CATEDRA DE SISTEMAS Y EQUIPOS DEL AVIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

SISTEMAS DE ESCAPE

ING. JORGE O. GARCIA

Resumen

En el presente apunte se pretende brindar una visión general sobre los requerimientos, problemas y soluciones que se encuentran en la situación de un escape de emergencia en una aeronave en cualquier actitud y condición.

Se brindan algunas descripciones generales sobre sistemas que se encuentran operativos en la actualidad y algunos que han sido propuestos en el pasado y para el futuro.

Introducción

En todo tipo de aeronaves resulta importante el estudio y disposición de sistemas de escape, a fin de evacuar el aparato rápidamente ante cualquier emergencia.

El estudio de dichos sistemas puede dividirse en dos partes: Sistemas de Escape para aeronaves de Transporte y Sistemas de Escape para aeronaves de combate. En cada una de ellas los requerimientos operativos son muy diferentes, dado los distintos tipos de misiones que deben cumplir.

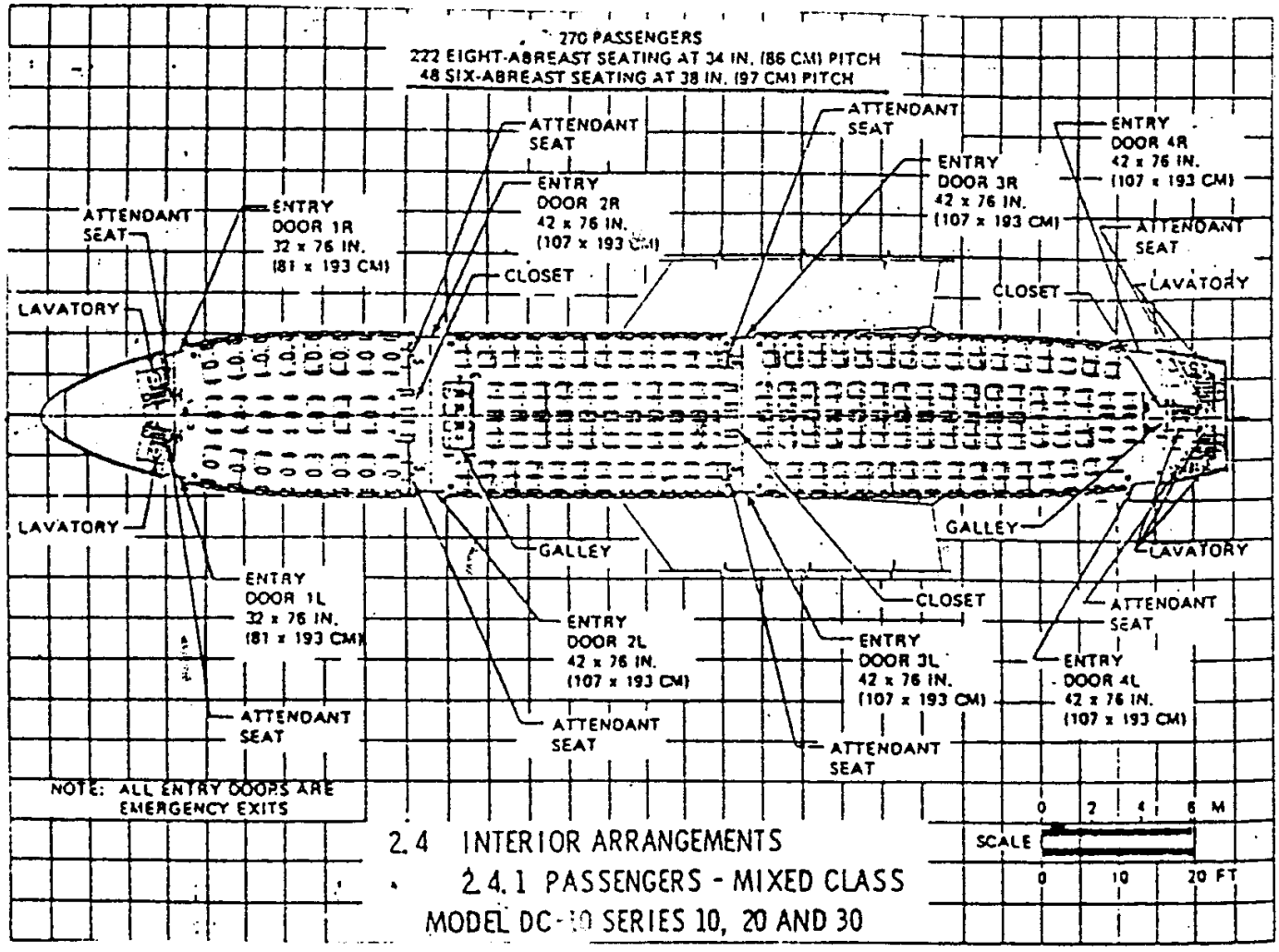
En primer lugar se analizarán los sistemas correspondientes a aeronaves de transporte, discutiendo las normas aplicables a los mismos y las soluciones implementadas. Posteriormente se describirán los sistemas de aeronaves de combate que actualmente se encuentran en uso. Se realiza una descripción de los problemas físicos y las soluciones ergonómicas que se han implementado y son posibles de adoptarse. Por último, se describen posibles sistemas de escape del futuro.

