

Estudio de las aceleraciones en Medicina aeronáutica

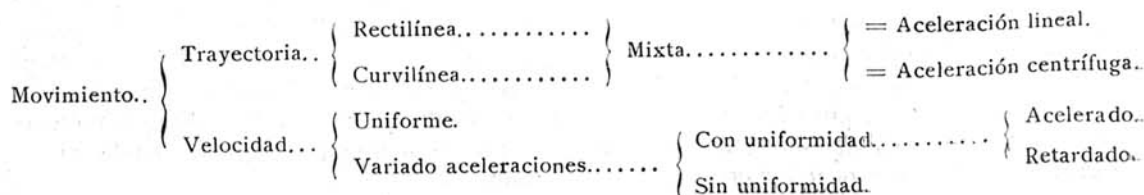
Por FELICIANO MERALLO MAGDALENA
 Capitán Médico de Sanidad del Aire.

Generalidades.

En el concepto corriente, aceleración es el aumento o disminución de velocidad, pero científicamente, en Física, y en Aeronáutica, se entiende por aceleración tanto el cambio de magnitud en la velocidad como un cambio de dirección en la misma. Llamamos al cambio de magnitud en la velocidad con el nombre de aceleración lineal, y al cambio de dirección de la misma, aceleración centrífuga.

En todo movimiento hemos de distinguir dos conceptos fundamentales: Trayectoria y velocidad. Trayectoria es la línea que describe un punto del cuerpo en movimiento, y por ella dividimos los movimientos en rectilíneos y curvilíneos, y velocidad es el espacio que recorre un móvil en la unidad de tiempo; por ella los movimientos pueden ser uniformes y variados. Uniforme cuando en tiempos iguales recorre espacios iguales, y variados cuando los espacios recorridos son desiguales. Este movimiento variado puede ser, a su vez, acelerado si la velocidad va aumentando proporcionalmente o no al tiempo, y retardado si la velocidad disminuye.

En estos conceptos físicos del movimiento, trayectoria y velocidad se encuentran los conceptos de aceleraciones, según se indica en el siguiente cuadro:



Paralelogramo de velocidades.

Es interesante, por otro lado, tener una idea clara del concepto de composición y descomposición de velocidades para conocer el valor de las aceleraciones en aeronáutica, porque frecuentemente vendrá a aplicarse en multitud de ocasiones: Si a un cuerpo se le han comunicado simultáneamente dos velocidades distintas, según dos direcciones diferentes, entonces de hecho se mueve en una sola dirección, con una velocidad determinada, dada por la diagonal del paralelogramo construido sobre sus velocidades. Igualmente, si se le han comunicado simultáneamente muchas velocidades arbitrarias, se puede hallar también una resultante construyendo el paralelogramo de dos velocidades; después el de esta resultante hallada y otras de las velocidades, y así sucesivamente.

Concepto y unidad de aceleración.

La aceleración es la cuantía del cambio de velocidad, y es independiente de la masa. Si consideramos un paracaidista y un paracaídas que fueran arrojados al vacío, ambos, cualquiera que fuera su masa y su peso, serían atraídos al centro de la tierra con una velocidad uniformemente creciente o aceleración igual a 981,5 cm/seg², o sea 32,3 pies/segundo² en el sistema inglés. Esta acelera-

ción gravitatoria designada por "g" ha sido adoptada como unidad. Se la puede medir mediante un instrumento llamado acelerómetro, del que se indica un esquema en la figura núm. 1, y que consiste, en esencia, en un peso que distiende un resorte en el interior de un cilindro. La posición que adopta, sometido a la acción de la gravedad, el peso en el interior del cilindro, se señala en éste con "1 g". Añadiendo una serie de pesos semejantes se construye una escala de múltiplos del peso inicial que se señalan con

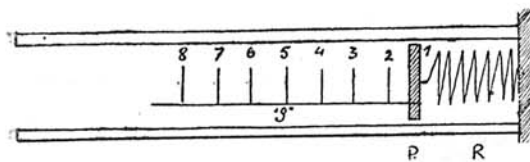


Fig. 1.

los números "2 g", "3 g", etc. Si este aparato se mueve bruscamente hacia arriba o se hace girar en una centrífuga, el muelle se alarga, descendiendo el peso, y se puede leer la aceleración en términos de unidades "g". A la inversa, si el aparato se desplaza hacia abajo con rapidez, el peso asciende y arroja valores negativos. Con este sencillo experimento recordamos que las aceleraciones pueden ser lineales o centrífugas, así como positivas y negativas. Además, se pone de manifiesto que el desplazamiento del peso se realiza en dirección opuesta a la del instrumento.

Aceleración lineal.

Sabemos que es el aumento o disminución en la magnitud de la velocidad. Es lo que se conoce con el nombre de movimiento uniformemente acelerado o retardado (o simplemente variado).

Preciso será recordar brevemente las ecuaciones generales del movimiento uniforme: Espacio igual a velocidad por tiempo. $e = vt$. De la ecuación del espacio derivan las del tiempo y velocidad:

$$t = \frac{e}{v} \text{ y } v = \frac{e}{t}$$

De todas ellas la que más aplicación tiene es la de la velocidad.

