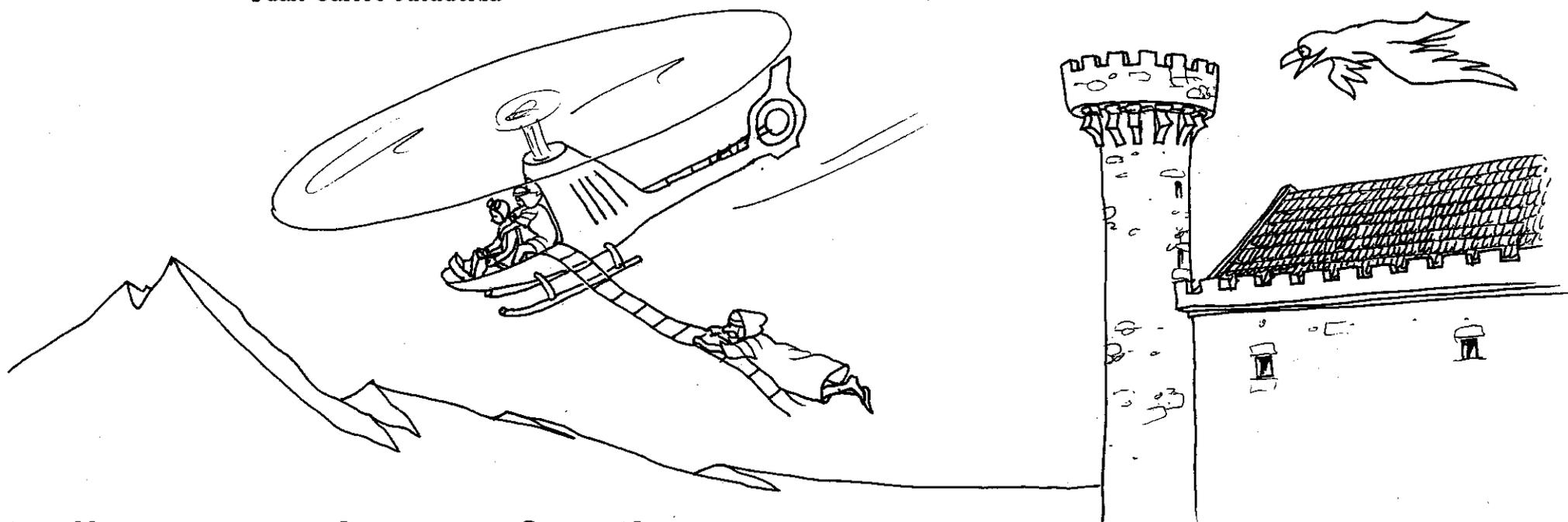


PASIÓN VERTICAL

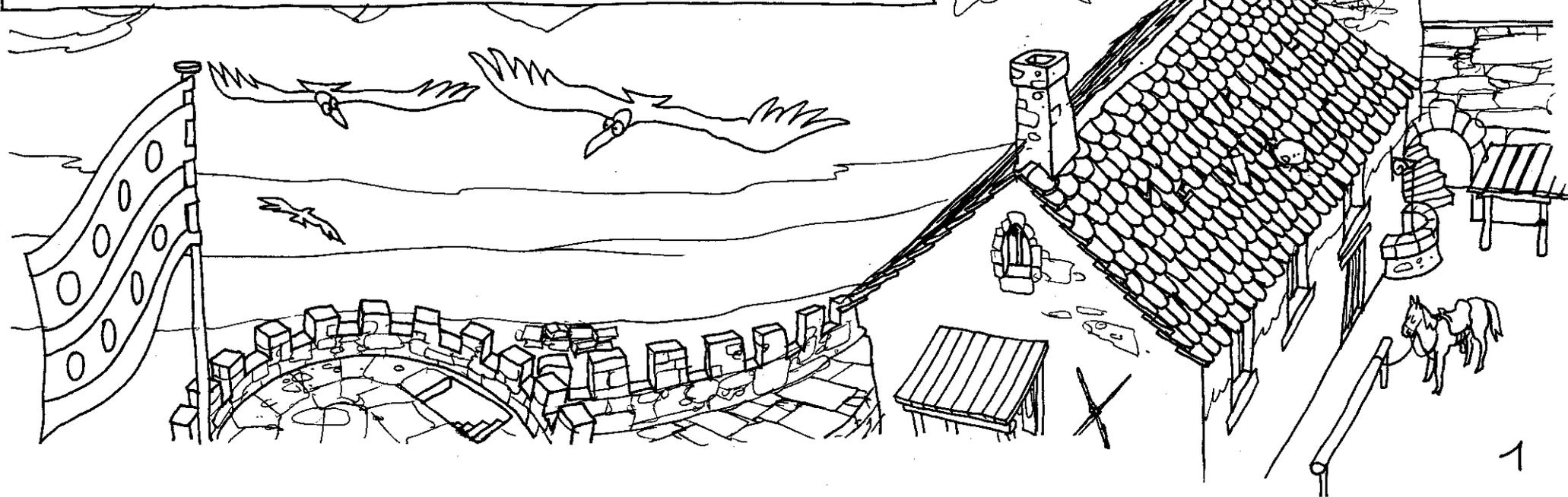
Jean-Pierre Petit

traducción:

Juan Carlos Anduckia



Había una vez en Westfalia un castillo que pertenecía al barón de Thunder-ten-tronckh. En él vivía con su esposa y su hija Cunegunda. Un joven mancebo llamado Cándido vivía también en el castillo. Era hijo de una pariente del barón y, al parecer, de uno de los ochenta cazadores del reino. Habitaba también el castillo un filósofo, el maestro Pangloss, gran admirador de los escritos de Leibniz, quien había probado admirablemente que no había efecto sin causa y que, en el mejor de los mundos posibles, el castillo del señor barón era el más bello de los castillos, y madam la baronesa la mejor de las baronesas posibles.



Cunegunda, de 17 años, paseándose un día por los alrededores del castillo, vió entre los matorrales al doctor Pangloss, que daba una lección de física experimental a la doncella de su madre. Como tenía gran disposición para las ciencias, Cunegunda observó sin pestañear las reiteradas experiencias de que era testigo (*)



Vió con claridad la razón suficiente del doctor, los efectos y las causas, y regresó agitada, pensativa y deseosa de aprender (*)



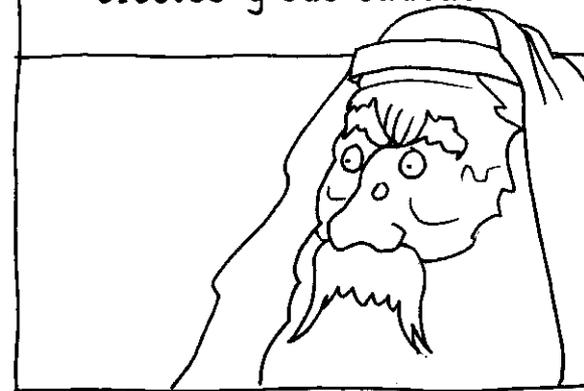
Encontró a Cándido de vuelta al castillo, y enrojeció. Cándido también enrojeció. Lo saludó Cunegunda con voz trémula, y contestó Cándido sin saber lo que decía (*)



(*) Reproducción fiel al texto de Voltaire (1694-1778), extraída de su obra "Cándido o el optimismo".



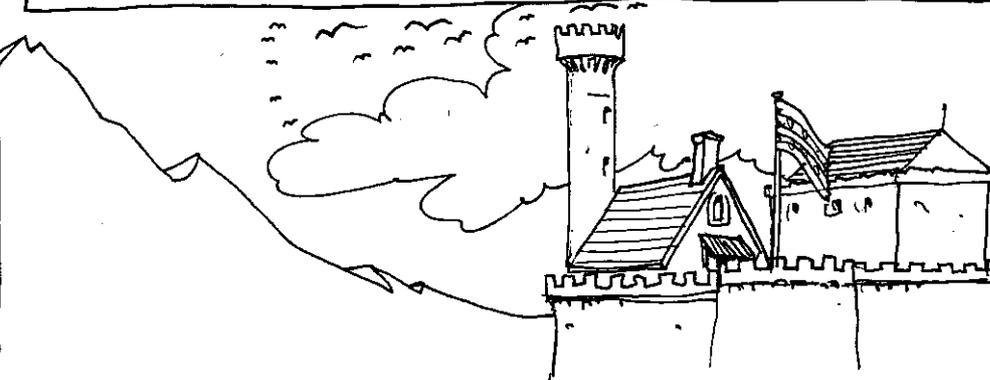
Sus bocas se encontraron, sus manos se extraviaron. El barón, que pasaba por allí, vió la escena, sus efectos y sus causas



Y echó a Cándido del castillo a patadas en el trasero (*)



Cunegunda se desmayó; cuando volvió en sí, la señora baronesa le dio de bofetadas y la encerró en una habitación en lo alto de la torre del castillo (*)



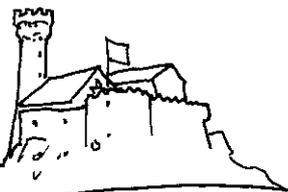
y todo fue consternación en el más bello y agradable de los castillos posibles... (*)

(*) Reproducción de la obra de Voltaire (1694-1778) "Cándido o el optimismo".

Vaya, pero si es nuestro enamorado despachado por su futuro suegro



Ah, maestro Pangloss, me he convertido en el más desdichado de los hombres. El barón tiene a su hija cautiva en el torreón, y su madre, para evitar que anude prendas para escapar, no le ha dejado más que una manta



Estamos dispuestos a huir pase lo que pase. Pero para poder rescatarla de esa funesta prisión, tendría que convertirme en... ¡un pájaro!



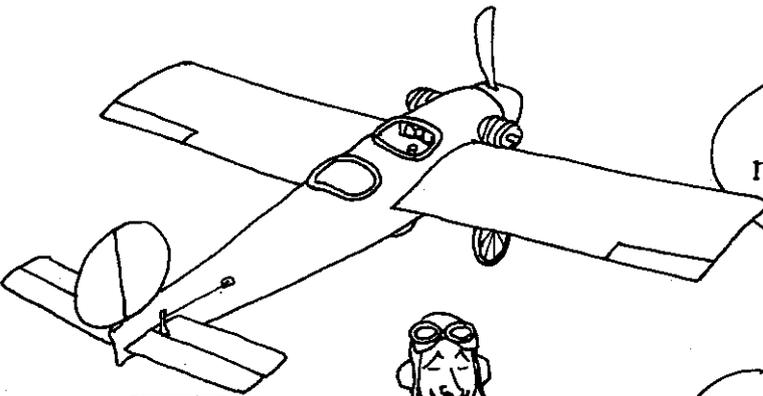
Tal vez yo pueda ayudarlos...



¿Qué distancia necesita para aterrizar?

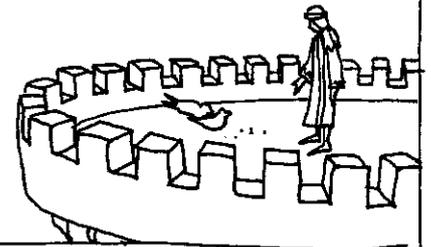
¡Eso no va a funcionar!
¡La terraza que está en lo alto de la torre donde está encerrada Cunegunda es demasiado estrecha!

Tengo una máquina voladora: un aeroplano



Unos ciento cincuenta metros

(*) Para saber cómo vuela un aeroplano pueden leer "¿Y si voláramos?", en <http://www.savoir-sans-frontières.com>

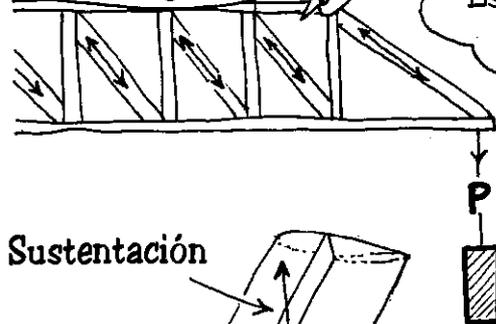


Podría intentar reducir la longitud de aterrizaje realizando una aproximación a menor velocidad. Como la **SUSTENTACIÓN** del ala es proporcional a su **INCIDENCIA α** , inclinando el avión debería poder volar más lentamente



Como en las puntas de las grúas

Estas barras trabajan por **TRACCIÓN**



Sustentación

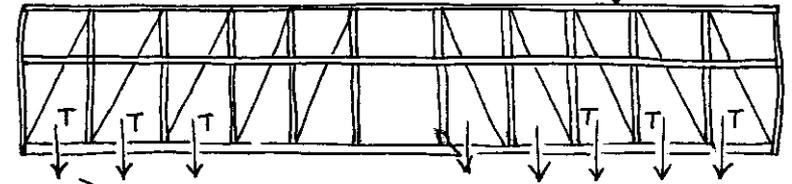
El **TRAVESAÑO** soporta las fuerzas de flexión ligadas a la **SUSTENTACIÓN**

Entonces es esta ala la que le permite mantenerse en el aire

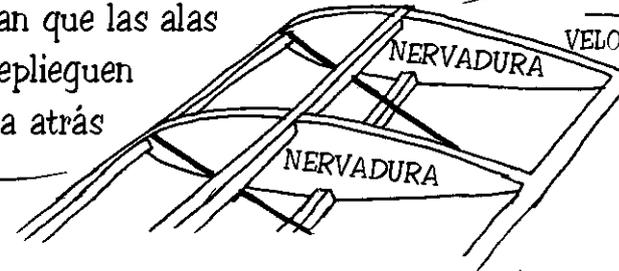
Si

VIENTO RELATIVO

Frente de ataque



He colocado cables tensores que transmiten las fuerzas de arrastre y evitan que las alas se repliegan hacia atrás



SUSTENTACIÓN

FUERZA AERODINÁMICA

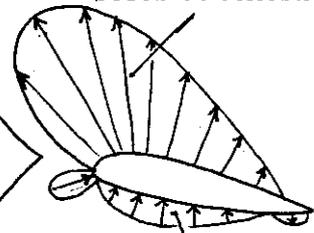
ARRASTRE

EFFECTO DE SUCCIÓN SOBRE EL EXTRADÓS

VELOCIDAD

PERFIL DEL ALA

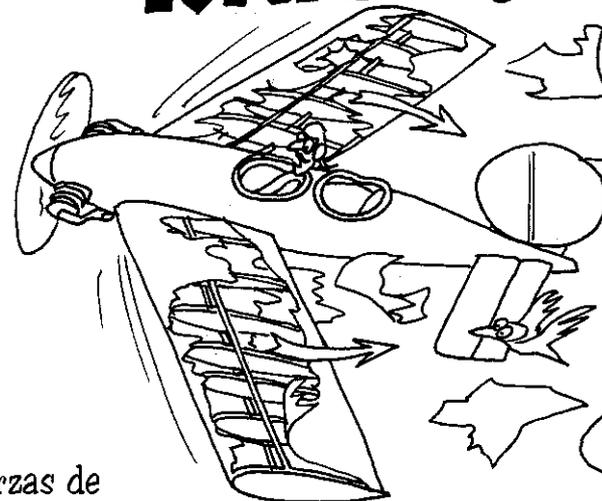
distribución de la presión



SOBREPRESIÓN SOBRE EL INTRADÓS

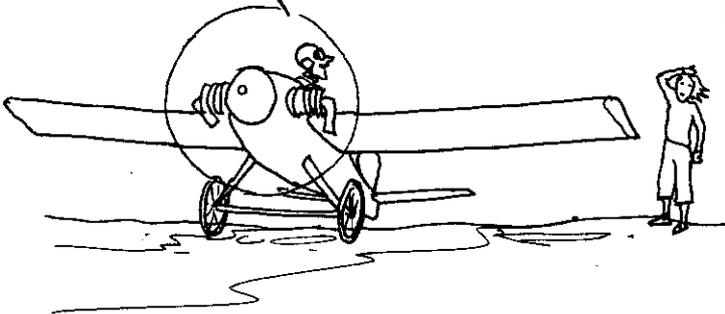
KRAK!

Sin estos preciosos tensores, caballeros, las alas se romperían



Una sabia precaución

Bueno, vamos a ver cómo podemos reducir la velocidad inclinando el aparato



Ahora tiro de la palanca



KRAAAK!



¡De repente las alas se rompen, doblándose hacia adelante!

Listo, arreglado. Basta con poner una segunda serie de tensores que impida que las alas se replieguen hacia adelante



Ahora el aparato está adecuadamente reforzado. Voy a inclinarlo poco a poco



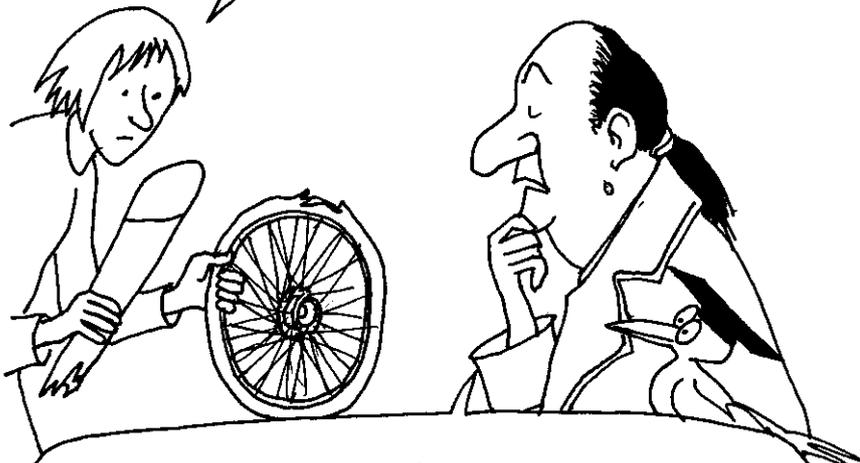
Más vale que funcione, o si no que alguien me lo explique...



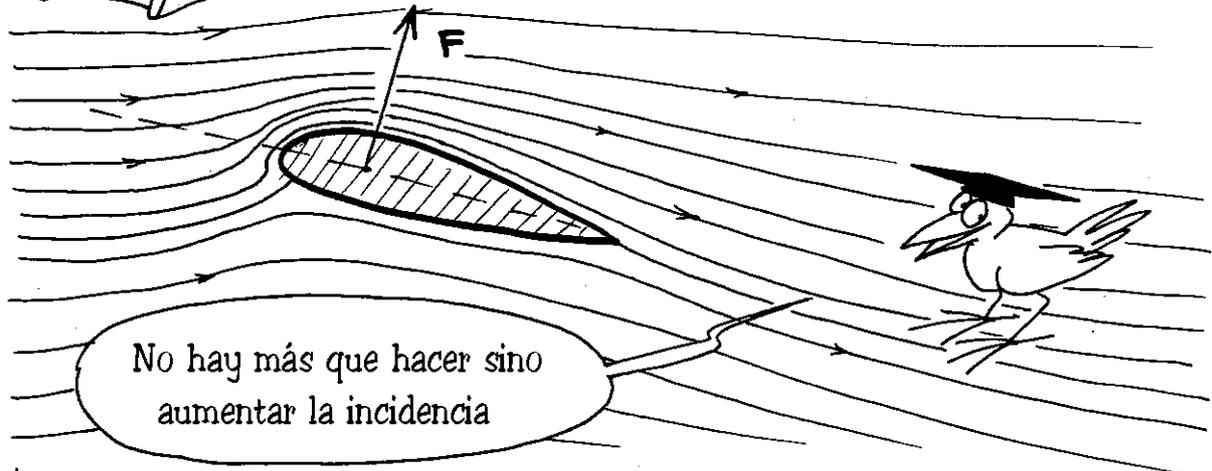
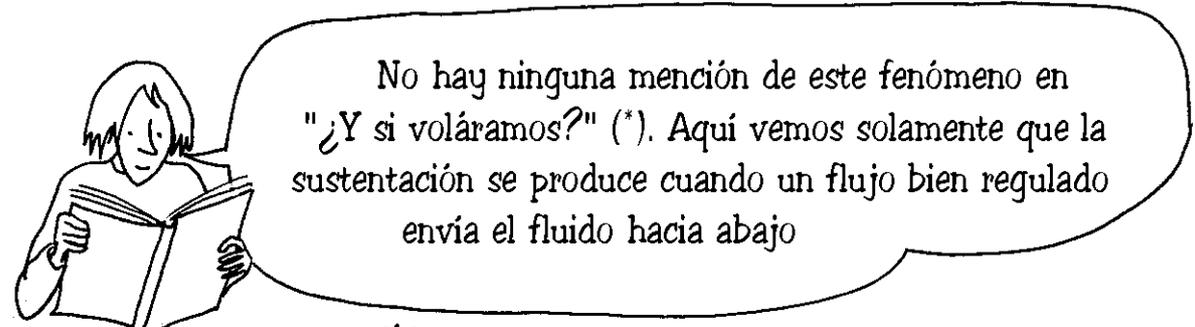
LA PÉRDIDA DE SUSTENTACIÓN



No será con esta máquina que pueda liberar a Cunegunda. Francamente me pregunto si esta cosa tiene algún futuro

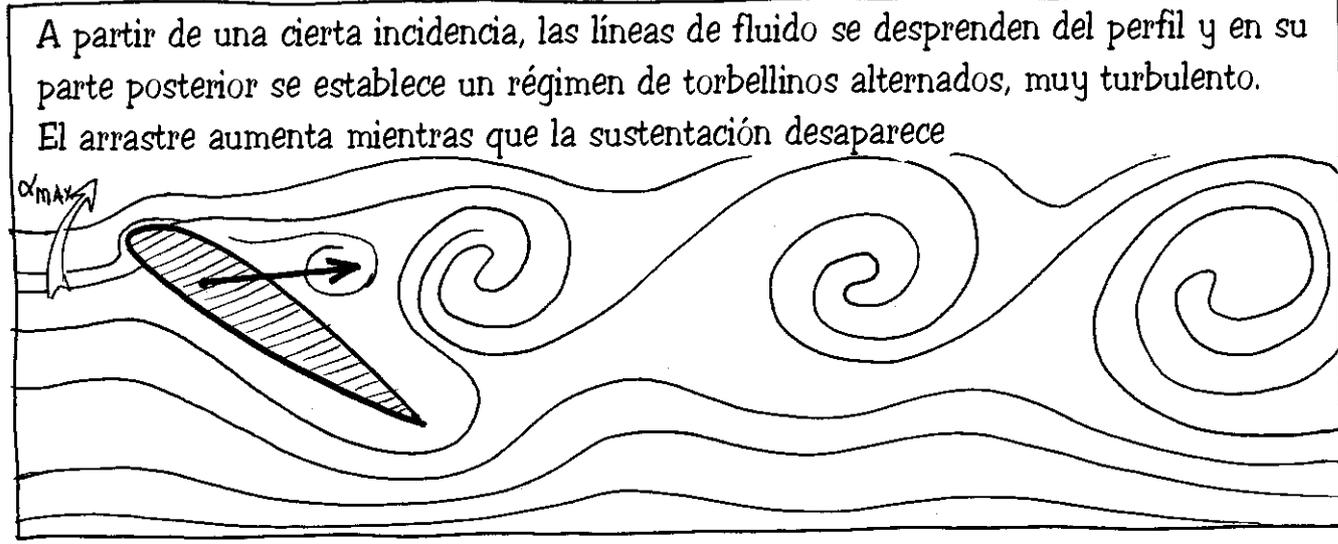
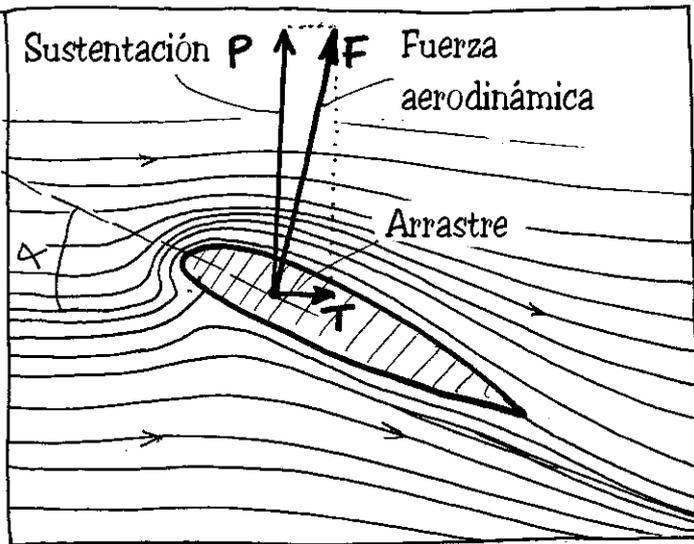


Puesto que no hay efecto posible sin causa, tenemos que descubrir la razón suficiente de esta brutal desaparición de la sustentación



No hay más que hacer sino aumentar la incidencia

(*) En <http://www.savoir-sans-frontières.com>



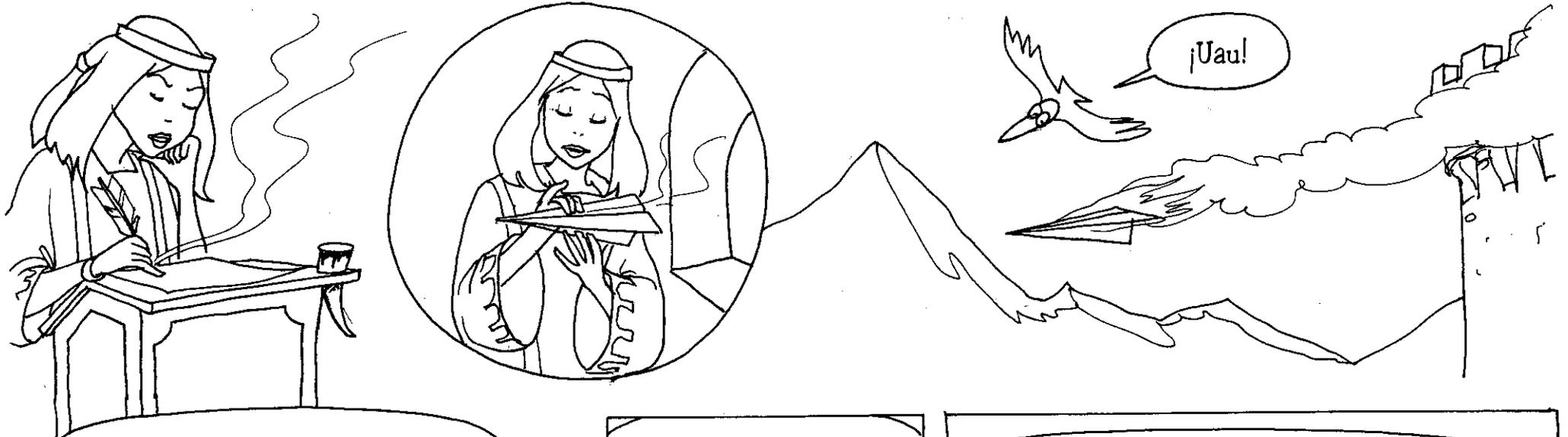
Quando observo el esquema del flujo que corresponde a una fuerte incidencia, noto inmediatamente algo



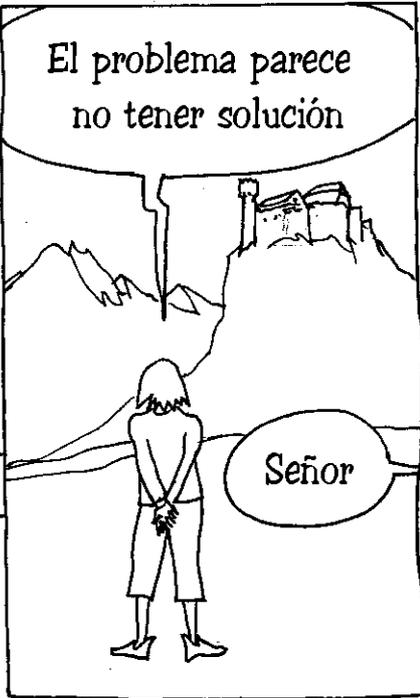
Y es ella la responsable del repliegue hacia adelante de las alas del aeroplano de ese valiente señor

Durante todo este tiempo, Cunegunda no hacía más que escribir cartas y cartas a Cándido

Pero sus palabras iban tan inflamadas de pasión que las misivas se consumían antes de tocar tierra

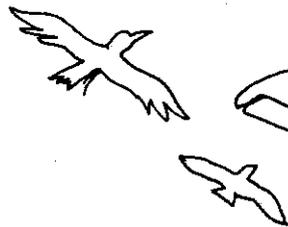
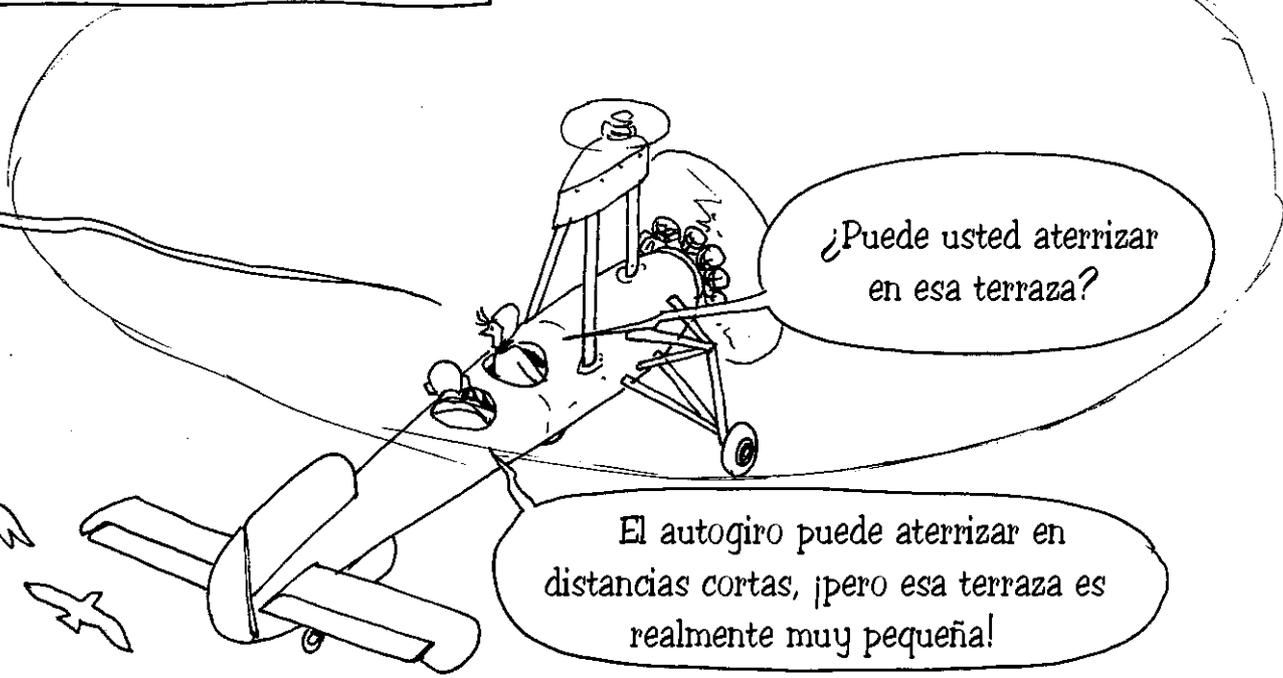
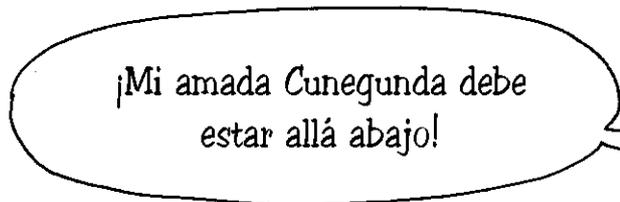
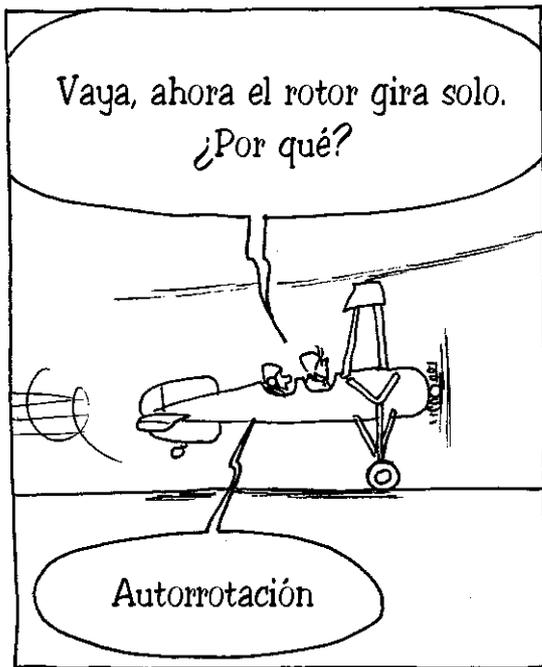


