

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

E.P.S. Ingeniería de Gijón  
Ingenieros Industriales 3<sup>er</sup> curso

Curso 2005-2006

**PRÁCTICAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS: SEMINARIO 7:**

# ***“EL BOOMERANG”***



Área de Mecánica de Fluidos

Eduardo Blanco  
Julián Martínez

Gijón enero 2006

## CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE BOOMERANGS.

La práctica consiste en la construcción y pruebas de lanzamiento de un boomerang.

El diseño y construcción deben ser propios. No se admitirán boomerangs que no hayan sido fabricados por los participantes.

Las dimensiones y el material son de libre elección (se aconseja envergadura menor de 400 mm).

Los participantes estarán agrupados en equipos de 5 alumnos (ver distribución de grupos en el anexo).

Cada equipo deberá presentar como mínimo un boomerang (es aconsejable tener al menos un boomerang de reserva).

En las pruebas cada equipo dispondrá de tres lanzamientos, a cargo de una o varias personas del equipo, con el mismo o diferentes boomerangs. Puntuará el mejor de los tres lanzamientos.

La puntuación será:

- Diseño: 60 %.
- Precisión (cercanía de la caída al punto de lanzamiento): 40 %.

El boomerang deberá alejarse un mínimo de 10 m del lanzador.

Si el boomerang se atrapa en el aire a su regreso, se obtendrá la máxima puntuación (aunque no se haya atrapado en el punto de lanzamiento).

Un intento de atrapar el boomerang que consiga detenerlo pero no sujetarlo antes de caer al suelo contará únicamente con la precisión del punto de contacto.

Un intento, voluntario o no, de atrapar el boomerang que consiga producir una brecha recibirá puntos (de sutura) solamente si la brecha es mayor de dos centímetros.

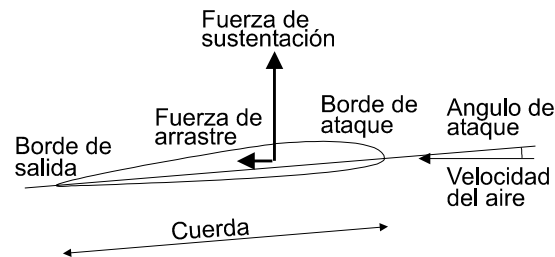
El jurado estará formado por varios profesores del área y, por consiguiente, sus decisiones serán justas e inapelables.

Las pruebas se realizarán en el "prao" central del campus (entre la Escuela de Marina y los edificios departamentales oeste), el jueves 26 de enero, a la hora correspondiente al grupo (recordar en el cuadernillo de los seminarios).

## CÓMO FUNCIONA UN BOOMERANG.

El hecho de conseguir que un palo mas o menos curvado pueda ser lanzado y regrese a las manos del lanzador está basado en sólidos principios físicos, de los cuales los más importantes son la sustentación aerodinámica y la precesión giroscópica.

El ejemplo más conocido de sustentación aerodinámica es el obtenido en las alas de los aviones. La sección de un ala tiene forma de perfil aerodinámico similar a la figura.



Al moverse el perfil en el aire, o el aire alrededor del perfil, que es lo mismo pero desde el punto de vista relativo, la forma del perfil hace que el aire tenga mayor velocidad por la parte superior que por la parte inferior. Esto hace que por la parte superior haya menos presión que por la inferior (confrontar con la ecuación de Bernoulli para un análisis cualitativo), lo que provoca una fuerza de sustentación perpendicular a la dirección del movimiento. La fuerza de arrastre, en la dirección del movimiento, es debida a la fricción y a la estela; tiene un valor muy inferior.