Las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado nos darán la fórmula para

conocer el valor de la aceleración lineal en Aeronáutica. Aceleración en general es el aumento constante que experimenta la velocidad de un móvil en cada unidad de tiempo, o, lo que es lo mismo, la relación entre la velocidad y el tiempo:

$$a = \frac{v}{t}$$

De esta expresión se deducen las ecuaciones de la velocidad y el tiempo en función de la aceleración:

$$v = at \text{ y } t = \frac{v}{a}$$

La ecuación del espacio en este movimiento variado es:

$$e = \frac{1}{2} at^2$$

que indica que el espacio que recorre un móvil con movimiento acelerado es igual a la mitad de la aceleración por el cuadrado del tiempo empleado en recorrerlo. Ecuación que se desprende de la siguiente consideración: Lo que un móvil recorre con movimiento uniformemente variado, igualmente puede recorrerlo con movimiento uniforme y velocidad media. La ecuación del espacio en el movimiento uniforme es igual $e = vt$, y la velocidad media sería la velocidad de comienzo, igual en este caso a 0, y la velocidad final igual at , dividida por 2. Es decir:

$$\frac{0 + at}{2};$$

y sustituyendo en la ecuación $e = vt$, v por su valor tendríamos que:

$$e = \frac{0 + at}{2} \cdot t = \frac{1}{2} at^2$$

De las dos ecuaciones, de la velocidad y del espacio, se deduce que la velocidad, en función del espacio y de la aceleración, es igual a la raíz cuadrada del doble del espacio por la aceleración:

$$v = \sqrt{2ea};$$

fórmula que se obtendrá despejando t en la expresión de la velocidad y sustituyendo su valor en la del espacio:

$$t = \frac{v}{a}; \quad e = \frac{1}{2} at^2; \quad e = \frac{1}{2} a \frac{v^2}{a^2} = \frac{v^2}{2a};$$

$$v^2 = 2ea, \quad v = \sqrt{2ea}$$

Ecuación de gran interés aeronáutico, porque de aquí se desprenderá la ecuación para conocer el valor de la aceleración en las operaciones lineales,

$$a = \frac{v_2^2}{2e}$$

Fórmula que es idéntica a

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2e}$$

que viene en los libros de Medicina Aeronáutica, si se tiene en cuenta que la velocidad inicial de un aeroplano en vuelo no es 0 sino v_1 . Siendo:

- a = aceleración.
- v_2 = velocidad final en m/seg.
- v_1 = velocidad inicial en m/seg.
- e = espacio en que ocurre este cambio de velocidades.

Por otro lado, esta última ecuación se consigue de la siguiente manera: La velocidad de un movimiento uniformemente acelerado es igual a:

$$v_2 = v_1 + at,$$

y el espacio es, si la velocidad inicial no es 0, sino

$$v_1 \cdot e = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2.$$

Resolviendo t en ambas ecuaciones:

$$t = \frac{v_2 - v_1}{a}; \quad t = \frac{-v_1 \pm \sqrt{v_1^2 + 2ae}}{a};$$

$$\frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{-v_1 \pm \sqrt{v_1^2 + 2ae}}{a};$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2ae}; \quad v_2^2 = v_1^2 + 2ae;$$

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2e}$$

Magnitud de la aceleración lineal.

Hemos de considerar el descenso en paracaídas en primer lugar por constituir la forma más sencilla de aceleración lineal. De acuerdo con la ley de la gravedad, un hombre despedido de un aeroplano cae con

una velocidad progresivamente creciente. Sin embargo, como el espacio está ocupado por el aire, la fuerza de la resistencia opuesta por éste alcanza, al cabo de unos segundos, el valor de la fuerza de la gravedad, y el sujeto, desde este momento, caerá con una velocidad constante, poco más o menos, modificada sólo por la densidad de la atmósfera y la posición del cuerpo. Aparte de los efectos psíquicos correspondientes, una caída de esta clase en la atmósfera carece de efectos sobre el organismo, desde el punto de vista de la aceleración o del aporte de oxígeno. Al abrirse el paracaídas (fig. 2), después de

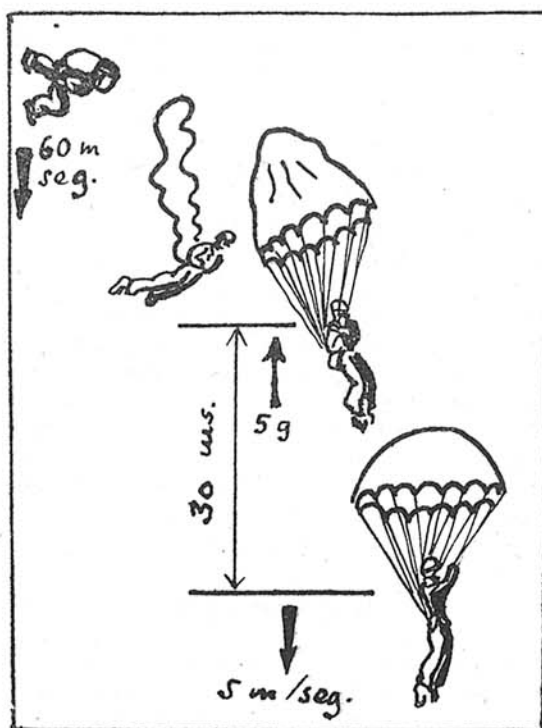


Fig. 2.

