

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 984**

51 Int. Cl.:

**G01S 17/95** (2006.01)

**G01S 13/95** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2004 PCT/FR2004/002692**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2005 WO05040853**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2004 E 04805256 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 1676151**

54 Título: **Procedimiento para la estimación de las características de una precipitación**

30 Prioridad:

**21.10.2003 FR 0312299**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**12.07.2017**

73 Titular/es:

**NOVIMET (100.0%)  
23, rue Colbert  
78180 Montigny-le-Bretonneux, FR**

72 Inventor/es:

**TESTUD, JACQUES;  
NEY, RICHARD y  
LE BOUAR, ERWAN**

74 Agente/Representante:

**VIGAND, Philippe**

ES 2 623 984 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 para la estimación de las características de una precipitación

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la estimación de las características de una precipitación, y en particular de la tasa precipitante para una precipitación sólida.

Se conoce en el estado de la técnica el uso de las características de una imagen radar para estimar las características pluviométricas. En particular, la patente europea EP1049944 describe una técnica para la estimación de lluvia con un radar. Según esta patente, se realizan las etapas siguientes:

- se mide, por medio de dicho radar bipolar, en un intervalo [r<sub>0</sub>, r<sub>i</sub>] dado de radio de trayectoria con respecto a dicho radar, la fase diferencial (Φ<sub>dp</sub>) y la reflectancia aparente Z, según al menos una de las polarizaciones H o V;
- 15 - se determina una estimación del valor No\* representativo de la distribución dimensional de las gotas de lluvia, a partir de la diferencia de la fase diferencial entre r<sub>0</sub> y r<sub>i</sub> y a partir de una integral de una función de la reflectancia aparente Z, a lo largo del intervalo [r<sub>0</sub>, r<sub>i</sub>];
- se deduce el valor de la tasa de precipitación en un punto a partir de No\* y de la reflectancia aparente en este punto.

20 Se conoce igualmente un procedimiento para la estimación de lluvia descrito en la patente PCT WO03007016 que describe un procedimiento para la estimación de una tasa precipitante por medio de un radar bipolar, caracterizado por las diferentes etapas siguientes:

- 25 - se mide por medio de dicho radar bipolar, en un intervalo [r<sub>l</sub>, r<sub>0</sub>] dado de radio r de trayectoria con respecto a dicho radar, la fase diferencial Φ<sub>dp</sub> y la reflectancia atenuada Z según al menos una de las polarizaciones H o V;
- se determina una estimación del valor K(r<sub>0</sub>) de la atenuación específica en r<sub>0</sub> a partir del perfil de reflectancia atenuada medido de este modo, así como a partir de la diferencia de la fase diferencial entre r<sub>0</sub> y r<sub>l</sub>; se determina una estimación K(r) de la atenuación específica en r en función de la atenuación K(r<sub>0</sub>) determinada de este modo y del perfil de reflectancia atenuada Z(r); se determina la tasa de precipitante R(r) que conoce K(r).

35 Estas diferentes soluciones permiten caracterizar precipitaciones líquidas y estimar de manera precisa la tasa de lluvia (en mm/h), pero no estimar las características de las precipitaciones sólidas como la nieve.

La invención se refiere a dos nuevos procedimientos que contemplan remediar este inconveniente.

40 Este objetivo se resuelve mediante un procedimiento para la estimación de una precipitación sólida de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 12.

En concreto el procedimiento estima la tasa precipitante para una precipitación sólida. Incluye una etapa de adquisición de una imagen radar que incluye al menos un plano vertical de una zona de precipitación y de un tratamiento de un perfil vertical para proporcionar señales digitales representativas de la reflectancia según la dirección vertical h caracterizado por que se realiza una etapa de integración de dichas señales representativas de la reflectancia para suministrar una señal representativa del perfil en el plano vertical del diámetro medio de las partículas ponderado por la masa de cada partícula, y una etapa de determinación de la concentración de las partículas sólidas a partir de las señales calculadas en las etapas anteriores.

50 Preferentemente, la etapa de integración consiste en determinar la variable Z(h) lo observable radar en mm<sup>6</sup>/m<sup>3</sup> en función de la altitud h a partir de dicha imagen radar, y en determinar dicho diámetro medio de las partículas D<sub>m</sub>(h) por resolución de la ecuación:

$$\frac{\partial D_m}{\partial h} = -0,25k_{ef} a D_m^{b-5} 10^{-18} Z + \left( \frac{1}{6} \frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial h} \right) D_m \quad (2)$$

55 donde:

- Z es lo observable radar que hay que invertir en mm<sup>6</sup>m<sup>-3</sup>;
- D<sub>m</sub> es en m;
- 60 ■ a y b son coeficientes específicos de las partículas de tipo "agregados". El coeficiente a es por ejemplo igual a 35184 y el coeficiente b es igual a 3,16.

■  $k_{ef}$  es el coeficiente de eficacia del proceso de agregación que hay que ajustar, siendo este coeficiente  $k_{ef}$  por ejemplo igual a 0,3

5 La integración de (2) necesita una condición en el límite de integración. Ventajosamente, dicha condición en el límite de integración se determina con el fin de que el valor  $D_m(h)$  en la cumbre de la nube corresponda al valor predeterminado del número total de partículas en la cumbre de la nube.

