

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 714**

51 Int. Cl.:

**B64C 23/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2011 E 11730015 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.09.2014 EP 2593362**

54 Título: **Dispositivo de punta alar y métodos**

30 Prioridad:

**14.07.2010 GB 201011843**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.12.2014**

73 Titular/es:

**AIRBUS OPERATIONS LIMITED (50.0%)**  
**New Filton House**  
**Filton Bristol BS99 7AR, GB y**  
**AIRBUS OPERATIONS GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**WRIGHT, CHRISTOPHER;**  
**CHU, JAMES, K. y**  
**HIMISCH, JAN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 524 714 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

Dispositivo de punta alar y métodos

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo de punta alar para la fijación al extremo hacia el exterior de un ala. También, un ala con el dispositivo de punta alar; una aeronave con el ala; un método de ajustar, o retro-ajustar, el dispositivo de punta alar a un ala; un método de modificar un dispositivo de punta alar existente; y un método de hacer funcionar un ala con el dispositivo de punta alar.

**Antecedentes de la invención**

Un dispositivo de punta alar se fija al extremo hacia el exterior de un ala para reducir la resistencia aerodinámica inducida en el ala. En el caso de, por ejemplo, un ala de aeronave esto puede conducir a una mejora de la eficiencia del combustible y menores emisiones de carbono. Los dispositivos de punta alar pueden tomar diversas formas.

Una aleta es un elemento en forma de ala que se extiende desde la punta alar. Una aleta se puede extender hacia arriba o hacia abajo desde la punta alar. El documento NASA TN D-8260, titulado "Un enfoque de diseño y Resultados de Túnel de Viento Seleccionado a altas velocidades de Subsónicas para Aletas Montadas en la Punta alar"; Whitcomb, RT; 1976 describe un dispositivo de punta alar que tiene una aleta inferior (que se extiende hacia abajo desde la punta alar) hacia delante de una aleta superior (que se extiende hacia arriba desde la punta alar). El dimensionamiento de estos dispositivos de punta se recomiendan en el documento NASA TM 81230 titulado "Efecto de las Aletas o la Resistencia aerodinámica Inducida de Formas de Ala Ideales"; RT Jones y TA Lasinski 1980.

Un borde marginal de la punta alar es una forma especial del dispositivo de punta alar que se extiende verticalmente por encima y por debajo de la punta alar. El documento US 4.714.215 describe un borde marginal de la punta alar.

Otro ejemplo de un dispositivo de punta alar es una extensión de punta alar no plana, es decir, que se extiende fuera del plano del ala a la que está unido. Una aleta se puede considerar como un ejemplo particular de una extensión de punta alar no plana. El documento US 2002/0162917 describe una extensión de punta alar no plana que tiene una curvatura continuamente creciente de diedro local, aumentando continuamente el ángulo de flecha (en ambos bordes de ataque y de salida), y disminuyendo continuamente la cuerda en la dirección hacia el exterior.

Una aleta puede incluir una porción sustancialmente plana unida a la punta alar por una porción de transición curva para formar una aleta en ángulo suave, tal como se describe en el documento US 5.348.253. La porción de transición tiene un radio de curvatura constante. Se dice que el ángulo suave especificado reduce los efectos de resistencia aerodinámica por interferencia en la punta alar.

Como alternativa, una aleta puede incluir una porción sustancialmente plana unida a la punta alar por una porción de extensión de punta alar no plana, tal como se describe en el documento WO 2008/061739. La porción de extensión de punta alar no plana tiene una mayor curvatura de diedro local en la dirección hacia el exterior. Se dice que la porción de extensión de punta alar reduce aún más los efectos de resistencia aerodinámica por interferencia en comparación con una aleta en ángulo suave con una transición de radio constante.

Otro ejemplo de un dispositivo de punta alar es una extensión de punta alar sustancialmente plana, tal como la punta alar rastrillada que se describe en el documento US 6.089.502, que no se extiende sustancialmente hacia fuera del plano del ala. Las puntas alares rastrilladas pueden lograr un rendimiento de reducción de resistencia aerodinámica similar en las aletas.

Restricciones en las envergaduras de aeronaves, por ejemplo, debido a los límites de compatibilidad las puertas de los aeropuertos o las restricciones en la categoría de vuelo de las aeronaves, significan que aletas o extensiones de punta alar no planas, en lugar de puntas alares rastrilladas, pueden que tengan que ser adoptadas para reducir la resistencia aerodinámica inducida en el ala. Dado que las aletas (y las extensiones de punta alar no planas más generalmente) se extienden fuera del plano del ala a la que están unidos, un incremento efectivo del alargamiento alar se puede lograr (lo que reduce la resistencia aerodinámica inducida en el vortice sobre el ala) sin aumentar significativamente la envergadura del ala.

El problema de las restricciones de envergadura se resuelve tradicionalmente mediante la optimización del ala de aeronave en la forma en tierra (carga completa de combustible), donde las restricciones de envergadura son aplicables. Sin embargo, debido a la flexión inducida en la forma del ala a partir de los efectos aeroelásticos durante el vuelo, la envergadura de la forma en vuelo resultante se reduce generalmente y, por lo tanto, ya no es óptima. Por tanto, este enfoque tradicional lleva un déficit de rendimiento. Este problema se hace aún más apreciable con un mayor uso de las alas relativamente flexibles para reducir el peso estructural, que tienden a dar como resultado una mayor flexión del ala bajo carga aerodinámica en comparación con los diseños más rígidos.

El documento US 4.365.773 describe un borde marginal de la punta alar para una disposición alar "romboidal" doble,

que sustancialmente no sufre deformación aeroelástica durante el vuelo.

El documento US 4 674 709 A desvela un ala con las características del preámbulo de la reivindicación 1.

## 5 Sumario de la invención

Un primer aspecto de la invención proporciona un ala que tiene un extremo hacia el exterior y que define un plano del ala, y un dispositivo de punta alar fijado al extremo hacia el exterior del ala, comprendiendo el dispositivo de punta alar: un elemento en forma de ala superior fijado para no ser móvil con respecto al ala y que se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala, teniendo el elemento en forma de ala superior un borde de salida; y caracterizado por un elemento en forma de ala inferior fijado para no ser móvil con respecto al elemento en forma de ala superior, teniendo el elemento en forma de ala inferior una cuerda de raíz y un borde de salida, intersectando la cuerda de raíz del elemento en forma de ala inferior con el elemento en forma de ala superior, y proyectándose el elemento en forma de ala inferior hacia abajo desde la intersección, en el que el elemento en forma de ala superior es más grande que el elemento en forma de ala inferior y el borde de salida del elemento en forma de ala inferior es adyacente al borde de salida del elemento en forma de ala superior en la intersección, y en el que un ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior e inferior en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es menor de, o igual a 160 grados,

Un segundo aspecto de la invención proporciona una aeronave que tiene un ala de acuerdo con el primer aspecto.

Un tercer aspecto de la invención proporciona un método de ajustar, o retro-ajustar, un dispositivo de punta alar a un ala para formar un ala de acuerdo con el primer aspecto, comprendiendo el método fijar el dispositivo de punta alar de acuerdo con el primer aspecto al extremo hacia el exterior del ala.

Un cuarto aspecto de la invención proporciona un método de modificar un dispositivo de punta alar fijado al extremo hacia el exterior de un ala, definiendo el ala un plano del ala, comprendiendo el dispositivo de punta alar existente un elemento en forma de ala superior fijado para no ser móvil con respecto al ala y que se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala, teniendo el elemento en forma de ala superior un borde de salida, y comprendiendo el método proporcionar un elemento en forma de ala inferior más pequeño que el elemento en forma de ala superior y que tiene una cuerda de raíz y un borde de salida, y fijar el elemento en forma de ala inferior al elemento en forma de ala superior de tal manera que: el elemento en forma de ala inferior no es móvil con respecto al elemento en forma de ala superior, la cuerda de raíz del elemento en forma de ala inferior se interseca con el elemento en forma de ala superior, y el elemento en forma de ala inferior se proyecta hacia abajo desde la intersección; y que el borde de salida del elemento en forma de ala inferior es adyacente al borde de salida del elemento en forma de ala superior en la intersección; y que un ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior e inferior en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es menor de, o igual a, 160 grados.

Un quinto aspecto de la invención proporciona un método de hacer funcionar un ala que tiene un dispositivo de punta alar fijado al extremo hacia el exterior del ala, definiendo el ala un plano del ala, y comprendiendo el dispositivo de punta alar: un elemento en forma de ala superior fijado para no ser móvil con respecto al ala y que se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala, teniendo el elemento en forma de ala superior un borde de salida, y caracterizado por un elemento en forma de ala inferior fijado para no ser móvil con respecto al elemento en forma de ala superior, teniendo el elemento en forma de ala inferior una cuerda de raíz y un borde de salida, intersectando la cuerda de raíz del elemento en forma de ala inferior con el elemento en forma de ala superior, y proyectándose el elemento en forma de ala inferior hacia abajo desde la intersección, en el que el elemento en forma de ala superior es más grande que el elemento en forma de ala inferior y el borde de salida del elemento en forma de ala inferior es adyacente al borde de salida del elemento en forma de ala superior en la intersección, y en el que un ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior e inferior en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es menor de, o igual a 160 grados, y comprendiendo el método someter el ala a cargas aerodinámicas de tal manera que la forma del ala sufre una deformación aeroelástica a un estado en el que la flexión del ala provoca la torsión del dispositivo de punta alar alrededor de la raíz del ala de tal manera que la punta del elemento en forma de ala inferior se extiende más hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta del elemento en forma de ala superior.

La invención es ventajosa porque el elemento en forma de ala inferior actúa para compensar al menos parte de la disminución de la envergadura del ala que se produce debido a la deformación aeroelástica en la forma en vuelo, mientras que los elementos en forma de alas superior e inferior se pueden optimizar todavía para cumplir con todas las restricciones de envergadura aplicables en la forma en tierra.

Se ha demostrado que la adición del elemento inferior a un dispositivo de punta alar que comprende solo un elemento en forma de ala superior (por ejemplo, una aleta) reduce la resistencia aerodinámica en la combinación del ala/dispositivo de punta alar en aproximadamente un 1,9 % más en general, con una reducción de la resistencia aerodinámica de vórtice de aproximadamente un 25 a un 40 % más en relación con la proporcionada por el elemento superior solamente.

Una coincidencia cercana de los bordes de salida de los elementos superior e inferior es importante para evitar efectos de perturbación de estela. Los bordes de salida no necesitan ser exactamente coincidentes pero deben ser adyacentes a fin de evitar la estela de un elemento que impacta en el flujo sobre el otro elemento en la intersección.

