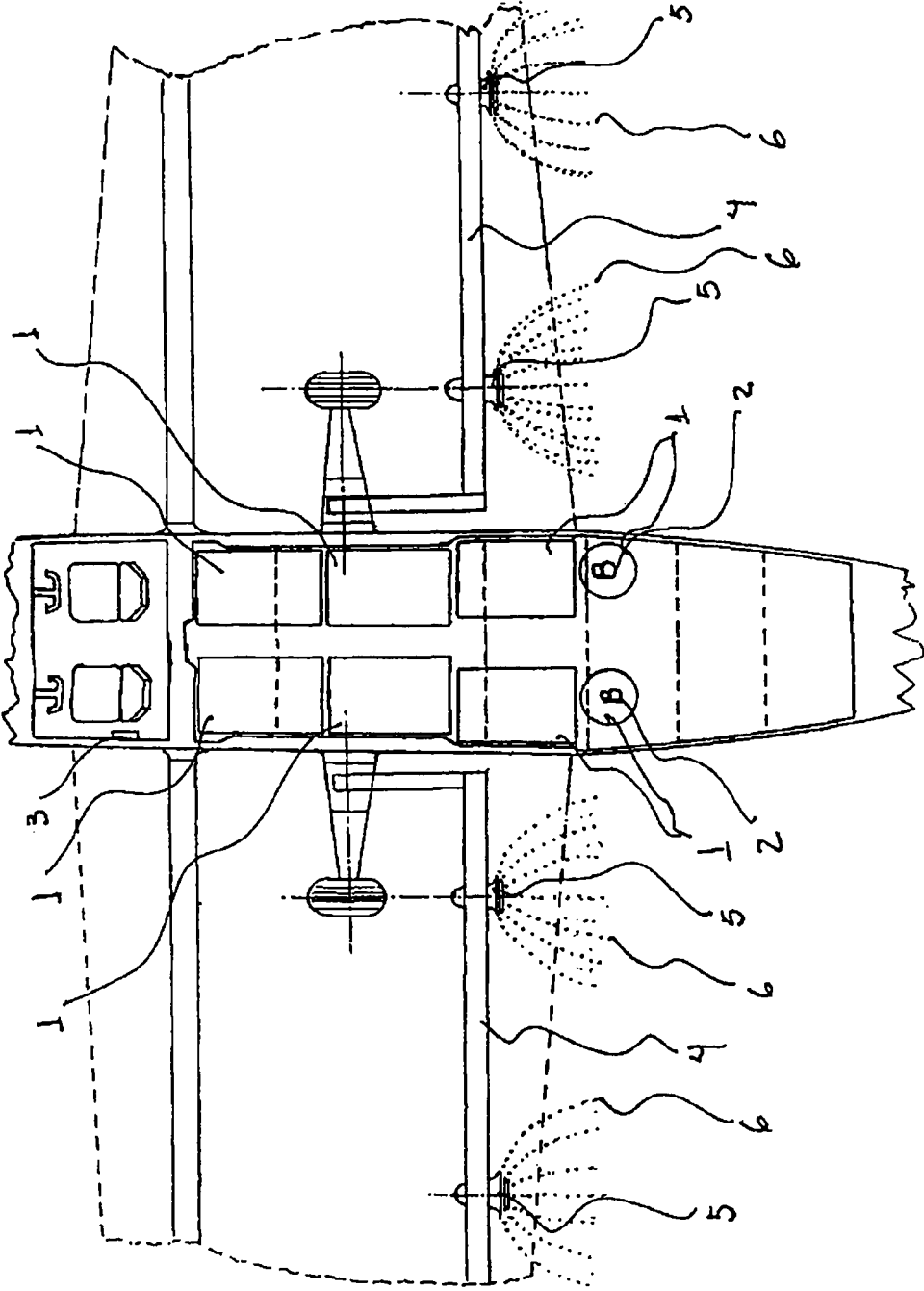


FIGURA 4