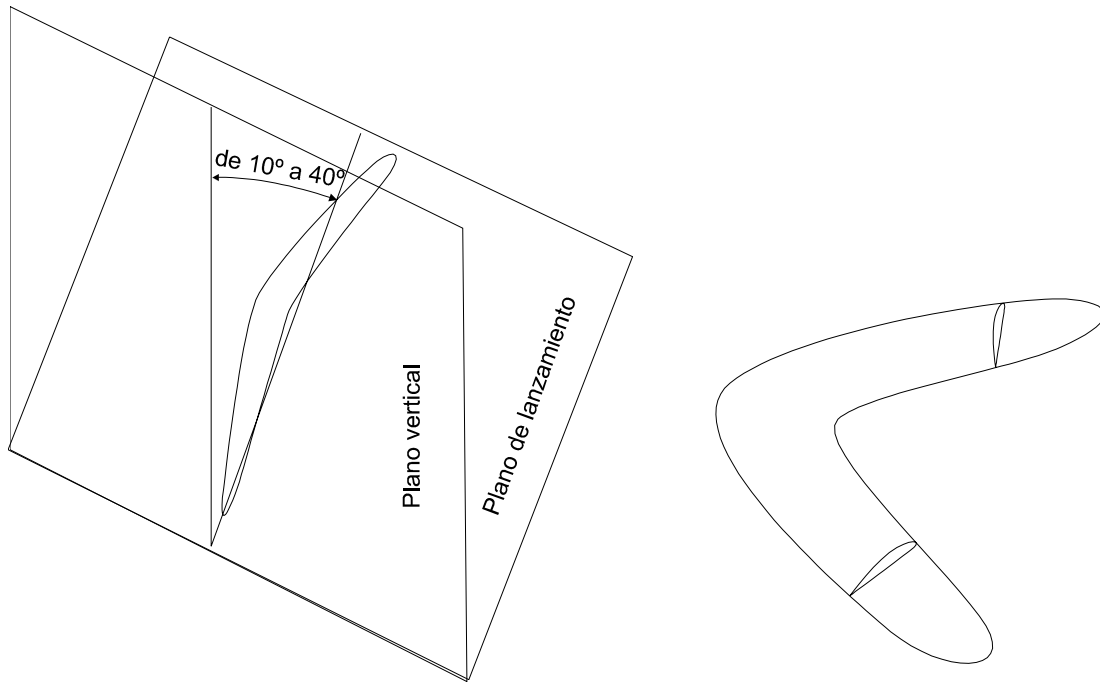
La fuerza de sustentación depende de la forma del perfil y es proporcional al área: cuerda x envergadura del ala, y al cuadrado de la velocidad (del ala o del aire, según se mire). También tiene una dependencia sustancial con el ángulo de ataque: aumenta con el ángulo, aunque a partir de un cierto valor cae bruscamente. Esto último es debido a la separación de la capa límite en la cara superior; se dice que el perfil entra en pérdida.

La precesión giroscópica es un fenómeno bien conocido de todos aquellos que han andado alguna vez en bicicleta sin manos. Cuando se deja suelto el manillar y se inclina el cuerpo hacia un lado, la rueda delantera, en vez de inclinarse, gira con respecto al eje vertical, consiguiendo –dentro de unos límites razonables- dar una curva manteniendo la bicicleta derecha. El análisis físico de este fenómeno dice que si se tiene un cuerpo girando -con un momento angular respecto a un eje- y se le aplica un momento respecto a un eje perpendicular al de giro, el cuerpo se inclina, pero no en el sentido del momento sino con un giro respecto al eje perpendicular a los dos anteriores. Este mismo principio es el que se observa en las peonzas.

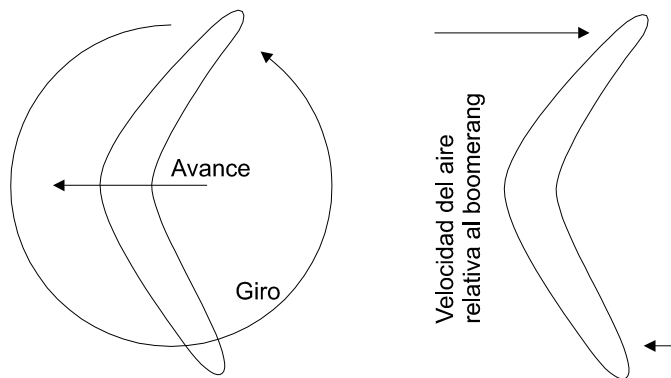
Volviendo a los boomerangs, hay que hacer notar, en primer lugar, que su forma no es simétrica: viene a ser como dos alas de avión puestas en un cierto ángulo pero una mirando hacia delante y otra hacia atrás.

En segundo lugar no se lanza en horizontal –como se lanzaría un “fresbee” sino con un pequeño ángulo de inclinación respecto al plano vertical. Este ángulo es distinto para cada boomerang.

Nota: todas las indicaciones que se dan a continuación son para boomerangs y lanzadores diestros; en el caso “zurdo” hay que aplicar simetría axial a todos los razonamientos.