Aviones de transporte

El sistema de escape de aviones de transporte no ha sido estudiado con mucho detalle hasta la entrada en servicio de los primeros reactores comerciales. A partir de dicho momento, las Normas utilizadas en este tipo de aeronaves (FAR, BCAR[1]) tomaron en cuenta los mecanismos para la seguridad de los pasajeros.

En los siguientes párrafos se describe la forma en que las diferentes Normas tienen en cuenta los sistemas de escape de la aeronave según el tipo de esta.

Una vez que ha sido definida la configuración del fuselaje, se procede a realizar la disposición interna del mismo según los requerimientos que exigen los futuros usuarios (en el caso de grandes aerolíneas) o según los estudios de mercado. En la Figura puede observarse el arreglo interno de una aeronave junto con la ubicación de las puertas de ingreso. En este caso, todas las puertas de ingreso cumplen el cometido adicional de ser ***"salidas de emergencia"***.



[1]FAR = Federal Aviation Regulations, emitidas por la Federal Aviation Administration (FAA), una sección del Ministerio de Transporte del gobierno de Estados Unidos de Norteamérica.

BCAR = British Civil Airworthiness Requirements, emitidos por la Civil Aviation Autority (CAA) de Gran Bretaña.

Resulta obvio que un factor muy importante a tener en cuenta es la disposición de los asientos, su tamaño y su peso. En la parte frontal de toda aeronave de pasajeros suele disponerse la denominada **"1º Clase"**, posteriormente suele encontrarse la clase **"turista"** y por último la **"económica"**. Cada una de ellas se diferencia por una distancia denominada **"Seat Pitch"** (cabeceo del asiento), la cual se define como la distancia longitudinal entre puntos correspondientes de dos asientos ubicados en la misma fila. Por otra parte, cada clase recibe un servicio de abordo diferente respecto a comidas, comodidades, etc. En la Tabla 1 puede observarse los valores estandard de cabeceo para cada clase y el ancho de su asiento (**a**), según se indica en la Figura 2.

El diseño de un asiento corresponde usualmente a un pasajero promedio de 170 lb (77 kg), las cargas normales deben ser absorbidas durante el vuelo y en tierra, pero también hay que considerar las cargas de contingencia que ocurren durante una emergencia.

Para estos casos, las regulaciones establecen los siguientes valores de **g** que deben soportar los asientos según su ubicación:

	Adelante	Atrás	Arriba	Abajo	Lateral
FAR 25.561	9g	--	2g	4.5g	1.5g
BCAR D3-B	9g	1.5g	4.5g	4g	2.2g

Adicionalmente, la FAR 25.785 exige un factor adicional de 1.33 al sistema de fijación del asiento.

En la Tabla 2 se presentan diferentes tipos de asientos y sus pesos, con los cuales aplicando los conceptos anteriores es posible tener una idea de las cargas que deben soportar.