5 El ángulo incluido entre los elementos en forma de alas superior e inferior en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura, en adelante denominado como el ángulo incluido entre los elementos en forma de alas superior e inferior en la intersección, es importante de manera que el elemento inferior proporcione un aumento en la envergadura en la forma en vuelo. El ángulo de inclinación del elemento inferior (es decir, el ángulo entre el plano x-z vertical y el elemento) se puede optimizar con el fin de lograr el aumento máximo de envergadura en la forma en vuelo, con la debida consideración de minimizar los efectos de interferencia en la intersección. Tenga en cuenta que un borde marginal de la punta alar tiene un ángulo incluido de aproximadamente 180 grados entre los elementos superiores e inferiores verticales, por lo que el elemento inferior proporciona un aumento insignificante en la envergadura en la forma en vuelo.

15 El elemento en forma de ala superior es más grande que el elemento en forma de ala inferior. El elemento en forma de ala inferior puede tener un área de forma en planta del elemento menor de aproximadamente el 25 % del área de elemento de forma en planta de ala superior. Tenga en cuenta que el área de plataforma de cada elemento se observa en un plano diferente al del área de forma en planta del ala. El área de forma en planta del elemento inferior se puede diseñar con el fin de entregar la carga de envergadura requerida al tiempo que minimiza la penalización de resistencia aerodinámica viscosa en crucero, y proporciona un buen rendimiento de alta sustentación a baja velocidad. Las restricciones de altura de separación del terreno puede limitar el tamaño del elemento inferior.

25 El elemento en forma de ala inferior se fija con respecto al elemento en forma de ala superior. El dispositivo de punta alar se fija con respecto al ala. La invención no se refiere a los dispositivos de punta alar móviles ya que estos son generalmente más pesados que los dispositivos fijos, que pueden compensar cualquier beneficio de rendimiento. Además, la solución del problema de las restricciones de envergadura es algo trivial con los dispositivos de punta alar móviles.

30 Un ángulo incluido entre el plano del ala y el elemento en forma de ala inferior puede ser de al menos 110 grados. Por consiguiente, el elemento inferior se extiende hacia fuera desde el extremo hacia el exterior del ala, y los efectos de interferencia entre la superficie del ala inferior y el elemento inferior se pueden minimizar.

35 El ángulo incluido entre los elementos en forma de alas superior e inferior en la intersección puede ser de al menos 80 grados, y preferentemente es de al menos 90 grados. Esto ayuda a minimizar los efectos de interferencia entre los elementos superior e inferior en la intersección.

El elemento en forma de ala inferior puede ser sustancialmente plano.

40 Como alternativa, el elemento en forma de ala inferior puede ser sustancialmente no plano. En particular, el elemento inferior puede tener una torsión de ala, por ejemplo, alabeo negativo. El elemento inferior puede tener una curvatura a lo largo de la envergadura de anédrico en aumento desde la raíz hasta la punta.

45 El elemento inferior puede tener un ángulo de convergencia con relación al plano x-z vertical.

El elemento inferior puede tener un ángulo de flecha. En particular, el elemento inferior puede tener un borde de ataque en flecha. El ángulo de flecha del borde de ataque del elemento inferior puede ser similar al del elemento superior.

50 El elemento en forma de ala superior puede incluir una porción sustancialmente plana.

En una realización, el elemento en forma de ala superior puede ser sustancialmente plano. El elemento superior puede ser una aleta.

55 En otra realización, el elemento en forma de ala superior puede incluir una porción sustancialmente plana y una porción de transición arqueada adaptada para combinar suavemente el extremo hacia el exterior del ala en la porción sustancialmente plana del elemento en forma de ala superior. El elemento superior puede ser una aleta en ángulo suave. La porción de transición puede tener un radio de curvatura constante. El ángulo suave ayuda a reducir los efectos de resistencia aerodinámica por interferencia en la punta alar.

60 En otra realización adicional, el elemento en forma de ala superior puede incluir una porción sustancialmente plana y una extensión de punta alar curva no plana adaptada para combinar suavemente el extremo hacia el exterior del ala en la porción sustancialmente plana del elemento en forma de ala superior. El elemento superior puede ser una aleta en ángulo suave en el ala por una porción de extensión de punta alar no plana. La porción de extensión de punta alar no plana puede tener el aumento de la curvatura de diedro local en la dirección hacia el exterior. La porción de extensión de punta alar ayuda a reducir aún más los efectos de resistencia aerodinámica por interferencia en

comparación con una aleta en ángulo suave con una transición de radio constante.

5 El elemento en forma de ala superior puede ser una extensión de punta alar curva sustancialmente no plana. La extensión puede tener una curvatura continuamente creciente de diedro local, aumentando continuamente el ángulo de flecha (en ambos bordes de ataque y de salida), y disminuyendo continuamente la cuerda en la dirección hacia el exterior.

10 El elemento en forma de ala superior puede tener una torsión de ala desde la raíz hasta la punta, por ejemplo, alabeo negativo.

El elemento en forma de ala superior puede tener un ángulo de convergencia con relación al plano x-z vertical.

15 El elemento en forma de ala superior puede tener un ángulo de flecha. En particular, el elemento superior puede tener un borde de ataque en flecha. El ángulo de flecha del borde de ataque del elemento superior puede ser similar al del elemento inferior.

La intersección entre el elemento en forma de ala inferior y el elemento en forma de ala superior puede estar en el extremo hacia el exterior del ala.

20 Como alternativa, la intersección entre el elemento en forma de ala inferior y el elemento en forma de ala superior puede estar fuera del extremo hacia el exterior del ala. Esto puede ser particularmente ventajoso cuando el elemento superior se angula suavemente en el extremo hacia el exterior del ala. En este caso, la intersección puede estar en la superficie inferior del elemento superior.

25 La cuerda de raíz del elemento inferior se puede extender a lo largo de solo parte de la cuerda local del elemento superior en la intersección.

30 Cuando la aeronave está en tierra y el ala se somete a una deflexión hacia abajo debido a la carga completa de combustible, la punta del elemento en forma de ala inferior no podrá prolongarse más allá hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta del elemento en forma de ala superior. De esta manera ambas puntas de los elementos superior e inferior pueden estar en el límite de la puerta del aeropuerto, por ejemplo.

35 Cuando la aeronave está en tierra y el ala se somete a la deflexión hacia abajo debido a la carga completa de combustible, la extensión a lo largo de la envergadura de la punta del elemento en forma de ala inferior puede ser sustancialmente igual a la extensión a lo largo de la envergadura de la punta del elemento en forma de ala superior. Como alternativa, la extensión a lo largo de la envergadura de la punta del elemento en forma de ala inferior puede ser mayor que la extensión a lo largo de la envergadura de la punta del elemento en forma de ala superior cuando la envergadura de la punta del elemento superior es sustancialmente menor que el límite de la puerta del aeropuerto.

40 Cuando la aeronave está en vuelo, la punta del elemento en forma de ala inferior se puede extender más hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta del elemento en forma de ala superior debido a la deformación aeroelástica de la forma del ala.

**Breve descripción de los dibujos**

45 Las realizaciones de la invención se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

50 La Figura 1 ilustra un ala de aeronave de la técnica anterior con una aleta superior, que se muestra a) en su forma en tierra, y b) en su forma en vuelo;

La Figura 2 ilustra el Detalle A de la Figura 1 que muestra el límite de envergadura en tierra, y la pérdida de envergadura debido a la deformación del ala bajo carga aerodinámica;

55 La Figura 3 ilustra un dispositivo de ala/punta alar de la aeronave de acuerdo con una primera realización que tiene una aleta superior plana y una aleta inferior plana, que se muestra a) en su forma en tierra, y b) en su forma en vuelo, y que ilustra la envergadura ganada desde el elemento inferior en la forma en vuelo;

60 La Figura 4 ilustra el dispositivo de ala/punta alar de la aeronave (en la forma en tierra) de acuerdo con la primera realización en detalle;

Las Figuras 5 y 6 ilustran gráficamente la reducción adicional en la resistencia aerodinámica debido al elemento inferior en la primera realización;

65 La Figura 7 ilustra un dispositivo de ala/punta alar de la aeronave (en la forma en tierra) de acuerdo con una segunda realización que tiene una aleta superior plana y una aleta inferior no plana;

La Figura 8 ilustra un dispositivo de ala/punta alar de la aeronave (en la forma en tierra) de acuerdo con la

tercera realización que tiene una aleta superior en ángulo suave y una aleta inferior plana;

La Figura 9 ilustra un dispositivo de ala/punta alar de la aeronave (en la forma en tierra) de acuerdo con la cuarta realización que tiene una aleta superior en ángulo suave en el ala con una extensión de punta alar no plana, y una aleta inferior plana (aunque se puede aplicar también una aleta inferior no plana); y

La Figura 10 ilustra una vista en perspectiva del dispositivo de ala/punta alar de la cuarta realización;

La Figura 11 ilustra una vista en planta del dispositivo de ala/punta alar de la cuarta realización;

La Figura 12 ilustra un dispositivo de ala/punta alar de la aeronave de acuerdo con una quinta realización que tiene una extensión de punta de ala (superior) no plana y una aleta inferior plana; y

La Figura 13 ilustra una vista en perspectiva del dispositivo de punta alar de la quinta realización.

### Descripción detallada de la realización o realizaciones

La Figura 1 ilustra un ala de aeronave de la técnica anterior 1 que tiene una raíz del ala hacia el interior 2 y una punta alar hacia el exterior 3. Un dispositivo de punta alar que comprende una aleta se extiende hacia arriba 4 se fija al extremo hacia el exterior 3 del ala 1. El ala 1 se muestra en la Figura 1 en a) su forma en tierra (es decir, con la aeronave en tierra y con una carga completa de combustible en el ala), y b) su forma en vuelo (es decir, con la deformación debido a la carga aerodinámica).

La Figura 2 ilustra el Detalle A de la Figura 1 y la línea discontinua 5 ilustra una restricción de envergadura impuesta en la aeronave debido a, por ejemplo, los límites de las puertas de compatibilidad de los aeropuertos o restricciones de la categoría de vuelo de la aeronave. El límite de envergadura 5 es aplicable a la forma en tierra que se muestra en la Figura 2a). La Figura 2b) ilustra la pérdida 6 en la envergadura del ala debido a la deformación del ala en la forma en vuelo. Esta pérdida en la envergadura 6 puede ser de hasta aproximadamente el 3 %.