10 Según un modo de realización ventajoso, se determina el perfil del número total de partículas  $n_t(h)$  por la ecuación siguiente:

$$n_t(h) = x \cdot Z(h) / D_m(h)^6$$

donde x es igual a  $25,4 \cdot 10^{-18}$

15 Según otro modo de realización, se determina el parámetro meteorológico  $N_0(h)$  por la ecuación siguiente:

$$N_0(h) = y \cdot Z(h) / D_m(h)^7$$

20 Donde y es igual a  $102 \cdot 10^{-18}$

Según un tercer modo de implementación, 1 se determina el parámetro meteorológico correspondiente al perfil del contenido en hielo  $IWC(h)$  [en  $g/m^3$ ] por la ecuación siguiente:

$$IWC(h) = wZ(h) / D_m(h)^3$$

25 donde w es igual a  $1,25 \cdot 10^{-12}$

Según un cuarto modo de implementación, se determina el parámetro meteorológico correspondiente al perfil de la tasa precipitante  $R(h)$  sólida (mm/h equivalente derretido) por la ecuación siguiente:

$$R(h) = r \cdot Z(h) / D_m(h)^{2,35}$$

Donde r es igual a  $4,698 \cdot 10^{-10}$

35 La invención se comprenderá mejor a la lectura de la descripción a continuación, con referencia a un ejemplo no limitativo de realización.

- La figura 1 representa un ejemplo de perfil vertical de Z que hay que invertir (en este ejemplo, la isoterma  $0^\circ C$  está al nivel del suelo).
- 40 - La figura 2 representa la comparación del perfil de  $D_m$  resultante de la inversión de Z por el modelo de agregación con el estimador clásico.
- La figura 3 representa la comparación de los perfiles de  $N_0$  y  $n_T$  resultante de la inversión de Z por el modelo de agregación con la hipótesis clásica y observaciones.
- La figura 4 representa el perfil vertical de Z que hay que invertir
- 45 - La figura 5 representa la comparación del perfil de  $D_m$  resultante de la inversión de Z por el modelo de agregación con el estimador clásico.
- La figura 6 representa la comparación de los perfiles de  $N_0$  y  $n_T$  resultante de la inversión de Z por el modelo de agregación con la hipótesis clásica y observaciones.
- La figura 7 representa la comparación del perfil de R resultante de la inversión de Z por el modelo de agregación
- 50 - La figura 8 representa la sensibilidad de la restitución de la tasa precipitante equivalente (mm/h) a la ley de densidad de las partículas  $\rho(D) \propto D^{-\gamma}$ .
- La figura 9 representa la sensibilidad de la restitución de la velocidad Doppler vertical a la ley de densidad de las partículas  $\rho(D) \propto D^{-\gamma}$ .

55 El procedimiento se aplica esencialmente a las precipitaciones estratiformes. Considera que los núcleos glaciogénicos solo se activan a temperatura muy negativa, es decir en la cumbre de la nube. Los cristales de hielo formados a alta altitud sedimentan y engordan durante su caída o por sublimación del vapor de agua saturante ambiente, o bien por colección y congelamiento de gotitas de agua nubosa sobrederretidas, o bien por agregación al azar de sus colisiones con otros cristales de hielo. De los tres procesos de crecimiento, solo la agregación cambia la concentración en partículas de hielo. El procedimiento de caracterización se basa esencialmente en una descripción simplificada del mecanismo de agregación. La invención se basa en una clase de procedimientos "perfiladores", en el sentido de que invierte el perfil vertical de reflectancia medido en el hielo, para sacar de ello el perfil vertical de la

tasa precipitante sólida.

Las etapas del método de inversión son las siguientes:

- 5 1- La distribución dimensional de las partículas expresada en "diámetro equivalente derretido", se supone exponencial, es decir:

$$N(D) = N_0 \exp(-4D/D_m) \quad (1)$$

10 donde  $N(D)$  es la concentración en partículas por  $m^3$  y por intervalo de diámetro, y  $N_0$  y  $D_m$  son los dos parámetros que caracterizan la distribución.

2- Se determina la cumbre  $h_{m\acute{a}x}$  y la base  $h_{m\acute{i}n}$  de la capa de precipitación sólida.

- 15 a.  $h_{m\acute{a}x}$  es la altitud máxima del perfil de reflectancia medido  $Z(h)$ .  
 b.  $h_{m\acute{i}n}$  es o la altitud de la isoterma  $0^\circ\text{C}$  si la temperatura en el suelo es positiva, o bien el nivel del suelo si la temperatura en el suelo es negativa.

3- Se determina entonces el perfil del parámetro  $D_m(h)$  entre  $h_{m\acute{a}x}$  et  $h_{m\acute{i}n}$  resolviendo la ecuación diferencial:

$$\frac{\partial D_m}{\partial h} = -0.25 k_{ef} a D_m^{b-5} 10^{-18} Z + \left( \frac{1}{6} \frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial h} \right) D_m \quad (2)$$

20

donde:

- 25 -  $Z$  es lo observable radar que hay que invertir en  $\text{mm}^6\text{m}^{-3}$ ;  
 -  $D_m$  es en  $m$ ;  
 -  $a$  y  $b$  son coeficientes específicos de las partículas de tipo "agregados", iguales respectivamente a 35184 y 3,16 a partir de las observaciones de Locatelli y Hobbs (1974);  
 -  $k_{ef}$  es el coeficiente de eficacia del proceso de agregación que hay que ajustar (el valor  $k_{ef} = 0,3$  parece correcto).