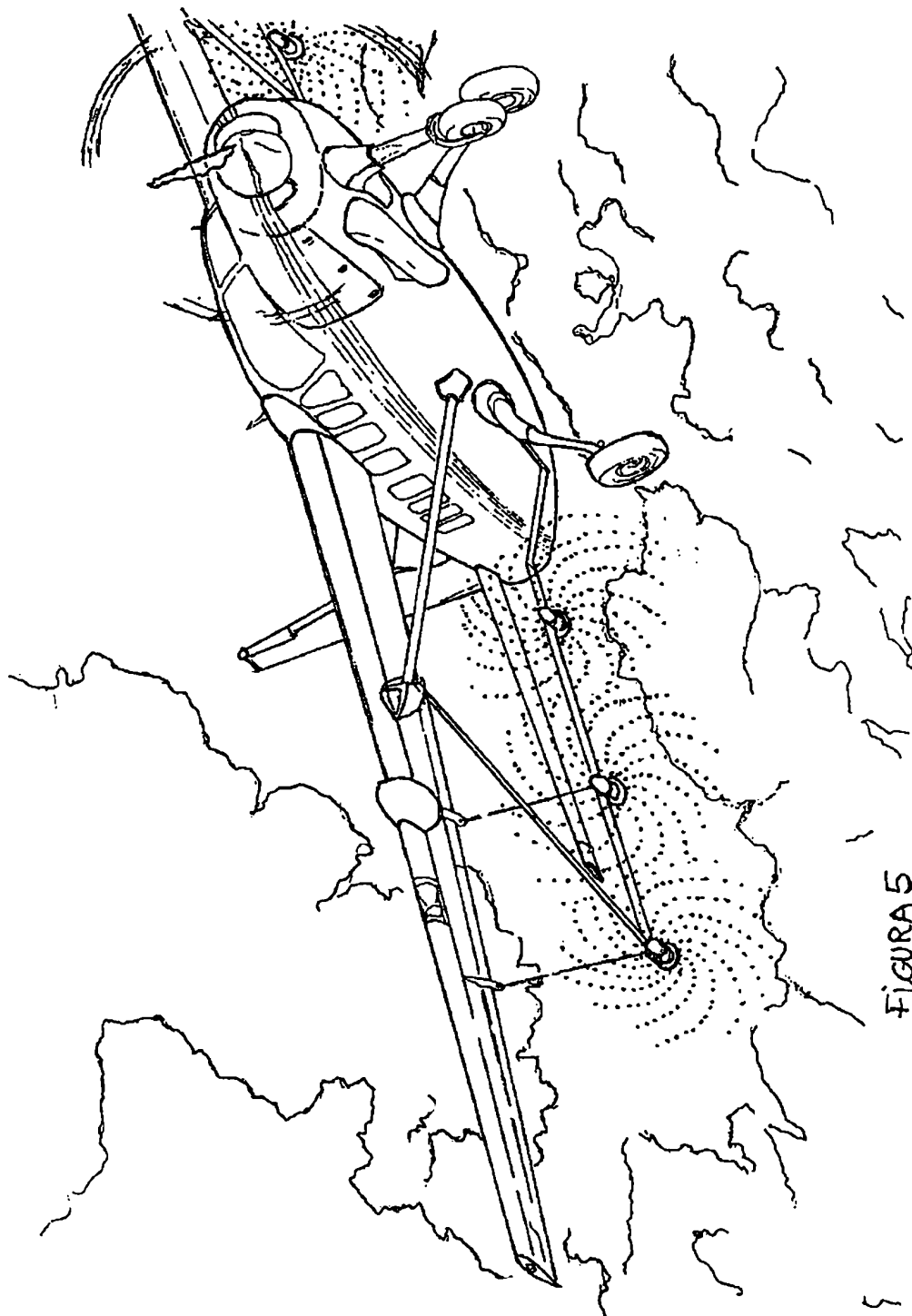


FIGURA 5