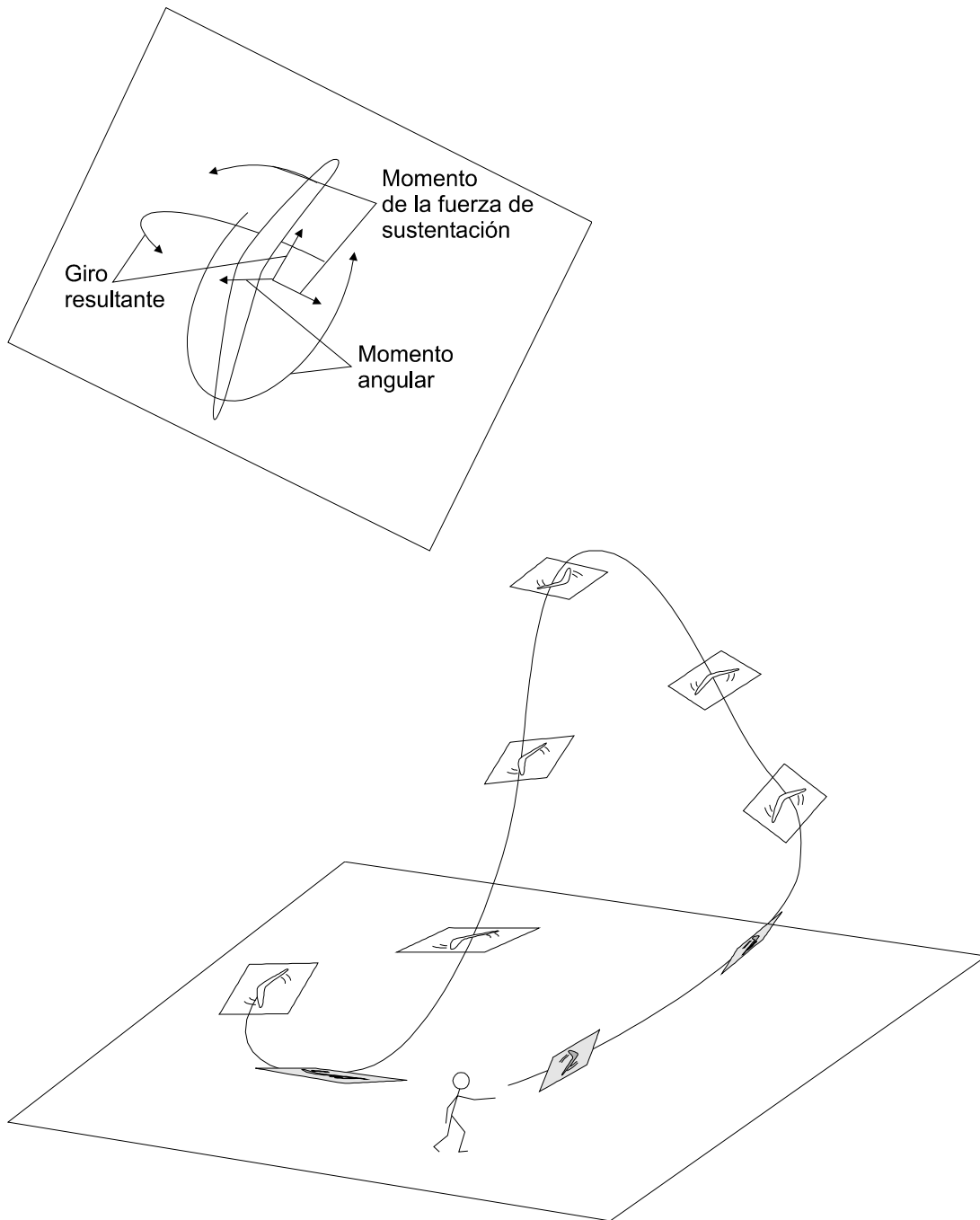


Al lanzarlo se imprime al boomerang un movimiento de avance y otro de giro. La suma de estos dos movimientos hace que la velocidad del aire, relativa al boomerang, sea mucho mayor en la parte superior que en la inferior (en cada pala cuando pasa por la parte superior).



La fuerza de sustentación produce un momento que, combinado con el momento angular que lleva el boomerang, resulta en un giro en el plano horizontal (casi).

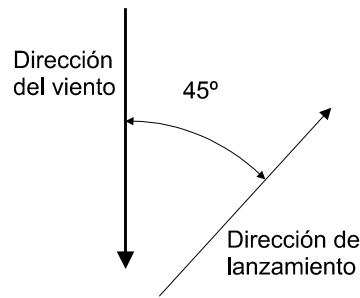
Esta combinación de fuerzas es la responsable del retorno del boomerang. Se lanza con una trayectoria horizontal o ligeramente elevada y girando en un plano con un pequeño ángulo de inclinación a la derecha respecto al vertical. Al avanzar, la precesión giroscópica hace que la trayectoria vaya curvándose hacia la izquierda y elevándose poco a poco, a la vez que el plano de giro tiende a ponerse más horizontal.



Cuando las fuerzas de arrastre han hecho disminuir en parte la velocidad de avance –un poco antes de la mitad del recorrido-, las palas empiezan a trabajar también en el resto del giro, y no sólo en la parte superior; la fuerza de sustentación se centra respecto al centro de gravedad y como está girando en un plano cercano al horizontal, el boomerang sube casi en vertical un poco hacia el lanzador. El movimiento ascensional finaliza cuando –debido también al arrastre- disminuye algo la velocidad de giro. En ese instante, el boomerang comienza a caer con dirección al lanzador o un poco hacia la izquierda. En la bajada se acelera (al cambiar la energía potencial en cinética) y comienza a trabajar otra vez sobre todo la punta en la parte más exterior del plano, creando un momento que por precesión giroscópica fuerza que el plano de giro se ponga más horizontal e incluso se levante respecto a la dirección de avance, disminuyendo su velocidad prácticamente a cero. Si se ha lanzado adecuadamente y está cerca del lanzador a la altura correcta, éste es el momento en el que se puede intentar recoger. En caso contrario suele desviarse un poco más a la izquierda, trazando una pequeña curva inversa a la que ha realizado hasta el momento, hasta caer al suelo.