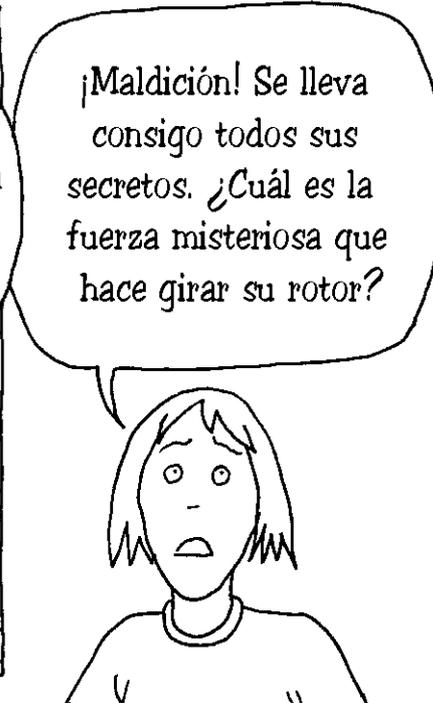
¿Un globo? No creo que funcione, y más bien podría arruinarlo todo

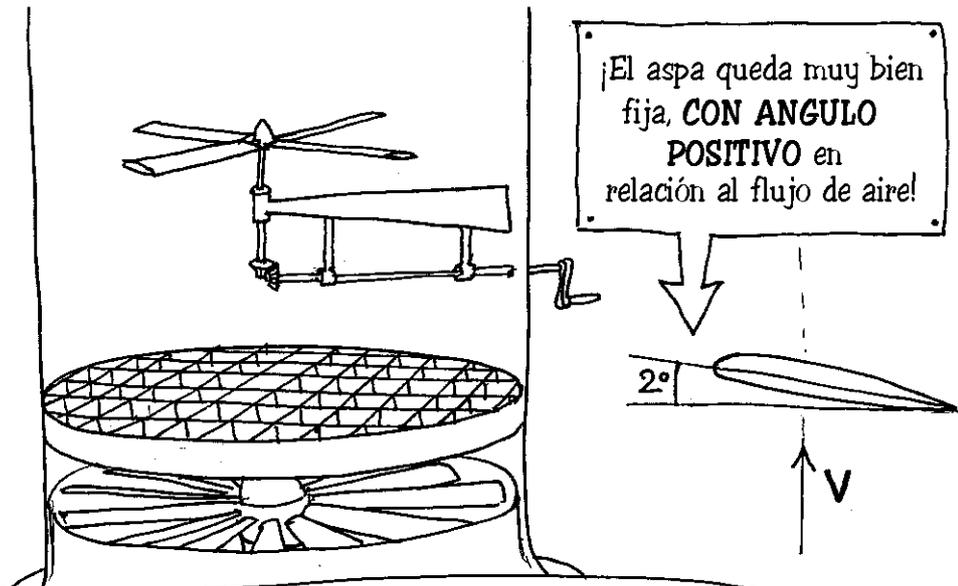
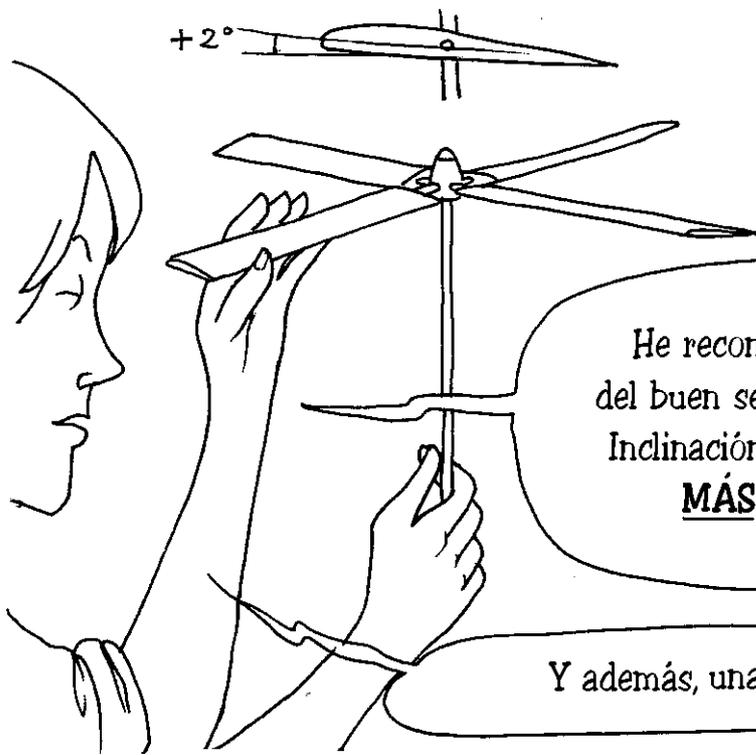


EL AUTOGIRO



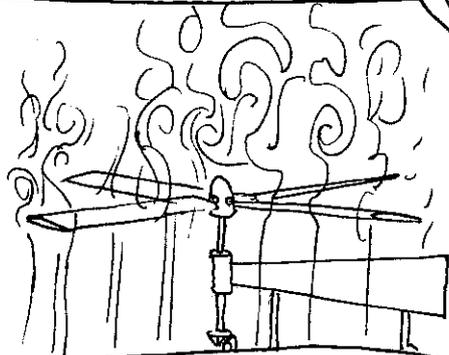






Y además, una estructura vertical, una rejilla de protección y un emisor de humo

Ahora envío un flujo de aire ascendente



Ahora pongo el rotor en rotación

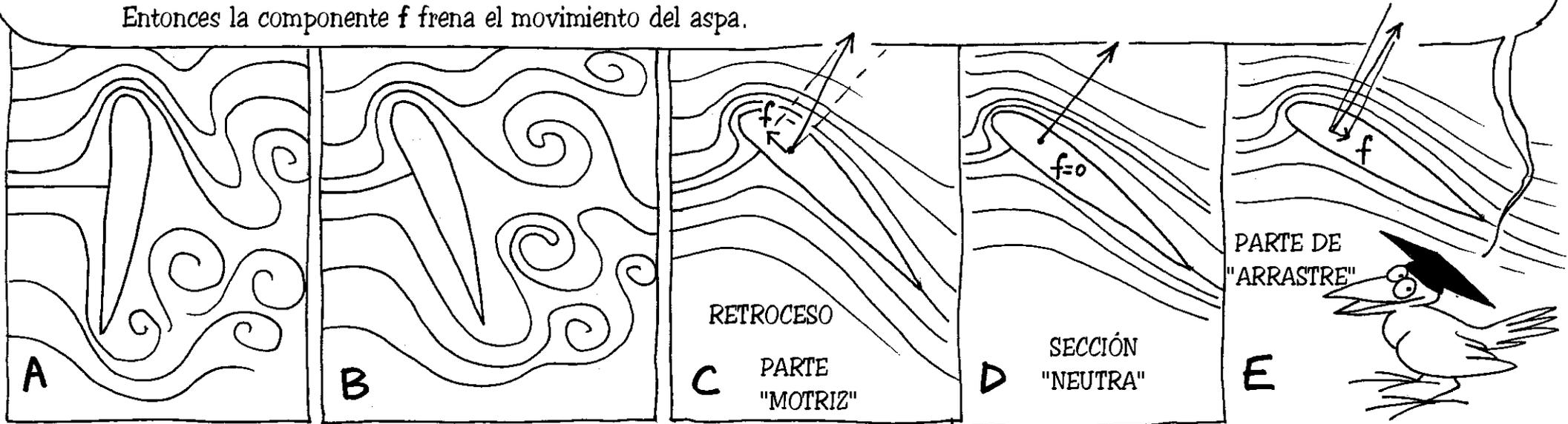
Y ahí está, el rotor gira solo. ¡No hay quien lo entienda!

Es... ¡magia pura!

AUTORROTACIÓN



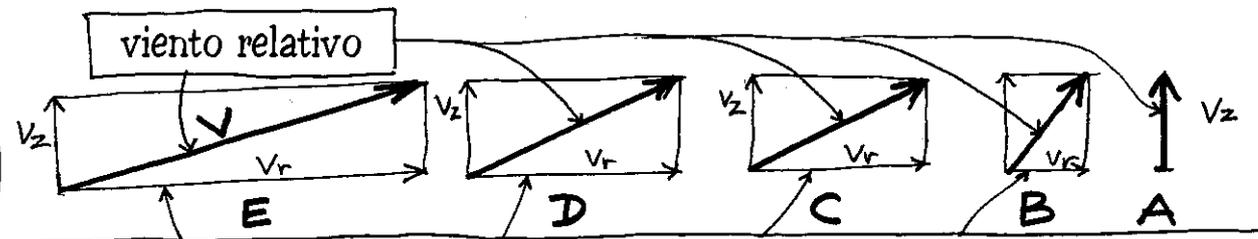
Quando la incidencia del aspa disminuye en relación a la dirección del **VIENTO RELATIVO**, el flujo retorna (figura C). La fuerza aerodinámica (componente f) tiende a arrastrar el aspa. En D esta fuerza se anula, y luego se invierte en E. Entonces la componente f frena el movimiento del aspa.



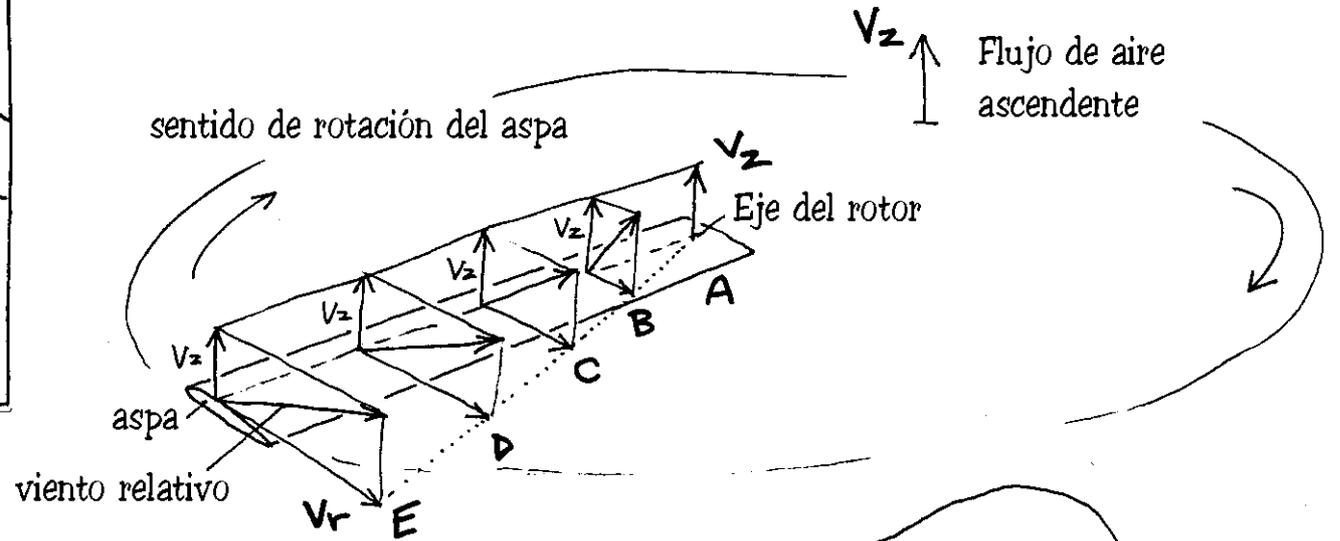
Entiendo, mi querido Cándido.
 ¿Pero de dónde viene el cambio de dirección
 de eso que llamas el **VIENTO RELATIVO**?



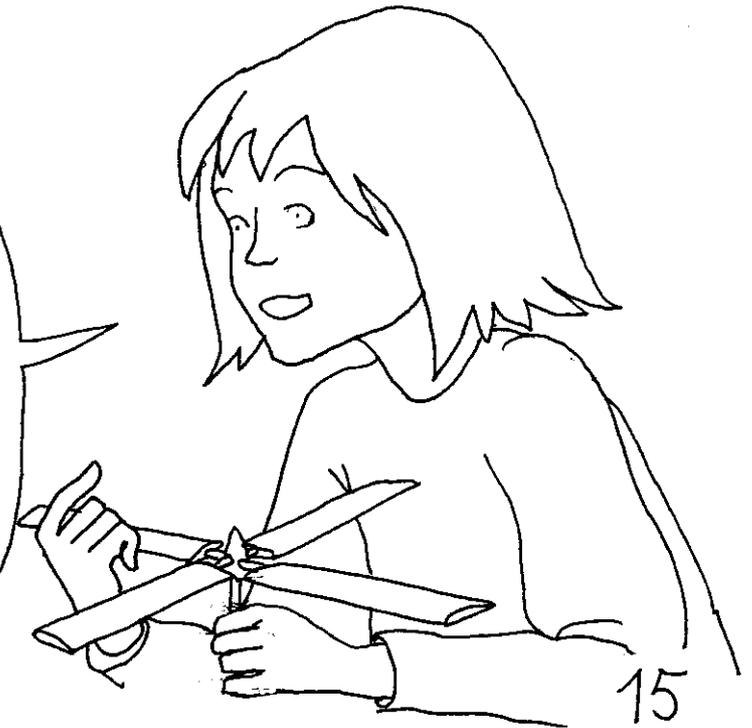
La velocidad del rotor
 se combina con la
 velocidad que resulta de
 la rotación del aspa



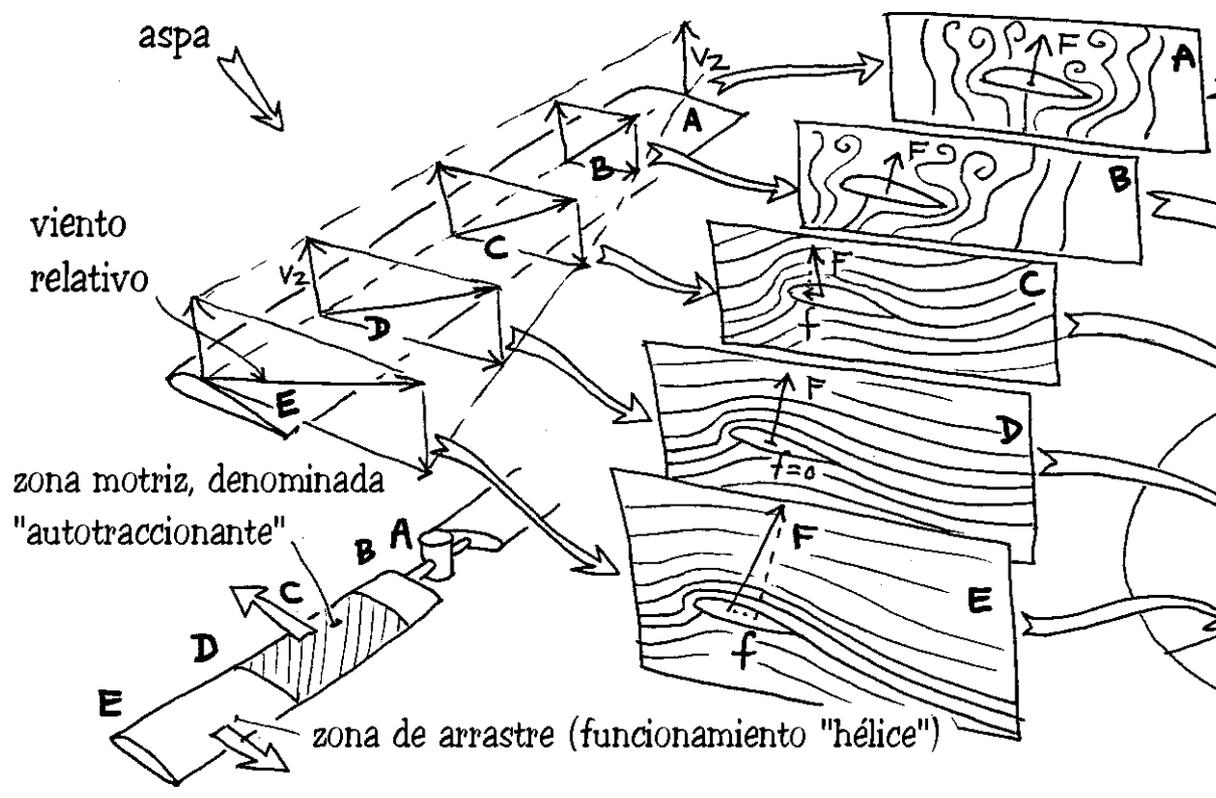
V_r : componente horizontal del viento relativo debida a la rotación del aspa



El rotor está inmerso en un flujo de aire ascendente que corresponde a una velocidad V_z . Esta se combina con la velocidad inducida por el movimiento de rotación del aspa, V_r , velocidad que es proporcional a la distancia al eje. La resultante es el **VIENTO RELATIVO**, que incide más y más sobre el aspa a medida que nos alejamos del eje. Al mismo tiempo, el módulo de esta velocidad aumenta desde el eje hacia la periferia



Según la forma en que este **VIENTO RELATIVO** incide en el aspa, se obtienen flujos muy diferentes. Para visualizarlos, he adaptado un tubo delgado que emite humo, solidario con el aspa de rotación.
Y miren los resultados que he obtenido



En **A** y en **B** el flujo se "pierde". El aspa crea una fuerte turbulencia. En **C** el flujo retorna ante el perfil. La fuerza aerodinámica tiende a arrastrar el aspa hacia adelante (zona motriz, "autorrotatoria", gris)

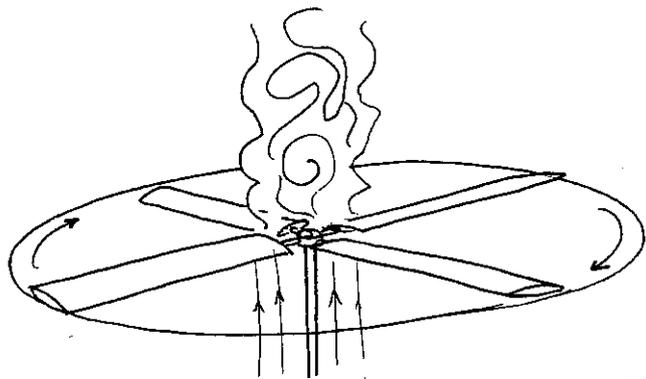
zona motriz, denominada "autotraccionante"

zona de arrastre (funcionamiento "hélice")

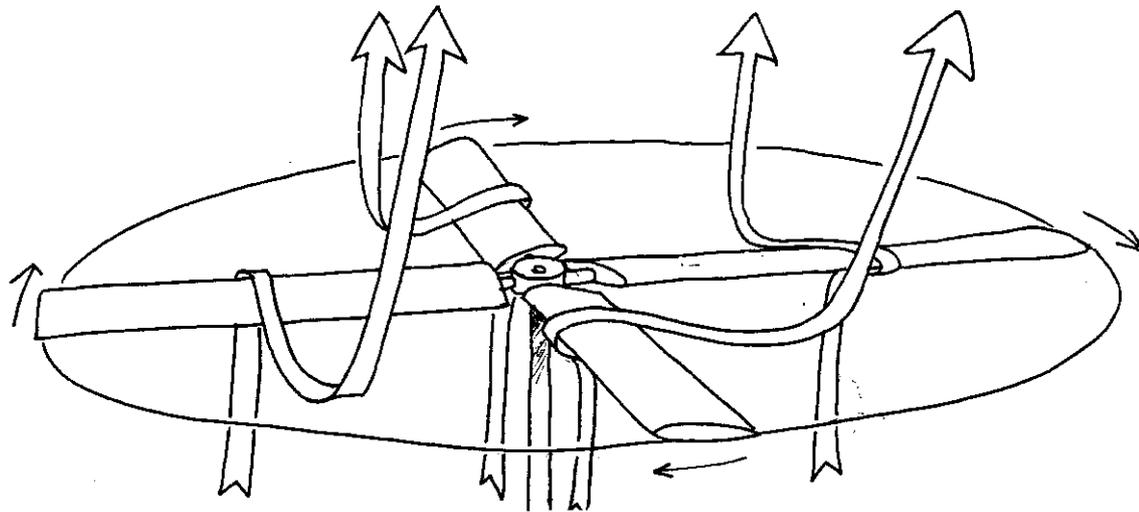
En **E**, la fuerza aerodinámica, también dirigida hacia arriba, tiende a frenar el movimiento del aspa. La figura **D** representa la situación límite, cuando $f = 0$. En este régimen de **AUTORROTACIÓN** la porción sombreada del aspa es motriz, mientras que su extremo "se hace arrastrar". Se establece así un régimen **AUTOESTABLE**

Todo eso es lo que ensayó Juan de la Cierva con su maquinaria

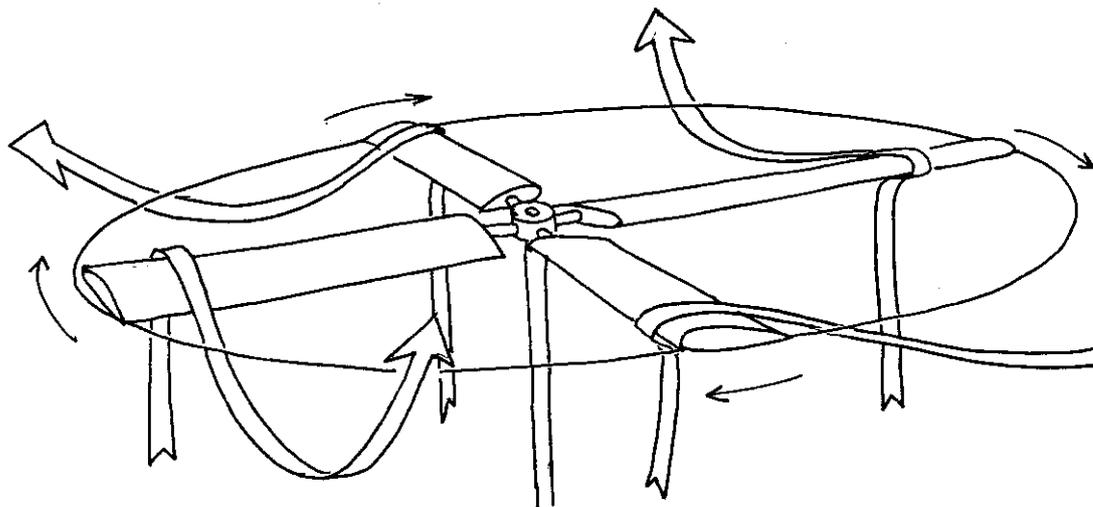




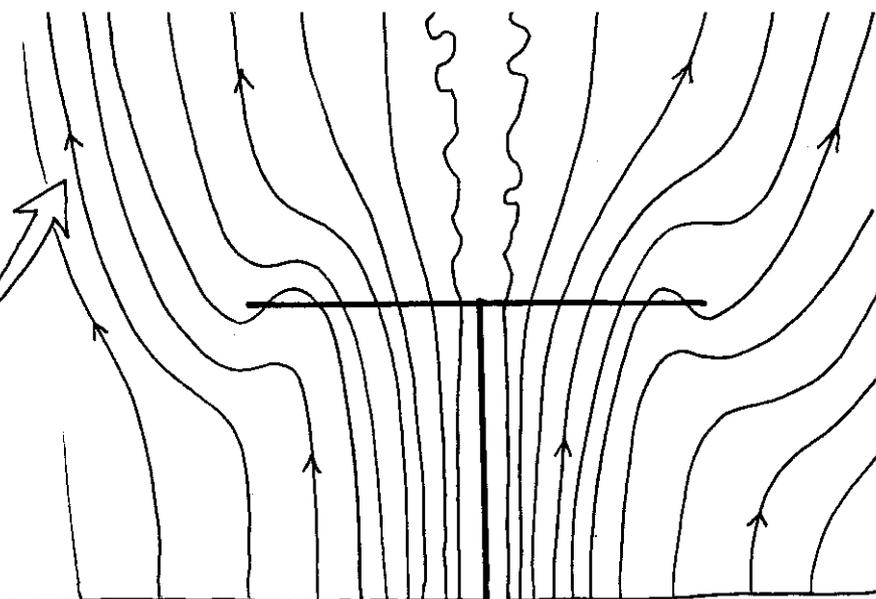
Por encima de la parte central
el flujo se "pierde" y se forma
una estela fuertemente turbulenta



Aquí, el flujo retorna en el perfil de las aspas

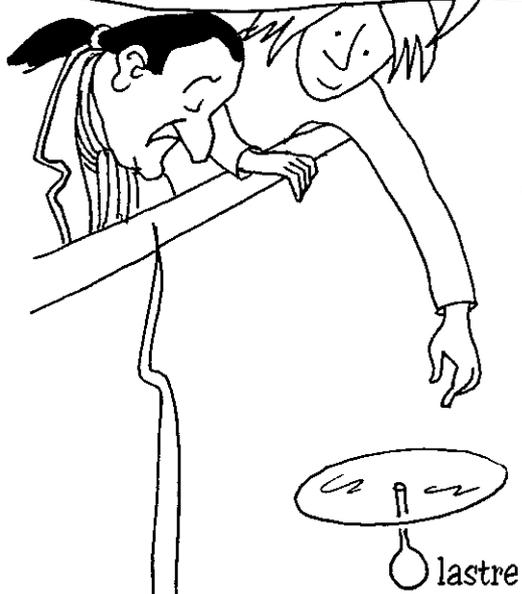


En la periferia, el impulso comunicado a la masa de aire, dirigido
hacia abajo (**VELOCIDAD INDUCIDA**) es suficiente para que
este aire regrese por fuera del disco barrido por el rotor



Lo que confiere al flujo global
la extraña apariencia que se observa aquí arriba

Mira, maestro Pangloss, lanzo esta pequeña maqueta desde aquí arriba despues de comunicarle un impulso mínimo

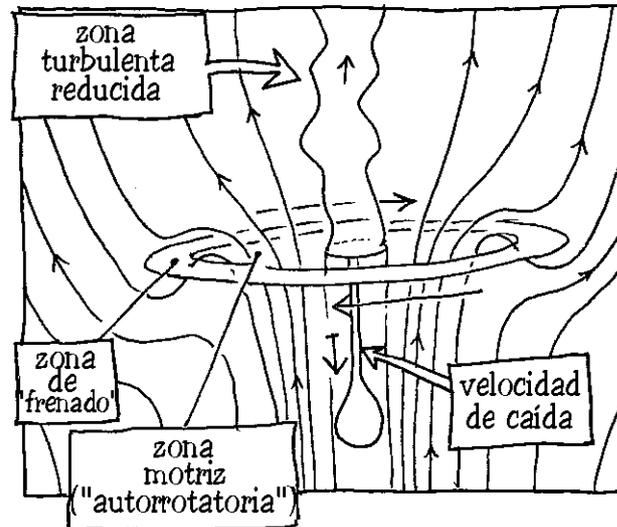
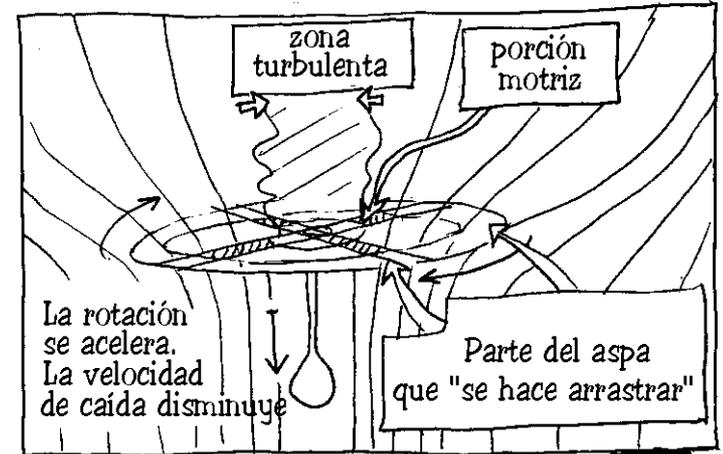


Minimo,,, ¿con respecto a qué?

Para conseguir que la parte periférica del rotor gire lo suficientemente rápido para que el flujo "retorne". Entonces se convierte en motriz y la rotación se acelera



La zona de flujo turbulento (por "arrastre") se reduce a medida que la rotación se vuelve más y más rápida. Aparece entonces en el extremo del aspa una zona "de arrastre"

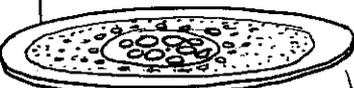


La velocidad de rotación se estabiliza cuando los dos pares se equilibran. Entonces el régimen de autorrotación queda plenamente establecido y la velocidad de descenso es mínima

Obtendríamos un flujo similar si soltáramos un disco que no gira pero lleno de perforaciones cuyo diámetro decrece del centro hacia la periferia, lo cual crea zonas de diferente porosidad.

La Dirección

agujeros grandes: paso de aire fuertemente turbulento



lastre

este disco no gira

zona "porosa"

sin agujeros: el fluido bordea el disco

¿Qué habría pasado si no le hubieras dado un impulso de rotación suficiente al comienzo?

La velocidad en el extremo de las aspas no habría sido suficiente para que el flujo "retornara" sobre el perfil. Por lo tanto, no habría habido fuerza motriz, ni instauración de un régimen de autorrotación: ¡la maqueta habría caído como una piedra!

Por un instante llegué a pensar que este dispositivo le habría permitido a la señorita Cunegunda conseguir su evasión. Pero más bien creo que se habría roto todos los huesos

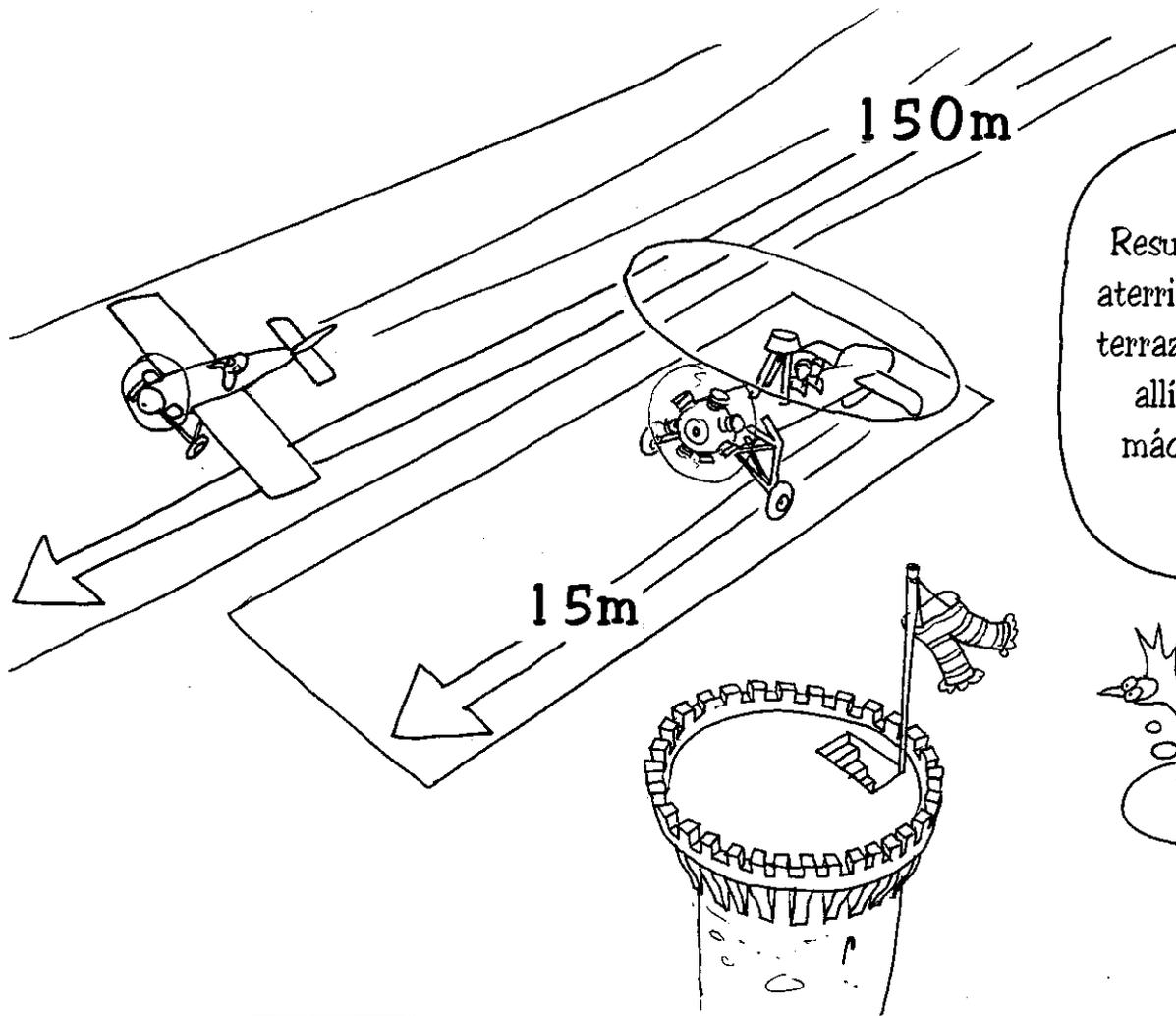
¿Y el autogiro?