30 4- La integración de (2) se efectúa a partir de la parte superior, donde la condición en el límite se expresa fijando el número total de partículas  $n_T$  (o número de núcleos glaciogénicos activados en la cumbre de nube). Se puede tomar  $n_T(h_{m\acute{a}x}) = 10^6 \text{ m}^{-3}$ , lo que permite expresar la condición en el límite  $D_m(h_{m\acute{a}x})$  como:

$$D_m(h_{m\acute{a}x}) = 25,4 \cdot 10^{-18} (Z(h_{m\acute{a}x})/n_T(h_{m\acute{a}x}))^{1/6} \quad (3)$$

35

5- El perfil  $D_m(h)$  entre  $h_{m\acute{a}x}$  y  $h_{m\acute{i}n}$  una vez determinado, se calculan los perfiles de los otros parámetros de interés por las expresiones siguientes:

- 40 a. Perfil de  $N_0$ :  $N_0(h) = 102 \cdot 10^{-12} Z(h)/D_m(h)^7$   
 b. Perfil del número total de partículas  $n_T(h)$  [en  $\text{m}^{-3}$ ]:  $n_T(h) = 102 \cdot 10^{12} Z(h)/D_m(h)^6$   
 c. Perfil del contenido en hielo  $IWC(h)$  [en  $\text{g}/\text{m}^3$ ]:  $IWC(h) = 1,25 \cdot 10^{-12} Z(h)/D_m(h)^3$   
 d. Perfil de la tasa precipitante  $R(h)$  sólida ( $\text{mm}/\text{h}$  equivalente derretido)

45 Al usar la ley de velocidad terminal de caída determinada por Locatelli and Hobbs para agregados: [ $v_T = 107.6 D^{0.65}$  ( $D$  in  $m$ )],  $R(h)$  se expresa por:

$$R(h) = 4,698 \cdot 10^{-10} Z(h) / D_m(h)^{2,35}$$

50 La descripción a continuación se refiere a otra versión del procedimiento de tratamiento para la determinación de la tasa precipitante.

Para la lluvia, el algoritmo usado es el algoritmo ZPHI objeto de las patentes FR9800714 y FR0109206.

55 Para las precipitaciones sólidas, el nuevo algoritmo que acaba de desarrollarse es el objeto de la descripción a continuación.

Este algoritmo de estimación de la tasa precipitante para una precipitación sólida forma parte de la clase de los algoritmos “perfiladores”, en el sentido de que invierte el perfil vertical de reflectancia medido en el hielo, para sacar de ello el perfil vertical de la tasa precipitante sólida.

El algoritmo se aplica esencialmente a las precipitaciones estratiformes. Considera que los núcleos glaciogénicos solo se activan a temperatura muy negativa, es decir en la cumbre de la nube. Los cristales de hielo formados a alta altitud sedimentan y engordan durante su caída o por sublimación del vapor de agua saturante ambiente, o bien por colección y congelamiento de gotitas de agua nubosa sobrederrretidas, o bien por agregación al azar de sus colisiones con otros cristales de hielo. De los tres procesos de crecimiento, solo la agregación cambia la concentración en partículas de hielo. El algoritmo se basa esencialmente en una descripción simplificada del mecanismo de agregación. Las etapas del método de inversión son las siguientes:

La distribución dimensional de las partículas expresada en “diámetro equivalente derretido”, se supone exponencial, es decir:

$$N(D) = N_0 \exp(-4D/D_m), \quad (1)$$

donde:

- D es el diámetro equivalente derretido de la partícula de hielo,
- N(D) es la concentración en partículas por m<sup>3</sup> y por intervalo de diámetro,
- y N<sub>0</sub> y D<sub>m</sub> son los dos parámetros que caracterizan la distribución.

Se determina la cumbre h<sub>máx</sub> y la base h<sub>mín</sub> de la capa de precipitación sólida.

- h<sub>máx</sub> es la altitud máxima del perfil de reflectancia medido Z(h).
- h<sub>mín</sub> es o bien la altitud de la isoterma 0°C si la temperatura en el suelo es positiva, o bien el nivel del suelo si la temperatura en el suelo es negativa.

Se determina entonces el perfil del parámetro D<sub>m</sub>(h) entre h<sub>máx</sub> y h<sub>mín</sub> resolviendo la ecuación diferencial, cuya solución puede determinarse analíticamente:

$$\frac{\partial D_m}{\partial h} = -24 \frac{4^d k_{ef} J(b,d) a}{\Gamma(4+d) \dot{a} (\dot{a}-1)} Z D_m^{b-(\dot{a}-2)} + \frac{1}{(\dot{a}-1)Z} \frac{\partial Z}{\partial h} D_m \quad (2)$$

donde:

$$J(b,d) = \int_0^\infty \exp(-4x) x^b \int_0^x [x^d - x'^d] \exp(-4x') dx' dx$$

describe la frecuencia de colisión

- Z es lo observable radar que hay que invertir en mm<sup>6</sup>m<sup>3</sup>,
- D<sub>m</sub> es en m;
- a, b, c y d son coeficientes que dependen de la ley de densidad F(D) de las partículas de hielo, que se supone que varía en D<sup>-y</sup> (donde y puede tomar valores entre 0,25 y 1,1 según el tipo de las partículas). Estos coeficientes se han sacado de la teoría de Mitchell (Journal of Atmospheric Sciences, 53, 12, 1996) para representar las leyes potencia siguientes:

$$v_t(D) = cD^d \quad (\text{donde } v_t \text{ es la velocidad terminal de caída de la partícula de diámetro equivalente derretido } D)$$

$$A = aD^b \quad (\text{donde } A \text{ es la sección eficaz de la partícula de diámetro equivalente derretido } D)$$

Con coeficientes que dependen de la frecuencia y de una función de (D), que representan por una ley potencia la relación entre la reflectancia (parámetro medido), la concentración de las partículas y su diámetro equivalente medio:

$$Z = \dot{a} N_0 D_m^{\dot{a}}$$

k<sub>ef</sub> es el coeficiente de eficacia del proceso de agregación que hay que ajustar (el valor k<sub>ef</sub> = 0,3 parece correcto justo por encima de la isoterma 0 °C).