haberse alcanzado una velocidad constante de caída, la aceleración negativa que se produce hace que los tirantes del aparato desarrollen una fuerza de 4-6 "g", lo que determina cierta irritación de los órganos pelvianos, una ceguera transitoria o pérdida de la conciencia, etc. La velocidad del descenso, una vez abierto, depende del peso del piloto, de la densidad del aire y del tamaño y forma del paracaídas. Si el paracaídas del piloto no se abriera chocaría éste con el terreno con una fuerza de 360 a 720 "g", su-

ficiente para hacerle penetrar uno o dos metros en el suelo. Es importante saber que no importa gran cosa la altura desde la que tiene lugar la caída, dado que por la resistencia opuesta por el aire se alcanza una velocidad constante.

Otros aspectos de las aceleraciones lineales.

El cuerpo de un piloto sentado en un avión está sometido a fuerzas que actúan según tres planos: anteroposterior, lateral y vertical. Las aceleraciones hacia arriba, hacia adelante y hacia la izquierda se llaman positivas, y negativas las que se verifican en sentido opuesto. Los efectos respectivos de estas aceleraciones, como se ha dicho al hablar del acelerómetro, tienen lugar en sentido opuesto a las mismas, y por ello cualquier movimiento rápido hacia arriba del aeroplano hace gravitar con más fuerza el cuerpo del piloto sobre su asiento. Se producen aceleraciones lineales de magnitud considerable en los lanzamientos con catapulta y en los accidentes al tomar tierra. La fuerza de la aceleración actúa en la dirección o direcciones en que tiene lugar la aceleración.

En el momento de emprender el vuelo, cuando se realiza de la manera normal, rara vez cede la fuerza aceleradora en el sentido anteroposterior de 0,2 a 0,5 "g", pero en los lanzamientos con catapulta imprime una ace-

leración inicial de 3 "g", el piloto resultará impulsado hacia atrás con una fuerza equivalente a tres veces su peso corporal. Pero como la fuerza de la gravedad = 1 "g" actúa por su parte en sentido vertical, el efecto resultante del vector producido corresponde a 3,3 "g", con una inclinación hacia atrás de 60 grados. Como se puede resistir sin verdadera molestia una aceleración de hasta 12 "g" en el eje transversal, no producirá ningún trastorno el lanzamiento con catapulta

con tal de que el piloto y tripulación tengan bien sujetos cabeza y cuerpo contra los asientos y respaldos al iniciarse aquél.

Es raro que en las tomas de tierra bien realizadas esté sometido el cuerpo del piloto a fuerzas mayores de 0,2 a 0,5 "g". Las tomas de tierra mal hechas, en las que el aeroplano se detiene en poco espacio de terreno, pueden aumentar aquellas hasta los 4,5 "g", y en los accidentes en que el aeroplano se estrella contra un objeto fijo pueden llegar las fuerzas acelerativas hasta los 45 "g", y aun más.

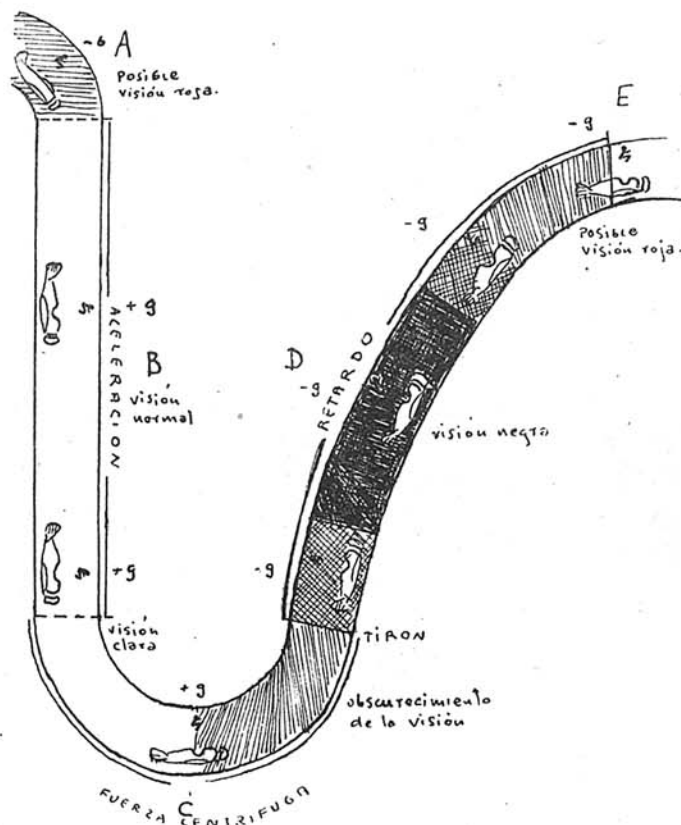


Fig. 3.

Efectos de aceleración, retardo, fuerza centrífuga, tirón y picado sobre el organismo.