La Figura 3 ilustra un ala de aeronave 101 de acuerdo con una primera realización que tiene una aleta superior plana 104 y una aleta inferior plana 107. La aleta superior 104 se fija al extremo hacia el exterior 103 del ala 101. El ala 101 define un plano de aeronave 108. La aleta superior 104 se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala 108. La aleta superior 104 tiene una punta 109 y una raíz 110. La aleta inferior tiene una punta 111 y una raíz 112. La cuerda de raíz de la aleta inferior 112 interseca la aleta superior 104 y la aleta inferior 107 se proyecta hacia abajo desde esta intersección. Las aletas superior e inferior 104, 107 tienen cada una un borde de ataque y un borde de salida y los bordes de salida son adyacentes en la intersección. La Figura 3a) ilustra el ala 101 en su forma en tierra, donde la punta 109 de la aleta superior 104 y la punta 111 de la aleta inferior 107 son coincidentes en el límite de envergadura 105. La Figura 3b) ilustra el ala 101 en su forma en vuelo deformada y muestra cómo una pérdida potencial en la envergadura 106 debido a la aleta superior 104 se mitiga por un aumento en la envergadura 113 obtenida desde la aleta inferior 107. Esta ganancia en envergadura 113 debido a la aleta inferior 107 es de aproximadamente el 2 %.

La Figura 4 ilustra el ala de una aeronave 101 de la primera realización en mayor detalle. La aleta inferior 107 se dimensiona y orienta a fin de maximizar el aumento en envergadura en la forma en vuelo, mientras que se minimizan los efectos de interferencia en la intersección entre la aleta inferior 107 y la aleta superior 104. Además, una altura de separación del terreno G entre el suelo y la punta 111 de la aleta inferior 107 se tiene en cuenta. La geometría resultante proporciona un ángulo incluido entre los elementos de ala superior e inferior de aproximadamente 132° y un ángulo incluido entre el plano del ala 108 y la aleta inferior 107 de aproximadamente 128°. La aleta inferior 107 tiene un área de forma en planta de la aleta de aproximadamente el 20 % de la superficie superior de forma en planta de la aleta 104. El tamaño relativamente pequeño de la aleta inferior 107 minimiza la penalización de resistencia aerodinámica viscosa en crucero, mientras que suministra la carga de envergadura óptima requerida.

Las Figuras 5 y 6 ilustran gráficamente el efecto de la adición del elemento de aleta inferior 107 sobre las características de sustentación y resistencia aerodinámica del vórtice del ala 101. En las Figuras 5 y 6, la línea con marcadores circulares representa un ala de referencia correspondiente al ala 101 con una punta cerca de un límite de envergadura impuesto sin ningún dispositivo de punta alar. La línea con los marcadores cruzados ilustra el ala 101 con solo el elemento de aleta superior 104 (del tamaño recomendado en el documento NASA TM 81230 titulado "Efecto de Aletas en la Resistencia aerodinámica Inducida de Formas Alares Ideales"; RT Jones y TA Lasinski 1980), y la línea con los marcadores triangulares representan el ala 101 tanto con los elementos de aleta inferior 104 como superior 107. La Figura 5 ilustra la relación entre los coeficientes de sustentación y resistencia aerodinámica (CL, CD) y muestra una mejora en la relación de sustentación a resistencia aerodinámica para el ala 101 tanto con el elemento de aleta superior como inferior 104, 107 en comparación tanto con el ala de referencia como con el ala que tiene solo un elemento de aleta superior. La Figura 6 ilustra un ahorro de resistencia aerodinámica debido a la adición del elemento de aleta inferior 107 de aproximadamente el 1,9 % en el coeficiente de sustentación de peso medio en crucero (CL = 0,5) en relación con el ala que tiene solo el elemento superior 104. La reducción de vórtice de resistencia aerodinámica proporcionada por el elemento de aleta inferior 107 es una reducción adicional de

aproximadamente el 25 al 40 %.

La Figura 7 ilustra un ala de aeronave 201 de acuerdo con una segunda realización que tiene una aleta superior plana 204 y una aleta inferior no plana 207. El ala 201 define un plano del ala 208 y la aleta superior 204 se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala 208. La aleta superior 204 se fija al extremo hacia el exterior 203 del ala 201. La aleta inferior 207 tiene una cuerda de raíz 212 que interseca con la aleta superior 204. La aleta inferior 207 se proyecta hacia abajo desde la intersección. La aleta superior 204 tiene una punta 209 y una raíz 210. La aleta inferior 207 tiene una punta 211 que coincide en la dirección de la envergadura con la punta 209 en el límite de envergadura de 205. Las aletas superior e inferior 204, 207 tienen cada una un borde de ataque y un borde de salida y los bordes de salida son adyacentes en la intersección. El ala 201 se ilustra en la Figura 7 en su forma en tierra donde se aplica el límite de envergadura 205.

La aleta inferior 207 tiene cada vez mayor curvatura de anédrico local desde la raíz 212 hasta la punta 211. La aleta inferior 207 puede tener un ángulo de convergencia de entrada o salida para optimizar el rendimiento a baja velocidad del dispositivo de punta.

El dispositivo de punta alar para el ala 201 se ha optimizado para maximizar el aumento de envergadura bajo cargas aerodinámicas en vuelo, mientras que se minimizan los efectos de interferencia entre la aleta inferior 207 y la superficie inferior del ala 201, y entre las aletas superior e inferior 204, 207. La geometría resultante optimizada tiene un ángulo incluido entre las aletas superior e inferior 204, 207 de aproximadamente  $120^\circ$  y un ángulo comprendido entre el plano del ala 208 y la aleta inferior 207 de aproximadamente  $138^\circ$ . En la forma en vuelo, la aleta inferior 207 proporciona una ganancia adicional en envergadura en comparación con la aleta inferior 107 del ala 101, debido principalmente al aumento de la altura de la raíz 212 a la punta 211 de la aleta inferior 207 y la flexibilidad de la aleta inferior 207 que se endereza bajo las cargas en vuelo.

La Figura 8 ilustra un ala de aeronave 301 de acuerdo con la tercera realización que tiene una aleta superior en ángulo suave 304 y una aleta inferior plana 307. El ala 301 tiene un extremo hacia el exterior 303 en el que se fija la aleta superior en ángulo suave 304. La aleta superior 304 tiene una punta 309 y una raíz 310. La aleta superior 304 se fija al extremo hacia el exterior 303 del ala 301 por su extremo de la raíz 310. La aleta superior 304 tiene una porción sustancialmente plana 314 y una porción de transición arqueada 315. La porción de transición 315 se adapta para combinar suavemente el extremo hacia el exterior 303 del ala 301 en la porción sustancialmente plana 314. La porción de transición arqueada 315 tiene un radio de curvatura sustancialmente constante R.

La aleta inferior 307 se fija a la superficie inferior de la porción de transición 315 de la aleta superior 304. La aleta inferior tiene una punta 311 y una raíz 312. La cuerda de raíz de la aleta inferior 307 interseca la aleta superior 304 y la aleta inferior se proyecta hacia abajo desde la intersección. Las aletas superior e inferior 304, 307 tienen cada una un borde de ataque y un borde de salida y los bordes de salida son adyacentes en la intersección. La porción de transición 315 ayuda a reducir los efectos de interferencia entre la porción sustancialmente plana 314 y el ala 301.

La punta 309 de la aleta superior 304 es sustancialmente coincidente en el plano x-z vertical con la punta 311 de la aleta inferior 307 en el límite de envergadura 305. Un ángulo incluido entre las aletas superior e inferior 304, 307 en la intersección es de aproximadamente  $84^\circ$ . Es preferible que este ángulo sea de al menos  $80^\circ$  a fin de evitar los efectos de interferencia entre las aletas superior e inferior 304, 307. Dado que la intersección está en la superficie inferior de la porción de transición en ángulo suave 315, este ángulo se mide entre la tangente superficial inferior de la porción de transición y la aleta inferior 307. Un ángulo incluido entre el plano del ala 308 y la aleta inferior 307 es de aproximadamente  $125^\circ$ . La porción sustancialmente plana 314 de la aleta superior 304 tiene un ángulo de inclinación con respecto al plano x-z vertical de aproximadamente  $7^\circ$  a  $15^\circ$ .

El elemento de aleta inferior 307 tiene un área de forma en planta del elemento de aproximadamente el 25 % del área de forma en planta del elemento de aleta superior 304. Si bien la aleta inferior 307 es sustancialmente plana, puede tener alguna torsión de ala de la raíz 312 a la punta 311. La aleta inferior 307 puede tener, además, o como alternativa un ángulo de convergencia de entrada o de salida para optimizar el rendimiento a baja velocidad. Del mismo modo, la aleta superior 304 puede tener alguna torsión y puede tener un ángulo de convergencia de entrada o de salida. La aleta inferior 307 tiene un ángulo de flecha y, en particular, el borde de ataque se hace retroceder. La aleta superior 304 se hace retroceder también y tiene un borde de ataque en flecha y un borde de salida en flecha.

Si los límites de separación del terreno lo permiten, entonces, el elemento de aleta inferior 307 se podría sustituir por un elemento de aleta no inferior plano similar al descrito anteriormente con referencia a la Figura 7.

La Figura 9 ilustra una combinación de dispositivo de ala/punta alar de la aeronave que comprende un ala 401, una aleta superior en ángulo suave 404 y una aleta inferior plana 407. El ala 401 tiene un extremo hacia el exterior 403 y define un ala de aeronave 408. La aleta superior 404 incluye una porción sustancialmente plana 414 y una porción de transición en ángulo suave 415. La porción de transición 415 angula sin problemas el extremo hacia el exterior 403 del ala 401 en la porción sustancialmente plana 414 de la aleta superior 404. La porción de transición 415 es una extensión de punta alar curva no plana que tiene una curvatura continuamente creciente de diedro local, aumentando continuamente el ángulo de flecha (en ambos bordes de ataque y de salida), y disminuyendo

continuamente la cuerda en la dirección hacia el exterior. La porción de extensión de punta alar curva no plana 415 proporciona un rendimiento mejorado de resistencia aerodinámica para la aleta superior 404 en comparación con la aleta superior en ángulo suave 304 que se muestra en la Figura 8.

5 La aleta superior 404 tiene una raíz 410 y una punta 409. La porción sustancialmente plana 414 de la aleta superior 404 tiene un ángulo de inclinación de aproximadamente de  $7^\circ$  con respecto al el plano x-z vertical. Una aleta inferior sustancialmente plana 407 se fija a la superficie inferior de la porción de extensión de punta alar curva no plana 415 de la aleta superior 404. La aleta inferior 407 tiene una punta 411 y una raíz 412. La cuerda de raíz de la aleta inferior 407 interseca la aleta superior 404 y la aleta inferior se proyecta hacia abajo desde la intersección.