La integración de (2) se efectúa a partir de la parte superior, donde la condición en el límite se expresa fijando el

número total de partículas  $n_T$  (o número de núcleos glaciogénicos activados en la cumbre de nube). Se puede tomar  $n_T(h_{\text{máx}}) = 10^6 \text{ m}^{-3}$ , lo que permite expresar la condición en el límite  $D_m(h_{\text{máx}})$  como:

$$D_m(h_{\text{máx}}) = \left[ \frac{1}{4^d n_T(h_{\text{máx}})} \right]^{\frac{1}{d-1}} \quad (3)$$

5 El perfil  $D_m(h)$  entre  $h_{\text{máx}}$  y  $h_{\text{mín}}$  una vez determinado, se calculan los perfiles de los otros parámetros de interés por las expresiones siguientes:

Perfil de  $N_0$ :

$$N_0(h) = \frac{Z(h)}{d D_m(h)^d}$$

10

Perfil del número total de partículas  $n_T(h)$  [en  $\text{m}^{-3}$ ]

$$n_T(h) = 0.25 N_0(h) D_m(h)$$

15

Perfil del contenido en hielo  $IWC(h)$  [en  $\text{g/m}^3$ ]

$$IWC(h) = (1.2272)10^4 N_0(h) D_m(h)^4$$

20 Perfil de la tasa precipitante  $R(h)$  sólida (mm/h equivalente derretido):

$$R(h) = (1.885)10^6 c \frac{\Gamma(4+d)}{4^{(4+d)}} N_0(h) D_m(h)^{(4+d)}$$

25

Perfil vertical de la velocidad Doppler  $V_D(h)$  (en m/s), dada por una ley potencia que depende de la densidad  $\rho(D)$ :

$$V_D(h) = p D_m(h)^q$$

Debido a la dependencia de los coeficientes con respecto a la ley de densidad  $F(D)$ , la restitución de la tasa precipitante depende de manera crítica del parámetro  $\gamma$ , como lo atestigua la figura 7. Esta ley de densidad constituye por tanto un parámetro clave.

Operando en disparo vertical, se puede medir la velocidad Doppler  $V_D(h)$ , y compararla con el  $V_D(h)$  calculado por el algoritmo. El perfil de velocidad Doppler es discriminante, como lo atestigua la figura 8. Mediante ajustes sucesivos, se puede determinar de este modo el parámetro  $\gamma$  de la ley  $F(D)$  para el que se realiza la coherencia entre  $V_D(h)$  calculada y  $V_D(h)$  medida. La figura 4 representa un ejemplo de perfil invertido por el algoritmo (en este ejemplo, la isoterma  $0^\circ\text{C}$  está al nivel del suelo). La figura 5 representa las curvas resultantes de la aplicación del modelo de agregación y del modelo clásico, que permite la comparación del perfil de  $D_m$  resultante de la inversión de  $Z$  por el modelo de agregación con el estimador clásico.

La figura 6 representa la curva de los perfiles en función de la altitud (m) por encima de la isoterma  $0^\circ\text{C}$ . Conduce a la comparación de los perfiles de  $N_0$  y  $n_T$  resultante de la inversión de  $Z$  por el modelo de agregación con la hipótesis clásica y observaciones. La figura 7 representa la comparación del perfil de  $R$  resultante de la inversión de  $Z$  por el modelo de agregación con el estimador clásico. La figura 8 representa la sensibilidad de la restitución de la tasa precipitante equivalente (mm/h) a la ley de densidad de las partículas  $\rho(D) \propto D^{-\gamma}$ . La figura 9 representa la sensibilidad de la restitución de la velocidad Doppler vertical a la ley de densidad de las partículas  $\rho(D) \propto D^{-\gamma}$ .

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la estimación de las características de una precipitación sólida de partículas que se agregan, que incluye una etapa de adquisición de una imagen radar que incluye al menos un plano vertical de una zona de precipitación y de tratamiento de un perfil vertical para proporcionar señales digitales representativas de la reflectancia según la dirección vertical z,  
 5 una etapa de determinación de la concentración de las partículas sólidas, caracterizado por que comprende, además,  
 una etapa de determinación de un perfil, en el plano vertical, del diámetro medio  $D_m(h)$  de las partículas ponderado por la masa de cada partícula, comprendiendo dicha etapa de determinación de perfil una etapa de integración para suministrar una señal representativa de dicho perfil del diámetro medio,  
 10 efectuándose dicha etapa de determinación de la concentración de las partículas sólidas a partir de las señales calculadas en las etapas anteriores,  
 en el que dicha integración consiste en determinar la variable  $Z(h)$  que representa lo observable radar en  $mm^6/m^3$  en función de la altitud h a partir de dicha imagen radar, y  
 15 dicha determinación del perfil de diámetro medio de las partículas  $D_m(h)$  se efectúa por resolución de la ecuación:

$$\frac{\partial D_m}{\partial h} = -0,25k_{ef} a D_m^{b-5} 10^{-18} Z + \left( \frac{1}{6} \frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial h} \right) D_m \quad (2)$$