Este es el primer requerimiento para la seguridad de los pasajeros, el segundo se refiere a las ***"salidas de emergencia"***.

Para su análisis consideraremos primero a las aeronaves según la regulación FAR 25 y luego las correspondientes a la FAR 23[2].

Aviones de pasajeros certificados según FAR 25 y BCAR Sec. D

Las salidas se dividen en cuatro clases que se muestran en la Figura 3, los Tipos I y II se ubican sobre el nivel del piso de la cabina, aunque el Tipo II se encuentra sobre el ala. Los Tipos III y IV van sobre el ala. Aparte de estas la FAR 25.807 describe salidas de emergencia ventrales y escapes por el cono de cola.

El número mínimo de salidas de escape se indica en la Tabla 3, y en la Tabla 4 se dan las dimensiones usuales para este tipo de salidas.

En caso de que existan más pasajeros que los indicados en la tabla, se debe cumplir con regulaciones especiales. En el caso de aviones con ala alta, se disponen salidas de tamaño similar al Tipo III que reemplacen a las Tipo III y IV.

No deben existir obstrucciones al acceso de las salidas, observando en la Tabla 4 el ancho de los mismos se especifica de esta manera el **"cabeceo"** de los asientos cercanos a la misma.

Aviones de pasajeros certificados según FAR 23 y BCAR Sec. K

Para este tipo de aeronaves conviene referirse directamente a la FAR 23.807 que especifica:

(a) *Número y ubicación de las salidas de emergencia:* Deben encontrarse ubicadas de manera de permitir la salida en cualquier actitud de choque de la aeronave sin amontonamiento. El aeroplano debe poseer por lo menos las siguientes salidas de emergencia:

1 Para todos los aviones con una capacidad de asientos de dos o más, excluyendo aeroplanos con cúpula, por lo menos una salida de emergencia en el lado opuesto de la cabina desde la puerta principal especificada en FAR 23.783 de esta parte.

2 [Reservado]

3 Si el compartimiento de pilotaje se encuentra separado de la cabina por una puerta que pudiera bloquear el escape de el/los piloto/s en un choque pequeño, debe proveerse una salida de emergencia en el compartimiento del piloto. El número de salidas requeridas por el párrafo (a)(1) de ésta sección debe ser determinado en forma separada para el compartimiento de pasajeros, según la capacidad de asientos de dicho compartimiento.

(b) *Tipo y operación*. Las salidas de emergencia pueden ser ventanas removibles, paneles, cúpulas, o puertas externas, con capacidad de apertura desde el interior y el exterior del avión, que provean una apertura clara y sin obstrucción suficientemente grande como para admitir una elipse de 19x26" (482,6mm x 660.4mm). Adicionalmente, cada salida de emergencia debe:

1 Ser fácilmente accesible, no requiriéndose una gran agilidad para ser utilizada en una emergencia.

---

[2]Las Normas FAR poseen dos grandes grupos que se diferencian según la categoría de los aviones:
FAR 23 se aplica a **Aviones pequeños** cuyo peso sea menor a las 12500 lb (5760 kg).
FAR 25 se aplica a **Aviones grandes** cuyo peso exceda las 12500 lb.
Las normas BCAR se clasifican según el tamaño de la aeronave y su peso.
BCAR Sec. K para **Aronaves livianas (light)** de cuyo peso sea menor a las 12500 lb (5760 kg).
BCAR Sec. D para **Aeronaves pesadas (large)** cuyo peso exceda las 12500 lb.