10 Un ángulo incluido entre las aletas superior e inferior 404, 407 en la intersección es de aproximadamente  $86^\circ$ . Dado que la intersección está en la superficie inferior de la porción de extensión de punta alar curva no plana 415 de la aleta superior 404, este ángulo se mide desde una tangente superficial local hasta la superficie inferior de la porción de extensión de punta alar curva no plana 415 en la intersección. Este ángulo incluido es preferentemente superior a  $80^\circ$  para evitar los efectos de interferencia entre las aletas superior e inferior 404, 407. Un ángulo incluido entre el plano del ala 408 y la aleta inferior es de aproximadamente  $124^\circ$ . La punta 409 de la aleta superior 404 es sustancialmente coincidente en el plano x-z vertical con la punta 411 de la aleta inferior 407 en el límite de envergadura 405.

20 Las Figuras 10 y 11 ilustran vistas en perspectiva y en planta, respectivamente, de la combinación de dispositivo de ala/punta alar de la cuarta realización. Particularmente, a partir de la Figura 10, se puede observar que el borde de salida 416 de la aleta superior 404 y el borde de salida 417 de la aleta inferior 407 son sustancialmente adyacentes en la intersección. Los bordes de salida 416, 417 están lo suficientemente cerca para que la estela de la aleta inferior 407 no interfiera sustancialmente con el flujo a través de la aleta superior 404. La aleta superior 404 tiene un borde de ataque 418 que se hace retroceder y la aleta inferior 407 también tiene un borde de ataque 419 que se hace retroceder. El borde de salida 416 de la aleta superior 404 se hace retroceder y hacia el borde de salida 417 de la aleta inferior 407 se hace retroceder también.

30 En la Figura 11, la vista en planta (es decir, la vista de arriba hacia abajo en el plano x-y) ilustra cómo la aleta superior 404 "ensombrece" al menos una parte de la aleta inferior 407. Esto se debe a la coincidencia de las puntas 409, 411 de las aletas superior e inferior 404, 407 en el plano x-z vertical. Como se muestra mejor en la Figura 10, la cuerda de raíz 412 de la aleta inferior 407 ocupa solo parte de la cuerda local de la aleta superior 404 en la intersección. Debido a la coincidencia cercana de los bordes de salida 416, 417 el borde de ataque 419 de la aleta inferior 407 se sitúa sustancialmente a popa del borde de ataque 418 de la aleta superior 404.

35 La Figura 12 ilustra una combinación de dispositivo de ala/punta alar de la aeronave de acuerdo con la quinta realización, que comprende un ala 501 con un dispositivo de punta alar que comprende una extensión de punta alar no plana superior 504 y una aleta plana inferior 507. El ala 501 tiene un extremo hacia el exterior 503 y define un ala de aeronave 508. La extensión de punta alar no plana 504 tiene una raíz 510 y una punta 509 y se fija al extremo hacia el exterior 503 del ala 501 por su raíz 510. La extensión de punta alar curva no plana 504 tiene una curvatura continuamente en aumento de diedro local, aumentando continuamente el ángulo de flecha (en ambos bordes de ataque y de salida 518, 516), y disminuyendo continuamente la cuerda en la dirección hacia el exterior, y.

45 La extensión de punta alar curva no plana 504 es sustancialmente no plana de la raíz 510 a la punta 509. La punta 509 forma un ángulo de inclinación de aproximadamente  $8^\circ$  con respecto al plano x-z vertical. La aleta inferior 507 tiene una punta 511 y una raíz 512 y la cuerda de raíz interseca la extensión de punta alar curva no plana 504, con la aleta inferior 507 proyectándose hacia abajo desde la intersección. Un ángulo incluido entre la extensión del extremo del ala no plana 504 y la aleta inferior 507 en la intersección es de aproximadamente  $82^\circ$ . Este ángulo se mide entre la aleta inferior 507 y una tangente superficial local a la superficie inferior de la extensión de punta alar curva no plana 504 en la intersección. Un ángulo comprendido entre el plano del ala 508 y la aleta inferior 507 es de aproximadamente  $126^\circ$ . Las puntas 509, 511 de la extensión de punta alar curva no plana 504 y la aleta inferior 507 son sustancialmente coincidentes en el plano x-z vertical en el límite de envergadura de 506.

55 La Figura 13 ilustra el dispositivo de punta alar de acuerdo con la quinta realización en una vista en perspectiva y muestra claramente que el borde de salida 516 de la extensión de punta alar curva no plana 504 es sustancialmente coincidente con el borde de salida 517 de la aleta inferior 507 en la intersección. Tanto la extensión de punta alar curva no plana 504 como la aleta inferior 507 tienen un ángulo de flecha y los bordes de ataque y de salida 516, 517, 518, 519 tienen cada uno un ángulo de flecha respectivo.

60 La aleta inferior 507 puede solo ser sustancialmente plana y puede ofrecer la torsión de aleta de la raíz a la punta y un ángulo de convergencia de entrada o de salida con respecto al flujo de corriente libre. Del mismo modo, la extensión de punta alar curva no plana 504 puede presentar torsión de ala y un ángulo de convergencia de entrada o de salida con respecto al flujo de corriente libre. La aleta inferior 507 se puede sustituir con una aleta inferior curva sustancialmente no plana, similar a la descrita anteriormente con referencia a la Figura 7 si los límites de separación de altura del terreno lo permiten.

65 Cada una de las segunda a quinta realizaciones descritas anteriormente con referencia a las Figuras 7 a 13 se

5 muestran con la combinación de dispositivo de ala/punta alar respectiva en su forma en tierra. Debido a las cargas aerodinámicas en el ala durante el vuelo, la deformación del ala causará el giro del dispositivo de punta alar sobre la raíz del ala de tal manera que la punta del elemento en forma de ala inferior se extiende más hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta del elemento en forma de ala superior. El elemento en forma de ala inferior en cada caso proporciona, por tanto, un aumento en la envergadura de las alas cuando se compara con los dispositivos de punta alar que tienen solo el elemento en forma de ala superior en cada caso.

10 Los dispositivos de punta alar que se describen de la primera a la quinta realizaciones, anteriores, se pueden ajustar, o retro-ajustar, al extremo hacia el exterior del ala de una aeronave que tiene o bien ningún dispositivo de punta alar o un reemplazo de un dispositivo de punta alar existente. Además, el elemento en forma de ala inferior se puede proporcionar como una modificación de retro-ajuste a un dispositivo de punta alar existente que tenga solo un elemento en forma de ala superior para formar un dispositivo de punta alar de acuerdo con la presente realización.

15 Si bien la invención se ha descrito anteriormente con referencia a una o más realizaciones preferidas, se apreciará que diversos cambios o modificaciones se pueden hacer sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un ala (101) que tiene un extremo hacia el exterior (103) y que define un plano del ala, y un dispositivo de punta alar fijado al extremo hacia el exterior del ala, comprendiendo el dispositivo de punta alar:
- 5 un elemento en forma de ala superior (104) fijado para que no sea móvil con respecto al ala y que se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala, teniendo el elemento en forma de ala superior un borde de salida; y un elemento en forma de ala inferior (107) fijado para que no sea móvil con respecto al elemento en forma de ala superior (104), teniendo el elemento en forma de ala inferior una cuerda de raíz (112) y un borde de salida, intersecando la cuerda de raíz del elemento en forma de ala inferior (112) el elemento en forma de ala superior (104) y proyectándose el elemento en forma de ala inferior (107) hacia abajo desde la intersección, **caracterizada por que** el elemento en forma de ala superior (104) es más grande que el elemento en forma de ala inferior (107) y el borde de salida del elemento en forma de ala inferior (107) es adyacente al borde de salida del elemento en forma de ala superior (104) en la intersección, y
- 15 en donde un ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior (104) e inferior (107) en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es menor de, o igual a, 160 grados.
2. Un ala de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el elemento en forma de ala inferior tiene un área de forma en planta del elemento menor de aproximadamente el 25 % del área de forma en planta del elemento en forma de ala superior.
3. Un ala de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en la que un ángulo incluido entre el plano del ala y el elemento en forma de ala inferior (107) es de al menos 110 grados.
- 25 4. Un ala de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que el ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior (104) e inferior (107) en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es de al menos 80 grados.
- 30 5. Un ala de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que el elemento en forma de ala inferior (107) es sustancialmente plano.
6. Un ala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el elemento en forma de ala inferior (107) es sustancialmente no plano.
- 35 7. Un ala de acuerdo con la reivindicación 6, en la que el elemento en forma de ala inferior (107) posee una torsión de ala.
8. Un ala de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que el elemento en forma de ala inferior (107) y/o el elemento en forma de ala superior (104) tienen un ángulo de flecha.
- 40 9. Un ala de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que el elemento en forma de ala superior incluye una porción sustancialmente plana.
- 45 10. Un ala de acuerdo con la reivindicación 9, en la que el elemento en forma de ala superior es sustancialmente plano, o en la que el elemento en forma de ala superior incluye además una porción de transición arqueada adaptada para combinar suavemente el extremo hacia el exterior del ala en la porción sustancialmente plana del elemento en forma de ala superior, o en la que el elemento en forma de ala superior incluye además una extensión de punta alar curva no plana adaptada para combinar suavemente el extremo hacia el exterior del ala en la porción sustancialmente plana del elemento en forma de ala superior.
- 50 11. Un ala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que el elemento en forma de ala superior es una extensión de punta alar curva sustancialmente no plana.
- 55 12. Un ala de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en la que la intersección entre el elemento en forma de ala inferior (107) y el elemento en forma de ala superior (104) está en el extremo hacia el exterior del ala, o hacia el exterior del extremo hacia el exterior del ala (101).
- 60 13. Una aeronave que incluye un ala (101) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.
- 65 14. Una aeronave de acuerdo con la reivindicación 13, en la que, cuando la aeronave está en tierra y el ala (101) se somete a la deflexión hacia abajo debido a la carga completa de combustible, la punta (111) del elemento en forma de ala inferior (107) se extiende no más hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta (109) del elemento en forma de ala superior (104) y/o la extensión a lo largo de la envergadura de la punta (111) del elemento en forma de ala inferior (107) es sustancialmente igual a la extensión a lo largo de la envergadura de la punta (109) del elemento en forma de ala superior (104).

15. Una aeronave de acuerdo con la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en la que, cuando la aeronave está en vuelo, la punta (111) del elemento en forma de ala inferior (107) se extiende más hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta (109) del elemento en forma de ala superior (104) debido a la deformación aeroelástica de la forma del ala.

5 16. Un método de ajustar, o retro-ajustar, un dispositivo de punta alar a un ala (101) para formar un ala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, comprendiendo el método fijar el dispositivo de punta alar al extremo hacia el exterior (103) del ala (101).