20 donde:

- Z es lo observable radar que hay que invertir en  $mm^6 m^{-3}$ ;
- $D_m$  es en m;
- a y b son coeficientes específicos de las partículas de tipo "agregados";
- $k_{ef}$  es el coeficiente de eficacia del proceso de agregación que hay que ajustar.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el coeficiente a es igual a 35184.  
 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el coeficiente b es igual a 3,16.  
 30 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina el perfil del número total de partículas  $n_t(h)$  por la ecuación siguiente:

$$n_t(h) = x \cdot Z(h) / D_m(h)^6.$$

35 5. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que x es igual a  $25,4 \cdot 10^{-18}$ .  
 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina el parámetro meteorológico  $N_0(h)$  por la ecuación siguiente:

$$N_0(h) = y \cdot Z(h) / D_m(h)^7.$$

40 7. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que y es igual a  $102 \cdot 10^{-18}$ .  
 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina el parámetro meteorológico correspondiente al perfil del contenido en hielo  $IWC(h)$  [en  $g/m^3$ ] por la ecuación siguiente:

$$IWC(h) = w \cdot Z(h) / D_m(h)^8.$$

50 9. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que w es igual a  $1,25 \cdot 10^{12}$ .  
 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina el parámetro meteorológico correspondiente al perfil de la tasa precipitante  $R(h)$  sólida (mm/h equivalente derretido) por la ecuación siguiente:

$$R(h) = r \cdot Z(h) / D_m(h)^{2,35}.$$

55 11. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que r es igual a  $4,698 \cdot 10^{-10}$ .

12. Procedimiento para la estimación de las características de una precipitación sólida de partículas que se agregan, que incluye una etapa de adquisición de una imagen radar que incluye al menos un plano vertical de una zona de precipitación y de tratamiento de un perfil vertical para proporcionar señales digitales representativas de la reflectancia según la dirección vertical z,

5 una etapa de determinación de la concentración de las partículas sólidas, caracterizado por que comprende, además, una etapa de determinación de un perfil, en el plano vertical, del diámetro medio  $D_m(h)$  de las partículas ponderado por la masa de cada partícula, comprendiendo dicha etapa de determinación de perfil una etapa de integración para suministrar una señal representativa de dicho perfil del diámetro medio, 10 efectuándose dicha etapa de determinación de la concentración de las partículas sólidas a partir de las señales calculadas en las etapas anteriores, en el que dicha integración consiste en determinar la variable  $Z(h)$  que representa lo observable radar en  $\text{mm}^6/\text{m}^3$  en función de la altitud h a partir de dicha imagen radar, dicha determinación del perfil de diámetro medio de las partículas  $D_m(h)$  se efectúa por resolución de la ecuación:

$$\frac{\partial D_m}{\partial h} = -24 \frac{4^d}{\Gamma(4+d)} \frac{k_{ef} J(b,d) a}{\alpha(\beta-1)} Z D_m^{b-(\beta-2)} + \frac{1}{(\beta-1)Z} \frac{\partial Z}{\partial h} D_m \quad (2')$$

donde:

20  $J(b, d) = \int_0^\infty \exp(-4x) x^b \int_0^x [x^d - x'^d] \exp(-4x') dx' dx$  describe la frecuencia de colisión

- Z es lo observable radar que hay que invertir en  $\text{mm}^6/\text{m}^3$ ;
- $D_m$  es en m;
- a, b, c y d son coeficientes que dependen de una ley de densidad F(D) de las partículas de hielo;
- $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros;
- $k_{ef}$  es el coeficiente de eficacia del proceso de agregación que hay que ajustar.

13. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que se determina el parámetro meteorológico  $N_0(h)$  por la ecuación siguiente:

$$N_0(h) = \frac{Z(h)}{\alpha D_m(h)^\beta} .$$

14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado por que se determina el perfil del número total de partículas  $n_T(h)$  por la ecuación siguiente:

$$n_T(h) = 0,25 N_0(h) D_m(h).$$

15. Procedimiento según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que se determina el parámetro meteorológico correspondiente al perfil del contenido en hielo IWC(h) [en  $\text{g}/\text{m}^3$ ] por la ecuación siguiente:

$$IWC(h) = (1,2272) \cdot 10^4 N_0(h) D_m(h)^4$$

16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizado por que se determina el parámetro meteorológico correspondiente al perfil de la tasa precipitante R(h) sólida (mm/h equivalente derretido) por la ecuación siguiente:

$$R(h) = (1,885) \cdot 10^6 c \frac{\Gamma(4+d)}{4^{(4+d)}} N_0(h) D_m(h)^{(4+d)} .$$

17. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el coeficiente  $k_{ef}$  es igual a 0,3.



18. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicha constante de integración se determina con el fin de que el valor  $D_m(h)$  en la cumbre de la nube corresponda al valor predeterminado del número total de partículas en la cumbre de la nube.

5 19. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que los coeficientes a, b, c y d dependen de una ley de densidad de las partículas de hielo  $F(D)$  que varía en  $D^{-\gamma}$ , siendo  $\gamma$  un parámetro comprendido entre 0,25 y 1,1.