Siempre que el piloto esté bien sujeto en su sitio, puede librarse de serios accidentes, incluso en el último tipo de toma de tierra. Sin embargo, es frecuente que los tirantes de los hombros no estén bien sujetos o que se rompan, lo que consentirá que la cabeza del piloto golpee con cualquier objeto del interior del aeroplano con gran intensidad. La fuerza instantánea, aplicada a una pequeña zona de la cabeza, al tener lugar la colisión,

hace que ascienda aquélla en tal medida, que puede ser suficiente para producir el aplastamiento del cráneo. Se puede, no obstante, reducir al mínimo estas lesiones por el empleo de cascos almohadillados, o bien almohadillando toda la región de la cabina sobre la que pueda ser proyectada la cabeza del piloto. Con ello se reparte la fuerza de choque y se proporciona una mayor distancia para la detención de la cabeza, disminuyendo, por tanto, la intensidad de la fuerza que pueda actuar contra cualquier superficie del cráneo. Igualmente se consigue que no se produzcan fracturas de tarso, aumentando la superficie de soporte del palonier (figura 3).

Aceleraciones centrifugas y angulares.

Son aceleraciones por cambio de la dirección en la velocidad. La trayectoria es curva y la velocidad uniformemente acelerada (o variada). También en este caso hay aceleraciones positivas y negativas. Y también para llegar al conocimiento sobre la magnitud y medida de estas aceleraciones es preciso tener en cuenta ciertos postulados y principios que sucesivamente habremos de estudiar.

Velocidad lineal en el movimiento circular.

Movimiento circular es aquel en que la trayectoria descrita por un punto del móvil es una circunferencia. Veamos, por ejemplo, lo que pasa en el movimiento de la honda. Este movimiento es engendrado por

dos fuerzas: una instantánea, llamada centrífuga, y otra continua o centrípeta. Por la fuerza instantánea, actuando sola, el móvil tomaría movimiento rectilíneo y uniforme, y tendería a separarse del centro del giro en virtud de la inercia; efecto que no puede verificarse por oponerse otra fuerza igual y contraria, la continua o centrípeta o resistencia del hilo. Actuando ambas fuerzas simultáneamente, como forman un sistema de fuerzas angulares, darán una resultante representada por la diagonal del paralelogramo construido con dichos componentes, y que repitiéndose en cada unidad de tiempo producirán una trayectoria poligonal que en su límite tendería a la circunferencia. La velocidad de este movimiento, considerado como uniforme, que con frecuencia interesa conocer en Medicina Aeronáutica, se obtiene de la fórmula

$$v = \frac{e}{t},$$

sustituyendo el espacio e por el número de revoluciones y el tiempo t por $1 \text{ seg. } v = 2\pi ru.$

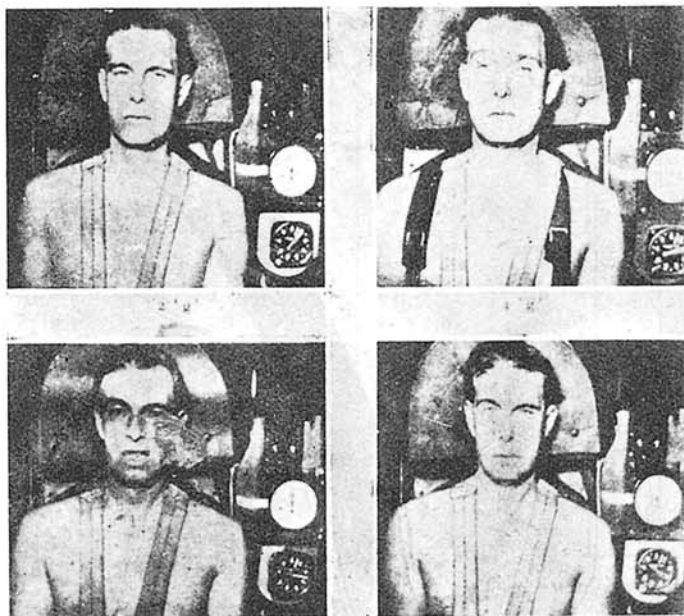
Velocidad angular en el movimiento circular.

Importante, asimismo, es conocer, para el cálculo de la valoración de las aceleraciones, la velocidad angular, o ángulo descrito en la unidad de tiempo $= \omega$.

$$v = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{arco } S}{t};$$

$$\text{arco } S = \text{radio} \times \alpha \text{ (ángulo descrito);}$$

$$v = \frac{\text{radio} \cdot \alpha}{t} = \omega \cdot r.$$



Efectos de la aceleración centrífuga demostrada experimentalmente: A 2 "g", permanece bien. A 4 "g", existe distorsión facial y pérdida de visión periférica. A 5 "g", aumenta la distorsión facial y pérdida completa de visión. A 6 "g", pérdida de conocimiento.

Aceleración centrífuga y centrípeta.