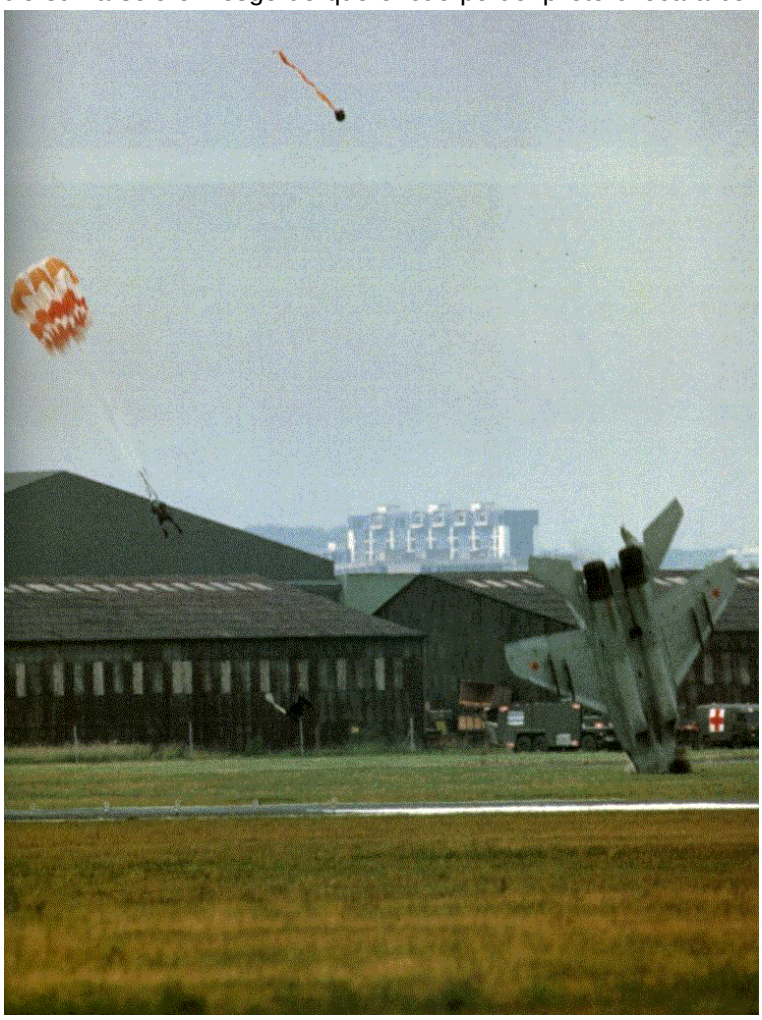
2 Tener un método de apertura que sea simple y obvio.
3 Poseer una disposición y marcas para una fácil ubicación y operación, aún en la oscuridad.
4 En el caso de aeronaves de categoría acrobática, permitir a cada ocupante salir rápidamente mediante paracaídas a cualquier velocidad entre Vso y V_D [3].
5 El funcionamiento de cada salida de emergencia debe ser probado mediante ensayos.

Las puertas de una aeronave pueden ser certificadas como salidas de emergencia, pero deben ser tan anchas como éstas. Una puerta, calificada como una **salida tipo A**[4] según FAR debe tener como mínimo 42" (107cm) de ancho.

Para un máximo de 70-80 pasajeros, una puerta es suficiente, mientras que para 200 deben existir 2.
Las puertas de pasajeros se ubican a babor (lado izquierdo) mientras que las de servicio a estribor (lado derecho). Los aviones de fuselaje ancho son una excepción, ya que pueden ser abordados de ambos lados.
Es preferible que las puertas tengan 6´ de alto y 3' de ancho (1,8m x 0,9m), pero estas dimensiones son difíciles de lograr en un avión pequeño.

Aviones de combate

El sistema de escape de una aeronave dañada en vuelo ha constituido un problema desde siempre, el cual fue haciéndose más difícil a medida que aumentaban las perfomances y exigencias del vuelo. Se demoraron más de treinta años en poder brindarse una respuesta aceptable a este problema, pero aún hoy en día no se han logrado solucionar del todo los inconvenientes que se presentan.
La primera alternativa que se puso en práctica fue mediante la utilización del paracaídas, invento de muy vieja data el cual se comenzó a utilizar después de las primeras ascensiones en globo. Su empleo en las primeras aeronaves fue muy simple: todo lo que el aviador debía realizar era salir de la cabina y lanzarse al vacío. El siguiente problema se suscitó con la aparición de las cabinas acristaladas, si bien se logró un mayor confort en el vuelo los inconvenientes para una emergencia se multiplicaron, a lo que se sumó el incremento de las velocidades de vuelo. Como la presión dinámica aumentaba notablemente se fue haciendo difícil la apertura y posterior abandono de la cabina. A lo que debió sumársele el riesgo de que el cuerpo del piloto chocara con las partes salientes de su avión, generalmente los empenajes.