10 17. Un método de modificar un dispositivo de punta alar fijado a y que no es móvil con respecto al extremo hacia el exterior (103) de un ala (101), definiendo el ala un plano del ala, comprendiendo dispositivo de punta alar existente un elemento en forma de ala superior (104) fijado para que no sea móvil con respecto al ala y que se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala, teniendo el elemento en forma de ala superior un borde de salida, y comprendiendo el método proporcionar un elemento en forma de ala inferior más pequeño que el elemento en forma de ala superior (104) y que tiene una cuerda de raíz (112) y un borde de salida, y fijar el elemento en forma de ala inferior (107) al elemento en forma de ala superior (104) de tal manera que: el elemento en forma de ala inferior no es móvil con respecto al elemento en forma de ala superior, la cuerda de raíz del elemento en forma de ala inferior (112) interseca el elemento en forma de ala superior (104), y el elemento en forma de ala inferior (107) se proyecta hacia abajo desde la intersección (112); y que el borde de salida del elemento en forma de ala inferior (107) es adyacente al borde de salida del elemento en forma de ala superior (104) en la intersección; y que un ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior (104) e inferior (107) en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es menor de, o igual a, 160 grados.

20 25 18. A método de hacer funcionar un ala (101) que tiene un dispositivo de punta alar fijado al extremo hacia el exterior (103) del ala, definiendo el ala un plano del ala, y comprendiendo el dispositivo de punta alar:

un elemento en forma de ala superior (104) fijado para que no sea móvil con respecto al ala y que se proyecta hacia arriba con respecto al plano del ala, teniendo el elemento en forma de ala superior un borde de salida; y

30 **caracterizado por** un elemento en forma de ala inferior (107) fijado para que no sea móvil con respecto al elemento en forma de ala superior (104), teniendo el elemento en forma de ala inferior una cuerda de raíz (112) y un borde de salida, intersecando la cuerda de raíz (112) del elemento en forma de ala inferior el elemento en forma de ala superior (104), y proyectándose el elemento en forma de ala inferior (107) hacia abajo desde la intersección (112),

35 en donde el elemento en forma de ala superior (104) es más grande que el elemento en forma de ala inferior (107) y el borde de salida del elemento en forma de ala inferior (107) es adyacente al borde de salida del elemento en forma de ala superior (104) en la intersección (112), y

en donde un ángulo incluido entre los elementos en forma de ala superior (104) e inferior (107) en la intersección en el lado hacia el exterior del dispositivo de punta alar en la dirección de la envergadura es menor de, o igual a, 160 grados, y

40 comprendiendo el método someter el ala (101) a cargas aerodinámicas de tal modo que la forma del ala sufre una deformación aeroelástica hasta un estado en el que la flexión del ala provoca el giro del dispositivo de punta alar sobre la raíz del ala de tal manera que la punta (111) del elemento en forma de ala inferior (107) se extiende más hacia el exterior en la dirección de la envergadura que la punta (109) del elemento en forma de ala superior (104).

45

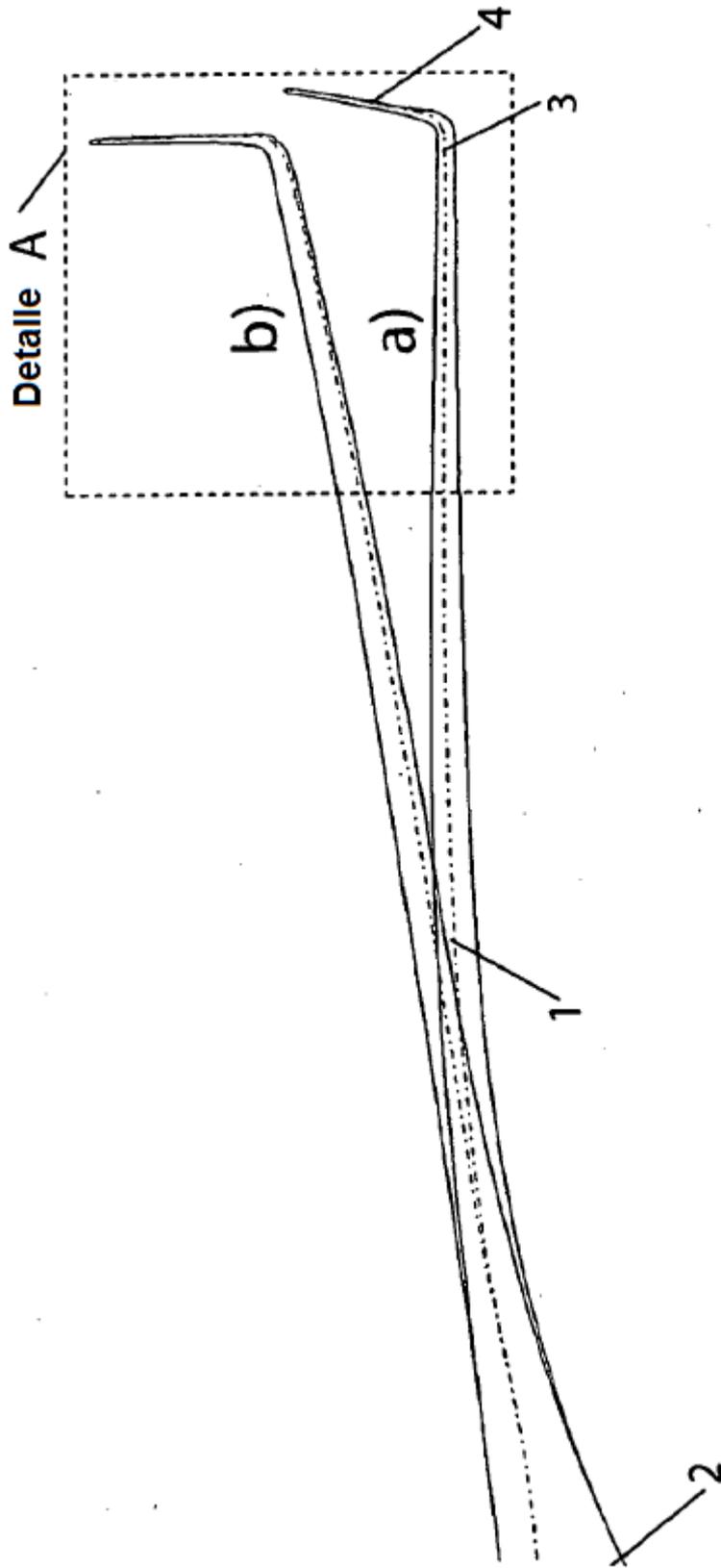
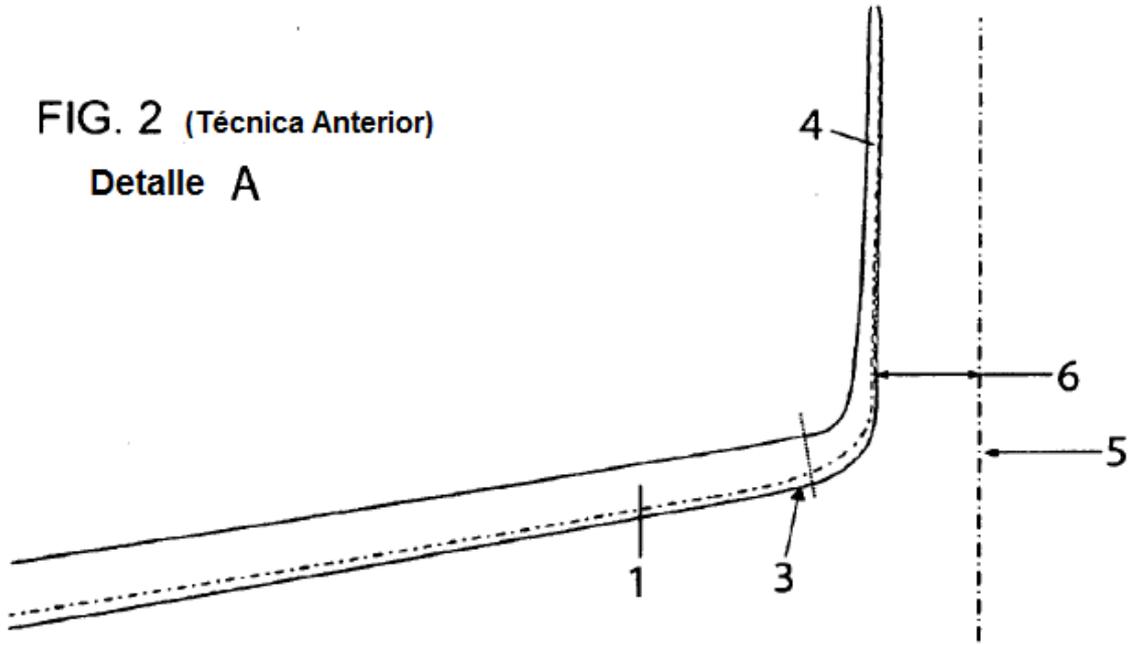
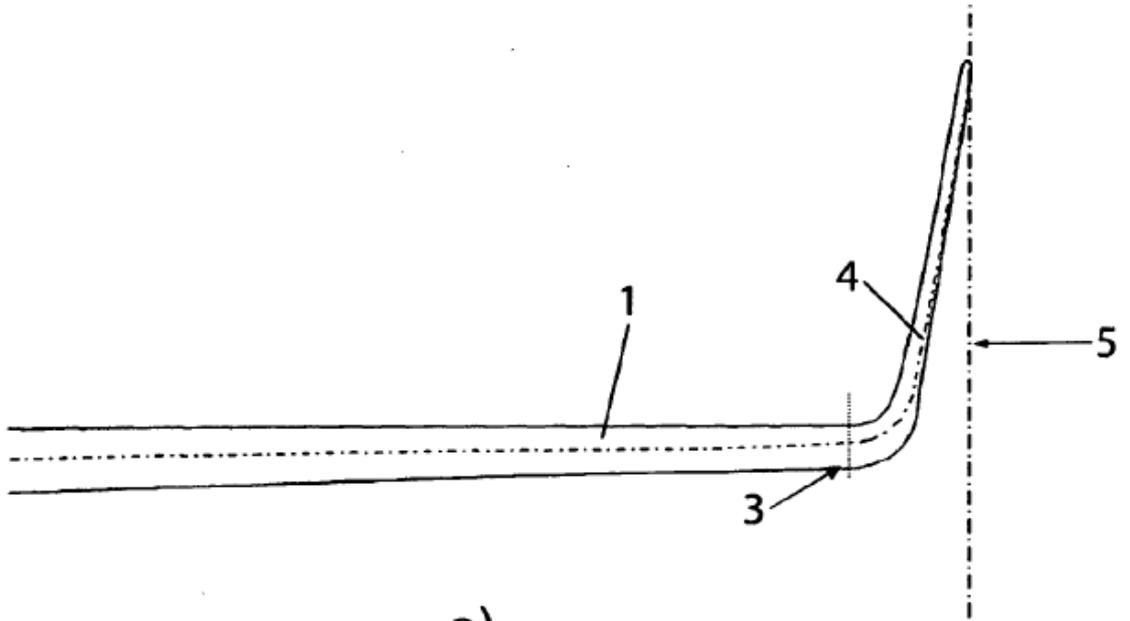