El caso más sencillo se presenta cuando un cuerpo recorre con velocidad constante v una circunferencia de radio R . El cuerpo, en virtud de su inercia, tiende a moverse según la tangente a la circunferencia, alejándose de su centro; por esto la aceleración que posee se llama aceleración centrífuga. El cuerpo es mantenido en su posición en virtud de otra fuerza igual y de tipo contrario llamada centrípeta. Para encontrar la magnitud de la aceleración centrípeta A (figura 4) observamos que si el cuerpo se mue-

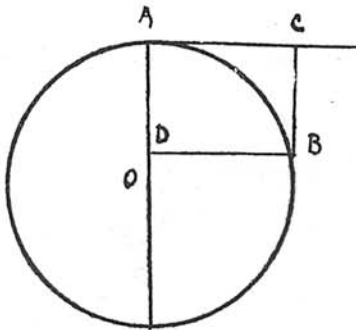


Fig. 4.

ve en la circunferencia desde A hasta B en el tiempo t , como debiera, en dicho tiempo, alcanzar la posición C sobre la dirección de la tangente en virtud de su inercia, será CB el espacio que bajo la aceleración centrípeta recorre hacia el centro en el tiempo t ; por consiguiente,

$$CB = AD = \frac{1}{2} a t^2;$$

pero como la cuerda de la circunferencia es medio proporcional entre el diámetro y la proyección de la cuerda sobre el mismo, o sea:

$$\frac{AD}{AB} = \frac{AB}{2r},$$

resulta que

$$AD = \frac{\widehat{AB}^2}{2r};$$

y como AB es el espacio $\widehat{AB}^2 = v^2 t^2$,

$$AD = \frac{v^2 t^2}{2r} = \frac{1}{2} a t^2;$$

de donde

$$a = \frac{v^2}{r}.$$

De aquí resulta que la aceleración de un cuerpo en un punto de una trayectoria curvatura arbitraria, en tanto que proceda de la variación de la dirección de la velocidad, es igual al cuadrado de la velocidad v en dicho punto, dividido por el radio r de curvatura correspondiente.

Esta es la aceleración centrípeta que siempre tiene la dirección de la normal a la trayectoria en el punto M, y está dirigida hacia el centro de la curvatura. La aceleración centrífuga correspondiente debe estar equilibrada por la aceleración centrípeta, y de aquí resulta que el cuerpo permanece en la trayectoria y no se marcha en la dirección de la tangente.

Aceleraciones angulares.

En el curso de un viraje de gran radio el avión puede sufrir, como en los desplazamientos lineales, aceleraciones positivas y negativas. Estas aceleraciones corresponden a las variaciones de la velocidad angular. En la práctica, los efectos de las aceleraciones angulares se superponen a los producidos por las aceleraciones centrífugas. La ecuación para resolver este tipo de aceleración se logra introduciendo la velocidad angular $v = \omega r$;

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r.$$

Aceleraciones complementarias.

En el caso de movimiento circular, interfieren las aceleraciones centrífugas y angulares las llamadas aceleraciones complementarias de *Coriolis*, que aparecen cada vez que se efectúa "un movimiento relativo" en un plano distinto al movimiento absoluto que acompaña al eje de rotación; por ejemplo, extensión horizontal de los brazos en el curso de una rotación, flexión horizontal de la cabeza durante una barrena, etcétera. Los brazos y la cabeza sufren aceleraciones complementarias que se traducen por el efecto correspondiente. No tienen gran importancia.

Todos estos principios y ecuaciones tienen gran importancia en Medicina Aeronáutica y son decisivos para el cálculo de aceleraciones, tanto experimentalmente como en vuelo.

Existe hoy en el C. I. M. A. de Madrid una centrífuga para la que en sus cálculos han sido precisas todas estas ecuaciones, que hemos descrito en las aceleraciones centrífugas:

1.º Velocidad lineal $= \frac{c}{v} = \frac{2 \pi r}{T} = 2 \pi r n$

2.º Velocidad angular $= v = \omega r$, sustituyendo v por $\frac{2 \pi r}{T}$ tendremos:

$$\frac{2 \pi r}{T} = \omega r; \quad \omega = \frac{2 \pi}{T} = 2 \pi n.$$

3.º Ecuaciones de la aceleración centrífuga:

$$a = \frac{v^2}{r}; \quad a = \omega^2 r;$$

(con velocidad lineal) (con velocidad angular)

4.º Para reducir a unidad "g"

$$\frac{v^2}{r \cdot 981} \text{ cm/seg}^2 \quad \text{ó} \quad \frac{v^2}{r \cdot 32,2} \text{ pies/seg}^2.$$

"Unidades fuerza-aceleración" basta dividir por la

$$\frac{\omega^2 r}{981} \text{ cm/seg}^2 \quad \text{ó} \quad \frac{\omega^2 r}{32,2} \text{ pies/seg}^2.$$

Fuerzas aceleradoras.

Las fuerzas se miden por los efectos que producen, y el efecto o intensidad de una fuerza depende del producto de la masa por la aceleración que le imprime: $F = Ma$.

Por consiguiente, para que se produzca una aceleración es necesaria la existencia de una fuerza que, según el segundo principio de Newton, es igual a la masa multiplicada por su aceleración. Esta fuerza toma a veces valores tan grandes que puede superar la acción de la gravedad: $F = Ma$;

como el peso es $P = Mg - M = \frac{P}{g}$:

$$F = \frac{P}{g} a.$$

La relación entre ambas fuerzas, F y P , está dada por: $\frac{F}{P} = \frac{a}{g}$.