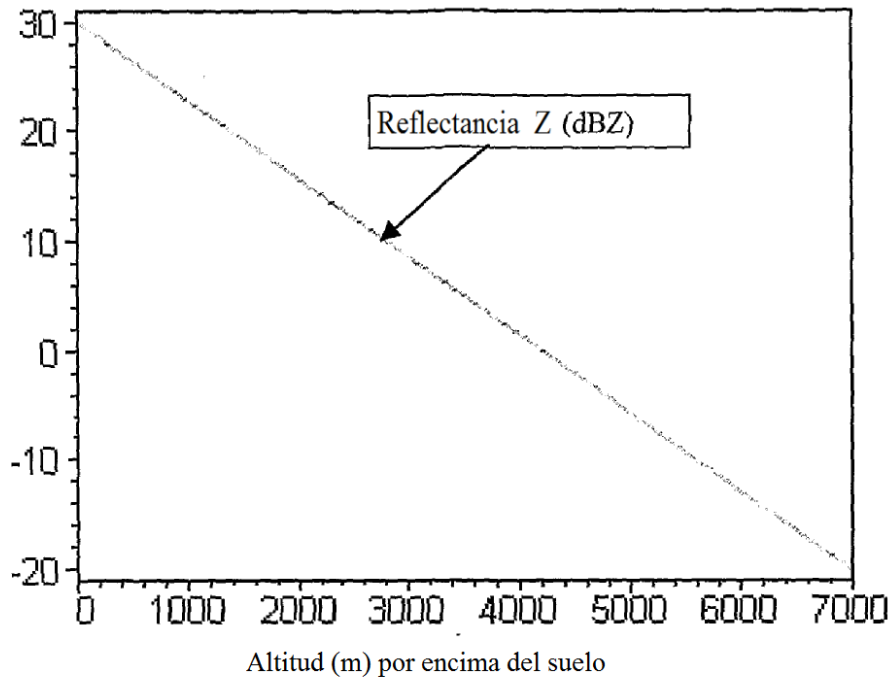


Figura 1

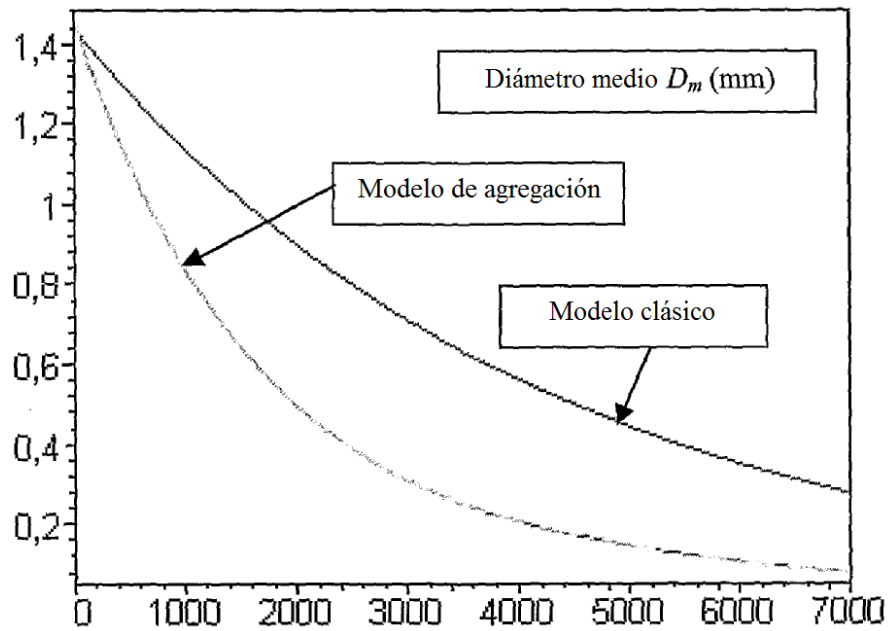


Figura 2

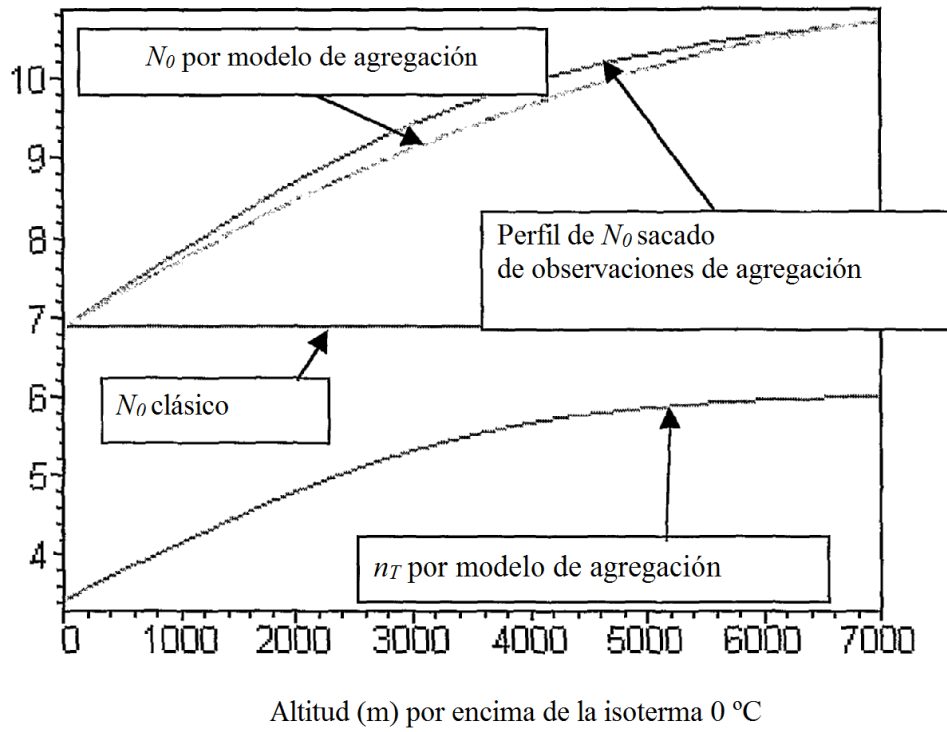