FIG. 1 (Técnica Anterior)

FIG. 2 (Técnica Anterior)  
Detalle A



b)



a)

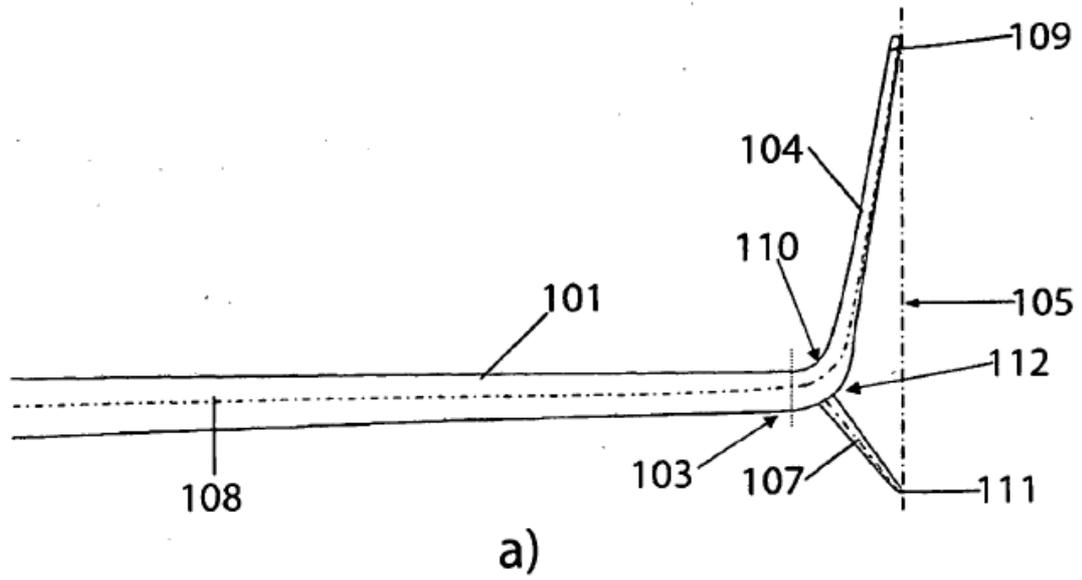
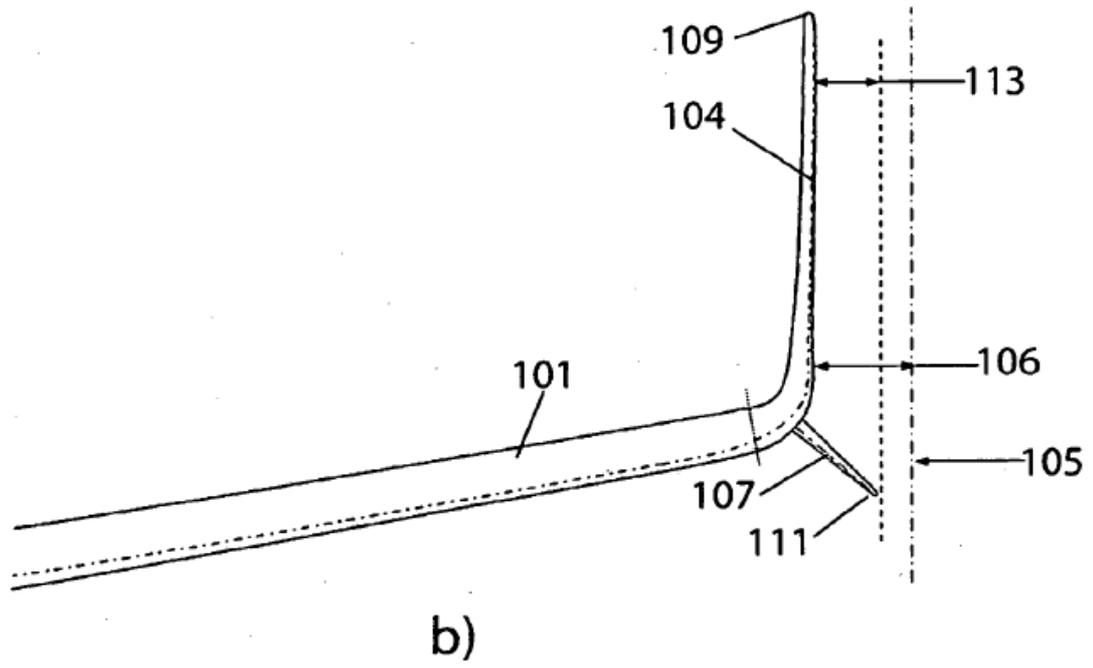
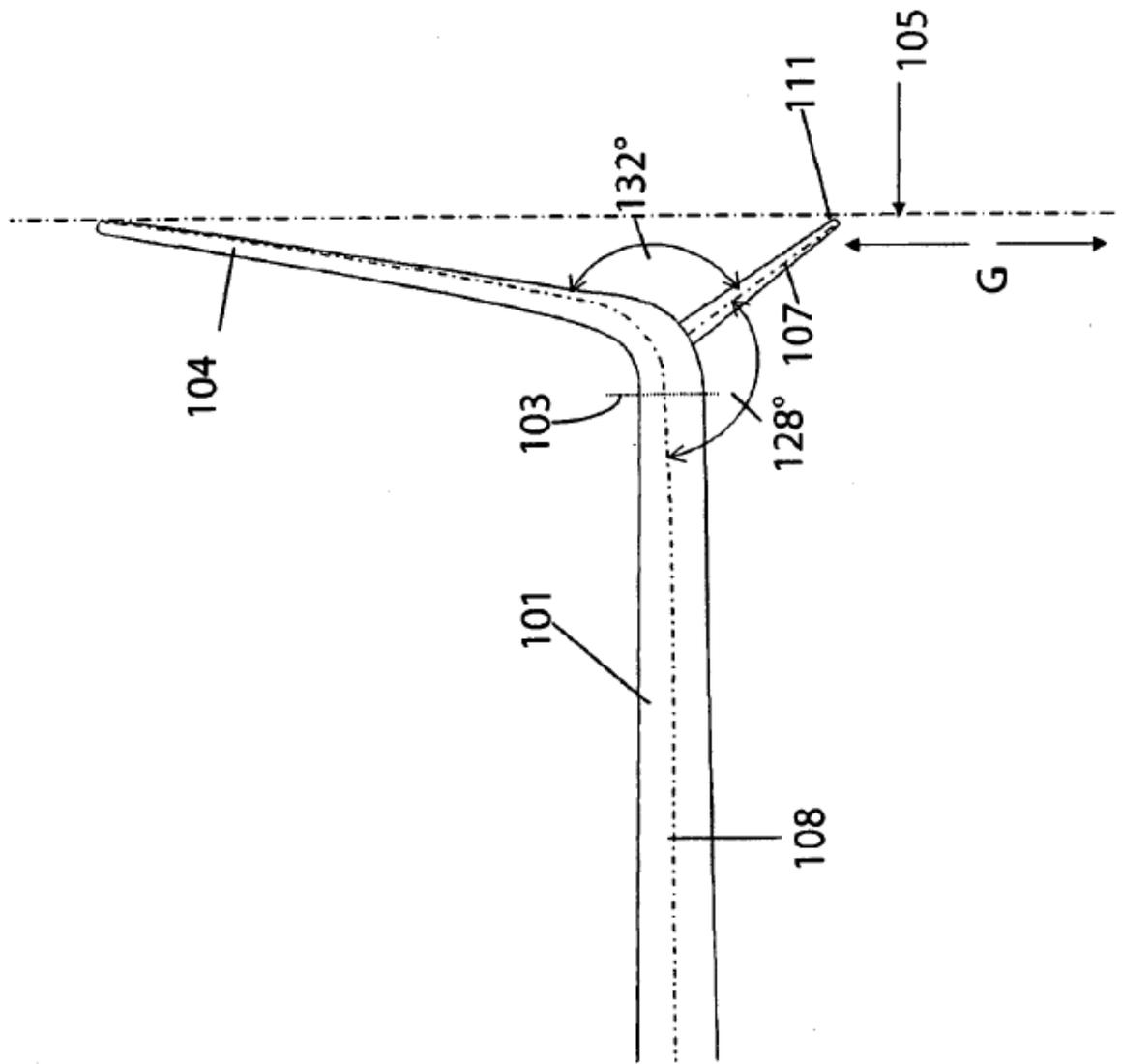