Y sin embargo gira (*)

Ahora que el misterio de la autorrotación de su rotor ha sido resuelto, sólo queda por añadir un poco de oblicuidad. El rotor se comporta como un disco con porosidad decreciente, del centro hacia la periferia

En resumen, el autogiro tiene un cierto parentesco con una cometa cuya tela tuviera una porosidad decreciente desde el centro hacia el borde, con un gran agujero en la mitad por el cual pasa aire turbulento.

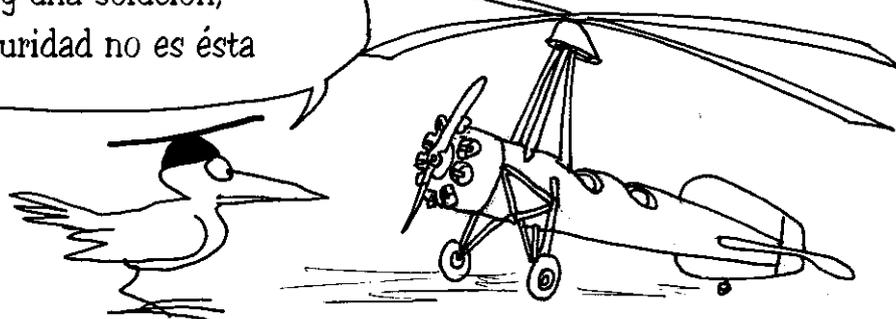
(*) *Eppur si muove* (Galileo)

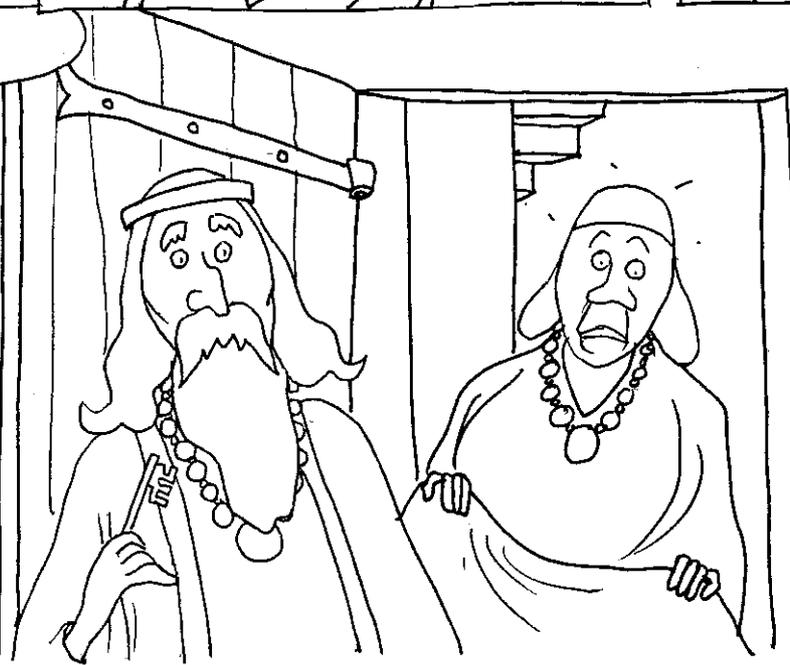


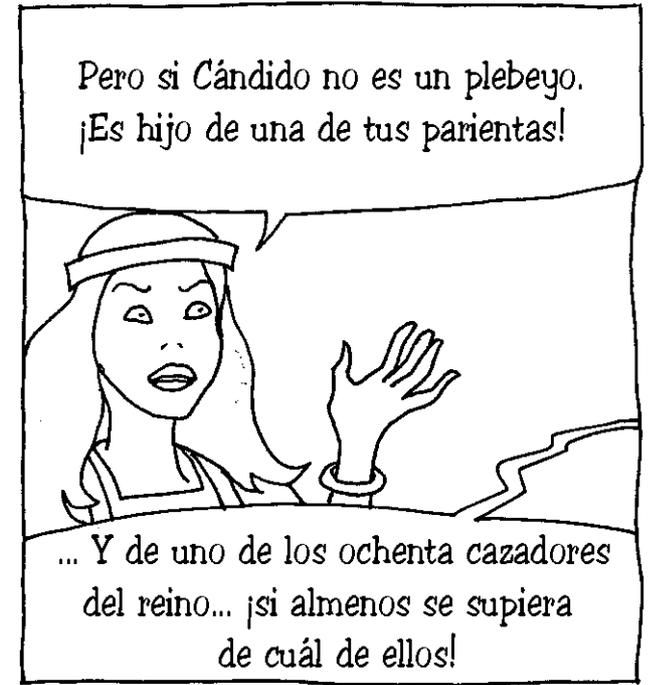
Resumamos: el aeroplano requiere de 150 metros para aterrizar. El autogiro se contenta con 15 metros. Pero la terraza de la torre es tan estrecha que, para poder aterrizar allí, haría falta en realidad un descenso vertical. ¿Qué máquina voladora puede realizar una proeza semejante?



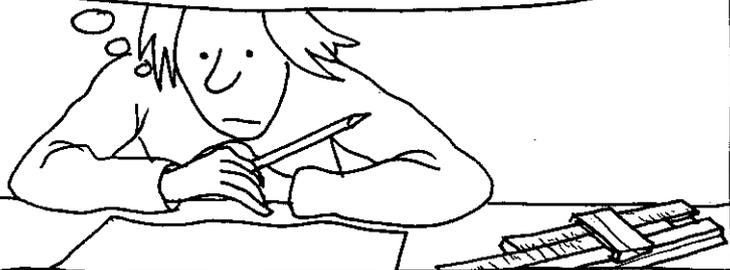
Si hay una solución, con seguridad no es ésta



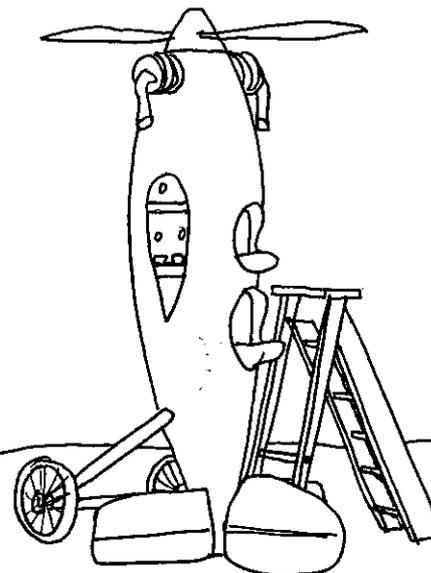




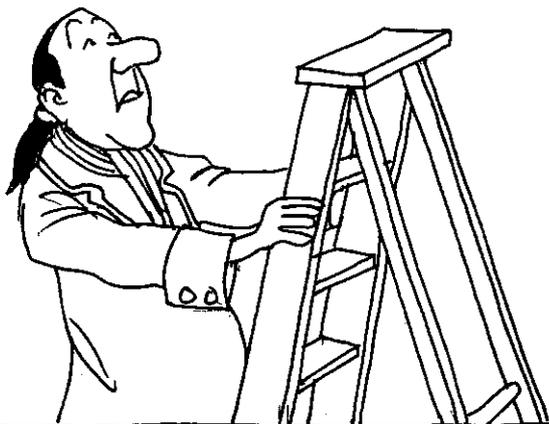
A fin de cuentas el piloto del aeroplano no estaba tan equivocado al querer inclinar su aparato. Lo mejor sería transformar su hélice de tracción en dispositivo de elevación. Y eso será decididamente mucho mejor que levantar las alas



Entonces, profesor, ¿qué me dices de esto?

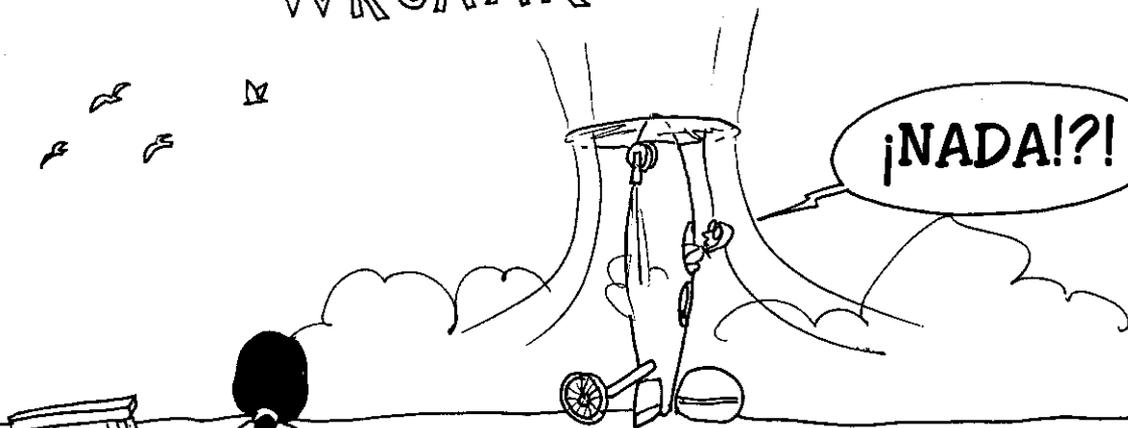


Puedes retirar la escalera. Voy a poner los gases a fondo



WROOAR

¡NADA!?!



No te vayas a romper la cabeza. Te voy a alcanzar la escalera



¿Así que las alas también sirven para volar?!?

Hmm...

Vengan a ver



¿Qué es eso de la velocidad inducida?

Escucha lo que dice

¿Es cierto que vamos a quedar equipados con hélices?

Eee...

¿Volar?
¡Absurdo!

¿Podremos dar marcha atrás con ese truco?



Si recorto las alas de un albatros, no podrá alzar vuelo. A la inversa, si alargo las alas de un pingüino...

¡Eeeh?!

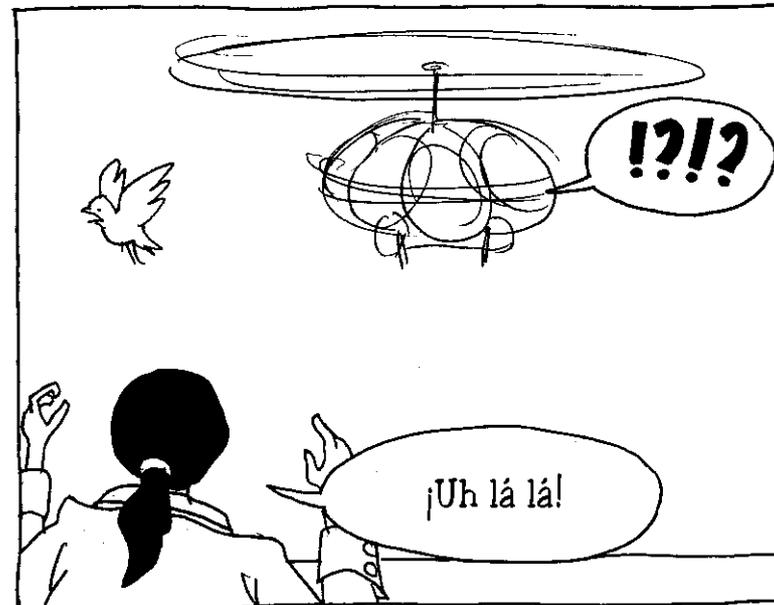
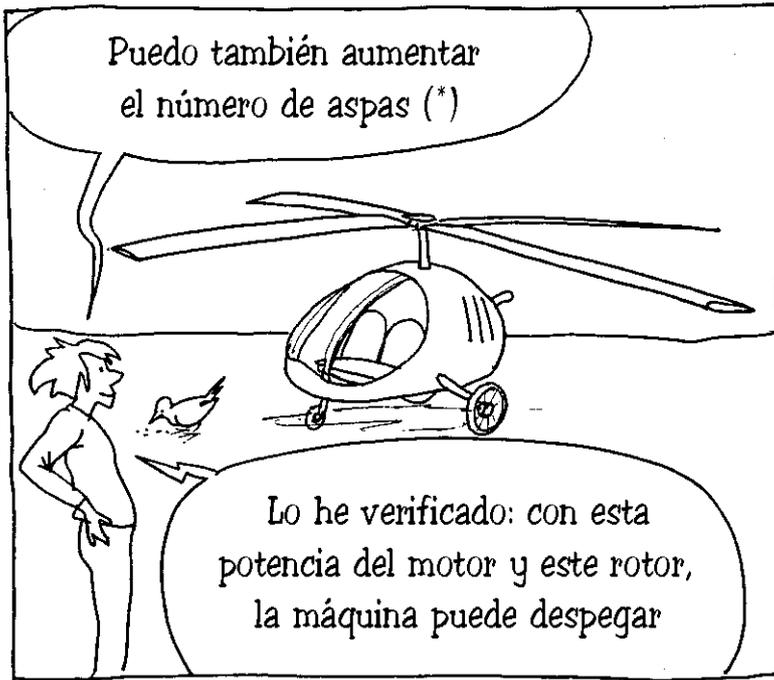
¡Suéltanme inmediatamente!

Tal vez mi "pingüino" tenga "alas" muy cortas. No puedo aumentar el régimen de mi motor indefinidamente para incrementar la velocidad de las aspas de mi hélice. Ahora bien, la sustentación crece como el cuadrado de la velocidad. Solución: aumentar la superficie de sustentación, pero conservando la elongación: un albatros vuela mejor que una paloma. Voy entonces a alargar las aspas de mi hélice, y a eso le llamaré un **ROTOR**



¡AARRHH!!

EL PAR



(*) Todo lo que sigue vale para 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... aspas.



Lo logré, Pangloss, despegué. Pero mi máquina de estructura giratoria se puso también ella a dar vueltas sobre sí misma, en sentido contrario a su rotor





Aquí tienen un helicóptero autoestable, dotado de dos rotores contrarrotatorios, siendo uno de ellos solidario con el fuselaje que gira

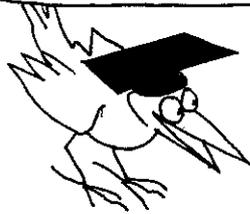


lámina de bristol
libre de girar sobre su eje

rodamientos
arandelas

hilo de acero, 5/10°

palo de balsa
cuadrado 6x6

elástico

2 palos de balsa de
sección cuadrada 3x3

perlas
horadadas

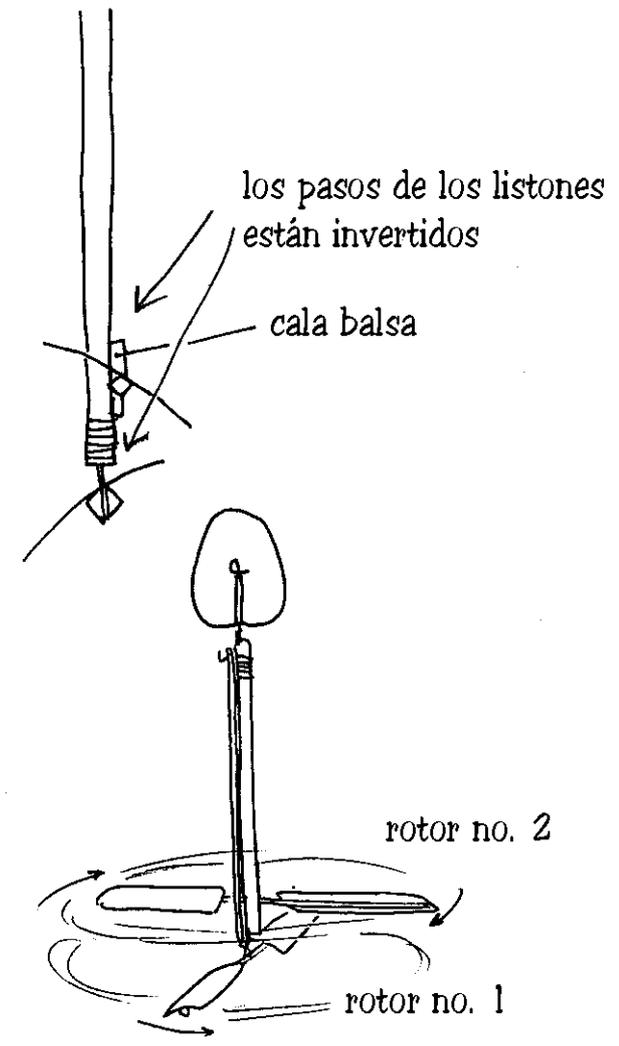
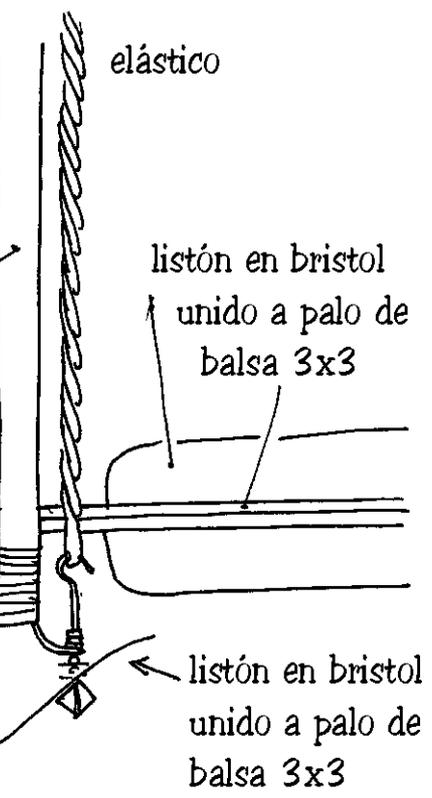
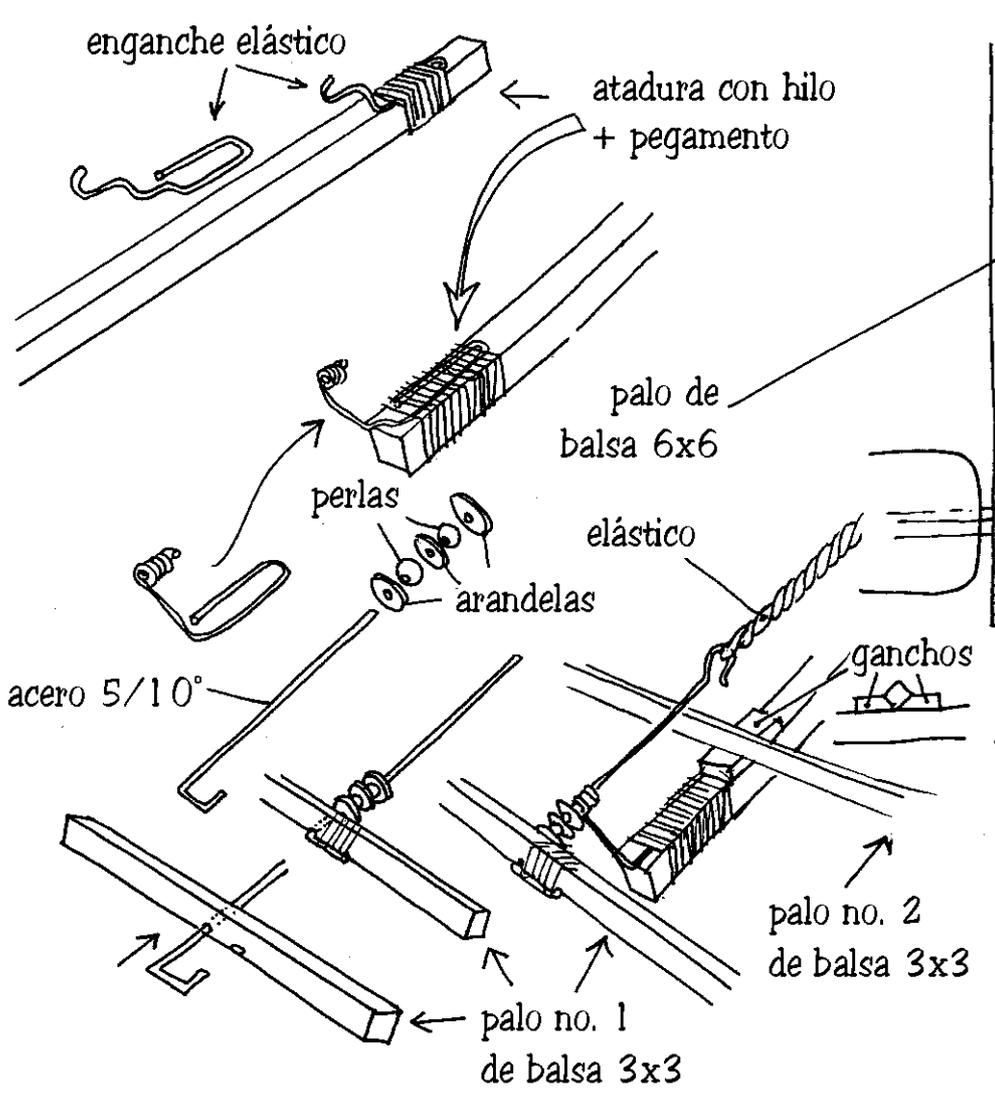
4 listones en
bristol

+ arandelas

pegamento

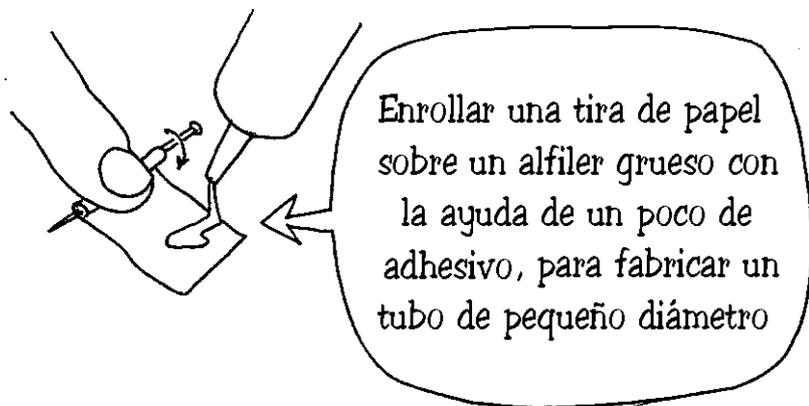
hilo

La parte delicada consiste en doblar el hilo de acero con la ayuda de DOS pinzas, de manera que se puedan fabricar los siguientes elementos:

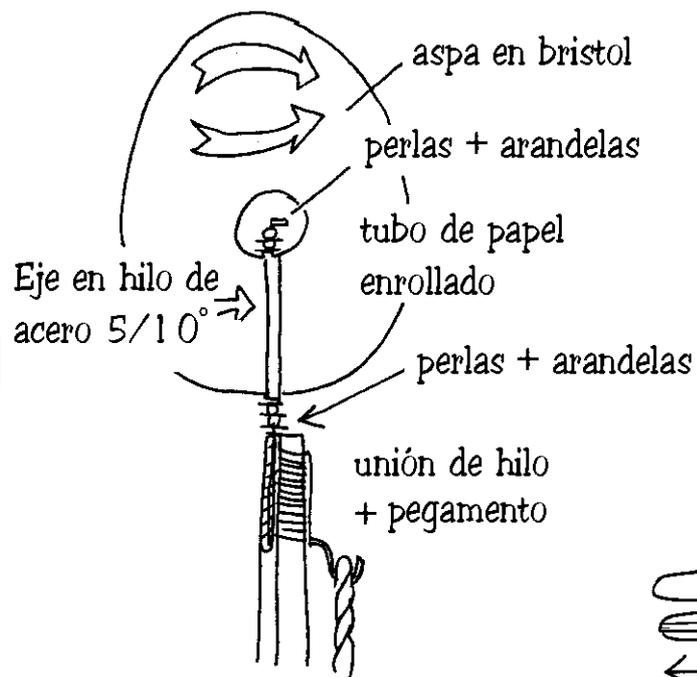
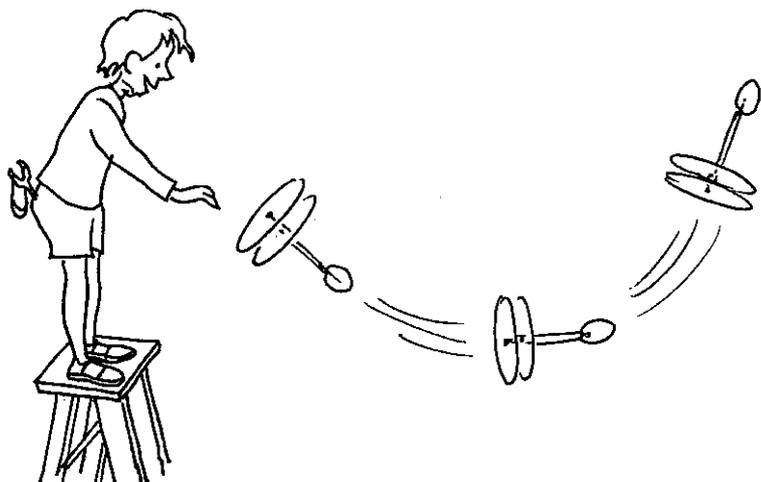


El elástico pone en movimiento el rotor inferior, el número 1. Debido al par, el rotor número 2, solidario con el palo de fuselaje, gira en sentido contrario

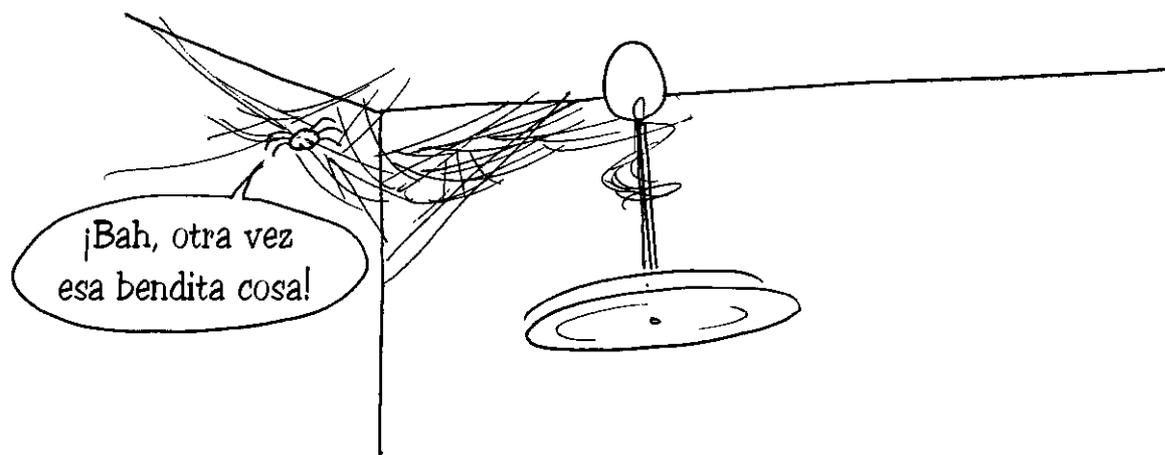
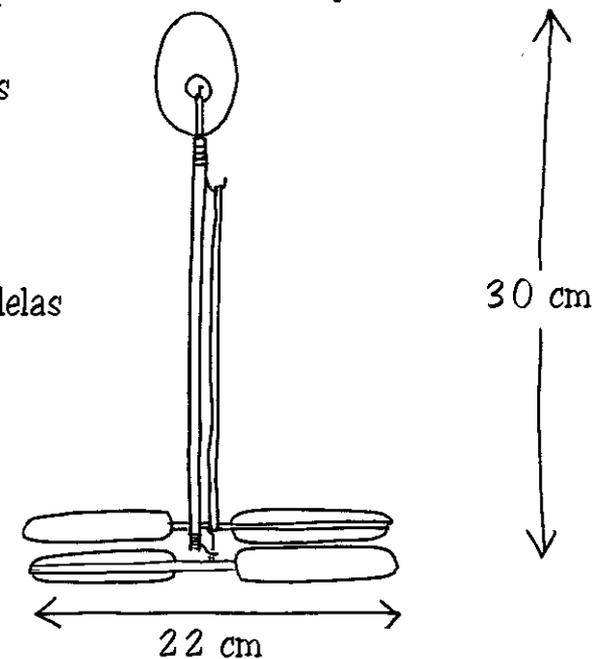
Montaje del aspa superior,
que vuelve el artefacto autoestable



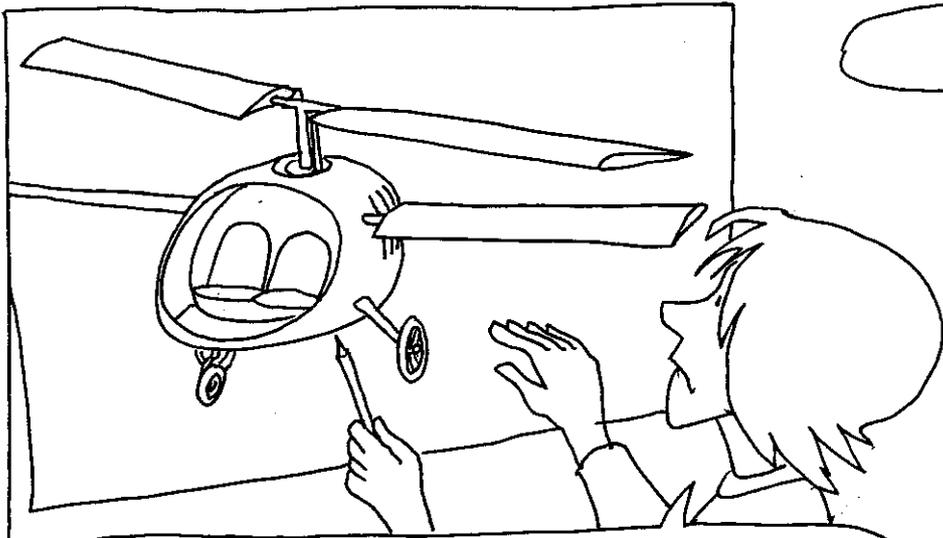
Cuando el helicóptero se inclina,
parte de costado. El esfuerzo sobre el
aspa superior lo endereza. Liberado a
sí mismo, asciende balanceándose (*)



Proporciones:

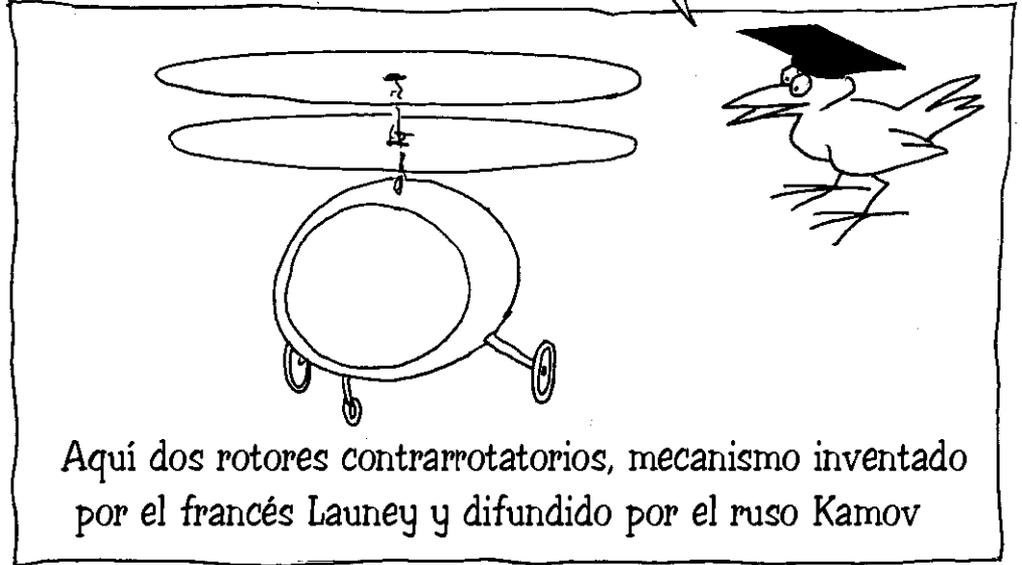


(*) Cuando yo era niño utilizaba este artefacto para quitar las telarañas de lo alto de los techos del castillo de Thiers, en Sèvres (Francia).