Este es el comportamiento en el caso de que no haya viento o muy poco. En realidad, por flojo que sea el viento, tiene una influencia notable en la trayectoria del boomerang y, lanzado en la dirección

adecuada, facilita mucho el regreso del boomerang. Esta dirección varía con cada boomerang y con la intensidad del viento, pero es alrededor de  $45^\circ$  a la derecha de la dirección del viento.



El viento disminuye el ángulo de ataque en la primera parte del movimiento, retrasando su giro y elevación y permitiendo alcanzar mayores distancias. También ayuda en la elevación y en la curvatura de la trayectoria, permitiendo el retorno de boomerangs con menor sustentación. El viento puede hacer que un boomerang con bastante sustentación aparentemente bien lanzado pase muy por encima de la cabeza del lanzador y alcance distancias a su espalda muy superiores a las del frente, con gran peligro para los espectadores incautos o desprevenidos.

Aunque parezca mentira, la descripción anterior no es más que una simplificación. No se ha hablado nada del ángulo de elevación respecto a la horizontal en el lanzamiento, ni al posible desprendimiento que en ciertas circunstancias se da en la primera parte del movimiento, ni... Las trayectorias posibles son muy variadas y los efectos debidos a pequeños detalles como desigualdades de longitud o de perfil entre las palas, pueden ser muy importantes. En la práctica cada tipo de boomerang es diferente y cada uno tiene que aprender a lanzarlo a su manera.

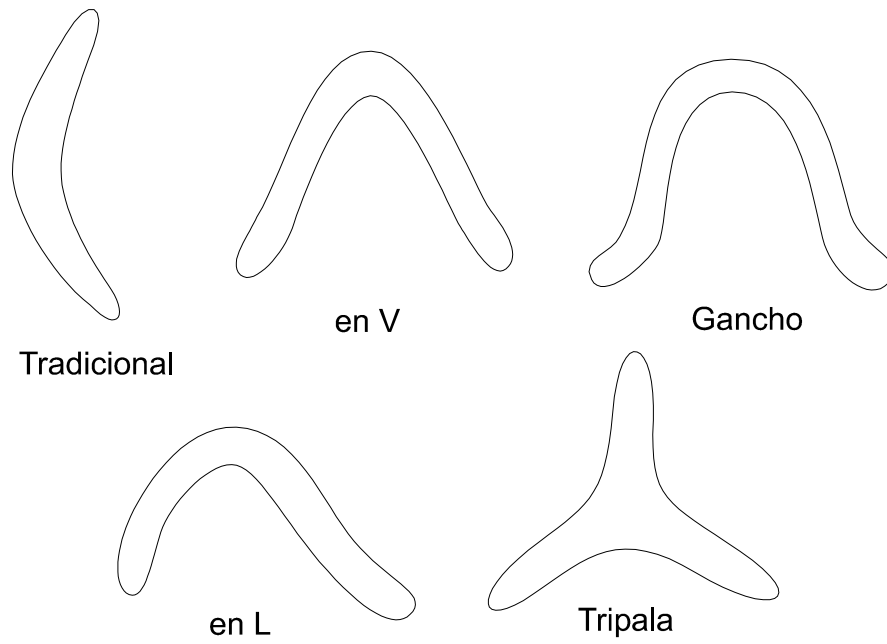
## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

Construir un boomerang que funcione es fácil (¿?). Las herramientas necesarias son una sierra, papel de lija y un poco de maña y paciencia.

El material más sencillo de conseguir es **contrachapado de madera de unos 5 o 6 mm** de espesor para un boomerang de una envergadura (distancia entre puntas) entre 250 y 400 mm. Envergaduras mayores necesitan espesores mayores. El **pvc expandido** de  $700 \text{ kg/m}^3$  y 4 mm de espesor es un material excepcionalmente fácil de trabajar y con el que se consiguen boomerangs muy ligeros y resultones. También son adecuados otros materiales plásticos: polipropileno, abs e incluso los compuestos de fibra y resina. El material va a influir sobre todo en el peso: un boomerang ligero volará bien con poco viento y uno más pesado necesitará un poco más de aire. También influye en la resistencia a la rotura frente a impactos directos al suelo.

Aunque parezca mentira, el diseño "tradicional" de las fotografías de aborígenes australianos es bastante difícil de hacer volar: tiene poco momento de inercia y se desestabiliza con facilidad. Las formas habituales tienen una curvatura mucho mayor, en busca de mayor momento de inercia.