FIG. 3

FIG. 4



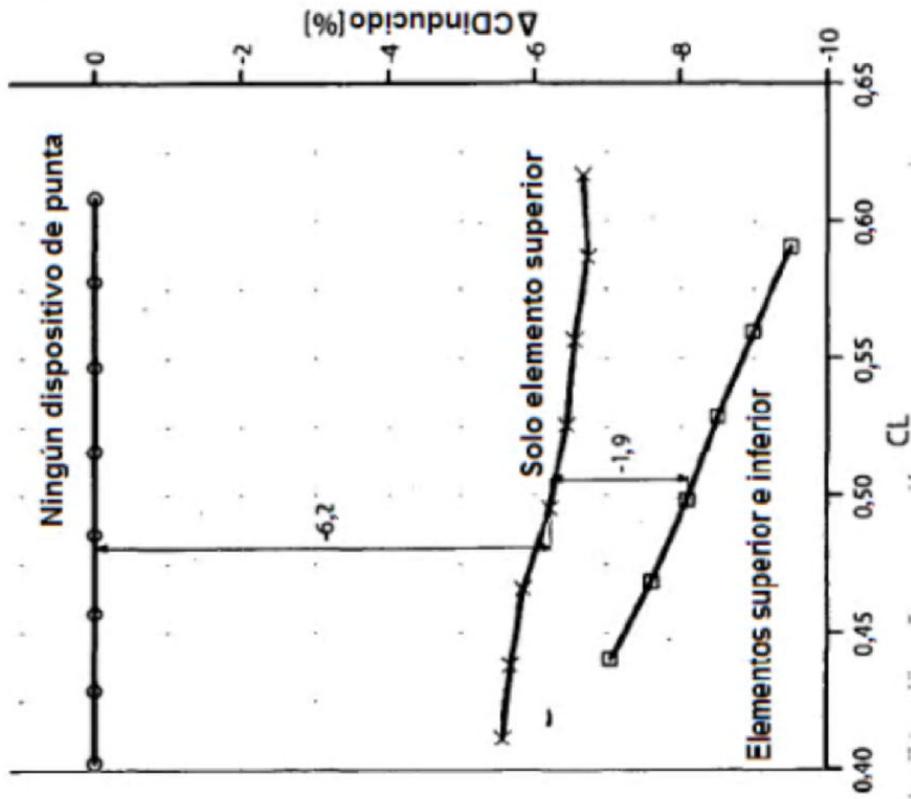


FIG. 6

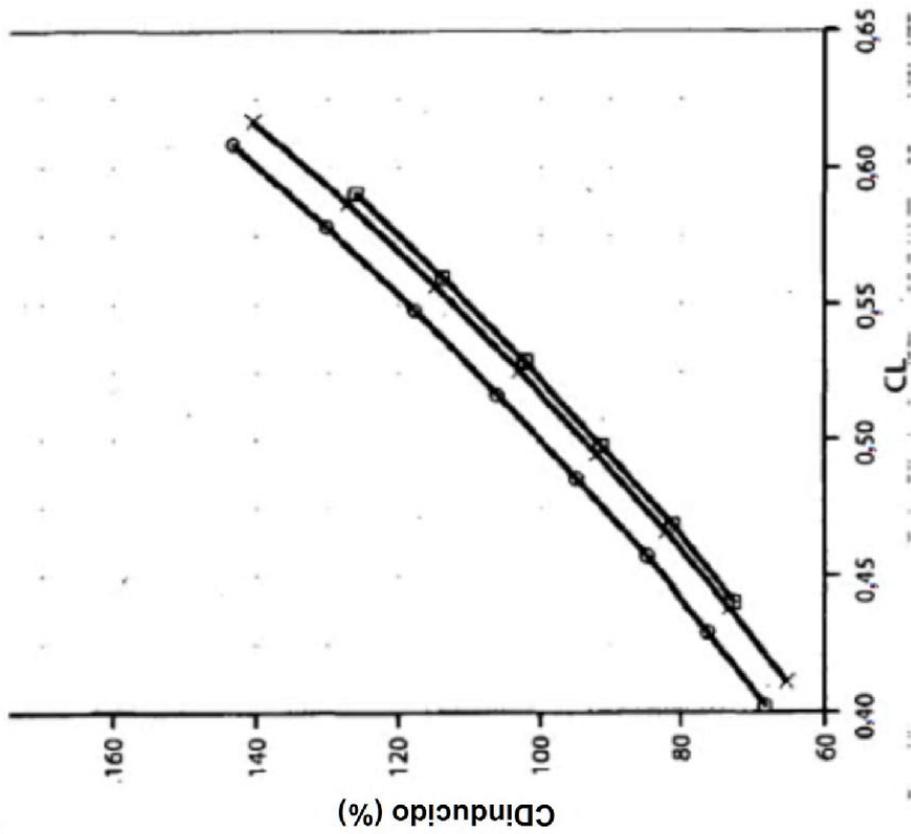


FIG. 5

FIG. 7

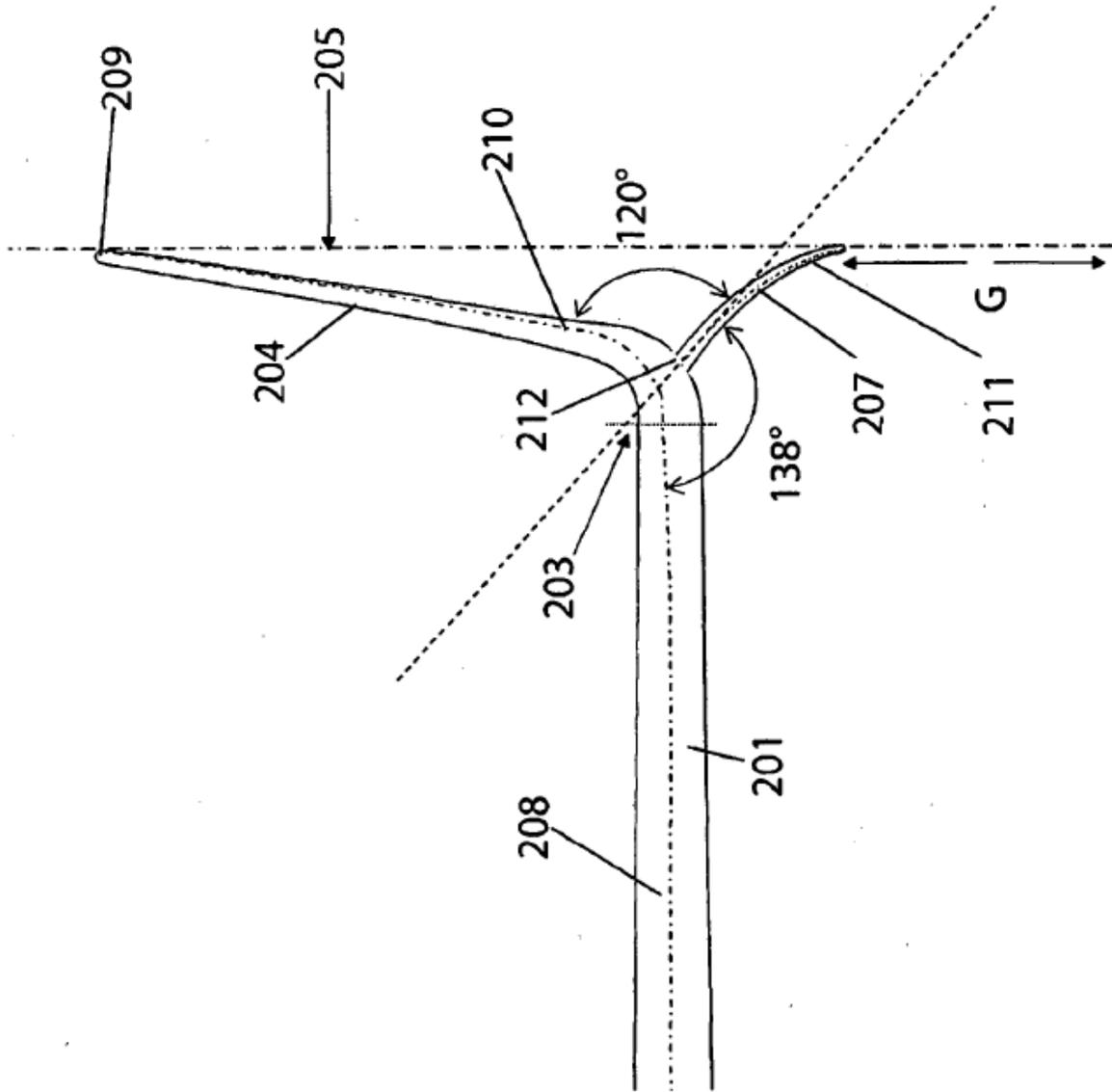
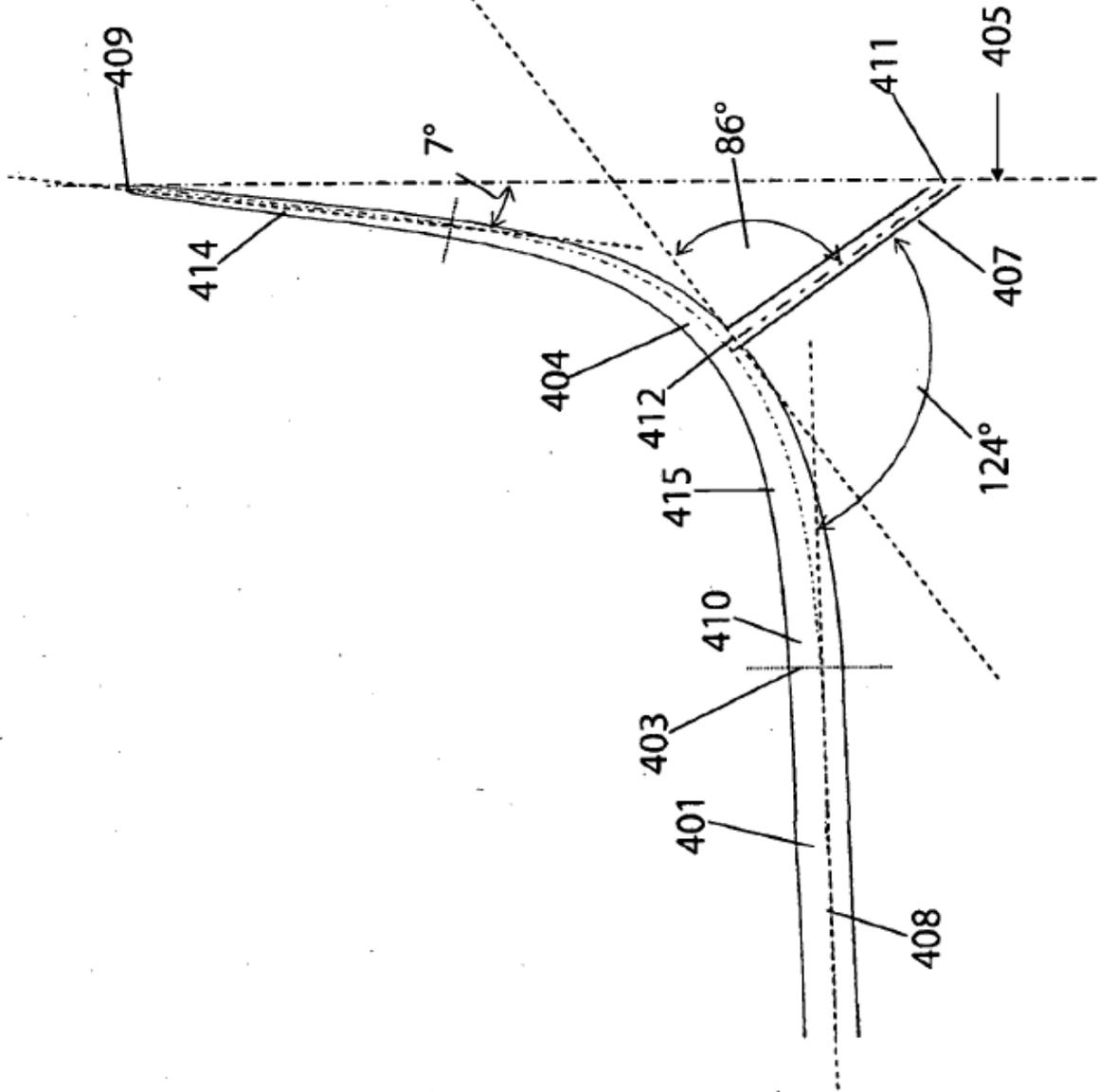