Como dijimos al hablar de la unidad "g" que siendo M una constante, el peso de un objeto aumentará en proporciones iguales de la aceleración. Si "g" aumenta en dos-tres veces su valor, el peso del sujeto aumenta dos-tres veces. Si hemos aceptado unidades del sistema cegesimal $\frac{a}{g} = \bullet g$, unida-

des (a podemos sustituirlo por su valor en los diferentes tipos de aceleraciones).

Magnitud de la fuerza centrífuga en las distintas maniobras.

Según datos disponibles, las fuerzas máximas aceleradoras previsibles son: giro 4,5 "g" durante 2 segundos; "loop" + 4 a + + 5 "g", de 2 a 10 segundos; caída vertical o picado, -1,5 a -2 "g", de 1,5 a 0,8 segundos; con iniciación del ascenso + 8 a + + 14 "g", de 3 a 0,8 segundos. A estas fuerzas hay que añadir la fuerza de la gravedad (fig. 5). Así, pues, en la parte baja de

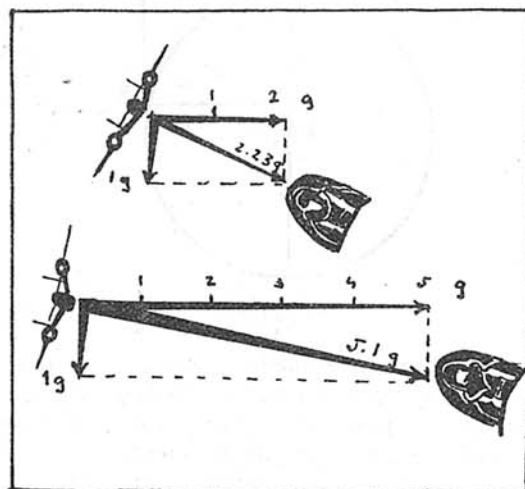


Fig. 5.

El avión está sometido a dos fuerzas: aceleración centrífuga y gravedad, y toma una posición inclinada perpendicular a su resultante. El piloto sufre una aceleración centrífuga según el eje del cuerpo.

un "loop" realizado a velocidad constante y radio fijo la fuerza efectiva que actúa sobre el piloto será + 5 + 1, o en total, + 6 "g", en tanto que en la parte alta será de + 5, + -1, o sea de + "g".

Efectos fisiológicos de las aceleraciones.

Como el máximo de los cambios de dirección y grados de aceleración tienen lugar en la entrada y salida de picados, es en ellos donde se pueden estudiar los efectos fisiológicos de la aceleración en mejores con-

diciones. Como se indica en la figura 5, el picado consiste en una caída vertical del aeroplano, seguida de un ascenso rápido; todo ello se efectúa en cuatro segundos. Sirviéndonos de dicha figura podemos apreciar que durante el picado B y el ascenso D el organismo reacciona a las aceleraciones positiva y negativa que se producen en sentido anteroposterior y transverso. En dos puntos, A y E, reacciona ante aceleraciones negativas en dirección vertical desde la cabeza al asiento, y en C, ante una aceleración positiva vertical en dirección del asiento a la cabeza.

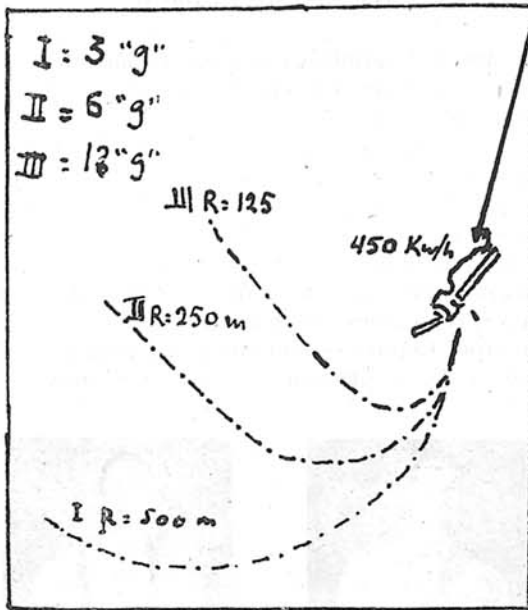


Fig. 6.

Las fuerzas centrífugas son tanto más importantes cuanto el radio de curvatura es más pequeño.

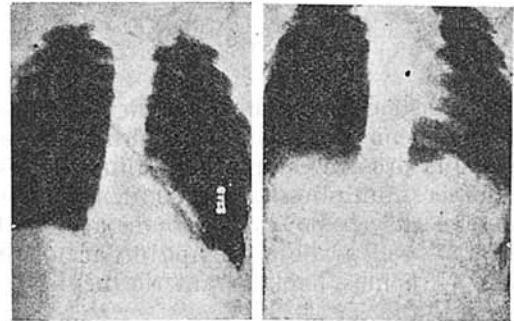
Las aceleraciones transversas determinan solamente sensaciones subjetivas de presión y cierta dificultad respiratoria. La presión sanguínea tiende a aumentar, probablemente por compresión de tórax y abdomen. La aceleración negativa, según el eje mayor del cuerpo determina un aflujo de sangre a la piel de la cabeza y del cuello, enrojeciéndose las conjuntivas y apareciendo rojos los objetos que caen dentro del campo visual (visión roja); se cree debida esta visión roja a un efecto de pantalla de los vasos retinianos congestionados, que yacen en-

frente de los conos y bastoncitos. La aceleración positiva, según el eje mayor del cuerpo, determina una sensación de tirantez en el abdomen y en el tórax; las piernas se congestionan y sufren calambres, la sangre abandona la cabeza y la cara y la visión se hace borrosa, como a través de una niebla o velo gris, para finalmente producirse ceguera. Este fenómeno se debe seguramente a isquemia retiniana y pérdida de función de los elementos de la retina. A los 5 "g" o más, la respiración se hace irregular, con inspiración lenta y espiración forzada, o bien se interrumpe a mitad de la inspiración.