Figura 3

Fig. 4

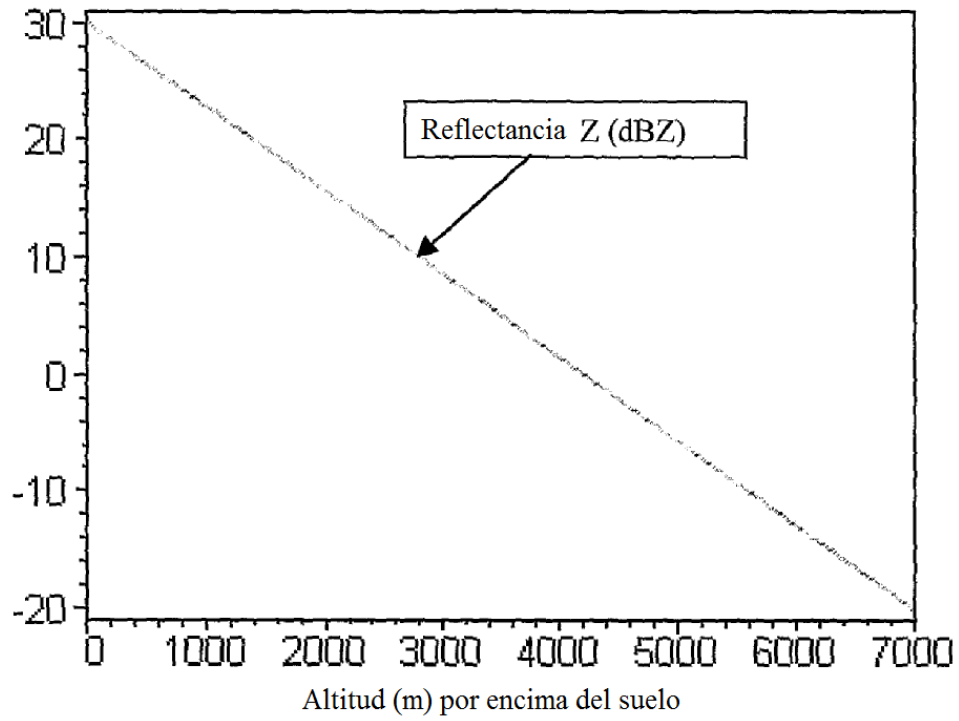


Fig 5

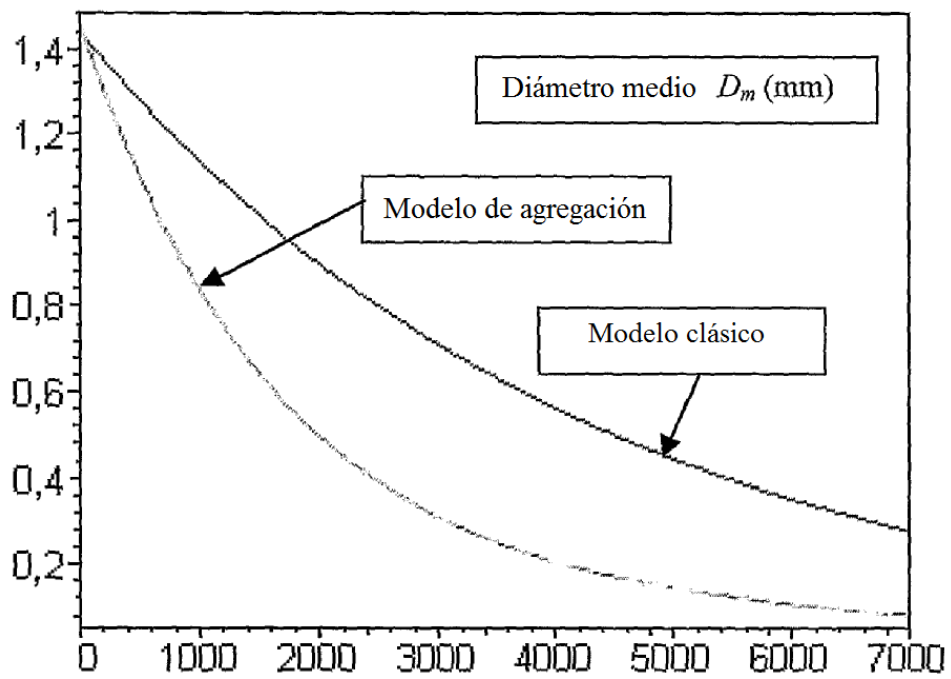


Fig. 6