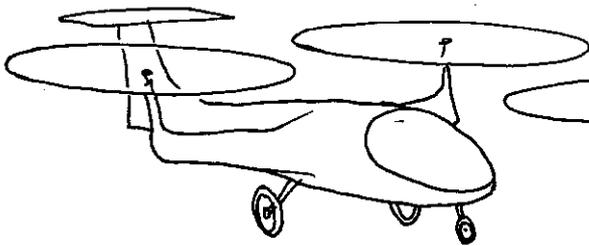
No, es una tontería.
No voy a sentarme en una cabina que gira

Cándido intenta diferentes soluciones



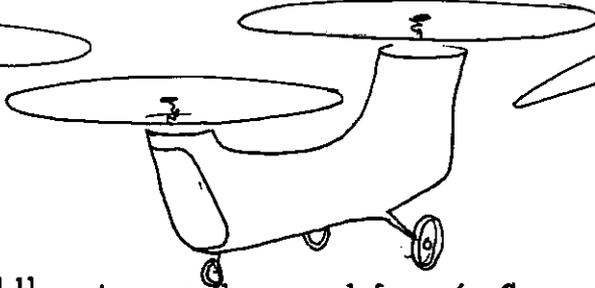
Aquí dos rotores contrarrotatorios, mecanismo inventado por el francés Launey y difundido por el ruso Kamov

rotores laterales



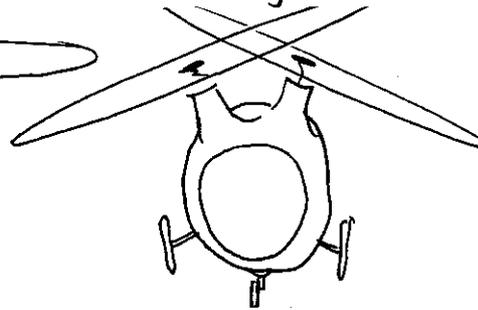
inventado por el inglés Cayley y retomado por el alemán Focke

rotores en tándem



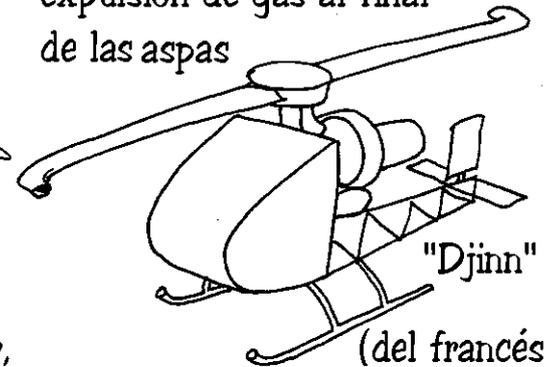
inventado por el francés Cornu y desarrollado por Piasecki

rotores engranados



por el alemán Flettner, desarrollado por Kaman

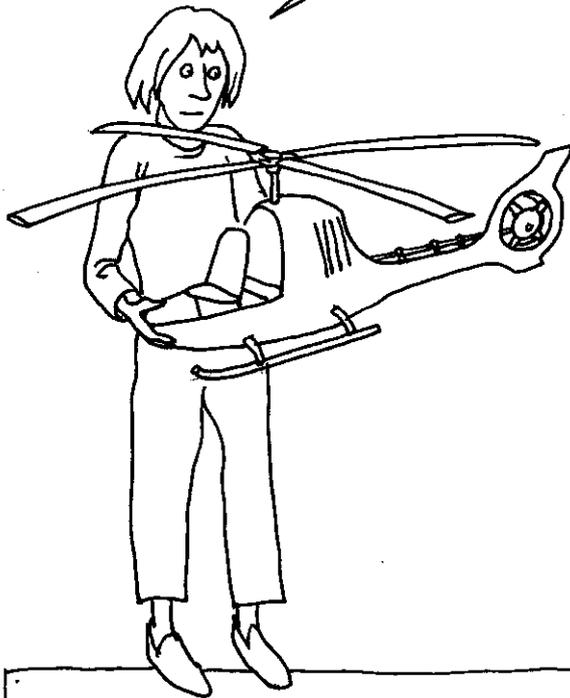
expulsión de gas al final de las aspas



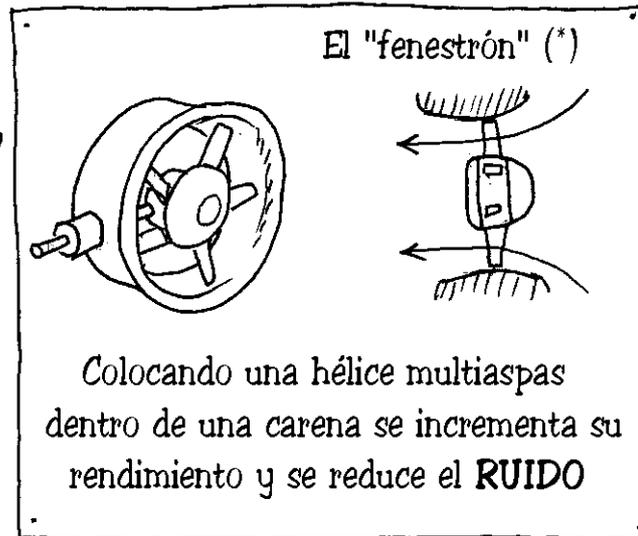
"Djinn"
(del francés Morin)

Yves Le Bec escribió, ilustrándola con excelentes dibujos, una obra titulada "La véritable histoire de l'hélicoptère, de 1486 à 2005", publicada por Ediciones Ducretet SA, CH-1022 Chavannes-près-Renens, ISBN 2-8399-0100-5. En ella encontrarán todos los modelos de helicópteros imaginados por los humanos.

Voy a poner un rotor anti-par en el extremo del fuselaje. Acoplándolo mecánicamente al rotor principal, debería funcionar. Cuando aumente el régimen del motor, el rotor de la cola lo seguirá y la compensación del par quedará automáticamente asegurada

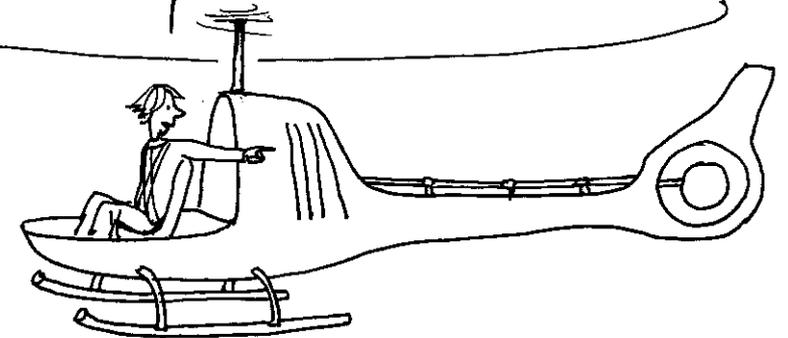


El rotor de cola anti-par fue ideado por el ruso Yuriev y desarrollado por Igor Sikorski.
(*) El "fenestrón" fue introducido por el francés Mouille.



Aléjate de inmediato o si no vas a ser succionado y cortado en pedacitos

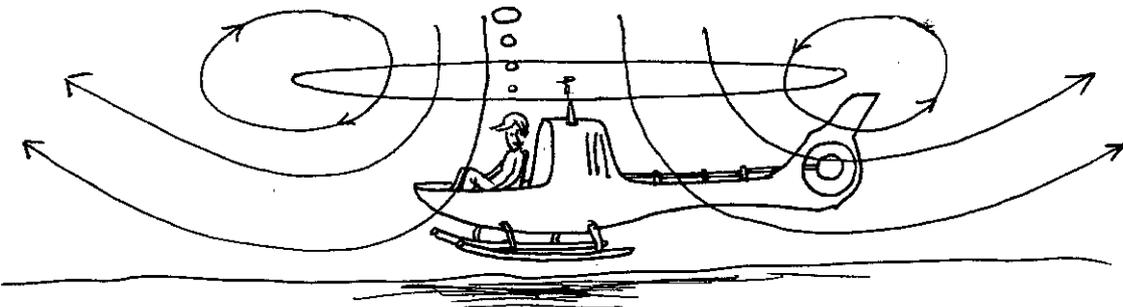
¡Mira, Pangloss, lo logré!



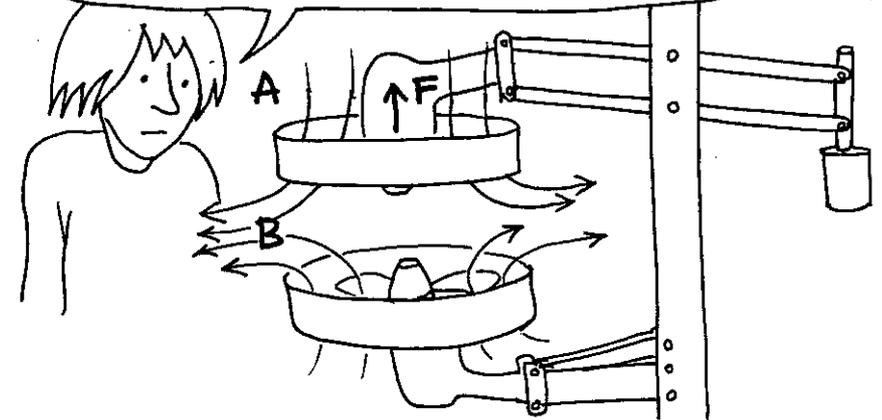
Todo esto demuestra que todo marcha de lo mejor en la mejor de las aeronáuticas posibles

EFEECTO SUELO

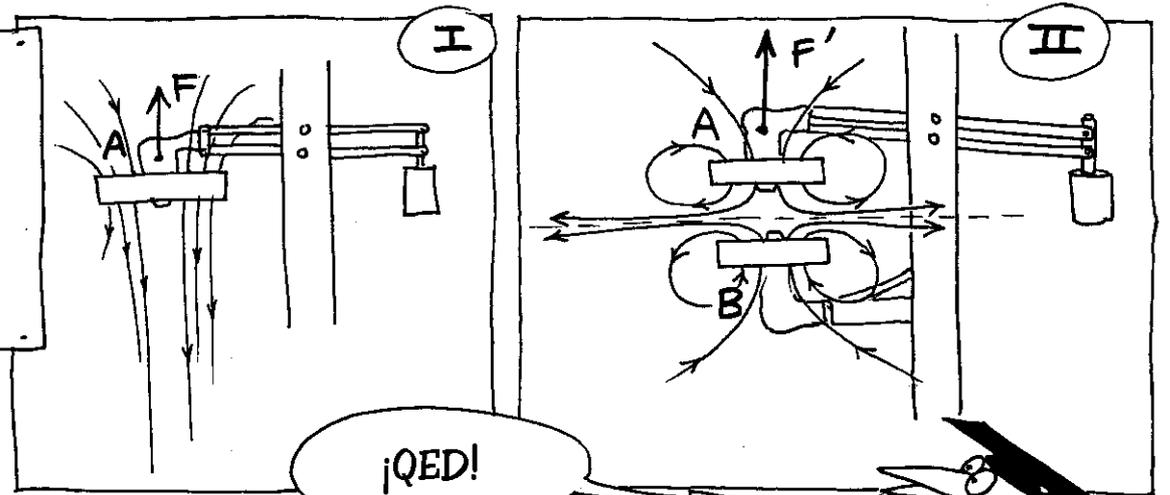
Es curioso. Cerca del suelo logro mantenerme con una potencia ostensiblemente menor (*)



Esa máquina no es más que un ventilador grande. Voy a poner a trabajar dos juntos, colocándolos cara a cara



A igual régimen la fuerza ascensional que se ejerce sobre el ventilador **A** es mayor cuando éste trabaja frente al ventilador **B**, que empuja el aire en el otro sentido, a diferencia de cuando está sólo **A**



El flujo en II es el mismo que si se hiciera trabajar el ventilador **A** de cara al suelo

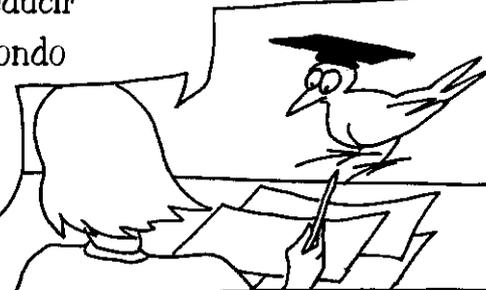
(*) El efecto suelo se vuelve importante cuando el rotor está a una distancia del suelo igual o menor que la mitad de su diámetro.

"AUMENTO DE REVOLUCIONES"

Mi rotor tiene un paso fijo, ¿pero de qué valor? Cuanto mayor sea el paso, mayor será la incidencia de las aspas y por lo tanto mayor será también el **ARRASTRE** que frena la rotación de las aspas...



Si por alguna razón mi motor experimenta una pérdida de potencia, el arrastre va a frenar su rotación (*). Si la velocidad que corresponde al **VIENTO RELATIVO** disminuye, la pérdida se va a extender a todo el perfil. Y si eso ocurre, adiós mundo. Habría que reducir inmediatamente el paso poniendo el gas a fondo para mantener a toda costa el régimen del rotor y para ganar revoluciones



¿Qué es lo que dice?

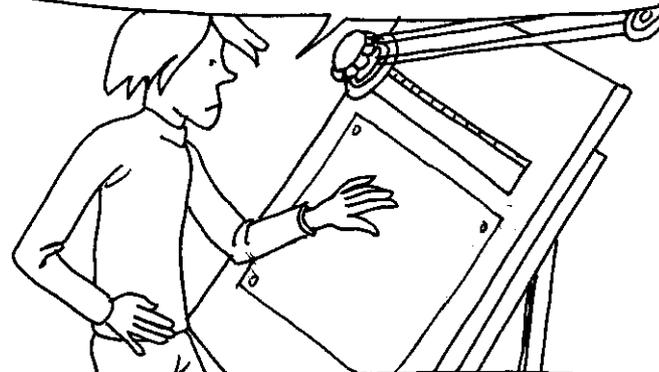


Eso no te concierne.
No tienes ninguna parte giratoria,
que yo sepa...

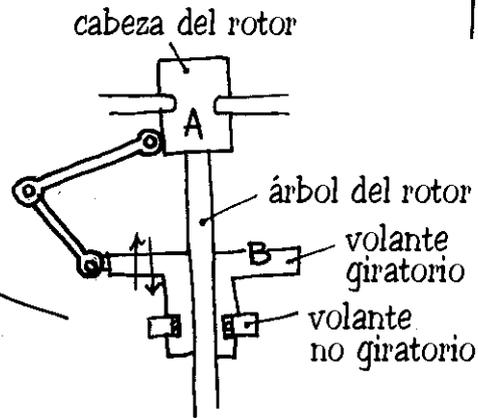
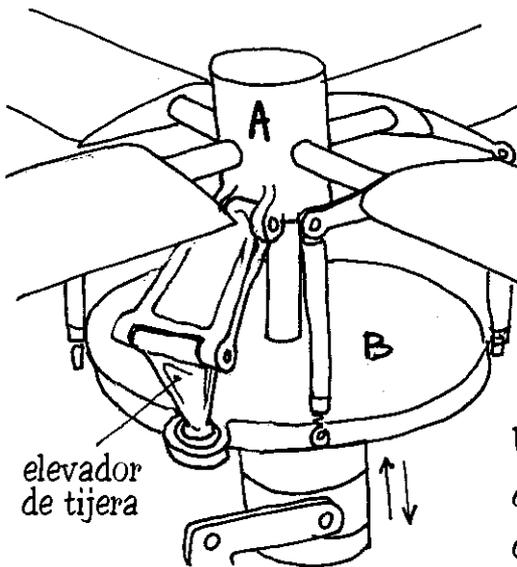
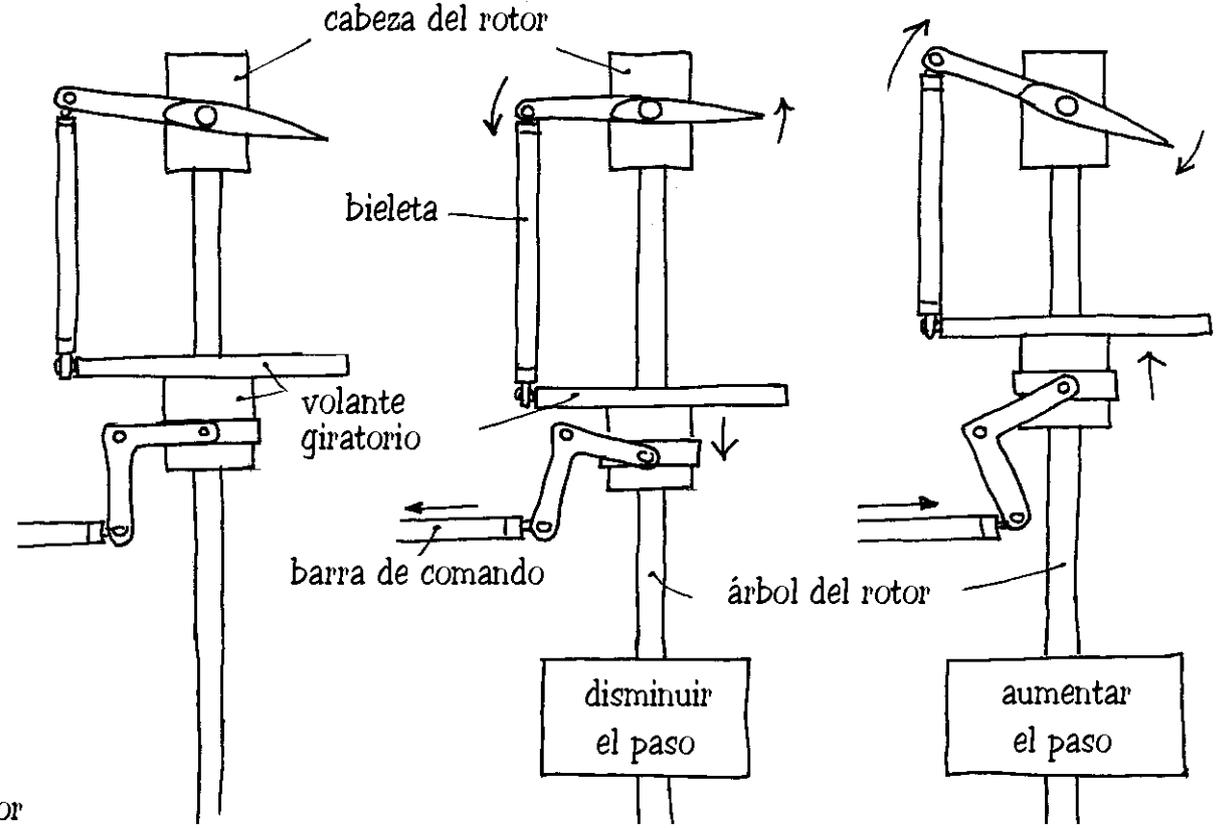
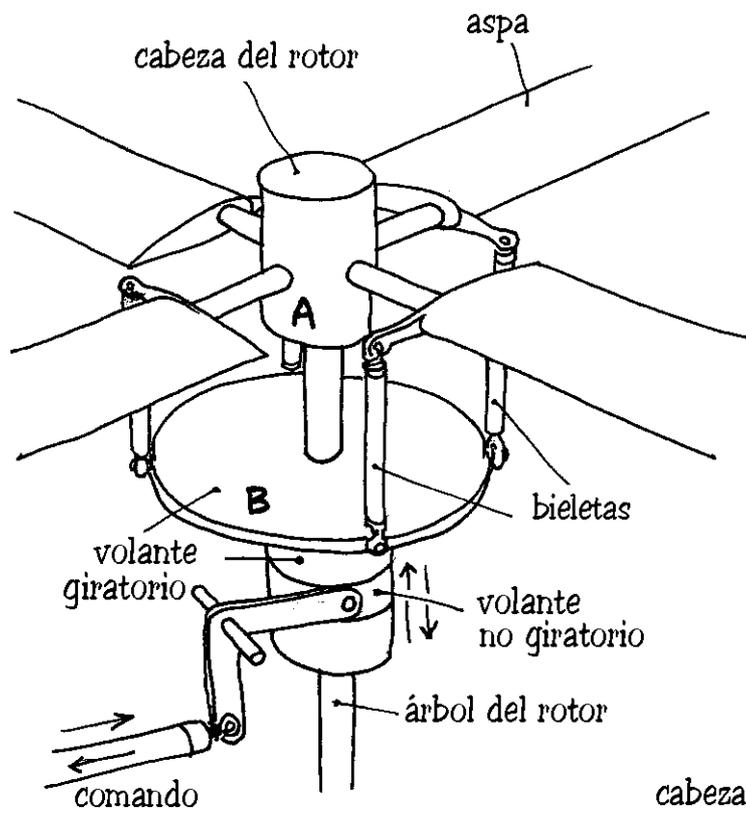
Pues tal parece
que no



Es necesario que modifique el paso, es decir el ángulo de ataque de las aspas cuando esté en vuelo



(*) Un rotor en el que el motor cesara bruscamente de funcionar se frenaría peligrosamente en... ¡un segundo!



Un "elevador" articulado hace que la cabeza del rotor A y el volante giratorio B giren con la misma velocidad angular.

Con un sistema de este tipo se puede hacer variar conjuntamente el paso de las aspas de un rotor actuando sobre un volante no giratorio B unido por un par de rodamientos a un volante giratorio A, que retransmite la orden a las aspas por medio de las bieletas.

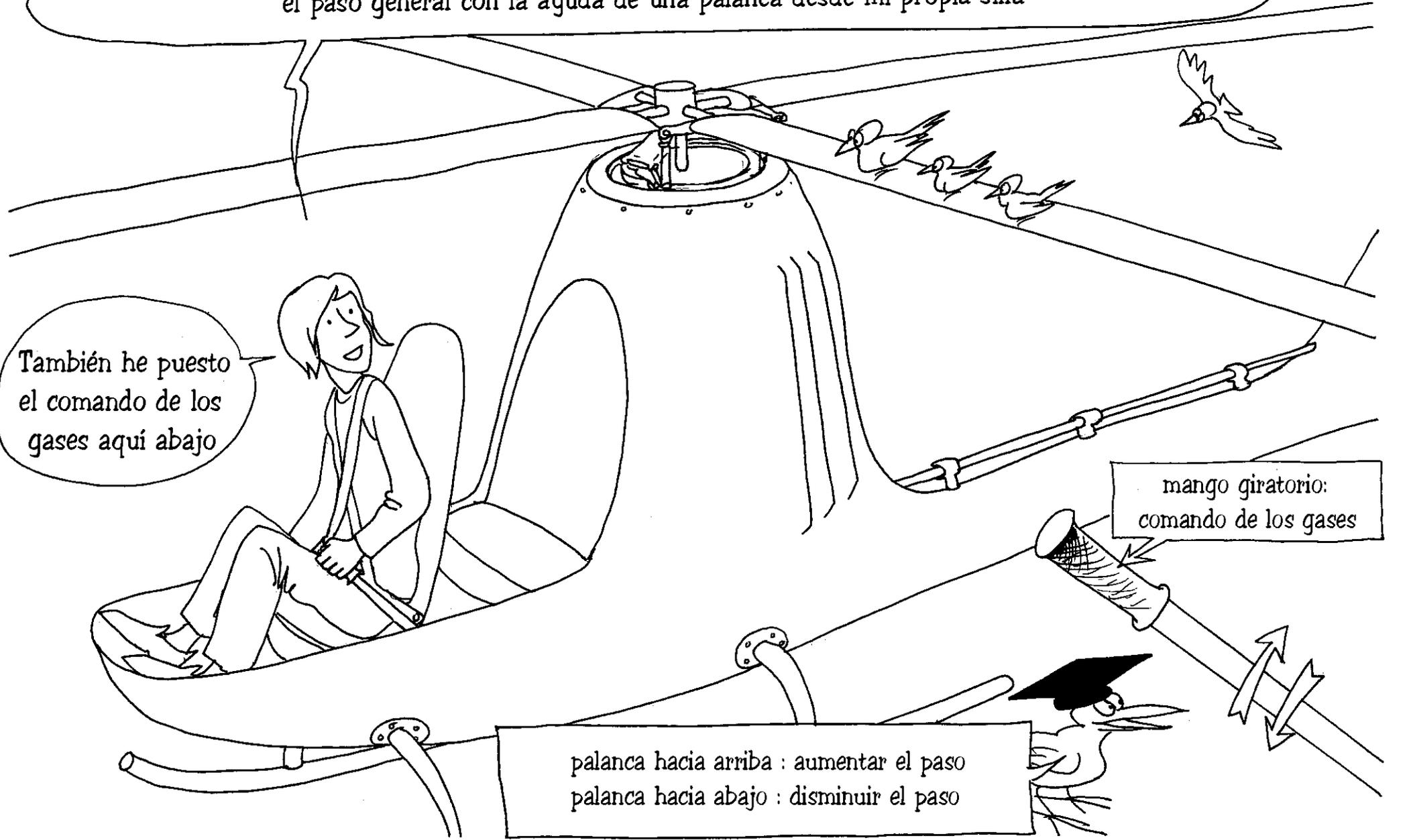
La Dirección

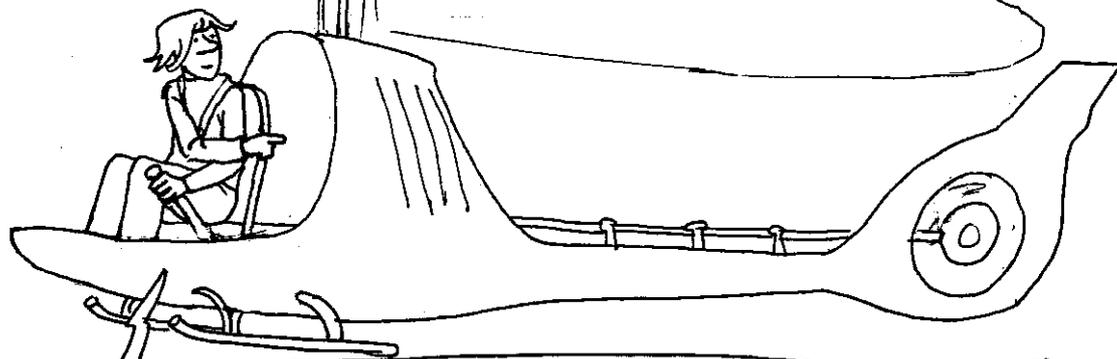
He adaptado una varilla de comando que me permite variar a voluntad el paso general con la ayuda de una palanca desde mi propia silla

También he puesto el comando de los gases aquí abajo

mango giratorio:
comando de los gases

palanca hacia arriba : aumentar el paso
palanca hacia abajo : disminuir el paso





He adaptado el mismo sistema en el rotor de cola, anti-par, para evitar desvíos bruscos cuando modifico el paso general. Y he añadido un comando en los pies, un pedal, que me permite dar vueltas en un mismo lugar



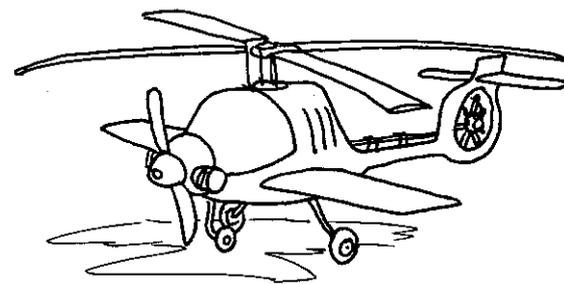
¿Qué?
No entiendo nada...

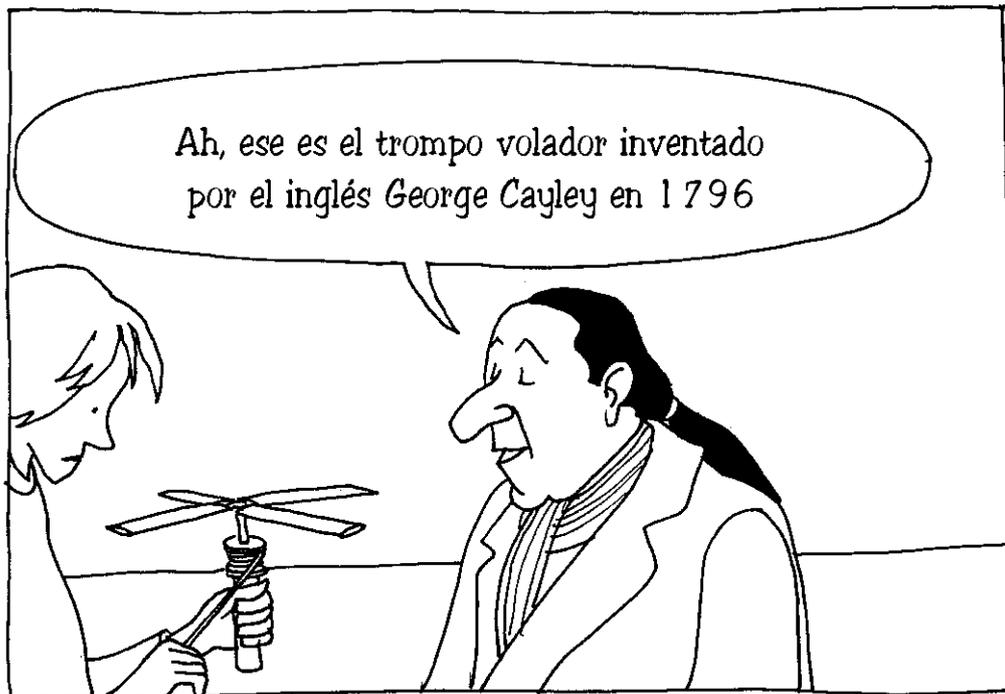
Bueno. He concebido esta máquina voladora capaz de transportarnos a Cunegunda y a mí. Puedo subir, bajar y girar sobre mí mismo a voluntad. Pero queda una cuestión: ¿cómo avanzar?