Hay que hacer notar que las puntas de las palas son la parte que más trabaja en este invento, por lo que deberían estar trabajadas con esmero. Es habitual construir el perfil a partir de una sección rectangular rebajando, sobre todo, la parte superior. Sobre este perfil las modificaciones más sencillas para cambiar la sustentación se hacen recortando la parte inferior cerca del borde de ataque o el de salida. El recorte por la parte inferior del borde de ataque da más sustentación al perfil, aumentando el ángulo de ataque. Esta puede ser la solución para un boomerang que vuele poco o que sea demasiado pesado, aunque el ángulo de ataque tendrá menos margen y puede caer con más facilidad en desprendimiento. El recorte por la parte inferior del borde de salida disminuye la sustentación; ésta es una geometría típica de boomerangs para larga distancia, que se van a lanzar con mucha velocidad.



Perfil de cara inferior plana

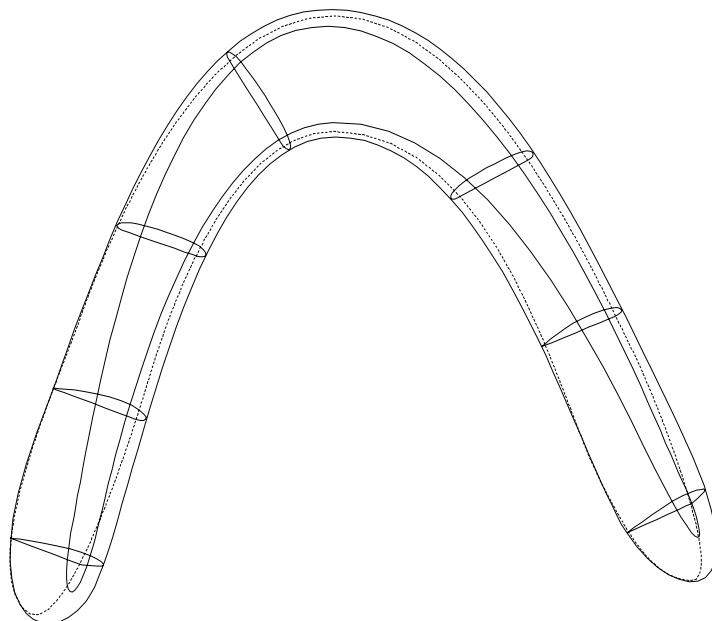


Recorte en la parte inferior del borde de ataque



Recorte en la parte inferior del borde de salida

La sección del perfil suele ir cambiando paulatinamente de una pala a la otra. En la figura se muestra un croquis típico de un boomerang. Obsérvese los rebajes de la cara superior y los de la cara inferior, así como la variación del perfil a lo largo de las palas.



## CÓMO LANZAR EL BOOMERANG

Se explican aquí los principios básicos para lograr que el boomerang salga de la mano del lanzador y tras un vuelo en forma circular, "retorne" hacia una posición cercana al mencionado lanzador.

### FORMA DE AGARRARLO:

Se debe coger de forma que el lanzador esté viendo el lado perfilado (superior o pintado) y, por tanto, el lado plano quede hacia fuera. Al volar, el lado plano queda por debajo y el lado perfilado hacia arriba. Obviamente, este hecho hace que si eres zurdo deberás girar el boomerang. En principio, no importa el extremo elegido para su lanzamiento ni la disposición de los dedos al agarrarlo, pero en cualquier caso debe ser agarrado *con firmeza*.



Fig. 1.- Posición de lanzamiento  
(brazo derecho de lanzador diestro)

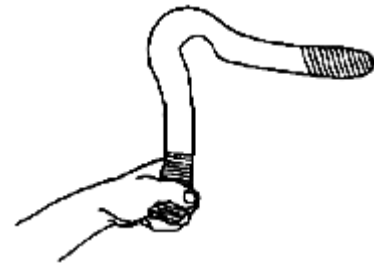


Fig. 2.- Posición de lanzamiento  
(brazo izquierdo de lanzador zurdo)

### PLANO DE LANZAMIENTO:

La disposición en el lanzamiento ha de ser de forma que el boomerang defina un plano vertical. En realidad, dependiendo de su construcción, deberá ser lanzado con un ángulo de *inclinación* comprendido entre 0 y 20° respecto a la vertical. Nunca debe lanzarse horizontalmente, pues entonces no se conseguiría el efecto deseado y tras elevarse en el aire, caería bruscamente al suelo con el consiguiente peligro de rotura. Es muy importante realizar el lanzamiento por encima del hombro y no lateralmente o con demasiado ángulo de *inclinación* (la forma lateral de lanzamiento es la idónea para fresbees, donde se busca precisamente la trayectoria ascendente-descendente, pero no para boomerangs).