Todos estos problemas se presentaron con mayor gravedad durante las últimas etapas de la Segunda Guerra Mundial, donde el gran desgaste humano sumado a la aparición de los primeros aviones a reacción obligó a dar soluciones a fin de salvar la vida a pilotos experimentados. Dos de las naciones beligerantes, Alemania e Inglaterra, analizaron y pusieron en práctica soluciones al problema en los aviones más avanzados de que disponían. Los sistemas diseñados fueron similares: bajo el asiento del piloto se colocaron cartuchos explosivos que lo impulsaban fuera del avión, luego se separaba del asiento y abría su paracaídas. En Alemania se instalaron dichos sistemas en los nuevos aviones impulsados por turborreactores y motores cohete (Me 262, Salamander, Komet, etc.) e incluso se diseño y construyó un sistema de escape doble para el avión de caza nocturna Heinkel 219 Uhu. Por su parte, en Inglaterra, una firma que realizaría historia en este tipo de diseños construyó un asiento para el caza Gloster Meteor, la empresa era la Martin-Baker que hasta entonces se había dedicado al diseño y construcción de aviones de caza avanzados en pequeñas cantidades. El sistema utilizado era doble: mediante una carga explosiva se liberaba el asiento de los soportes en la cabina y lo elevaba ligeramente fuera de la misma, la siguiente carga se encargaba mediante un cañón telescópico de acelerarlo sin excesivas brusquedades hasta que el piloto, asiento y paracaídas se encontrasen fuera de una zona

[3] Vso = Velocidad de pérdida, flaps abajo.
V_D = Design Diving Speed.

[4] Una salida FAR Tipo A tiene como dimensiones mínimas 42" x 72" (107cm x 183cm) y un radio de curvatura de las aristas de 1/6 del ancho (Consultar FAR 25.807).

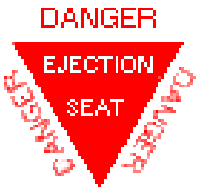
donde podrían chocar con el propio avión. Luego de su expulsión el asiento era estabilizado por un pequeño paracaídas que, cuando la velocidad había descendido a niveles permisibles abría el principal. Este sistema es similar al empleado actualmente.
Los primeros ensayos se realizaron en tierra y en vuelo con maniquíes de aproximadamente noventa kilogramos de peso, que eran eyectados desde el asiento trasero de un biplaza a alta velocidad. Pero se constató que las bruscas aceleraciones que se producían debido a las cargas explosivas podían ser peligrosas. Aunque las primeras pruebas reales, realizadas por voluntarios y en tierra, funcionaron a la perfección, uno de los pilotos tuvo que ser hospitalizado con la columna vertebral rota. Decidieron entonces aprender sobre ese fundamental soporte del cuerpo humano, y trabajando con médicos de la Real Fuerza Aérea, se realizó una completa recopilación de datos sobre la misma. Inclusive se experimentó con columnas vertebrales reales a fin de establecer su resistencia mecánica bajo diversos tipos de cargas.
El 24 de junio de 1946 el piloto Bernard Lynch se eyectó por primera vez desde un caza Meteor en vuelo, utilizando el asiento desarrollado por Martin-Baker. Posteriormente realizó numerosas eyecciones de prueba a distintas alturas, velocidades y actitudes de vuelo; una de ellas a 810 km/hr. A partir de entonces el nombre de Martin-Baker se vio vinculado con los sistemas de escape y supervivencia.
Esta firma continúa trabajando hasta la actualidad y ha desarrollado numerosas versiones de asientos eyectables, habiendo producido más de 63000 asientos para cerca de 81 fuerzas aéreas. Inclusive cuenta con registros estadístico muy completos sobre las eyecciones que se han realizado en todo el mundo.