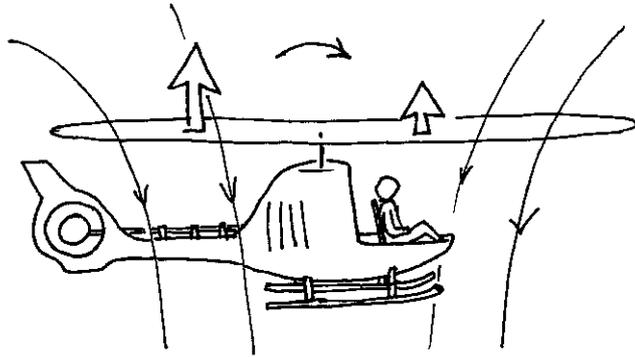
¿Por qué no agregarle una hélice, unos timones?

Todo eso me parece muy complicado

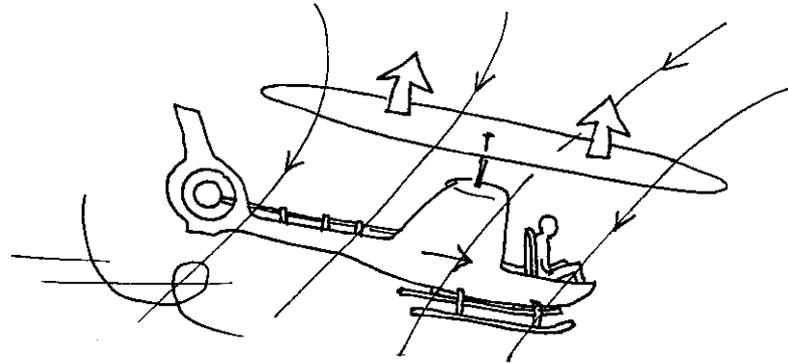




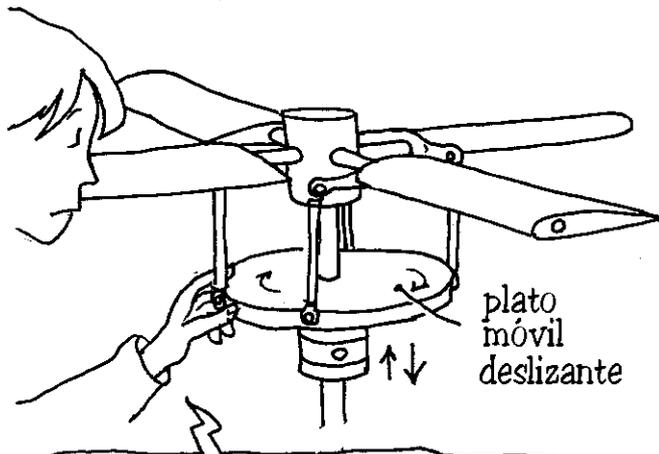
ESTACIONARIO



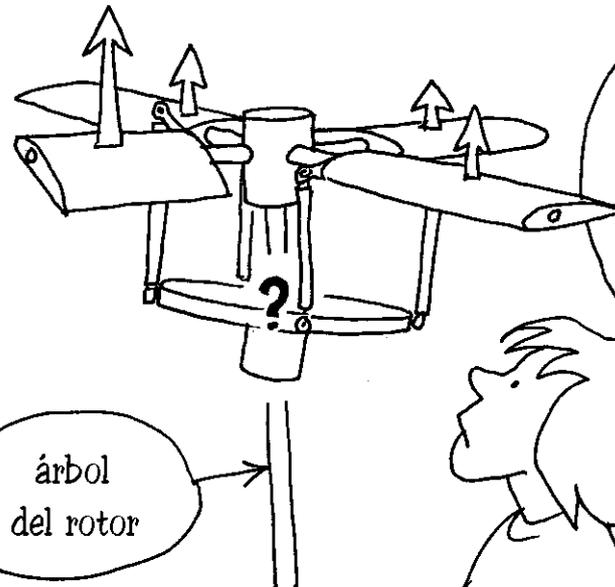
TRANSLACIÓN



Si logro aumentar la sustentación de las aspas de mi rotor cuando están hacia atrás, y disminuirla cuando están hacia adelante, con la ayuda de una **VARIACIÓN CÍCLICA DEL PASO** podría conseguir el equilibrio de mi máquina y convertirlo en un movimiento de **TRANSLACIÓN**

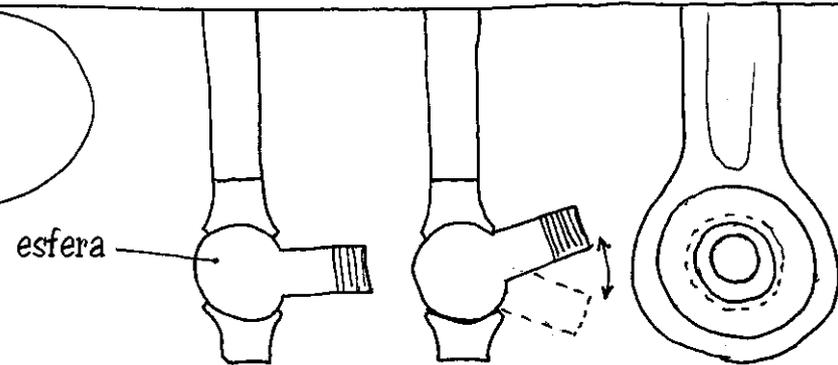
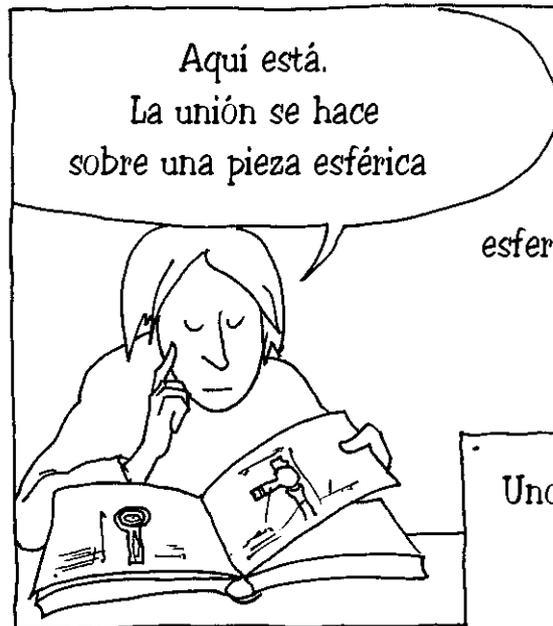


El paso de mis aspas está dado por la posición de un plato giratorio deslizante sobre el árbol del rotor



Si pudiera lograr que este plato tuviera una inclinación, al girar el conjunto podría crear la variación cíclica del paso (*) de las aspas. ¿Pero cómo articular y controlar toda esa parafernalia?

(*) Inventada por el español **PESCARA**, quien introdujo el concepto de **AUTORROTACIÓN**

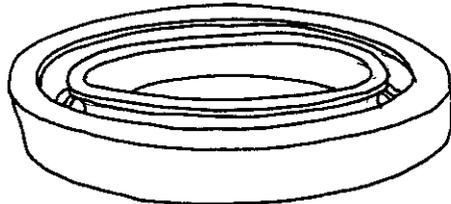
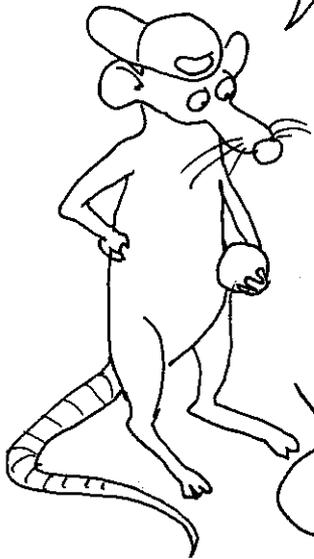


Uno de los elementos termina en una rótula esférica que se mantiene en su lugar por engarce, lo que permite un cierto desplazamiento

La vida de un piloto de helicóptero está ligada a una mecánica compleja que pone en juego bieletas de este tipo, engranajes, rodamientos, todos ellos fabricados con la mayor precisión, monitoreados y reemplazados periódicamente. Los costos de fabricación y de mantenimiento son más importantes que los de un avión. A partir de los años sesenta la utilización de nuevos materiales: compuestos, elastómeros y componentes autolubricados han permitido reducir la complejidad, el peso, los costos de fabricación y la frecuencia de mantenimiento, y a la vez ganar mayor fiabilidad. Pero todos estos aspectos escapan de los propósitos de la presente obra.

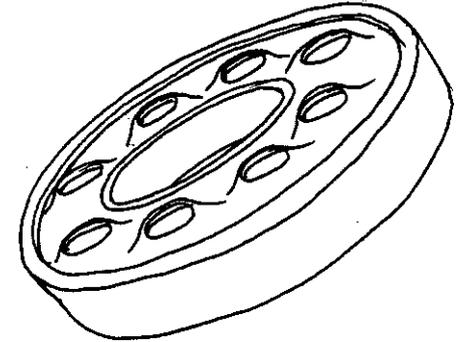
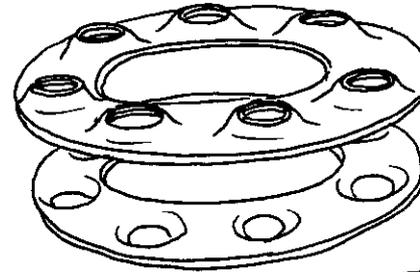
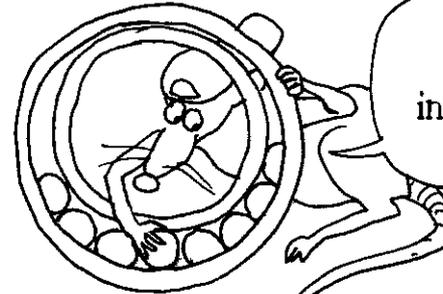


Un elemento muy importante es el cojinete con sus rodamientos

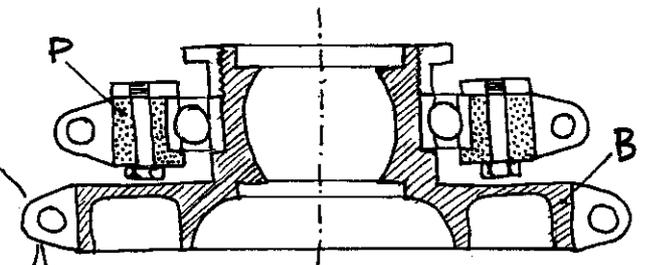
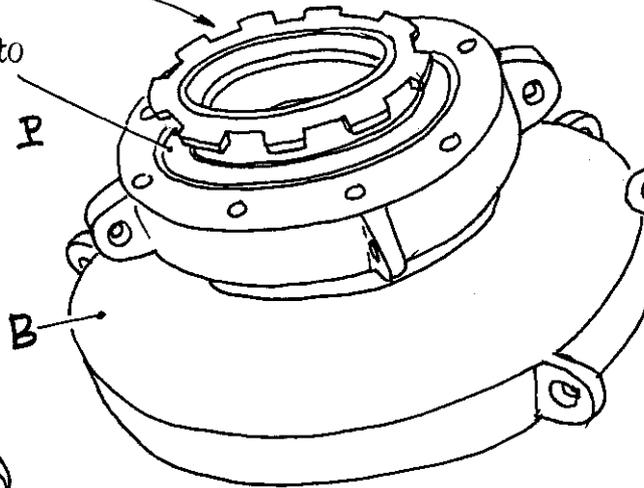
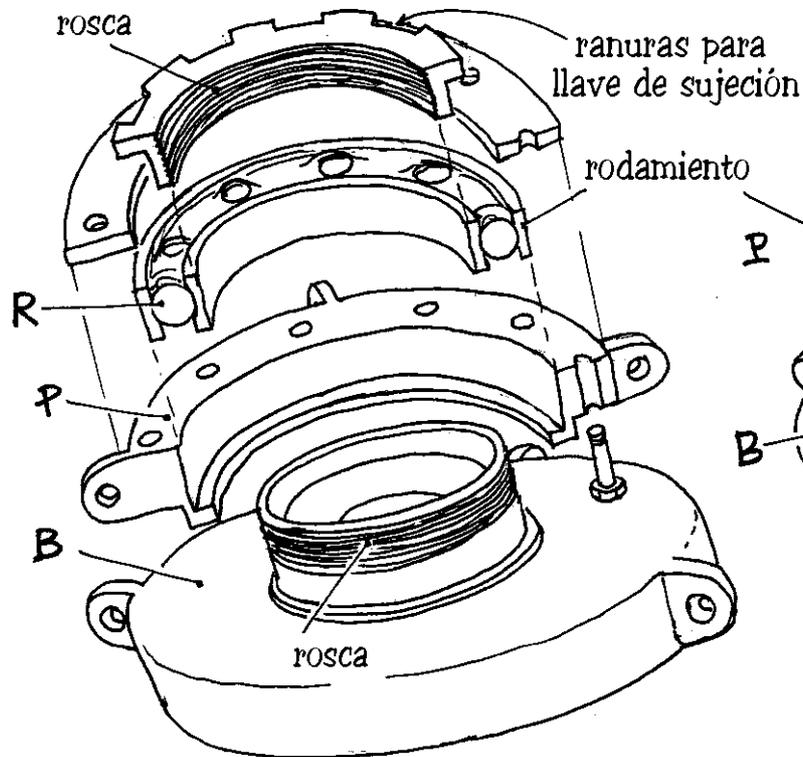


¿Pero cómo incrustar las benditas esferas?

Al descentrar los anillos se puede introducir un cierto número de esferas

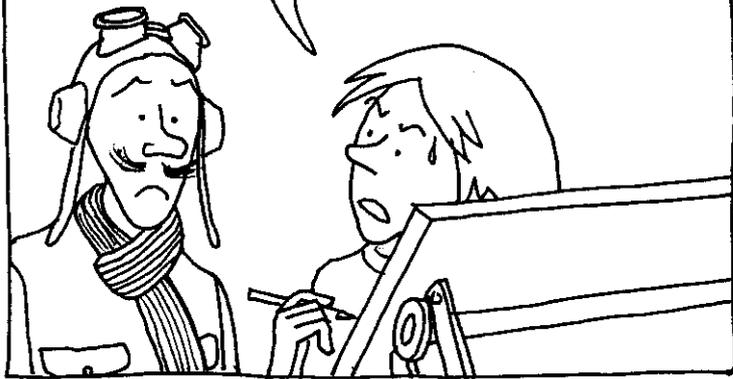


Estas se mantienen en su lugar mediante una trampa formada por dos elementos soldados, engastados o pegados



El rodamiento permite a dos platos, uno giratorio **P** y otro no giratorio **B** moverse uno con respecto al otro permaneciendo coaxiales.

No quiero hacerle sentir mal, amigo,
pero en el plano mecánico su avión,
al lado de éste, es un chiste

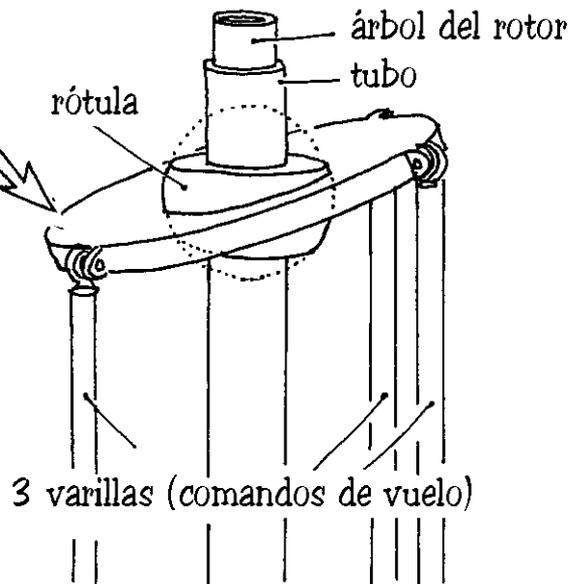


Para enderezar algo que funciona al revés,
la solución es la **RÓTULA**



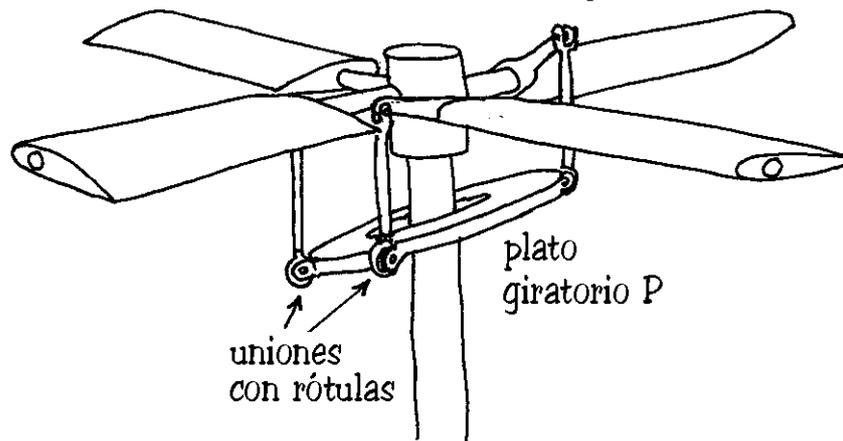
Rótula que se deslizará
sobre un **TUBO** en el interior
del cual girará el
ÁRBOL DEL ROTOR

Sobre esta rótula hará pivote un plato B
no giratorio, cuya orientación será fijada
por las varillas de comando de vuelo



El plato no giratorio B será solidario con un plato giratorio P
por medio de un rodamiento (ver página precedente).

El plato giratorio controlará la
inclinación de las aspas mediante
bioletas de mando de paso.



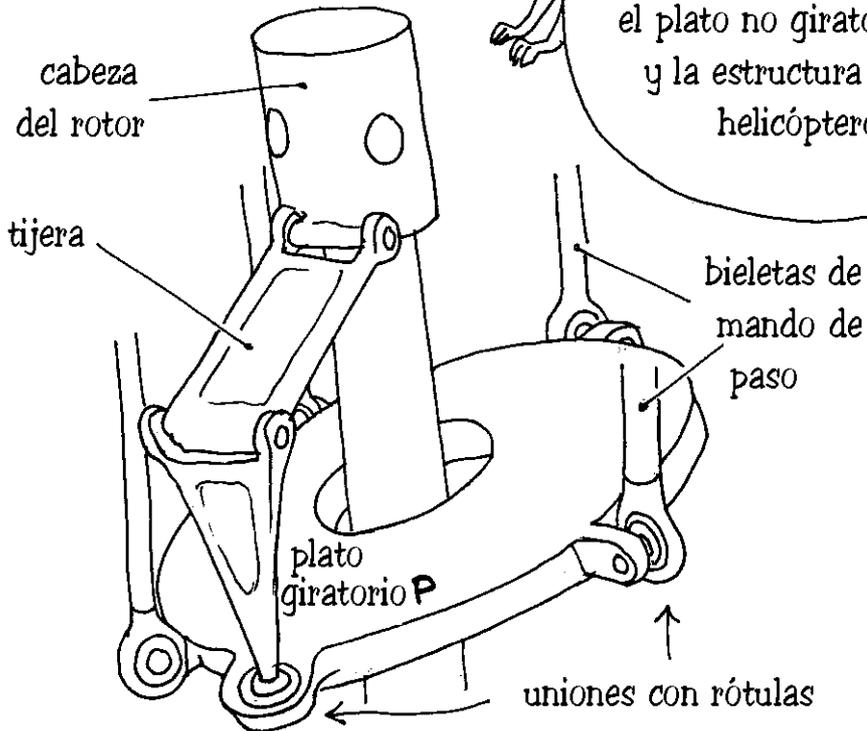
Antes de concluir este estudio sobre el plato oscilante hay que resolver algunos problemas.

Primero: cómo hacer solidario el plato giratorio P con la cabeza del rotor.

¿Vamos a dejarle esa tarea a las frágiles bieletas?



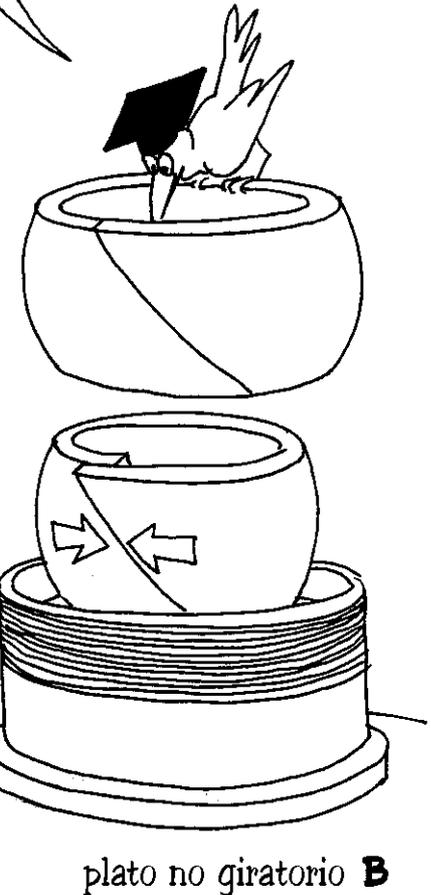
No, una tijera se hará cargo. Y pondremos el mismo dispositivo entre el plato no giratorio B y la estructura del helicóptero



Segunda cuestión: ¿cómo colocar la rótula en su lugar, ubicado en el plato B?

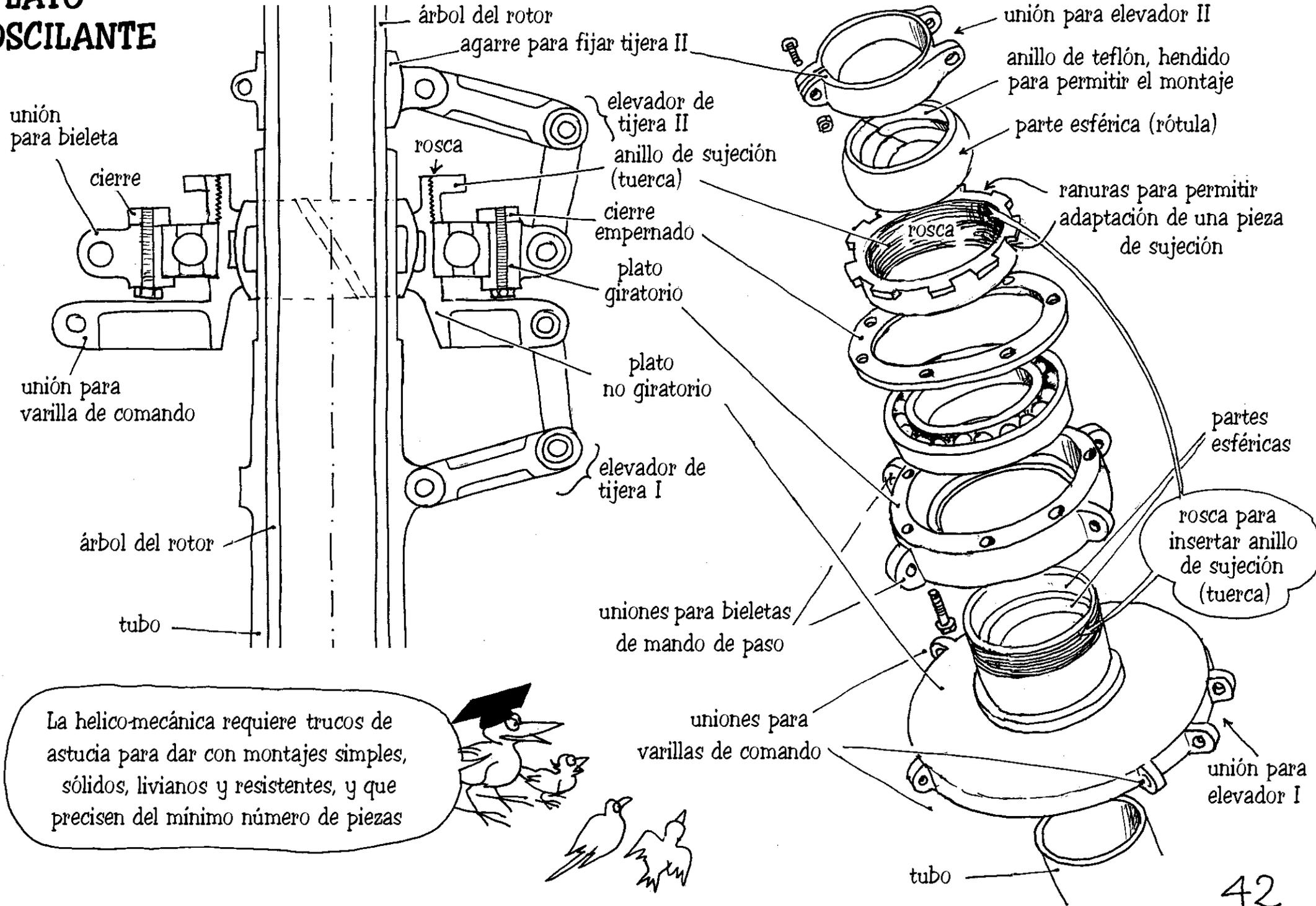


La rótula es un anillo de teflón, autolubricado y hueco, en el que la parte interna es cilíndrica y la parte externa esférica. Deformándola como se indica en el dibujo se la puede deslizar en su sitio sin dificultad. En seguida se puede insertar todo dentro del tubo en cuyo interior gira el eje del rotor



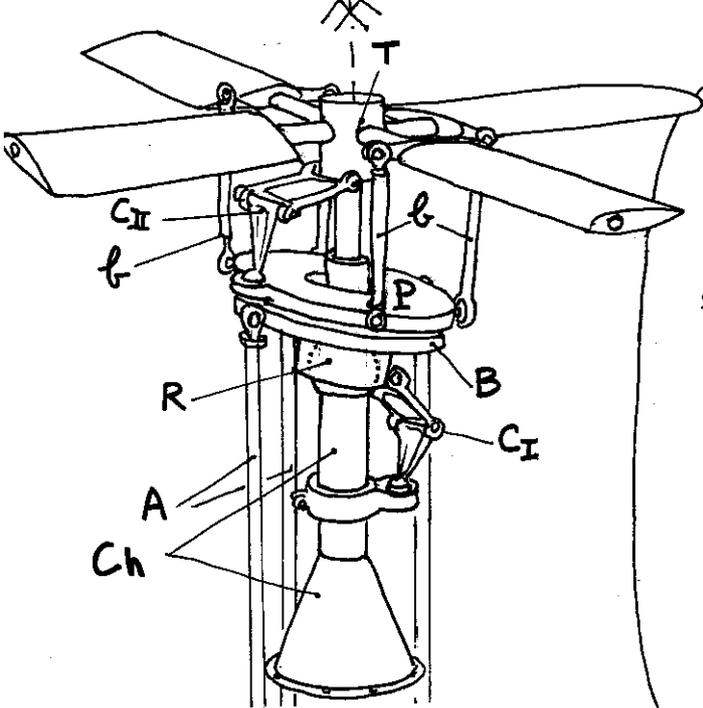
VER SÍNTESIS EN LA PÁGINA SIGUIENTE →

PLATO OSCILANTE

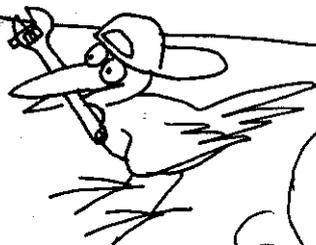
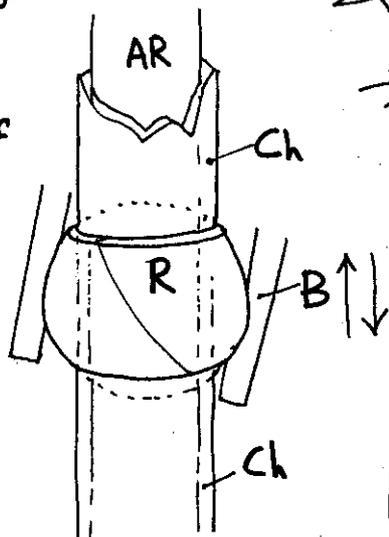
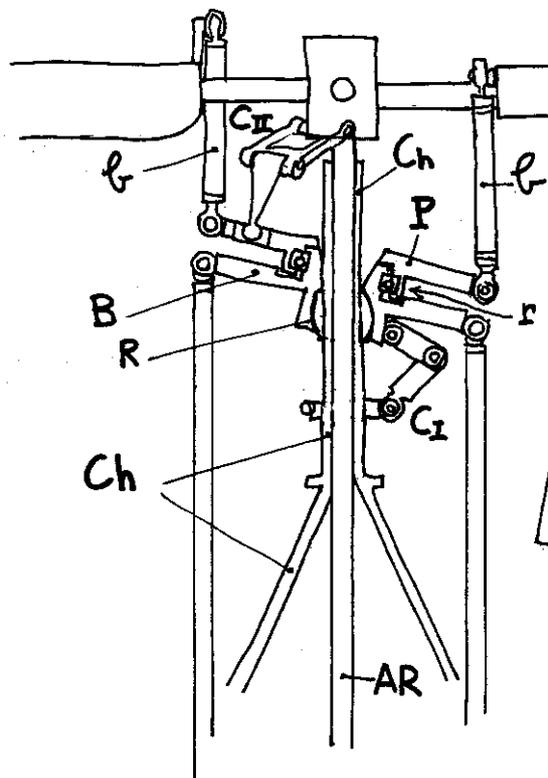


La helico-mecánica requiere trucos de astucia para dar con montajes simples, sólidos, livianos y resistentes, y que precisen del mínimo número de piezas





Volvamos a una descripción esquemática, más legible. Varillaje de comando **A**, constituido por tres barras, hace subir, bajar y balancear en todas direcciones un plato no giratorio **B**, guiado por la rótula **R**, la cual se desliza libremente sobre el tubo **Ch**, solidario con la estructura del helicóptero. Un primer **ELEVADOR DE TIJERA C_I**, fijo sobre el tubo **Ch**, se opone a cualquier movimiento de rotación del plato **B** en relación con la estructura del helicóptero (tubo **Ch**). El plato giratorio oscilante **P** está unido mediante un rodamiento **r** al plato no giratorio **B**. La altura del plato **B** es fijada por el piloto por medio del varillaje de comando **A**. El plato **P** transmite la orden a las aspas por medio de las bieletas **b**, y un segundo elevador de tijera **C_{II}** vuelve solidarias la cabeza del rotor **T** y el plato giratorio oscilante **P** puesto que sin él las bieletas de mando de paso **b** que tuvieran que hacer sus veces se romperían de inmediato

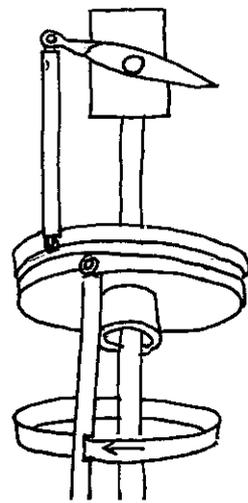
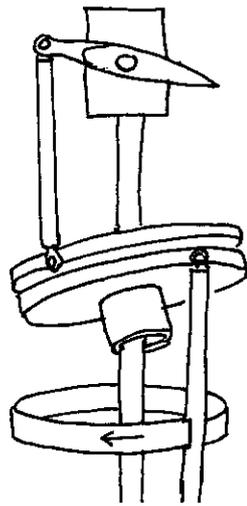
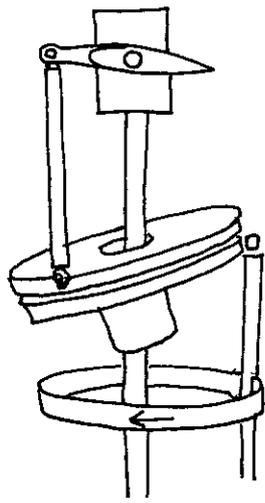
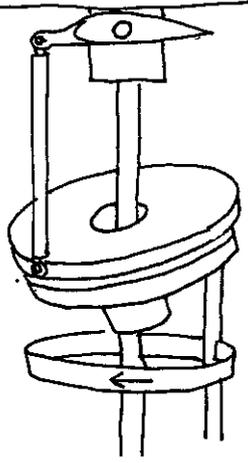


Ahora me hace falta idear **MANDOS DE VUELO** que me permitan accionar las tres barras verticales