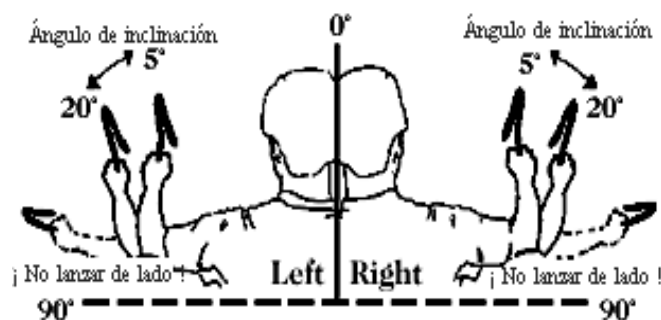


Fig. 3.- Esquema de la posición del brazo en el lanzamiento (Right para diestros y Left para zurdos).



### DIRECCION DEL LANZAMIENTO:

La dirección del lanzamiento con respecto a la del viento debe ser formando un ángulo entorno a  $45^\circ$  en el sentido de las agujas del reloj. Este valor varía de unos diseños a otros, pudiendo ser incluso de  $90^\circ$ . Por supuesto, en el caso de lanzadores zurdos, el ángulo será el simétrico (entorno a  $45^\circ$  en el sentido opuesto a las agujas del reloj).

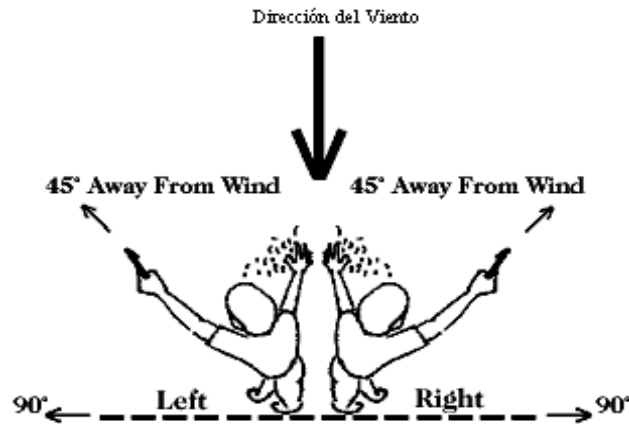


Fig. 4.- Dirección del lanzamiento respecto a la del viento.

### ELEVACIÓN:

Se debe lanzar el boomerang centrando el objetivo en un punto que esté ligeramente por encima de un hipotético plano horizontal que estuviera a la altura de la cabeza del lanzador.

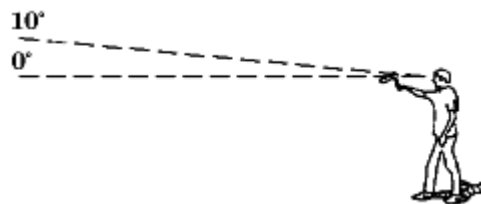


Fig. 5.- Trayectoria del lanzamiento del boomerang respecto a la horizontal.

### BUENO, VAMOS A VER, ALLÁ VA!!!

Lo primero que indican todos los manuales consultados es que se debe lanzar el boomerang con los dos pies en el suelo y haciendo una comprobación visual al frente para que evitemos el posible accidente cuando algún compañero/profesor pase por delante del lanzador (?).

Se podrían resumir los pasos básicos en cuatro:

- Búsqese un lugar donde no se moleste a nadie ni haya riesgos de accidente (?), es decir, donde no haya ventanas ... Además, sería deseable que hubiera viento lo más uniforme y moderado posible (ni poco ni demasiado).
- Se agarra el boomerang firmemente, girando el brazo hacia la espalda e inclinándose ligeramente hacia atrás. En esta situación el boomerang se encuentra prácticamente detrás de la cabeza del lanzador y, así, el lanzamiento es por encima de la cabeza de atrás hacia delante. Nunca se hace el lanzamiento de lado (ver posición 2 en la figura 6).
- Ayudándose de un ligero giro de cadera se impulsa con el brazo el boomerang hacia el punto de mira, procurando darle un último toque de muñeca que lo haga rotar sobre sí mismo. Recuérdese que el boomerang debe lanzarse en un plano cuasi-vertical. (ver posición 3 en la figura 6).
- Obsérvese la trayectoria del artillugio ( ; la suerte está echada ; ).



Fig. 6.- Secuencia de operaciones en el proceso de lanzamiento.

## RECOGIDA (¿TODO HA IDO BIEN?)

Después de familiarizarse con el *vuelo* del boomerang construido, de haber probado la influencia de todos los parámetros del lanzamiento y si todo va bien (?), se puede intentar recoger el objeto tras su recorrido aéreo.

Nunca se debe tratar de coger un boomerang que vuelva hacia el lanzador de forma oscilante (inestable), demasiado rápido o a mayor altura que el cuello del lanzador-receptor. La forma más sencilla de evitar lesiones en la recepción es tratar de hacerla apretando el boomerang entre las dos manos cuando se acerque (a modo de sandwich).