Descripción de un sistema de eyección típico

Performances requeridas

La Norma que se aplica para los requerimientos de un asiento eyectable es la MIL-S-18471 E. La misma exige que la eyección sea posible en forma segura, con el avión totalmente invertido a 50 m sobre el nivel de la pista. Este requerimiento penaliza grandemente las perfomances de eyección en otras actitudes de la aeronave, puesto que para cumplirla debe limitarse la aceleración máxima a alcanzar por el dispositivo de propulsión (cañón, cohetes o ambos). En consecuencia asientos diseñados para cumplir al 100% dicha Norma, presentarán perfomances más pobres de eyección en actitudes normales.

Las firmas que proveen estos equipos han preferido diseñar sus asientos para darles mejores perfomances en las actitudes de vuelo en las cuales las estadísticas demuestran que son las más comunes. En éste aspecto, la firma Martin-Baker tal como se mencionó anteriormente posee una documentación muy completa sobre numerosos antecedentes de eyecciones exitosas producidas a nivel mundial con asientos de su producción.
A este respecto y dada la gran difusión alcanzada por los asientos de esta marca en el mercado internacional de aviones militares, así como el eficiente registro estadístico que llevan sobre eyecciones producidas, es posible afirmar que difícilmente haya organismo o instituto que pudiera haber llevado a cabo un estudio estadístico tan representativo y completo como éste. Las conclusiones que se obtienen del mismo muestran que la casi totalidad de las eyecciones se presentan en actitudes del avión que no superan los ± 80° en ángulo de rolido y los ± 90° en cabeceo (cabreada-picada) con mucha mayor frecuencia en la gama de ± 10° en ambos valores (Figura 4). Esto demuestra que la eyección en actitud totalmente invertida del avión no se ha dado prácticamente en servicio.



En base a éstos resultados estadísticos las firmas dedicadas al diseño y fabricación de asientos eyectables decidieron fijar los requerimientos de diseño sobre la base de la Norma MIL antes mencionada, pero dejando de lado la exigencia de actitud invertida, logrando de esta manera mejores perfomances en las condiciones más frecuentes de eyección. Los resultados de tal análisis pueden observarse en la Figuras 4, donde se indican las frecuencias de eyección en función de los ángulos de rolido y cabeceo del avión. Puede deducirse que en su mayoría se han producido en actitudes que no superan los 10° tanto en rolido como en cabeceo. En la Figura 5 se puede ver que en las condiciones de diseño del asiento Martin-Baker, donde es posible utilizar un sistema de propulsión de mayor aceleración, la altura requerida para una eyección segura sobre el nivel de pista en función del ángulo de picada resulta sensiblemente menor que las que fija el requerimiento de la Norma MIL, penalizada por la perfomance exigida en posición invertida, que se ha demostrado ser poco probable. En otras palabras, esto significa que las posibilidades de eyección segura a muy baja altura se ven apreciablemente mejoradas, eliminándose un área (la rayada en la Figura) donde los asientos que cumplen al 100% la Norma mencionada producirían eyecciones fatales.
Esta misma conclusión se puede observar en la Figura 6, donde se ha graficado para el caso muy frecuente de eyección en actitud de 20° de picada, muy cerca del suelo (15 m). Un asiento diseñado según la filosofía

anteriormente descripta lo abriría a 25 m de altura, mientras que uno que cumpliera la Norma MIL no llegaría a hacerlo a nivel del suelo, produciendo en consecuencia un caso fatal. De todas maneras, los asientos de uso común en los aviones militares aseguran una buena eyección con actitudes de rolido de hasta 70°, cumpliendo con la Norma hasta 90° (alas en posición vertical) y conservando aún una buena capacidad de recuperación en el caso del vuelo invertido, donde la eyección segura puede tener lugar a un mínimo de 115 m sobre el nivel de la pista.
Otros requerimientos se refieren a las dimensiones del asiento, a fin de disponerlo adecuadamente en la cabina y poder ser utilizado por los pilotos estandar de la Fuerza Aérea que lo solicite, los tiempos mínimos de accionamiento, velocidad mínima de eyección, etc.

Un poco de historia.....