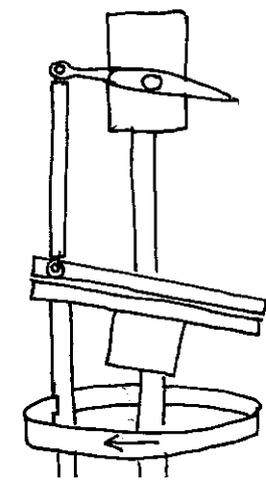
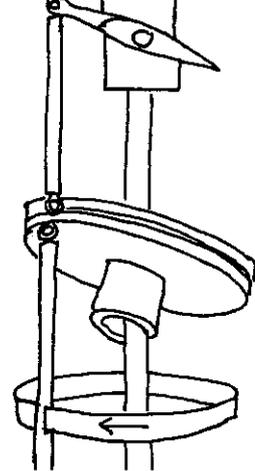


Y todo estará listo

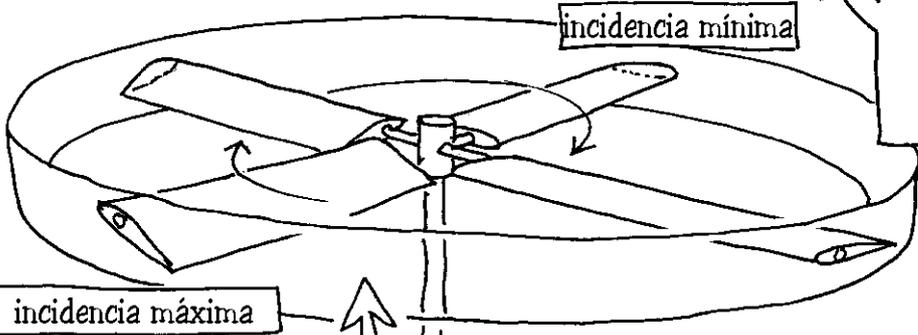
incidencia mínima



incidencia máxima



etc...
abajo, movimiento
aparente de una de
las varillas de
comando

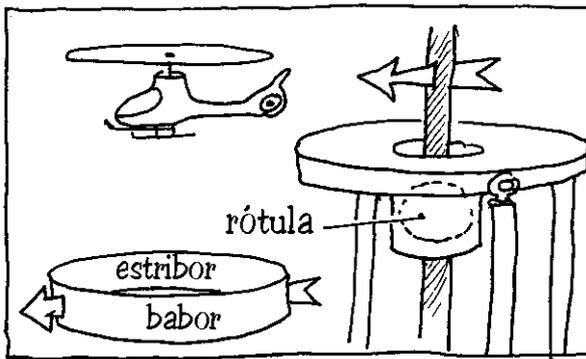


incidencia mínima

incidencia máxima

Aquí acompañamos un aspa en su movimiento. Su incidencia varía periódicamente entre un valor mínimo y un valor máximo

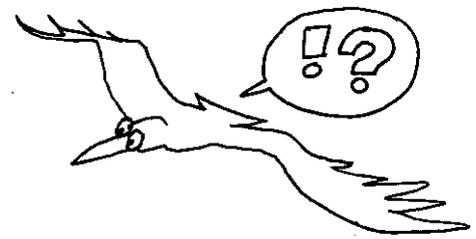
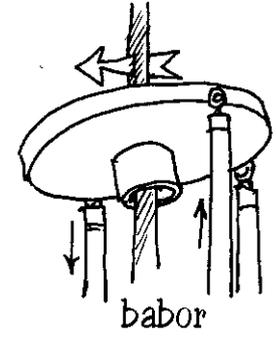
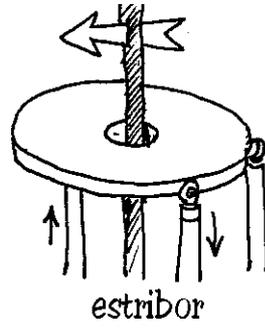
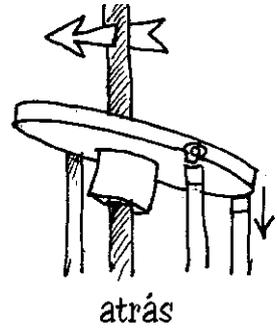
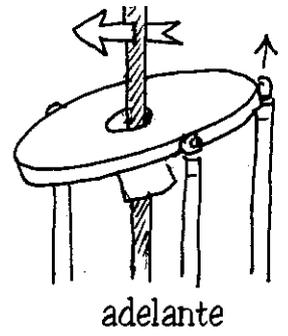
Aquí las aspas ocupan cuatro posiciones diferentes en el plano de rotación

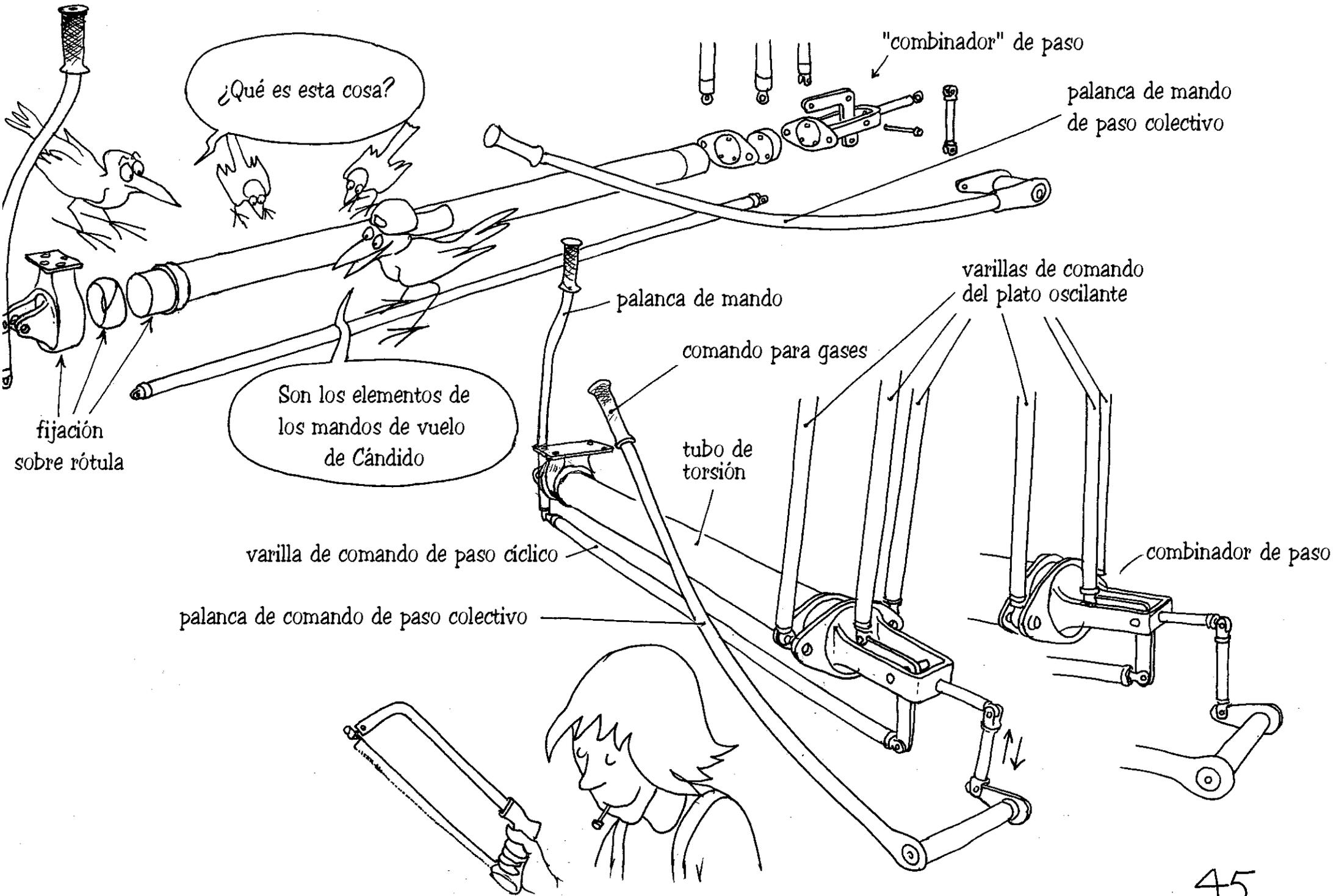


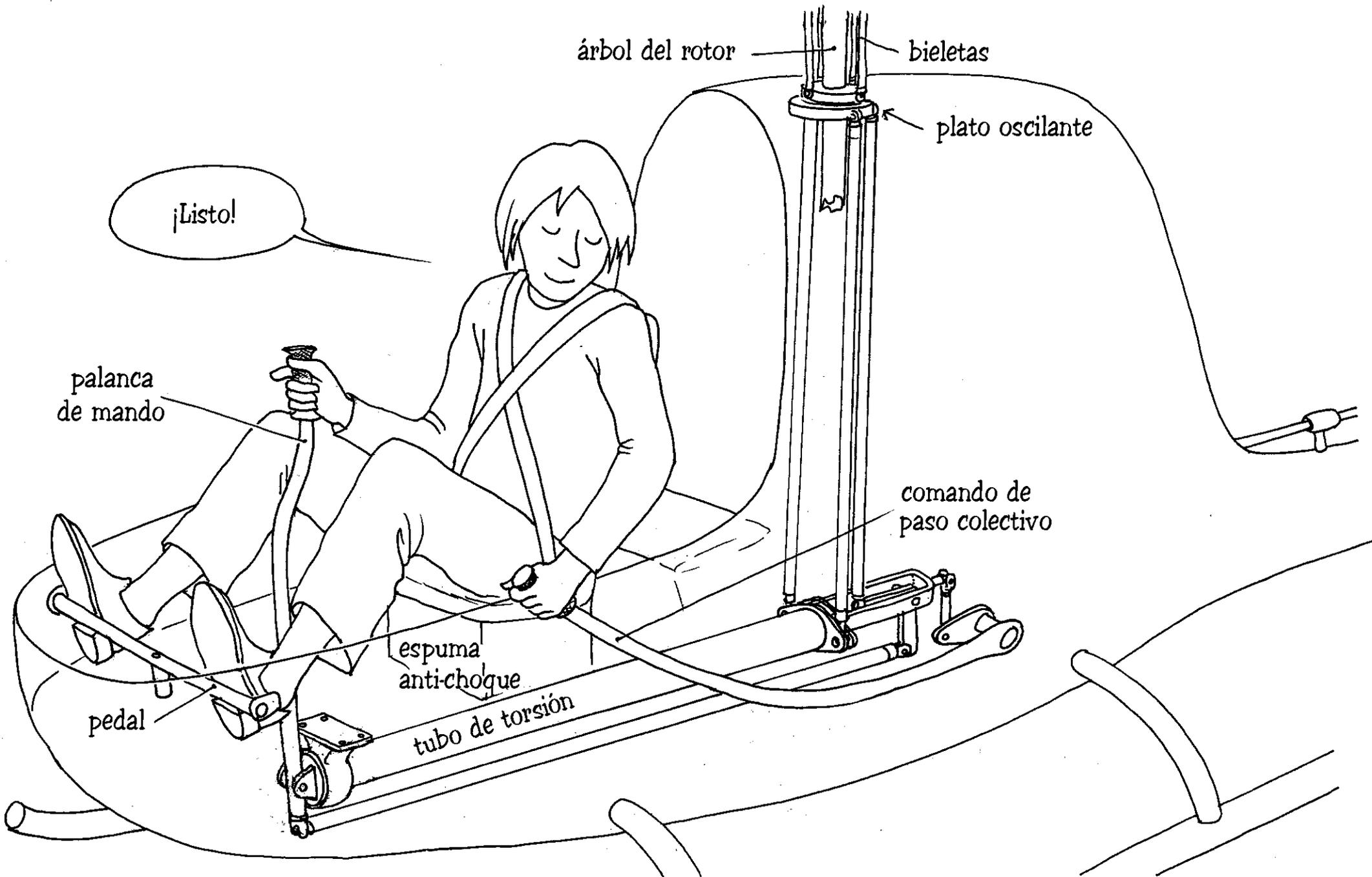
La flecha apunta hacia la parte frontal del aparato

Tres varillas son suficientes para controlar la altura del plato no giratorio

Pilotear el helicóptero aumentando la incidencia del aspa.







Esta vez, Pangloss, todo está preparado. Ahora sí voy a poder liberar a la señorita Cunegunda

¡En marcha!

**PATAKLONK
PATAKLONK
PATAKLONK**

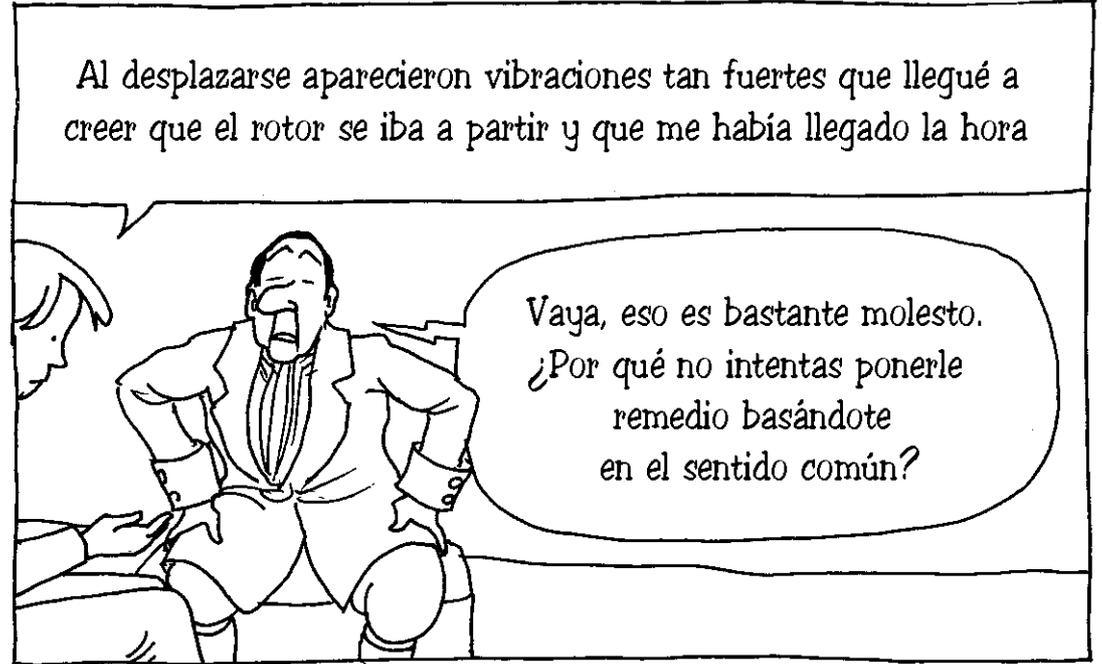
Es terrible, maestro.
Había tantas vibraciones que creí que mi máquina se iba a partir en mil pedazos

Pero eso no es lo peor...

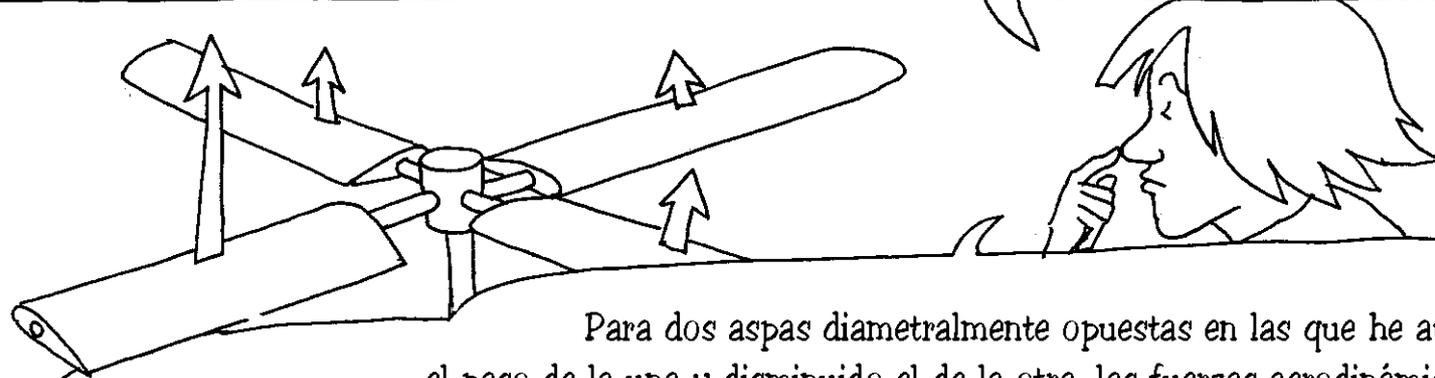
¿Y entonces qué es, mi buen Cándido?

Creía que estaba poniendo en práctica la mejor de las mecánicas de fluidos posibles

Figúrate, buen maestro, que cuando empujé la palanca hacia adelante...



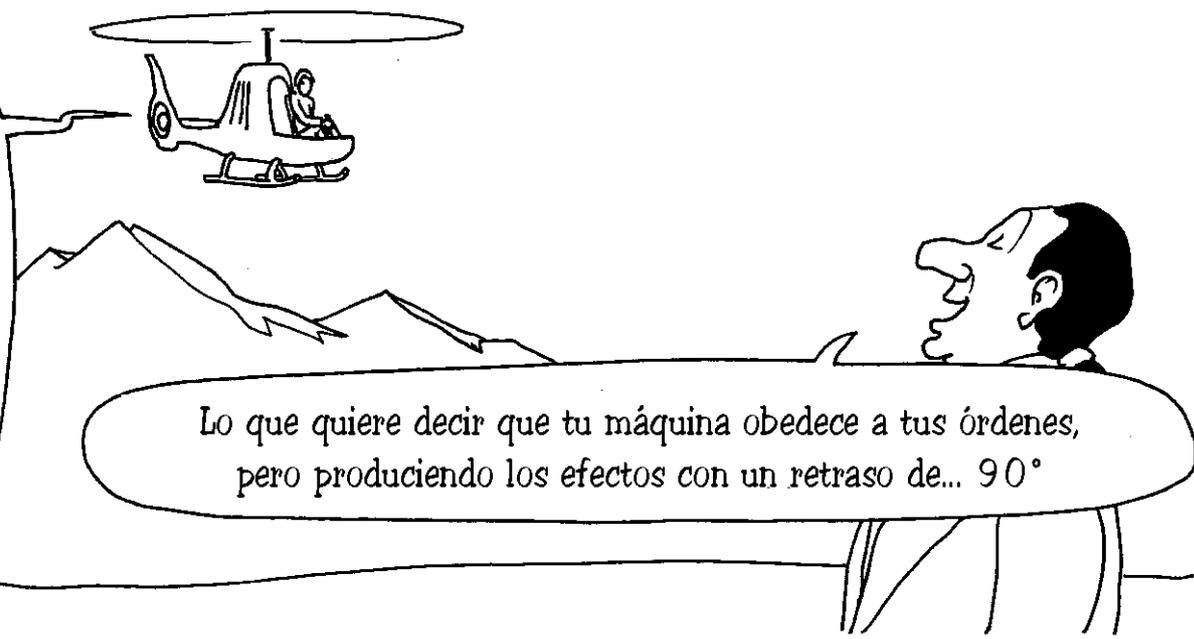
Pude sentir muy bien que la máquina se sacudió desde el momento en que puse en marcha la variación cíclica del paso. Fue como si una mano invisible hubiese agarrado el rotor por la mitad. Ahora, observándolo de cerca, me parece que adivino la razón suficiente de ese fenómeno



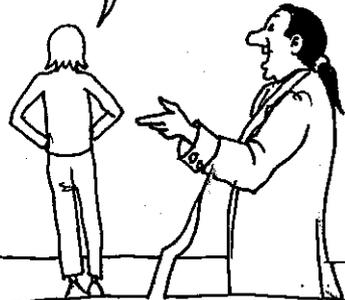
Para dos aspas diametralmente opuestas en las que he aumentado el paso de la una y disminuido el de la otra, las fuerzas aerodinámicas difieren en intensidad y en dirección, lo que explica las fuertes vibraciones



¡Funciona, Pangloss, funciona!
La máquina se sacude un poco pero no de manera intolerable. Pero su respuesta a los movimientos de la palanca sigue siendo incomprensible. Al moverla hacia adelante, se desplaza hacia la derecha. Al moverla a la derecha, se encabrita y va hacia atrás. Con la palanca hacia la izquierda, se va de nariz y marcha hacia adelante. Al moverla hacia atrás, se dirige hacia su izquierda

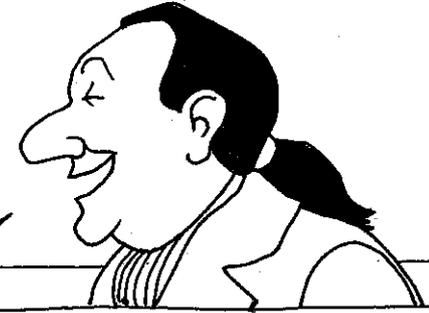
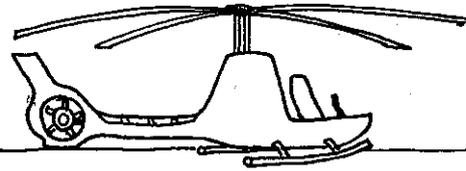


Es incomprensible pero así es



Bueno, pero tienes la solución. ¡Modifica los comandos consecuentemente!

Mi buen maestro, de ninguna manera me voy a sentar en una máquina cuyo comportamiento en ese aspecto escapa a mi entendimiento



Cándido, Cándido, cuántas cosas tienen para nosotros apariencias familiares cuya esencia nos es ajena. Mira: el Sol gira alrededor de la Tierra y no sabemos porqué. Desconocemos la naturaleza de ese horror al vacío que hace subir al mercurio en los barómetros. La razón suficiente de esa energía oscura que provoca la reaceleración de nuestro Cosmos nos evade. ¿Debemos por eso abstenernos de observar y de medir todos esos fenómenos que nos ofrece la Naturaleza?



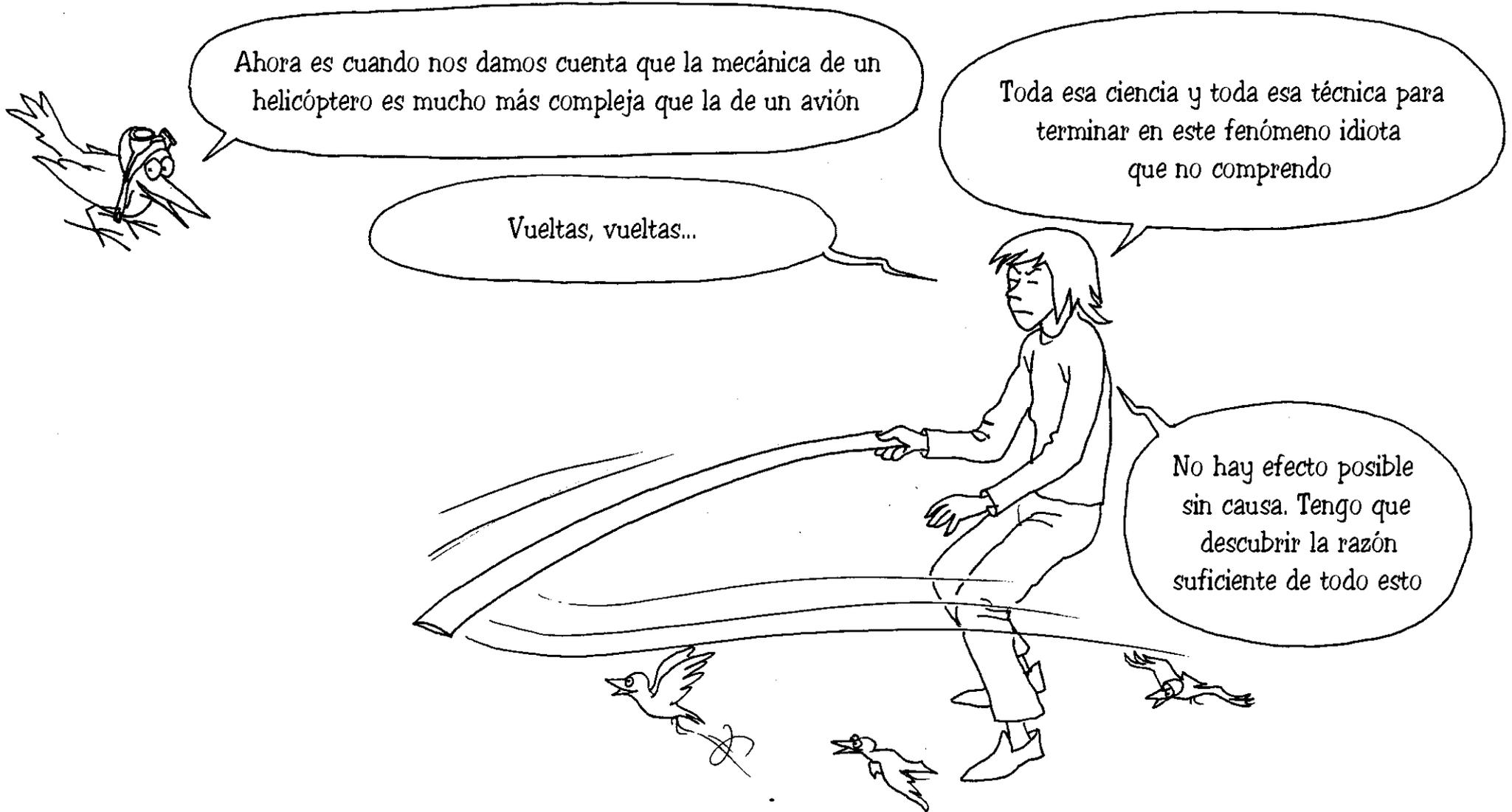
¿Y qué me dices del amor, Cándido, de los tiernos sentimientos que tienes por la señorita Cunegunda?



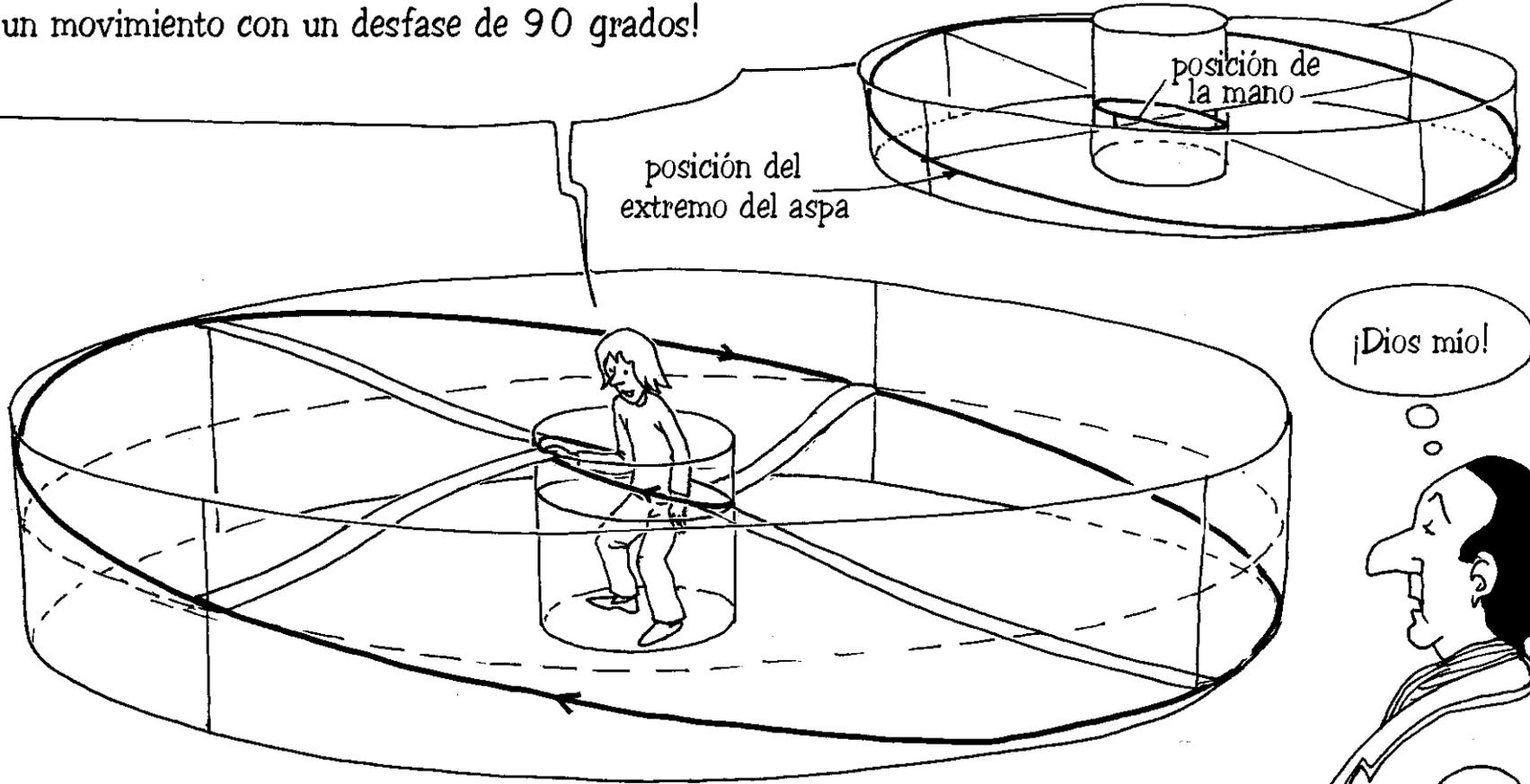
Si esta mecánica del vuelo es la mejor de las mecánicas posibles, cómo serán entonces las otras...



COMPENSACIÓN DEL CICLO



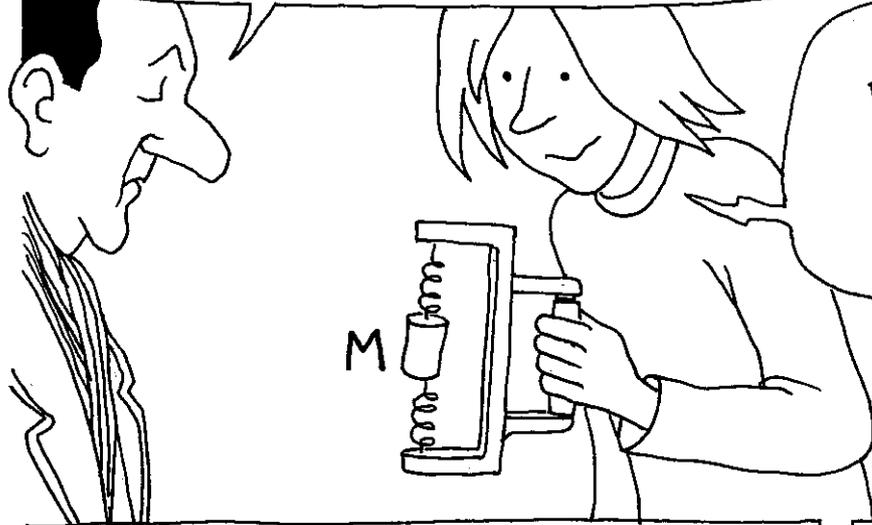
Creo que he comprendido, Pangloss. Cuando doy vueltas a esta aspa de arriba a abajo, girando sobre mí mismo y arreglándomelas para que el periodo de oscilación que le impongo sea el mismo que mi periodo de rotación, debido a la combinación de su inercia y de su elasticidad, ¡resulta un movimiento con un desfase de 90 grados!



¡Dios mío!