FIG. 9



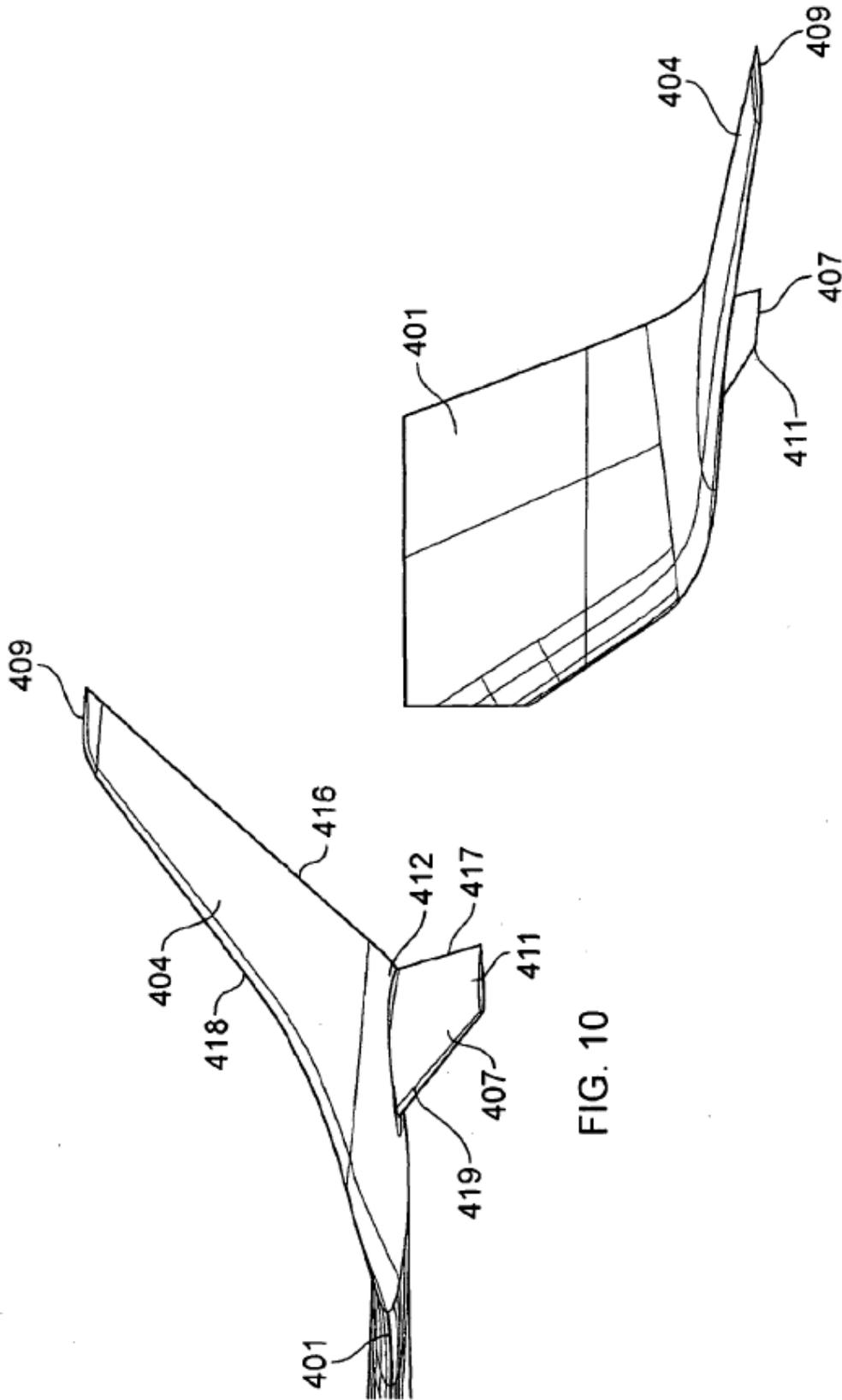
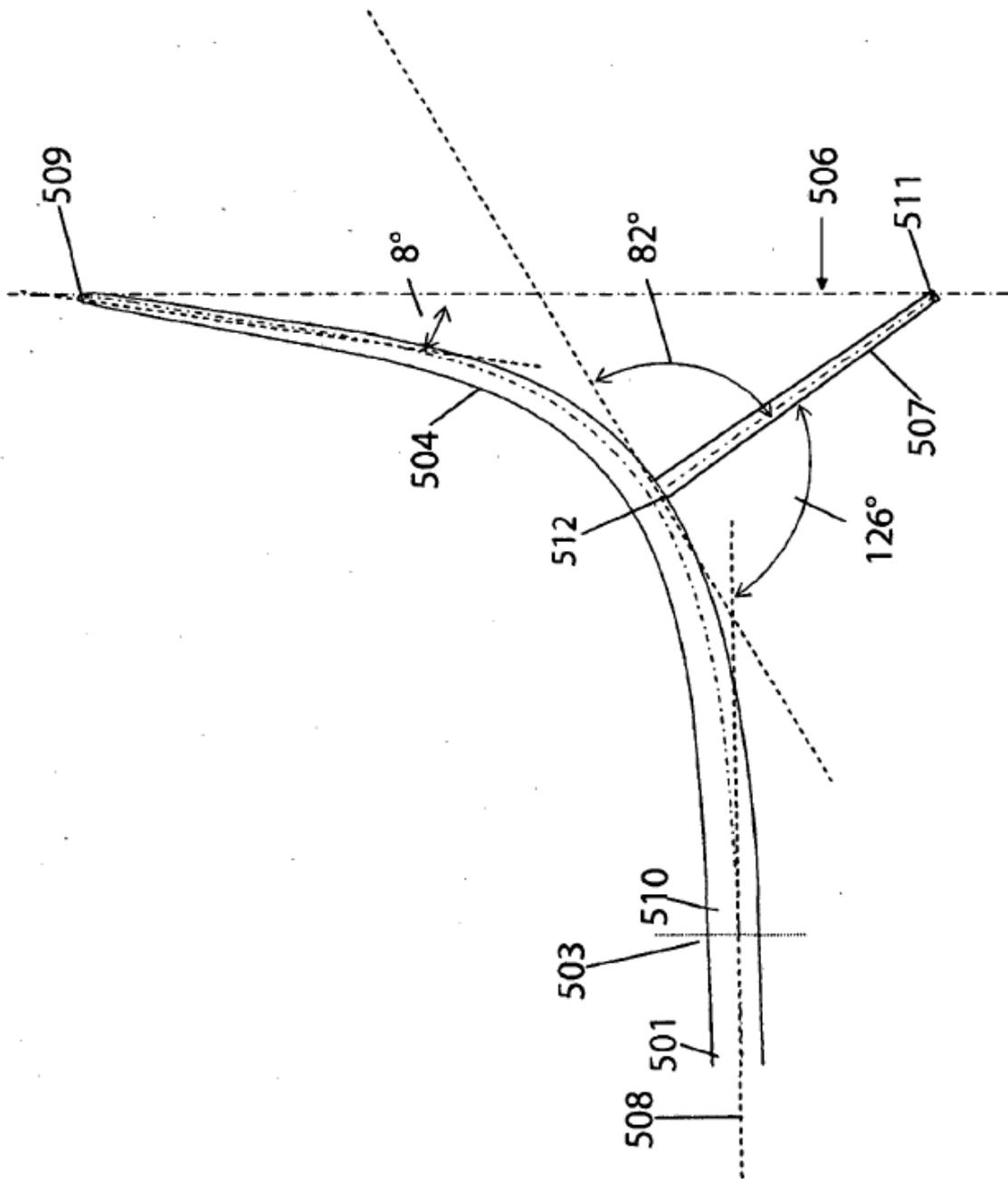


FIG. 10

FIG. 11

FIG. 12



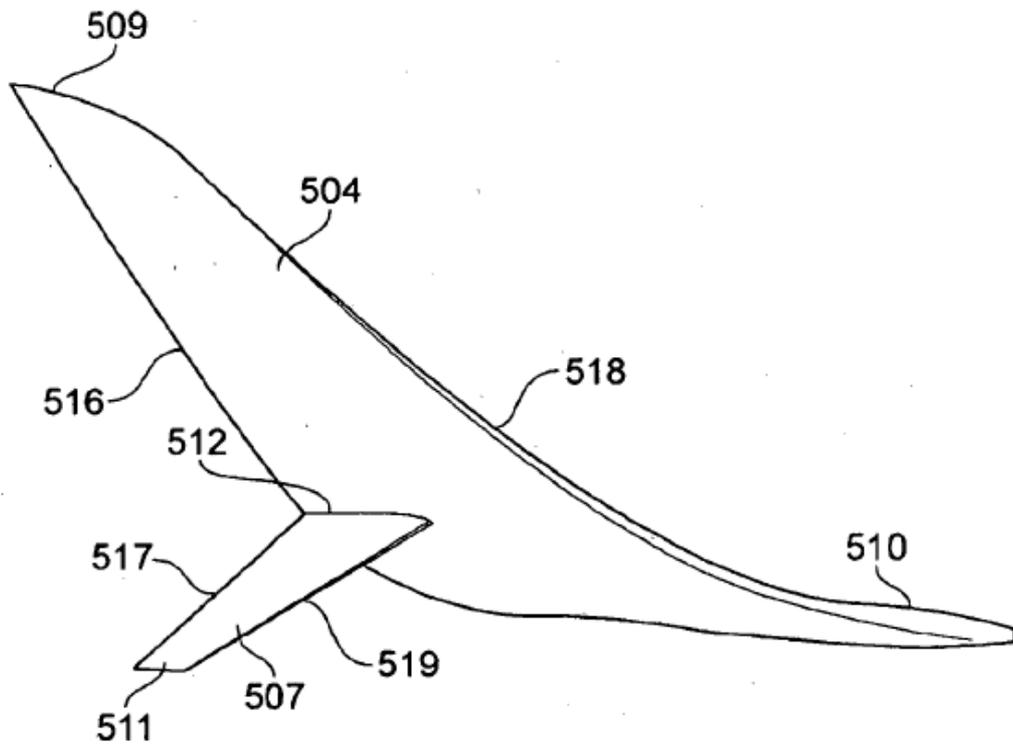


FIG. 13