Fig. 7.- Recogida del boomerang con las dos manos.

Si se ha logrado recoger el boomerang con éxito unas cuantas veces usando el método descrito, se puede intentar hacer una recepción con una sola mano, o de forma más espectacular: por debajo de la pierna, usando la planta del pie o agarrándolo de espaldas. Sin embargo, estos métodos de recogida no se deben intentar en la fase de iniciación.

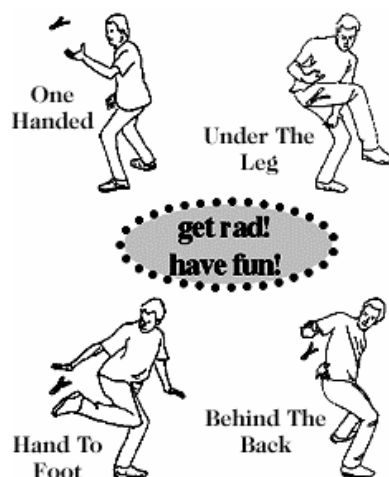


Fig. 8.- Como en América, podríamos decir.

**PROBLEMAS TÍPICOS Y SU SOLUCIÓN:**

A) El boomerang realiza el círculo deseado, pero aterriza por delante del lanzador. La solución es lanzarlo con un menor ángulo respecto a la dirección del viento.

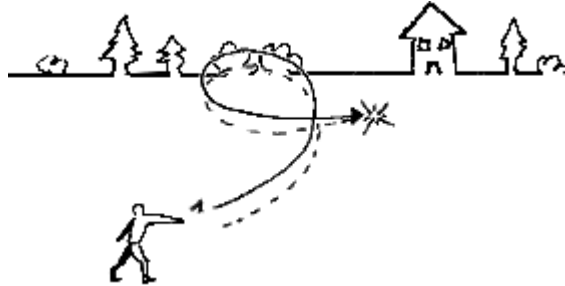


Fig. 9.- Problema de lanzamiento demasiado desviado del viento.

B) El boomerang realiza el círculo deseado, pero aterriza por detrás del lanzador. La solución es lanzarlo con un mayor ángulo respecto a la dirección del viento.

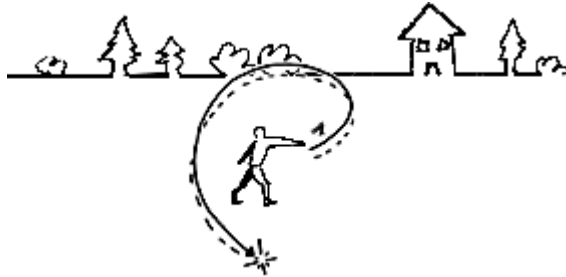


Fig. 10.- Problema de lanzamiento demasiado dirigido hacia el viento.

C) El boomerang sigue la trayectoria deseada pero aterriza demasiado pronto. Esto es debido a que el lanzamiento fue demasiado suave. Habría que lanzarlo con más energía y dándole mayor velocidad de rotación.

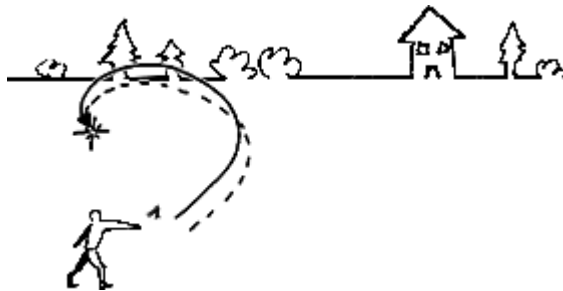


Fig. 11.- Lanzamiento demasiado suave.

D) El boomerang gira bien y vuelve en la dirección adecuada, pero planea muy por encima de la cabeza del lanzador. La solución consistiría en lanzarlo más suave o con menor ángulo de inclinación.

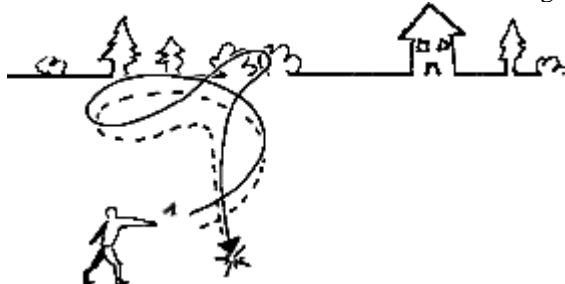


Fig. 12.- Lanzamiento demasiado fuerte.

E) El boomerang asciende rápidamente y después cae al suelo sin completar el círculo. Este es un problema **muy común** cuya solución pasa por lanzar el boomerang en un plano más vertical (menor ángulo de *inclinación*).