En términos eruditos, eso traduce el comportamiento de un **SISTEMA DE SEGUNDO ORDEN**

Esa razón suficiente, lo admito,
parece estar más allá de mi entendimiento



Vas a comprenderla, maestro,
gracias a este aparato
denominado **ELASTOTRÓN**

No le busquen la utilidad práctica
a este aparato pues su única función
es explicar el particular comportamiento
de las aspas de los helicópteros



Creía que estábamos en la mecánica de fluidos

Explico: si saco la masa **M** de su posición
de equilibrio, va a oscilar con un
determinado periodo al que llamamos
PERIODO PROPIO DEL SISTEMA

Si cojo el aparato y lo sacudo de arriba hacia abajo con el
mismo periodo **T**, la masa **M** va a "responder" a **DESTIEMPO**



¡Estoy seguro de que debes nadar como un tonto!

¿Nadar?



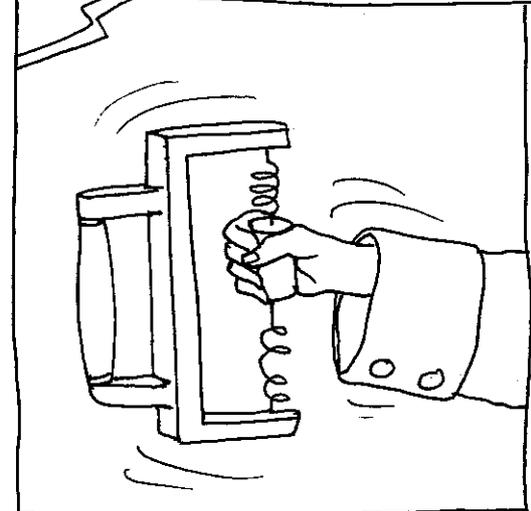
Déjalo, querido. No nos vamos a poner ahora a discutir con un pingüino. ¡La historia ya está bastante complicada!



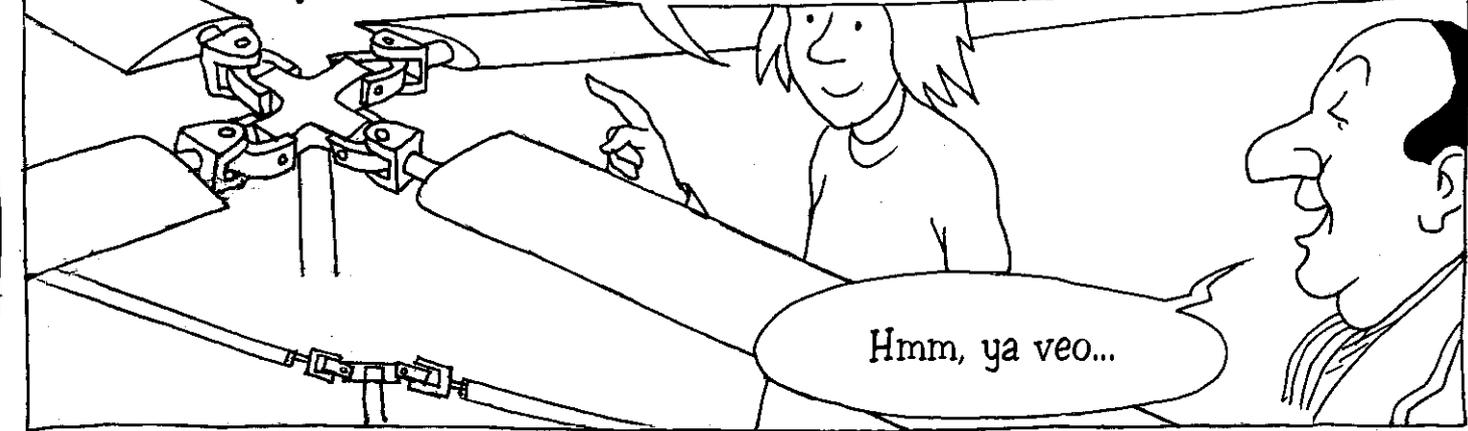
Toma el Elastotrón por su masa y sacúdelo según su periodo propio T

Bien, lo agarro así y lo sacudo según su... periodo propio

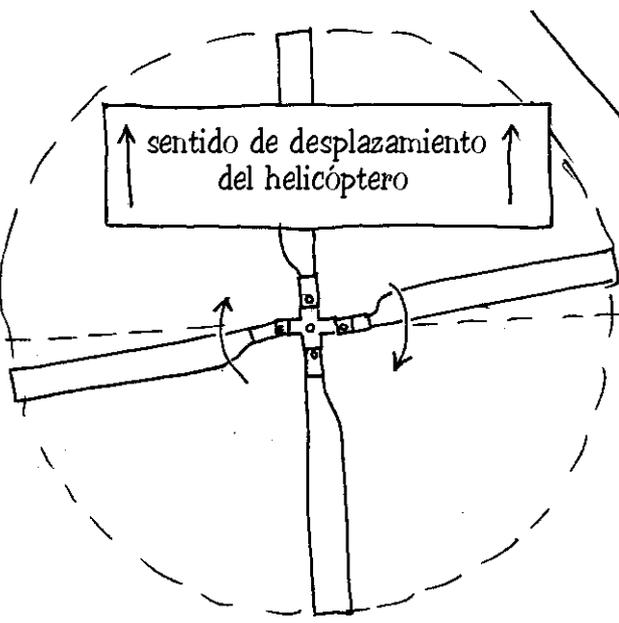
La estructura responde también a **DESTIEMPO**



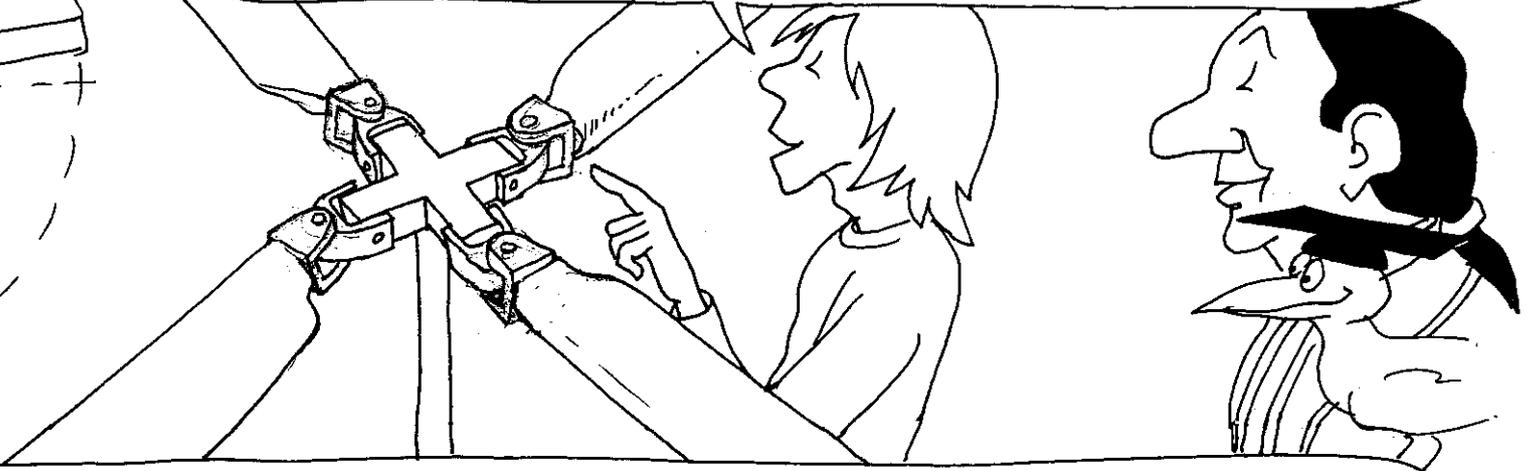
Traslademos esta teoría al helicóptero. Antes yo agitaba las aspas **EN FASE** con mi movimiento de rotación sobre mí mismo. En vuelo, son las aspas las que "sacuden" la máquina. De ahí la necesidad de colocar en cada una una **ARTICULACIÓN DE BATIMIENTO**



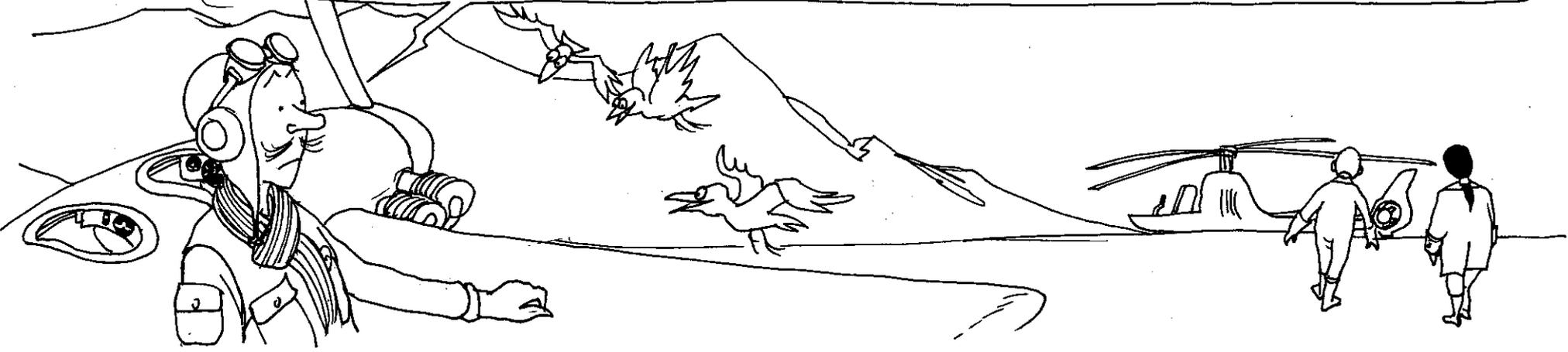
Hmm, ya veo...



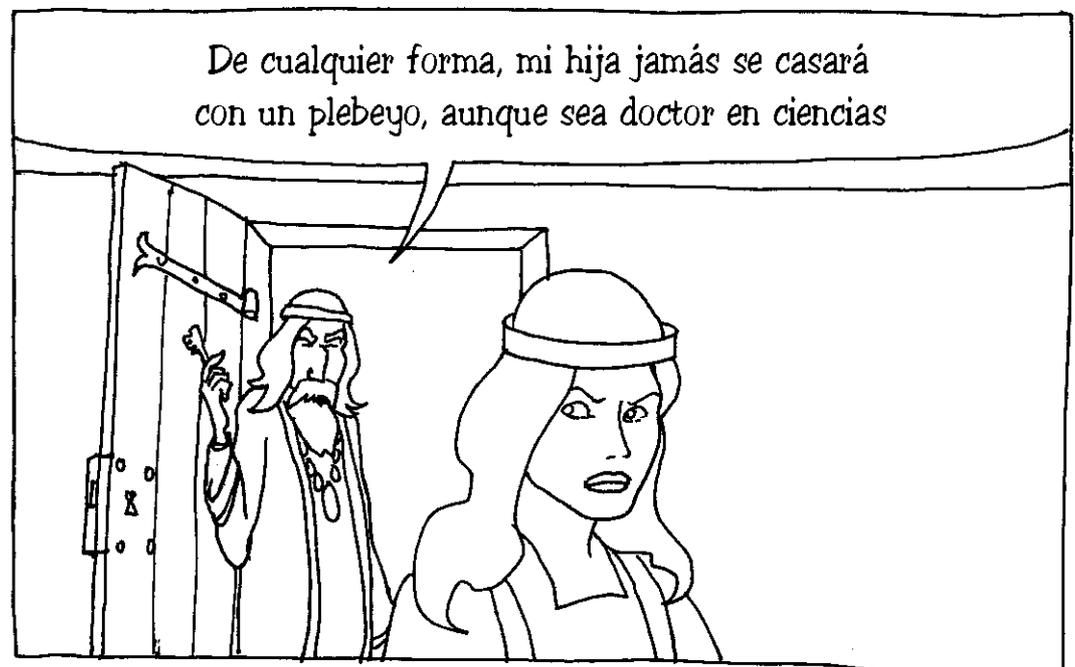
La segunda articulación es la **ARTICULACIÓN DE RESISTENCIA AL AVANCE**, que permite a las aspas oscilar como se ve aquí. Si estas articulaciones (o uniones flexibles) no existieran, el helicóptero experimentaría terribles vibraciones que podrían provocar la ruptura del rotor (*)



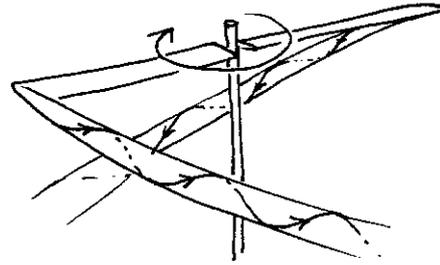
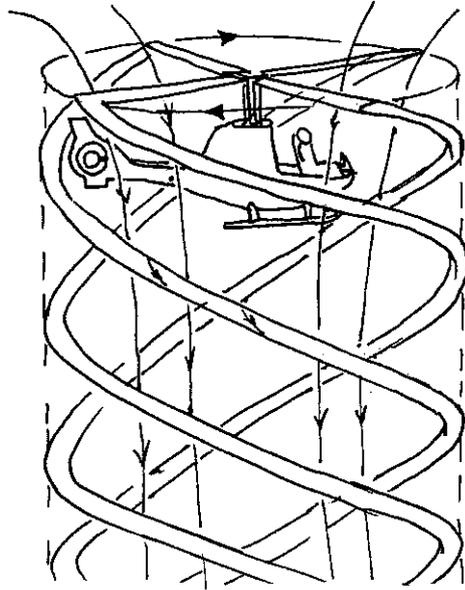
¿O sea que tengo problemas con la respuesta de los sistemas de segundo orden?



(*) En sus primeros ensayos con el **AUTOGIRO**, el español **DE LA CIERVA** tuvo que introducir muy pronto este sistema de "aspas articuladas más amortiguadores" so pena de ver romperse su rotor.



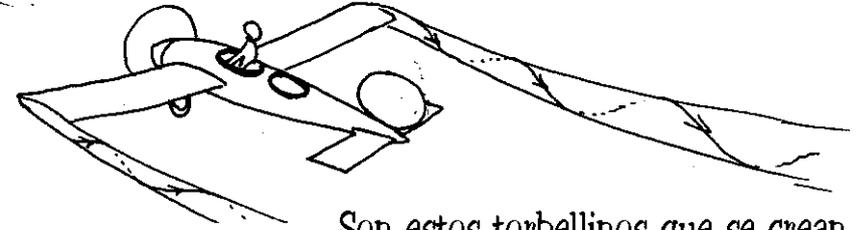
TRANSICIÓN



Las aspas del helicóptero son alas de gran longitud que dejan en su estela **TORBELLINOS MARGINALES**.



Esta turbulencia inútil representa una pérdida de energía



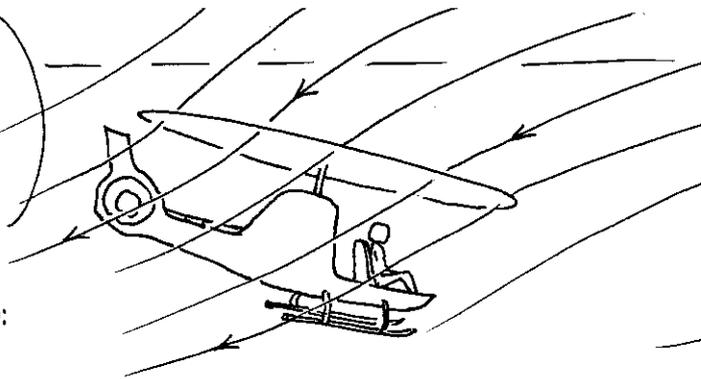
Son estos torbellinos que se crean en el extremo de las alas los que provocan a gran altitud condensaciones de vapor de agua (líneas de condensación).

A medida que el helicóptero se desplaza, la forma del flujo se ve completamente modificada. Los torbellinos pierden su importancia y, debido a ello, la máquina puede sostenerse a expensas de un menor gasto de energía.

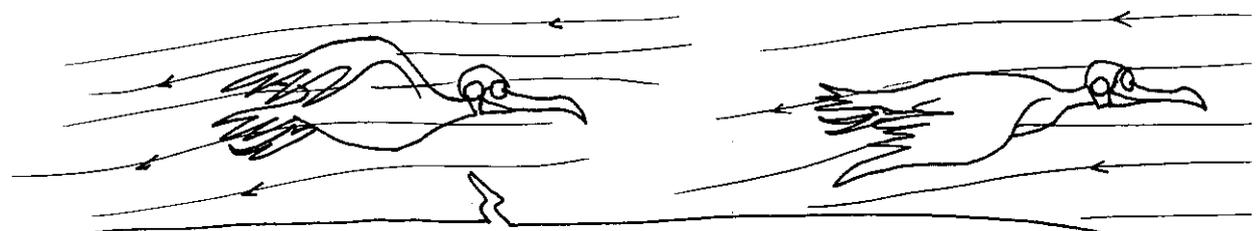
La Dirección



pájaro en vuelo estacionario:
fuerte turbulencia

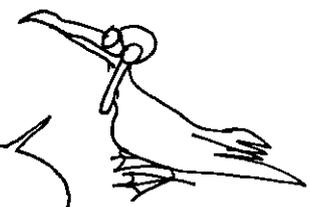


pájaro en translación



Al desplazarnos, el aire fluye entre las plumas con menor turbulencia. También desplazamos aire hacia abajo, pero gastando ahora menos energía

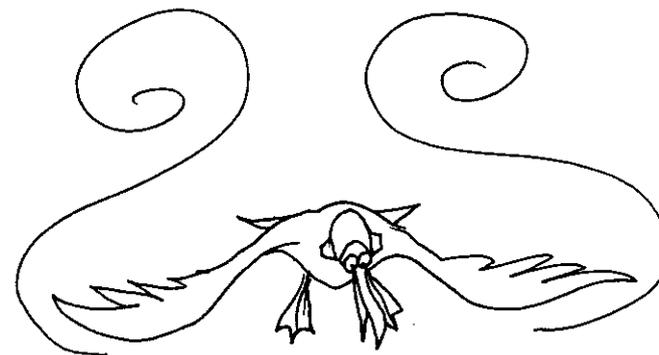
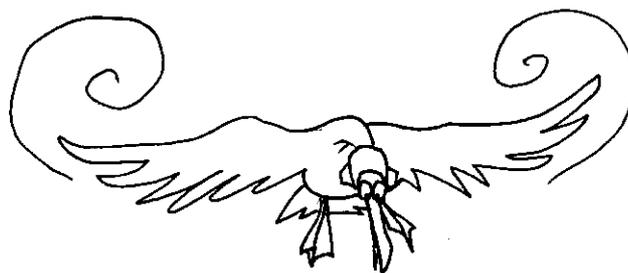
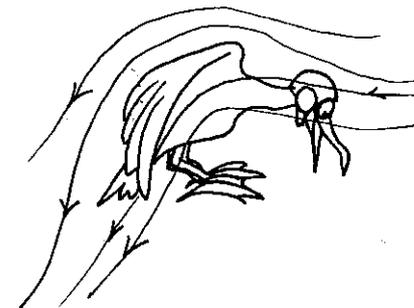
¿Y en la transición inversa?



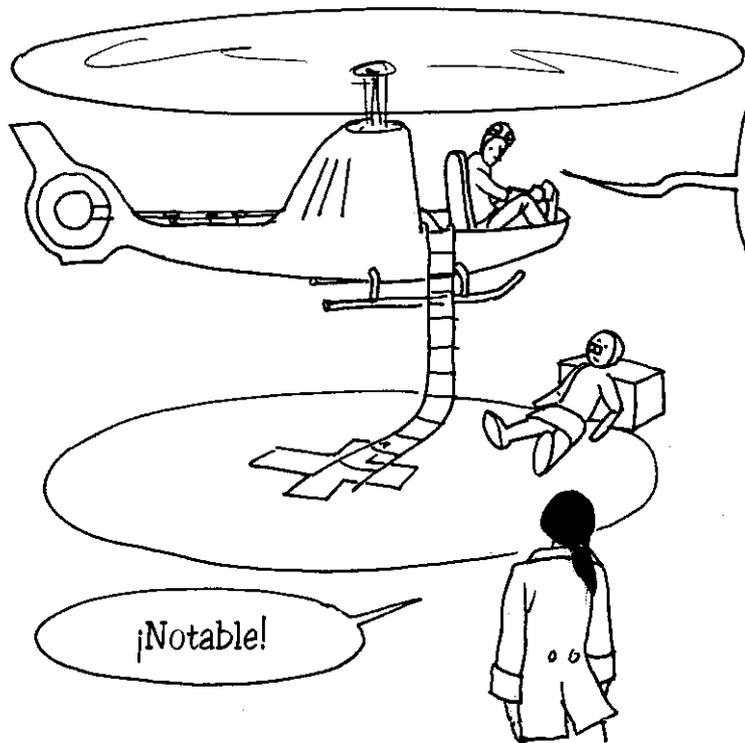
Nada raro. Puedes ver allá
abajo algo interesante, un pez...



Luego te inclinas para anular
tu velocidad e inmovilizarte en el aire

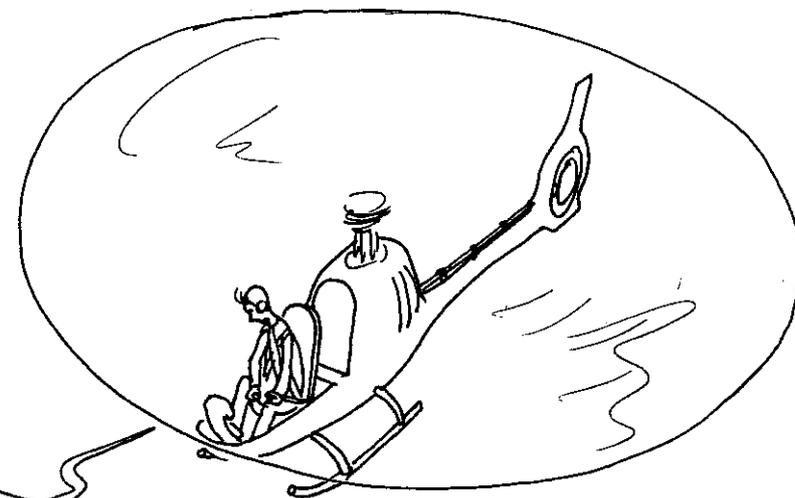


Y ahora adquieres un régimen de vuelo estacionario,
creando una fuerte turbulencia y por lo tanto gastando más energía



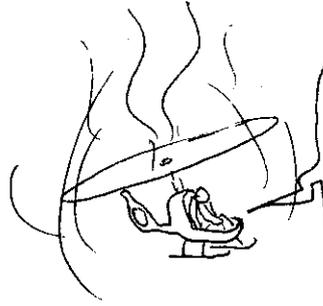
Ahora sí está todo listo, Pangloss.
La máquina es extraordinariamente estable y maniobrable.
Una vez que Cunegunda haya subido, despegaré lo más rápido posible para ponernos fuera del alcance de los arqueros del barón

¡Notable!



Sólo tengo que acercarme desde bien alto, pues la gente nunca mira hacia arriba lo que sucede en el aire, y después descender a la terraza a toda marcha





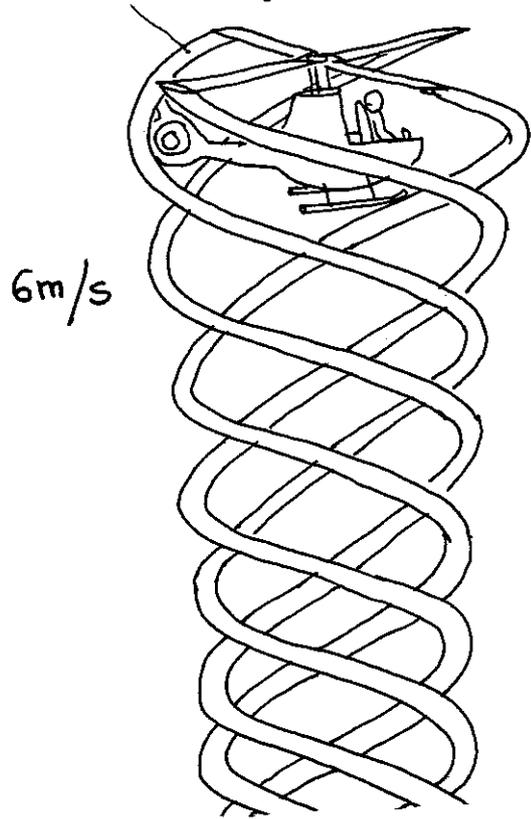
Tengo la sensación de que mi helicóptero se apoya sobre una especie de masa amorfa, completamente inestable. Tengo que salir de ella lo más pronto posible. ¡Decididamente, el descenso vertical rápido no es para nada bueno!

Erré el blanco, Pangloss.
El acercamiento completamente vertical no funciona

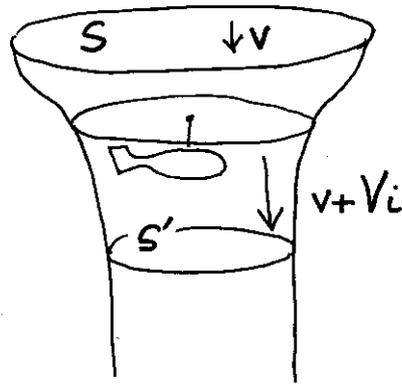


VELOCIDAD INDUCIDA

torbellinos en los extremos de las aspas



6m/s



$$\rho v S = \rho (v + V_i) S' \quad (*)$$

El hecho de que un helicóptero se suspenda "desplazando el aire hacia abajo" implica comunicarle a éste una **VELOCIDAD INDUCIDA** V_i que es del orden de 6 metros por segundo. Expulsando humo por los extremos de las aspas podremos ver materializado este fenómeno

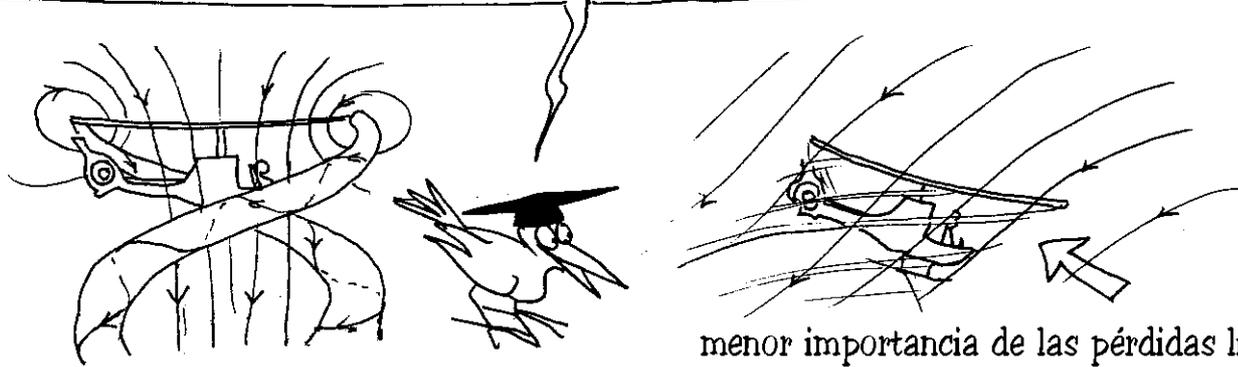


torbellino marginal

También un avión vuela "desplazando el aire hacia abajo", aunque el efecto de velocidad inducida es menos evidente

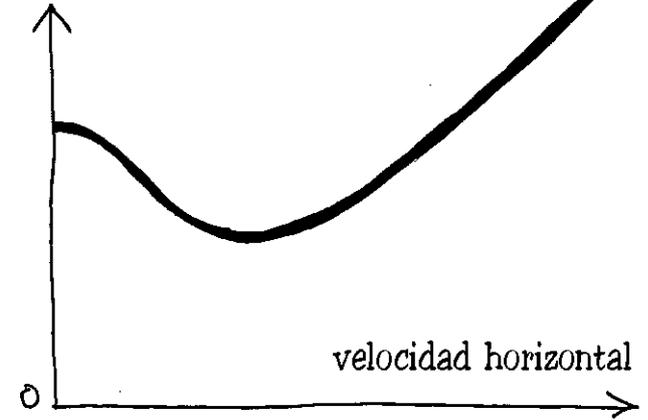
(*) Esta relación expresa la conservación de un flujo de aire de densidad volumétrica ρ constante, e implica que la sección S' es menor que la sección S .

Todo aquello que sea **COMO TORBELLINO** representa una pérdida de energía. El vuelo de translación contrarresta la aparición del régimen turbulento. Por lo tanto, esta manera de mantenerse a altitud constante consume menos energía



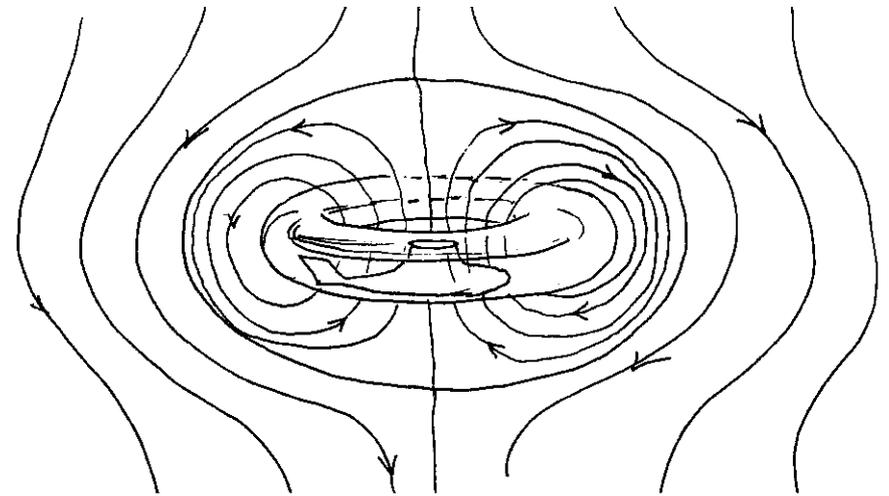
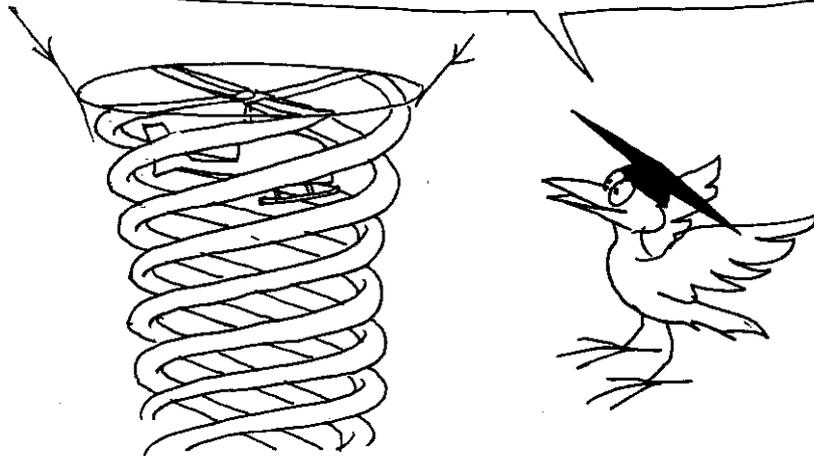
menor importancia de las pérdidas ligadas a los torbellinos en el extremo de las aspas

potencia necesaria para el vuelo



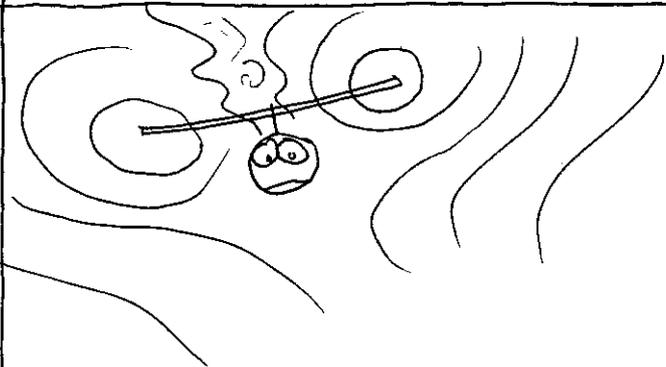
velocidad horizontal

Cuando el helicóptero intenta un descenso vertical, los torbellinos marginales interactúan cuando la velocidad vertical supera $\frac{1}{4} V_i$

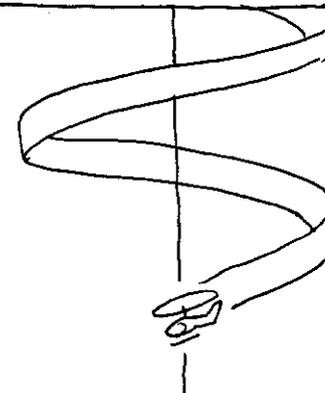


Cuando la velocidad de descenso alcanza los tres cuartos de la velocidad inducida V_i , los torbellinos se mezclan y dan origen a un gran **VÓRTICE** de forma tórica.