1941		En Suecia se patenta el primer sistema de aire comprimido
1943		Enero – Primera eyección de emergencia Primer ensayo del asiento Saab Mk1
1946		Marzo-Primera eyección de un asiento diseñado en EEUU a 7800 pies y 308 mph
1949		Mayo-Primera eyección de un avión jet a 10000 pies y 430 mph Agosto-Primer piloto de EEUU en utilizar un asiento eyectable en un avión operativo
1961		Primer ensayo del asiento Martin-Baker 0-0
1983		Martin-Baker logra 5000 eyecciones exitosas
1990		Diciembre Martin-Baker logra su eyección exitosa número 6000
1993		Septiembre-El asiento de McDonnell Douglas ACES II logra su eyección exitosa número 300

Generaciones de Asientos Eyectables

- **Primera Generación -** (1940-1965) Estos asientos eran de operación puramente balística con un cartucho de aire comprimido, un explosivo o un cohete que proveía la fuerza necesaria para remover al ocupante del avión. El tripulante debía abrir el paracaídas manualmente. Más tarde esta operación se automatizó. Ejemplos de este tipo de asientos son el Saab Mk1 y el Martin Baker Mk 1 al 5.
- **Segunda Generación -** (1965-1975) La información acumulada demostró que una catapulta sola podría aportar suficiente fuerza y aceleración de manera que el tripulante sobreviviría a la eyección sin daños significativos. Además se comenzó a buscar asientos con performance cero-cero y para alta velocidad. Para lograr esto se agregó un propulsor de cohete. La catapulta operaría de 0,15 a 0,25 segundos para mantener la aceleración inicial por debajo de 10G. El propulsor actuaría a continuación por 0,2 a 0,4 segundos. Los asientos Martin Baker Mk 7 y el Douglas Escapac son ejemplos de esta generación.
- **Tercera Generación -** (1975-presente) Dispositivos automáticos se agregaron a los asientos como ser: drogue chutes, apertura del paracaídas según la altura y apertura automática de dispositivos de supervivencia. Los avances en electrónica permitieron que pequeñas computadoras se ubicaran dentro de los asientos y controlen su funcionamiento según las señales de los sensores pitot-estática, giróscopos estabilizadores y peso del piloto. Esto permitió extender el rango de aplicación del asiento y las posibilidades de supervivencia del tripulante. Ejemplos de esta generación son el Martin Baker Mk 14, el McDonnell Douglas ACES II y el Stencel S4S.
- **Cuarta Generación -** (presente) La investigación continúa aumentando el rango de aplicación para estos sistemas. Martin - Baker Aircraft, Boeing (McDonnell Douglas) y Zvezda (Rusia) han ensayado y puesto en servicio asientos con empuje vectorizado, generadores de flujo o cohetes de empuje variable.

Algunos Modelos de Asientos Eyectables

Heinkel 162 Ejection Seat

- Fabricante: Heinkel, Alemania durante la Seguda Guerra Mundial.
- Aviones en que se implementó: Heinkel 162 Salamander