Los efectos de la aceleración sobre el hombre depende:

- 1.º Del grado de aceleración.
- 2.º Del tiempo que dura su acción.
- 3.º De la dirección de la fuerza en relación con el eje axial del cuerpo.
- 4.º Del área del cuerpo sobre la cual se aplica.

Respecto al grado de aceleración hay que tener en cuenta que ésta es proporcional al



A Fig. 7. B

Cambio de volumen del corazón durante la exposición a presiones positivas. A = sometido a aceleraciones "g" positivas. B = normal.

cuadrado de la velocidad e inversamente al radio de giro. Podemos observar gráficamente en las figuras 5 y 6 esta proporcionalidad.

Es natural que cuanto mayor sea el tiempo de acción de las fuerzas centrífugas, y

en general aceleradoras, tanto más intenso serán sobre el organismo los efectos que produzcan.

La dirección de la fuerza en relación con el eje del cuerpo tiene extraordinaria importancia, porque pretende explicar los efectos fisiológicos que se observan en el curso de fuertes aceleraciones y que se atribuyen a cambio en el sistema circulatorio.

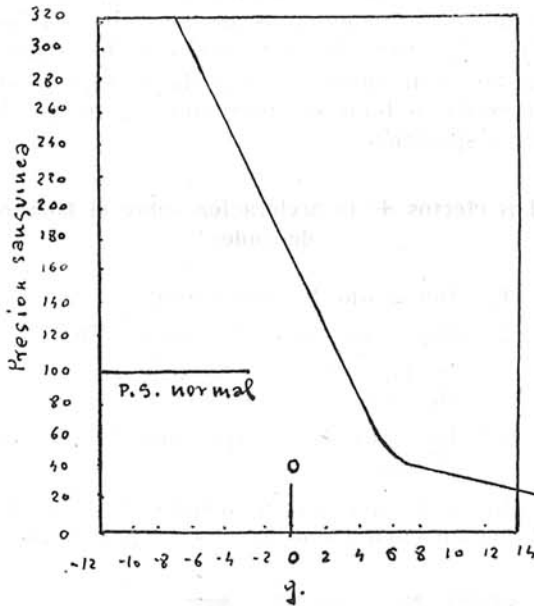


Fig. 8.

rio. El sistema circulatorio puede ser considerado como una columna hidrostática en la que la presión es igual a la altura de esta columna multiplicada por su densidad en función del grado y tiempo de acción de las "g". Del grado y tiempo de acción de las "g" hemos hablado anteriormente.

Como los grandes vasos se encuentran dispuestos en el eje mayor del cuerpo, no es de extrañar que los efectos de la aceleración en dicho eje se muestren como los más intensos. Aunque se han estudiado los cambios circulatorios con amplitud suficiente y se pueden hacer interpretaciones de valor general, su constante observación consentirá aclarar muchas cuestiones debatidas. Las aceleraciones positivas, según el eje longitudinal del cuerpo, y de 2,5 "g", determinan un desplazamiento de la sangre en las arterias elásticas y en las venas hacia las partes inferiores del orga-

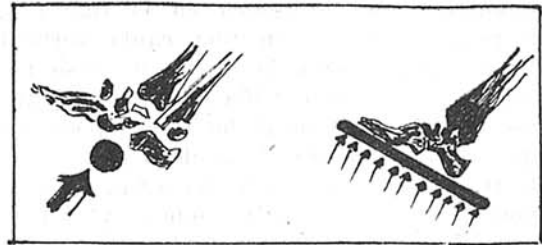


Fig. 9.

Esquema que demuestra el aplastamiento del tarso cuando el choque se hace sobre un punto limitado, y la resistencia al choque y evitación de fracturas, cuando está repartido en varios puntos.

nismo. Los estudios radiológicos han demostrado que este desplazamiento de la sangre disminuye (fig. 7) el tamaño del corazón de manera exagerada, y se puede suponer que disminuye igualmente su volumen de expulsión, el que en las aceleraciones extremas puede llegar a ser igual a 0. Como consecuencia, la presión sanguínea cae bruscamente (fig. 8), aunque esto, según las interpretaciones corrientes, se retrasa algún tiempo. Como consecuencia del rápido descenso de la presión arterial, disminuye la

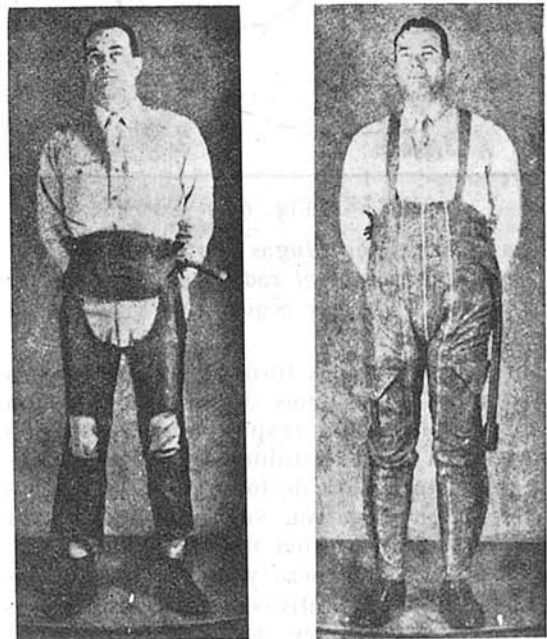


Fig. 10.