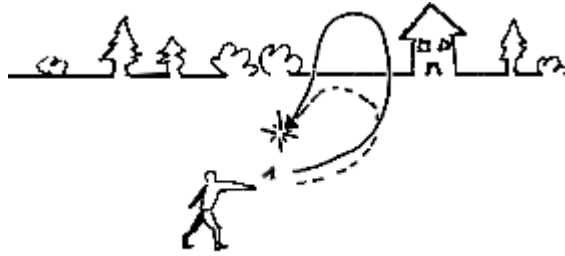


Fig. 13.- Lanzamiento con demasiado ángulo de inclinación.

F) El boomerang se acerca e incluso toca el suelo en medio del vuelo. Esto es porque se ha lanzado demasiado vertical y hay que incrementar ligeramente el ángulo de *inclinación*.

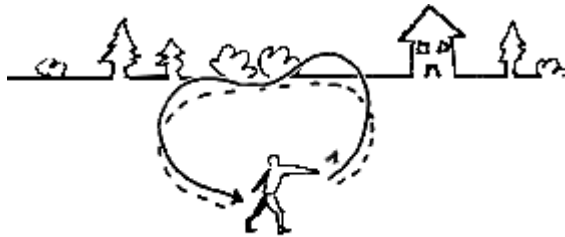


Fig. 14.- Lanzamiento con poco ángulo de inclinación.

G) El boomerang no gira y cae al suelo tras ser lanzado. Esto es porque se ha lanzado en una dirección demasiado elevada y se deberá apuntar hacia una dirección más cercana a la línea de horizonte.

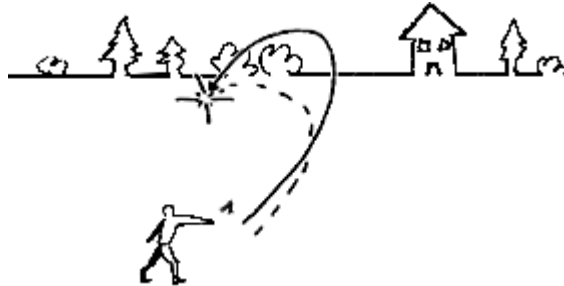


Fig. 15.- Lanzamiento demasiado alto.

H) El boomerang no asciende sino que cae directamente al suelo y va dando botes. Esto puede ser bien porque se ha lanzado del lado erróneo (con la cara plana hacia fuera) o con la mano cambiada. La solución para este caso es obvia (girar el boomerang o cambiarlo de mano). También ocurre esto cuando se lanza demasiado bajo.

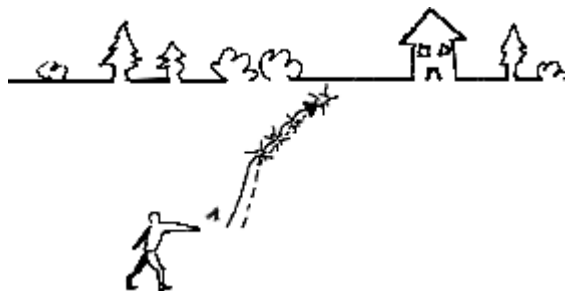


Fig. 16.- Lanzamiento demasiado bajo o cambiado de mano.

### Lanzamiento en condiciones de viento fuerte:

En este caso, el boomerang tiende a realizar el vuelo y, al hacer el giro, vuelve demasiado rápido, sobrepasando al lanzador. Se pueden adoptar varias soluciones:

- a) Lanzar el boomerang más verticalmente (con menor ángulo de *inclinación*).
- b) Lanzar el boomerang con más elevación y con gran momento angular. En condiciones normales, el boomerang caería a la mitad de su vuelo, pero con un día de mucho viento, esto no ocurrirá. Cuanto más fuerte sea el viento, con más elevación hay que lanzar el boomerang. Normalmente, la combinación de estas dos primeras soluciones funciona bastante bien.
- c) La mejor solución, sin embargo, es añadir *flaps* al diseño del boomerang y luego lanzar normalmente. Se recomienda colocar dichos *flaps* en la cara superior, para forzar el desprendimiento de una parte de la envergadura, no excesivamente cerca de las puntas, tal y como puede verse en la figura 17. Cuanto más fuerte sea el viento, más cantidad de *flaps* habrá que colocar. Dichos *flaps* se pueden hacer, por ejemplo, con cinta aislante que se enrolla en el boomerang y al ir enrollando se permite que un tramo se pegue sobre sí misma originándose el *flap* (ver la figura 17).
- d) Otra solución es añadir peso al diseño. Esto se puede hacer usando monedas o similar que se pueden fijar al boomerang en su zona plana usando nuevamente cinta aislante. No se puede dar una ley general para el peso total requerido ni la posición de su colocación en el boomerang.
- e) Diseñar el boomerang específicamente para vientos fuertes. Hay diseños especiales con perfiles de baja sustentación, que son ideales para dichas condiciones de funcionamiento.



Fig. 17.- Colocación de flaps sobre el boomerang.