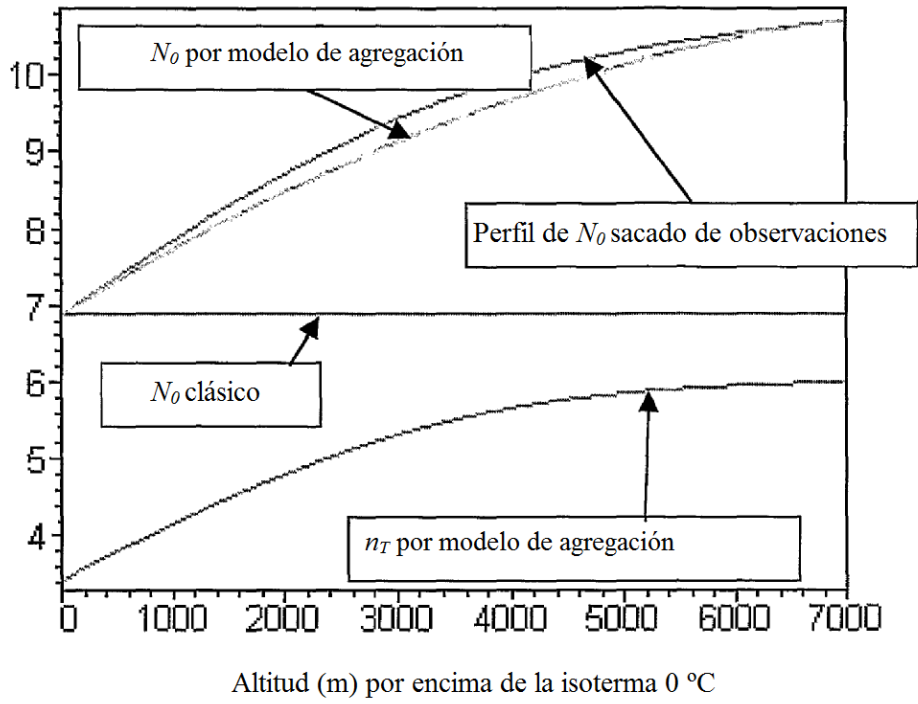


Fig 7

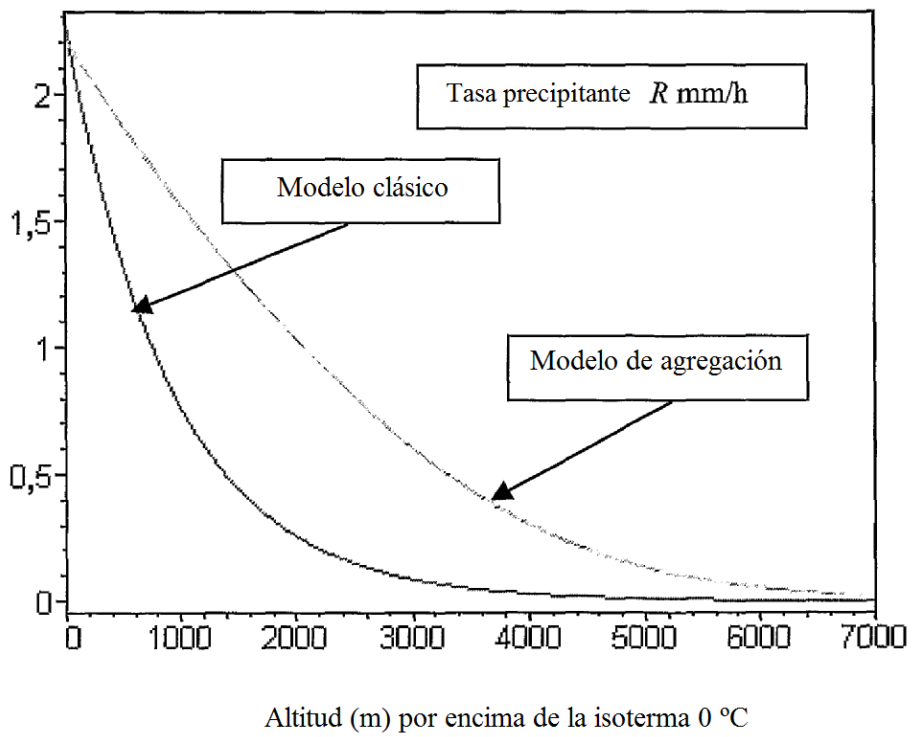


Fig. 8

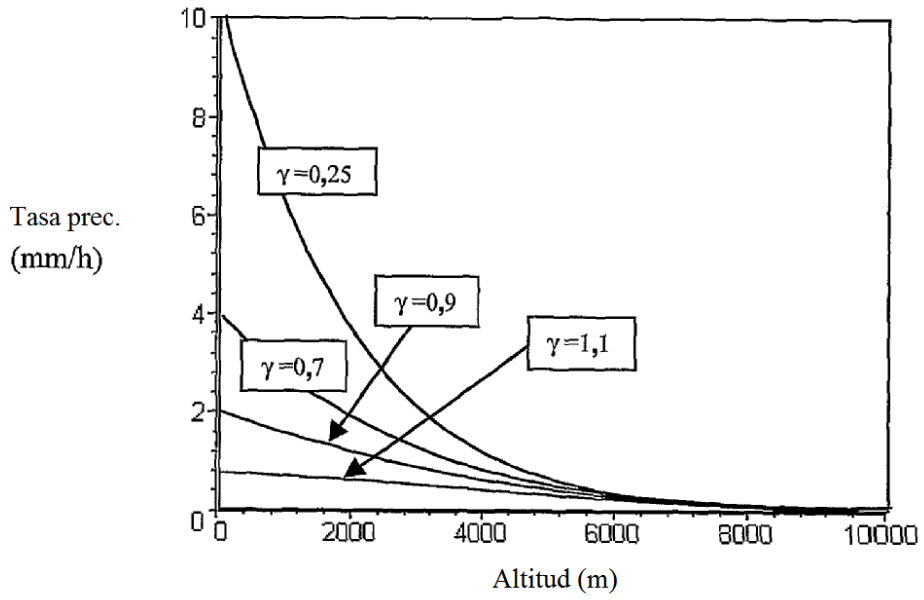


Fig. 9