Traje "anti-g".

circulación en la retina y el cerebro, lo que sería causa de la ceguera y pérdida de conocimiento.

En cuanto al factor densidad explica el desplazamiento desde un punto de vista

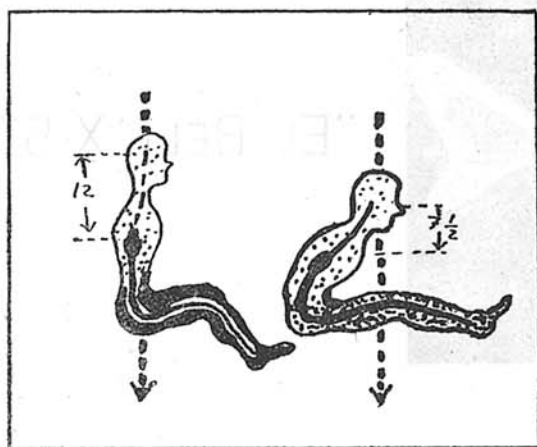


Fig. 11.

Reducción de la altura de la columna sanguínea entre cerebro y corazón. La sangre es llevada a las extremidades inferiores (pintado de negro). La flecha a trazos señala la fuerza de la aceleración.

físico, que se debería al hecho de que la sangre se hace más pesada, aparentemente, y en realidad a los 7,5 "g" posee un peso figurado igual al del hierro. Por tanto, sea la que fuere la presión que ejerza el corazón sobre las válvulas sigmoides, durante la aceleración de varios "g", la presión en los vasos de las extremidades inferiores está siempre aumentada sobre la presión cardíaca. Este mayor peso aparente impide su retorno al corazón. La fuerza de la aceleración tiene, además, otro efecto, que es el que las presiones en las arterias y venas situadas por encima del corazón están muy disminuidas, y desde luego la presión arterial es muy baja o incluso igual a cero a su entrada en el cerebro. Según algunos autores, esto constituiría el factor dominante que determinaría la ceguera y la inconsciencia.

Del área del cuerpo sobre la cual se aplica la fuerza aceleradora, hemos hablado de ello en las aceleraciones lineales, y gráficamente se expone un esquema en el que pueden apreciarse estos efectos (fig. 9).

Como final, brevemente expondremos la

manera de prevenirse frente al aumento de "g" durante el vuelo.

1.º Disminuyendo el grado de aceleración. Se conseguirá o bien disminuyendo la velocidad o bien aumentando el radio de giro (figs. 5 y 6).

2.º Disminuyendo el tiempo de acción.

3.º Previñendo la descarga de sangre en las partes inferiores del cuerpo. Se conse-

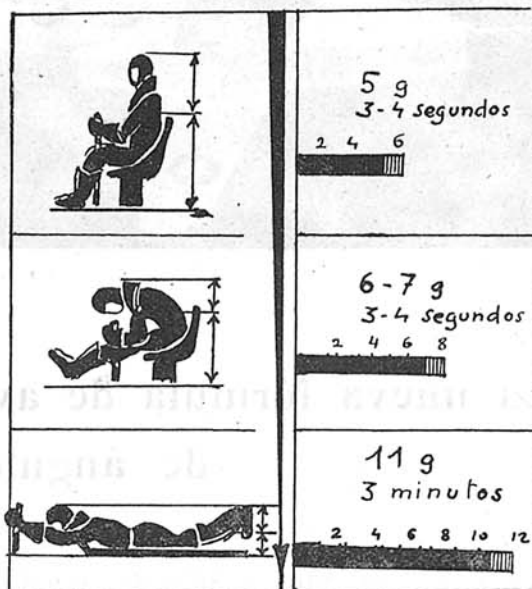


Fig. 12.

Variaciones en la resistencia a las aceleraciones en función del eje axial del cuerpo. (Aparición del velo negro visual.)

guirá con los trajes llamados "anti-g". Consisten en unos pantalones sumamente ajustados mediante gomas que se hinchan automáticamente con el aumento de "g" y comprimen las partes inferiores, extremidades, del cuerpo (fig. 10).

4.º Disminuyendo la altura de la columna hidrostática, como puede verse en la figura. La reducción de la altura de la columna sanguínea entre cerebro y corazón retarda la aparición de la visión negra, y la sangre es llevada en menos proporción a las extremidades inferiores.

5.º Cambiando la dirección de la fuerza desde el eje longitudinal al eje horizontal. En la figura 12 pueden verse las variaciones en la resistencia a las aceleraciones en función del cambio del eje del cuerpo.