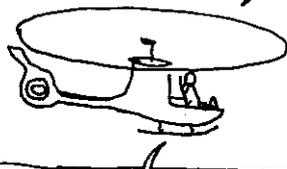
Cada aspa toma con retraso el torbellino marginal creado por el aspa precedente y lo amplifica, acrecentando las pérdidas. Además, esta geometría aerodinámica es muy inestable



Así, para descender sobre un lugar de aterrizaje los pilotos prefieren adoptar un acercamiento en espiral, conservando un régimen de translación



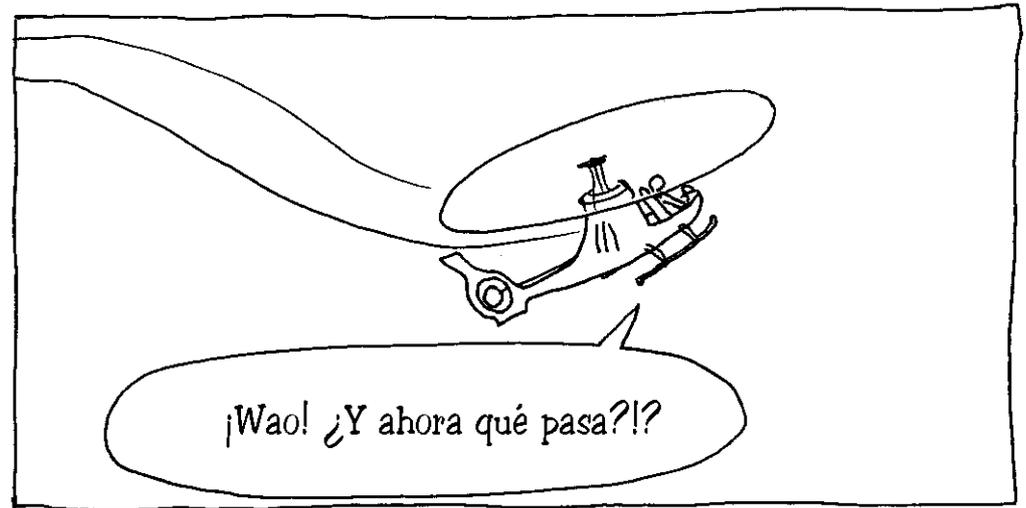
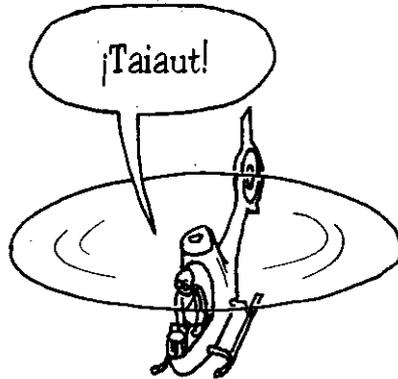
Moraleja: me acercaré a lo alto de la torre en un vuelo horizontal. Reduciré mi velocidad a lo último, pasando a un vuelo estacionario y efectuando un último descenso con una velocidad vertical moderada, digamos de un metro por segundo



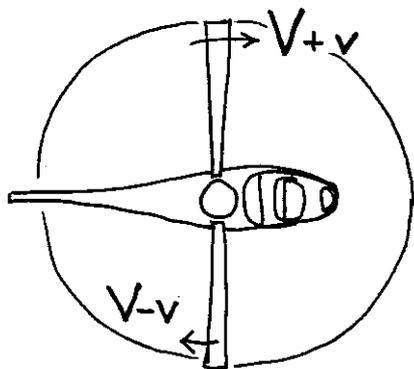
para evitar el peligroso paso a un **RÉGIMEN TURBULENTO**

Volvamos ahora a nuestros ensayos de vuelo

DESCOLGADA CON ASPA RECOLANTE



aspa avanzando



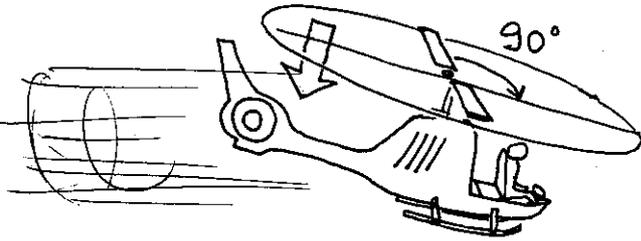
aspa retrocediendo



Sea V la velocidad del aspa en su periferia, y v la velocidad de vuelo del helicóptero. El **VIENTO RELATIVO** al que se encuentra sometida el **ASPA QUE AVANZA** es $V+v$. Y aquél al que está sometida el **ASPA QUE RETROCEDE** es $V-v$. Las fuerzas de presión que se ejercen sobre las dos aspas son, por lo tanto, diferentes.

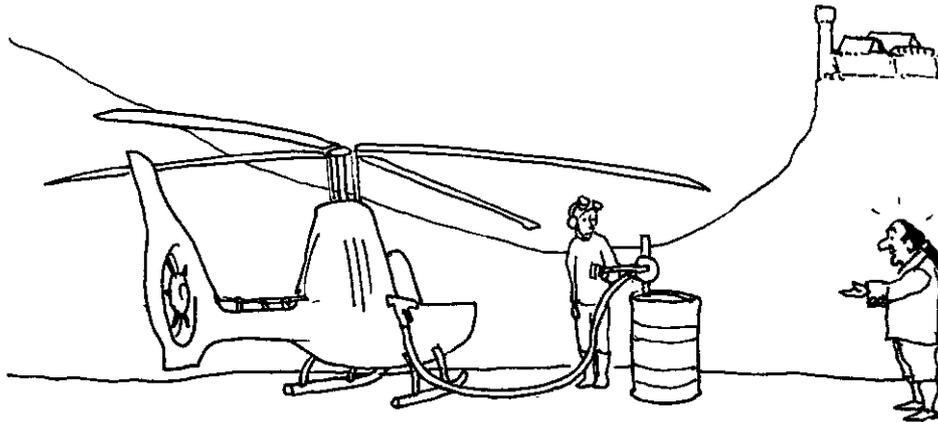


Se estaría tentado a pensar que, a gran velocidad, el helicóptero presentaría tendencia a balancearse de costado. Pero debido al retraso de 90° en la "respuesta" del aparato, ésta tiende a hacerlo encabritar



El sentido de giro de los rotores difiere de acuerdo al país. Así, en los helicópteros franceses el aspa que avanza está a la izquierda, mientras que en las máquinas norteamericanas está a la derecha. Pero ese detalle no cambia en nada lo dicho aquí.

La Dirección

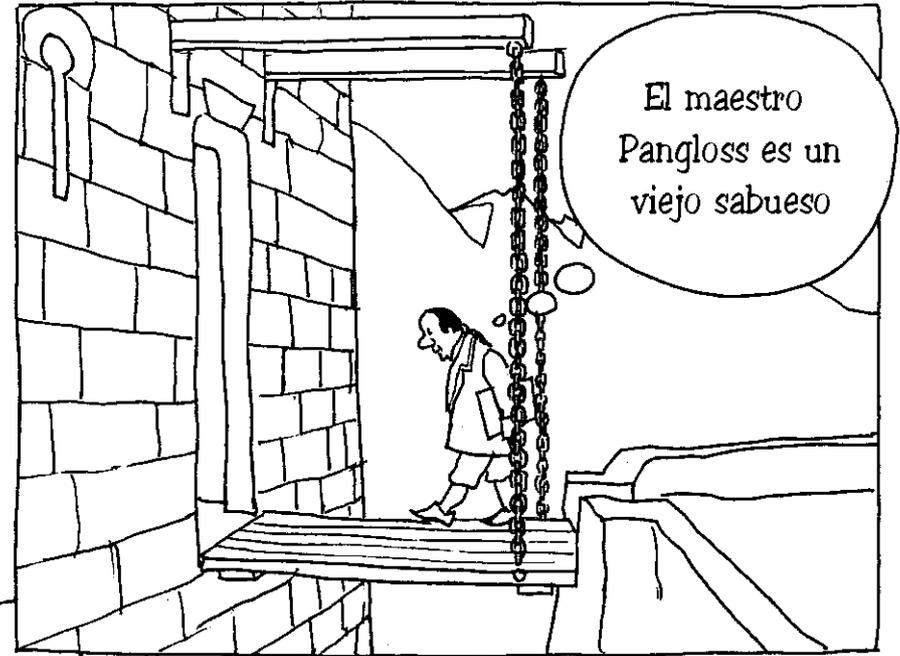


Cándido, estaba pensando en esto:
El barón ignora todos tus proyectos, pero la señorita Cunegunda también. ¿Quién te asegura que ella va a estar en la terraza de la torre cuando llegues volando allá?



Tienes razón,
maestro Pangloss.
¿Qué hacer?

Voy a cenar al castillo esta noche.
Encontraré la manera de prevenirla



El maestro
Pangloss es un
viejo sabueso



Ah, maestro Pangloss, cuéntanos una buena historia
plena de filosofía para que nuestra descarriada hija
pueda extraer de ella los mejores beneficios

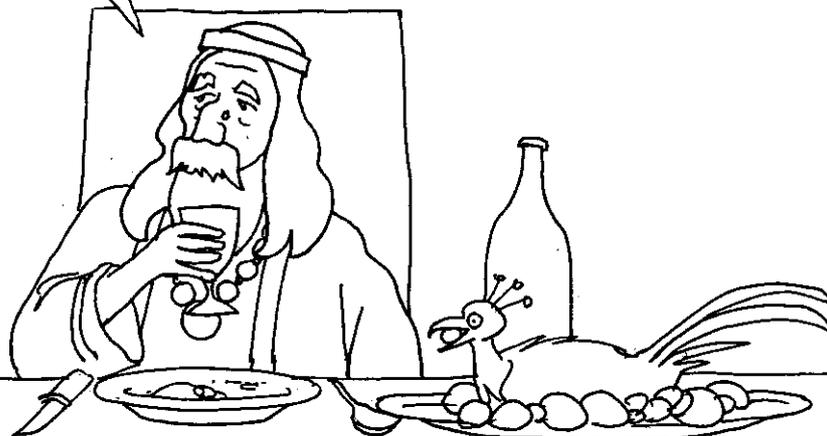
Sí, maestro, apreciamos mucho
vuestros cuentos filosóficos

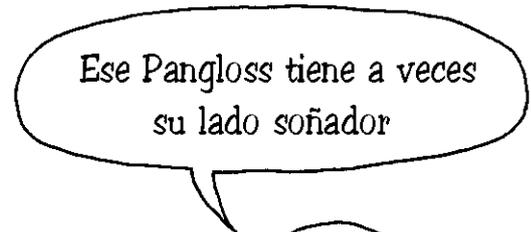
Había una vez...

... entonces el príncipe, a la hora en que tocaban las doce de la medianoche en la plaza del reloj, se montó en su alfombra voladora y fue a liberar a la princesa, que lo esperaba en lo alto de la torre más alta de su castillo



Ha sido una bella historia, Pangloss, aunque no he logrado captar... hum... todas sus implicaciones filosóficas





¡Figúrate, príncipes que viajan en alfombras voladoras!
¡¡Eso va contra las leyes de la física!!

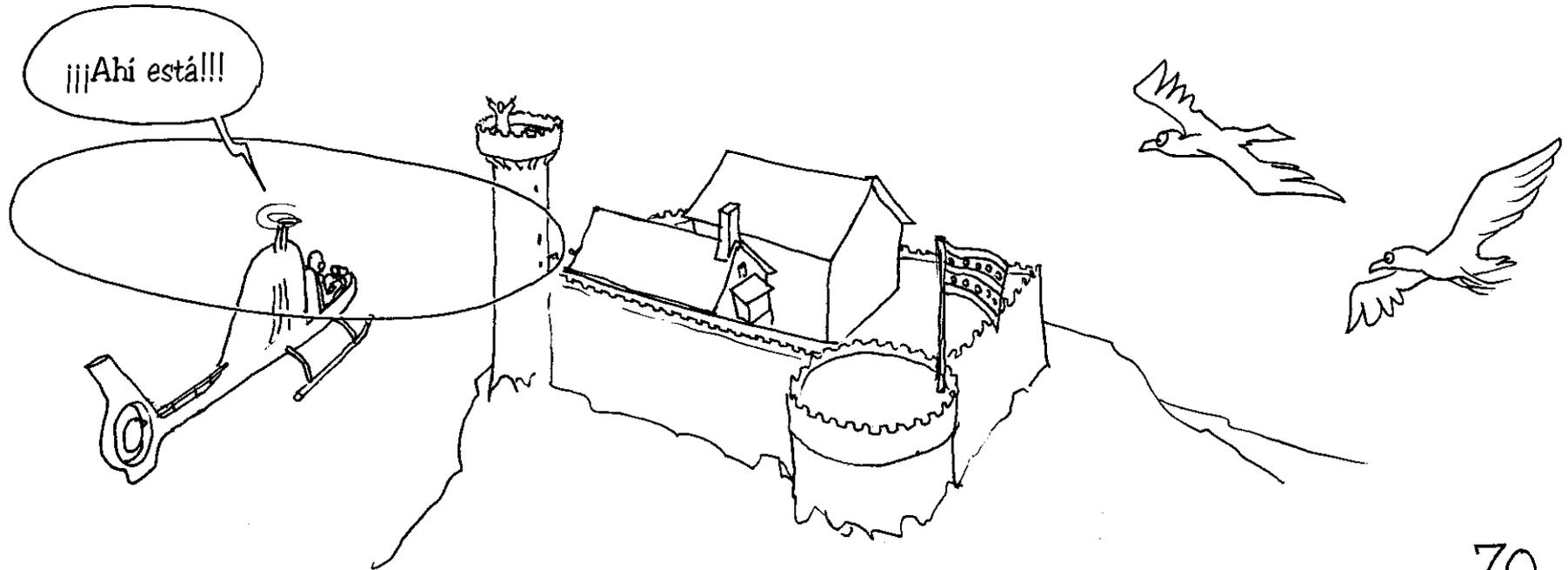




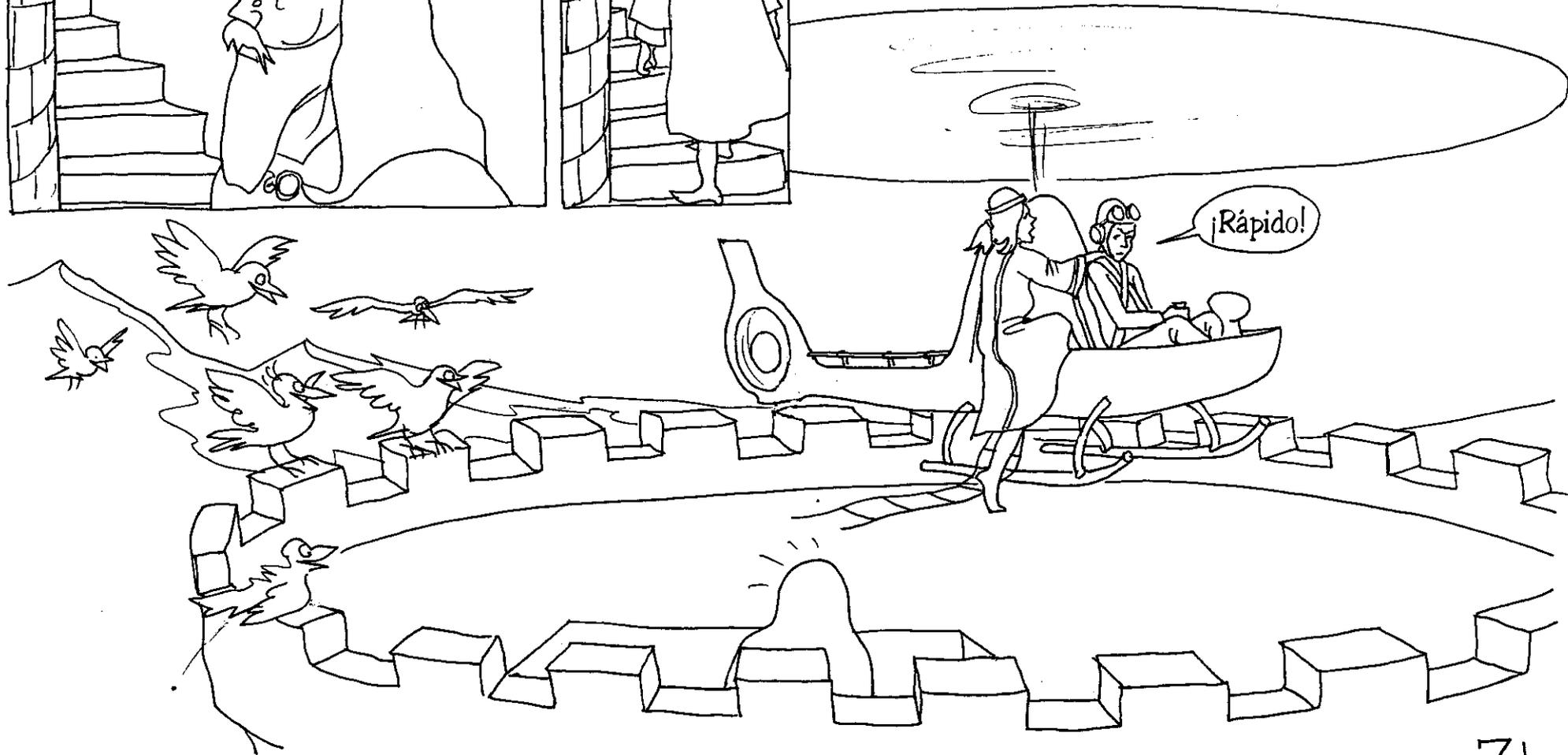
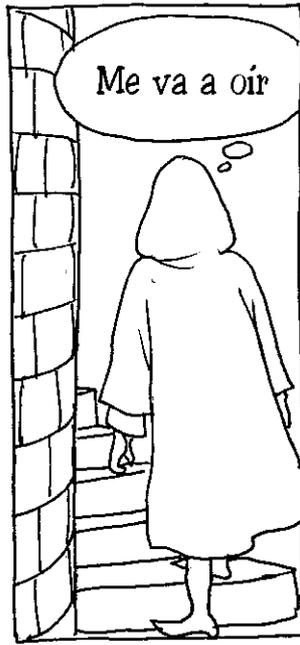
Despegue en cinco minutos. Puedes calentar el motor

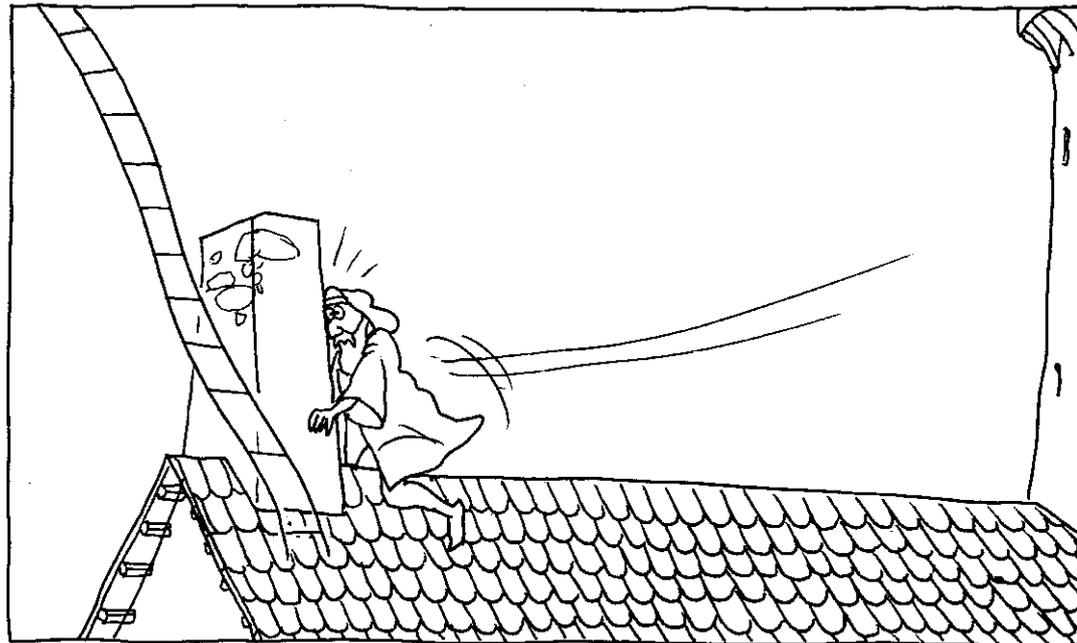


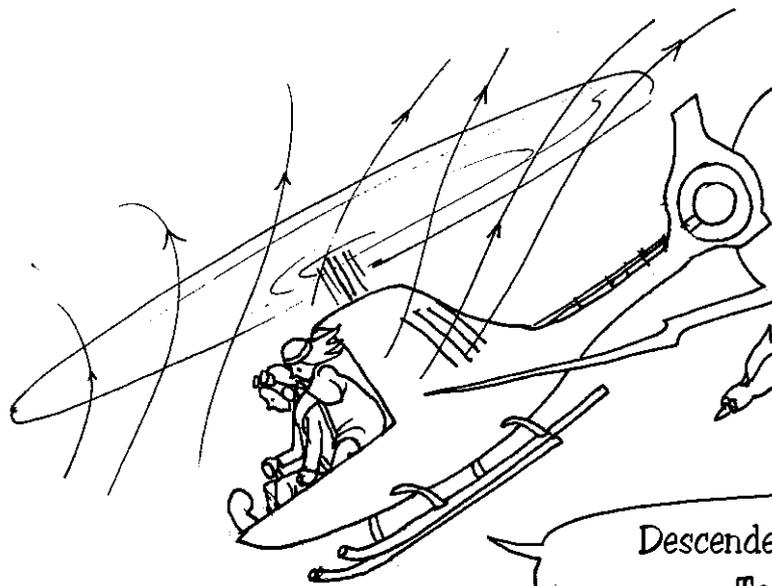
Pangloss dijo a medianoche. El reloj comienza a sonar, tengo que subir a la torre



¡¡¡Ahí está!!!







Muy bien, ahora el aire está en flujo inverso, pasando de abajo hacia arriba. Hemos cambiado a un régimen de **AUTORROTACIÓN**. Mi helicóptero se ha transformado en autogiro. La parte motriz y autogiratoria del rotor arrastra al resto

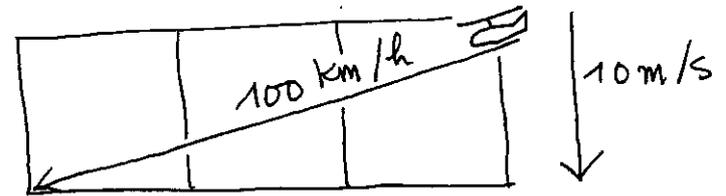
¿Entonces un helicóptero puede... planear?

¿Tú crees?

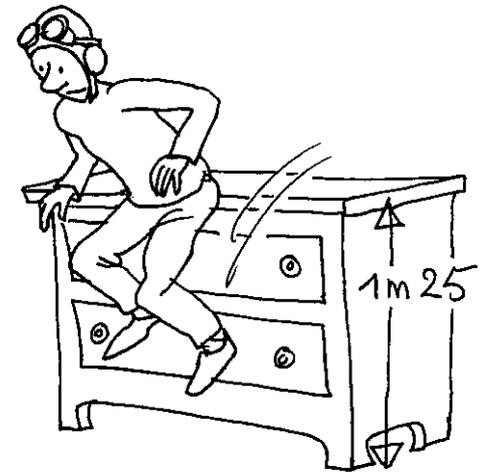
Descendemos bastante rápido, a unos 10 metros por segundo. Tanto como una piedra, aunque aún estamos lejos

En régimen de autorrotación, un helicóptero a una velocidad de 100 km/h corresponde a una **FINEZA** de 3. En autorrotación vertical la velocidad de caída sería de 20 m/s, y un impacto a esa velocidad acabaría con los tripulantes. Para fijar ideas, un ser humano puede encajar un impacto a 5 m/s, lo que equivale a saltar desde un armario (*). Un impacto a 10 m/s corresponde a un salto desde una altura de 5 metros.

La Dirección



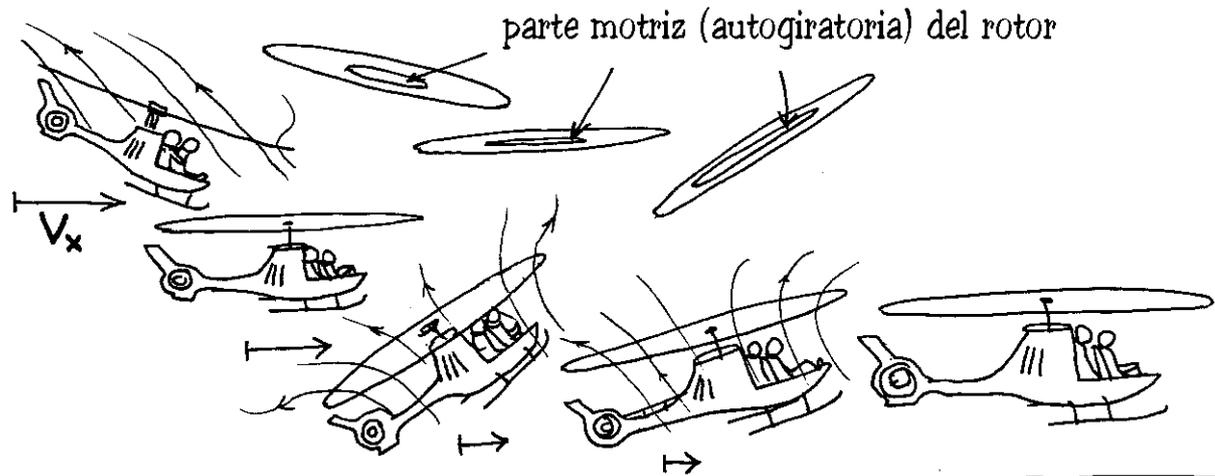
impacto a 5 m/s



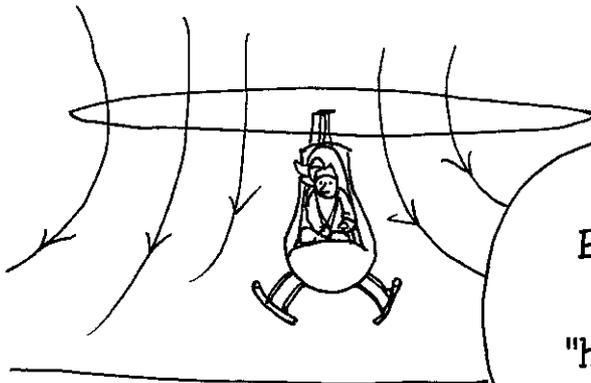
$$(*) V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20z} \text{ (metros)}$$

EL TOQUE FINAL (*)

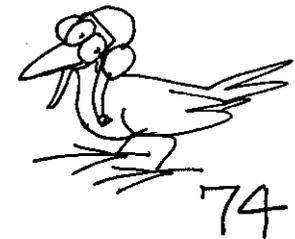
Voy a tener que improvisar una maniobra de último momento



A diez metros de altura, Cándido tira decididamente de su mando manteniendo el paso colectivo al mínimo. La máquina se encabrita y las aspas son enfrentadas por una incidencia de viento relativo mayor que aumenta la parte del rotor que es "motriz" y autogiratoria. De esta forma convierte la energía cinética de translación $\frac{1}{2} M V_x^2$ en energía de rotación. Después empuja nuevamente el mando.

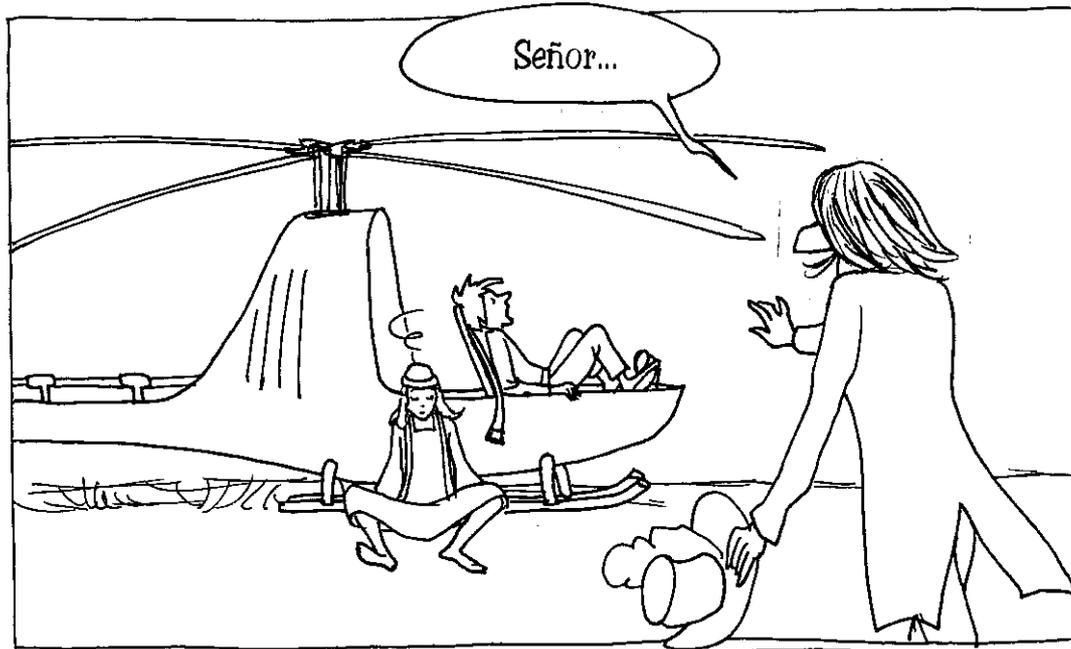


Ahora tira de la palanca de paso colectivo. El flujo de aire se invierte. El rotor pasa entonces del régimen de "autogiro" al régimen de "helicóptero". Aprovechando el efecto suelo utiliza la energía cinética almacenada por el rotor (**)



(*) Maniobra de frenado conocida en inglés y en francés como "flare" (NdT).

(**) En esta maniobra, el consumo de adrenalina es muy elevado.



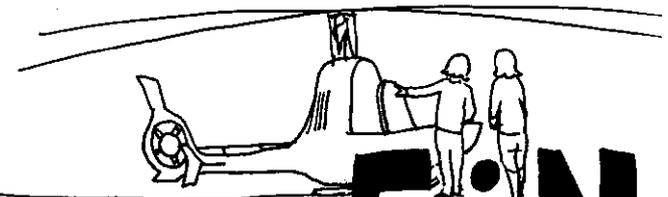
Que barón más fastidioso.
Es la primera vez que aparece algo
divertido, y él quiere poner prisionero a
su inventor. Vamos a arreglar esto.
Plissoneau, pásadme mi espada, os lo ruego



De rodillas, jovencito. Voy a nombrarte
marqués de Helicolandia.
Y serás desde ahora
mi ministro de
transportes de todos
los tipos



Já, marqués, eso es mejor aún
que barón. Entonces, padre, ahora
nos puedes dejar en paz



FIN

Ya lo ves entonces, mi querido Cándido, que todo apunta a lo mejor en el mejor de los mundos posibles. Así pues, si no hubieras sido echado a patadas en el trasero por la puerta del castillo por el barón, no habrías inventado el helicóptero