A-12/YF-12A/SR-71 Blackbird Ejection Seat

- Fabricante: Lockheed
- Avión: Lockheed SR-71 Blackbird

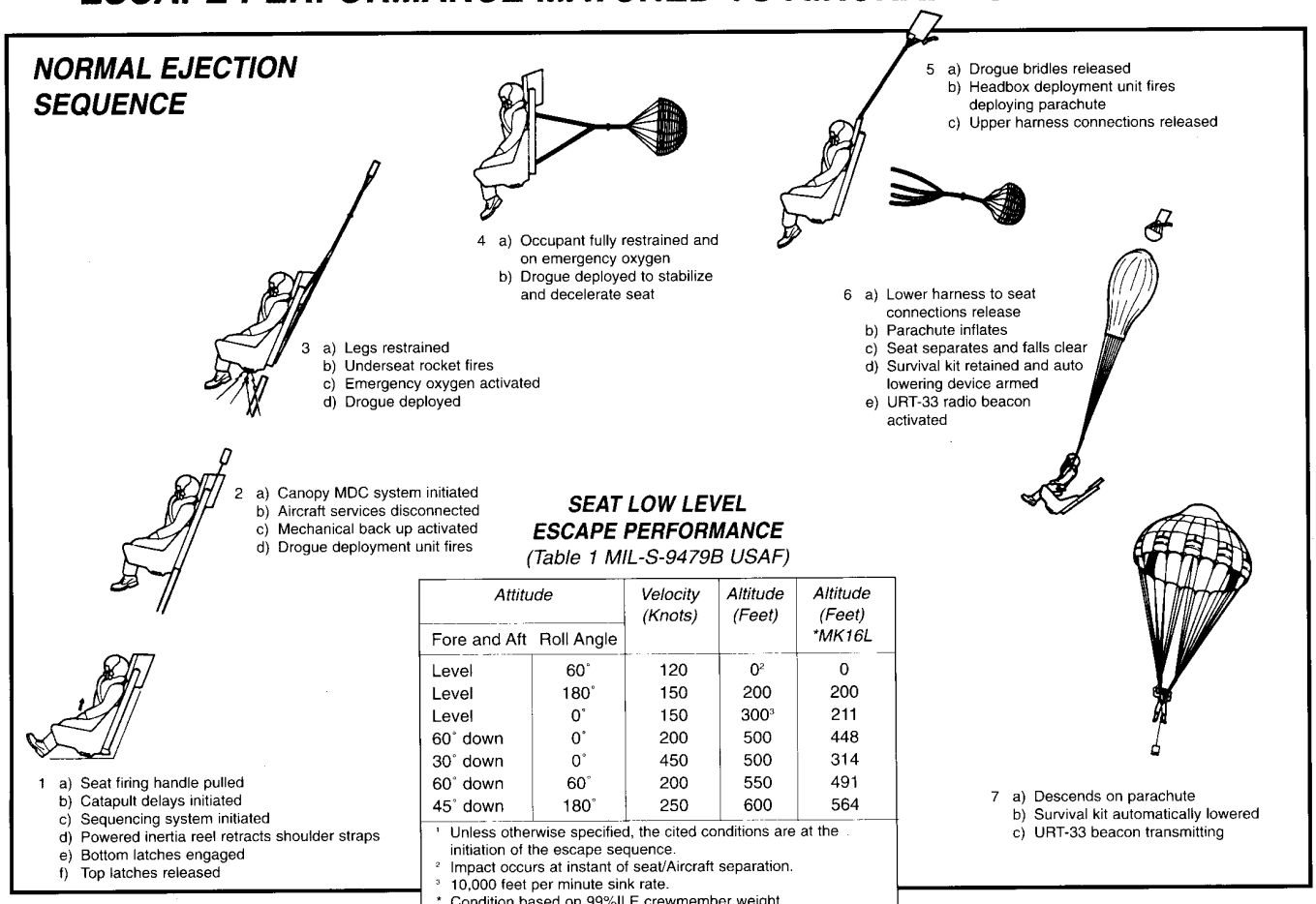
Zvezda K36-DM

- Fabricante: JSC RD&PE "Zvezda", Russia, 140070, Moscow region., Tomilino, Gogol str., 39. , Tel.:(095) 557-30-65, Fax: (095) 557-3388 , E-mail: zvezda@zvezda-npp.ru
- Operatividad: 0 km/h < Velocidad < 1400 km/h y 0m < Altura <25 km

Martin-Baker MK16L Lightweight Ejection Seat

- Fabricante: Martin-Baker Aircraft Co. Ltd., Lower Road, Higher Denham, Nr Uxbridge Middlesex UB9 5AJ United Kingdom ,Telephone, General: +44 (0)1895 832214 ,Sales: +44 (0)1895 836509 ,Marketing: +44 (0)1895 836558 ,E-mail, General: enquiries@martin-baker.co.uk (for general enquiries)

ESCAPE PERFORMANCE MATCHED TO AIRCRAFT CAPABILITIES



SEAT LOW LEVEL ESCAPE PERFORMANCE
(Table 1 MIL-S-9479B USAF)

Attitude		*Velocity (Knots)*	*Altitude (Feet)*	*Altitude (Feet) *MK16L*
Fore and Aft	Roll Angle			
Level	60°	120	0[2]	0
Level	180°	150	200	200
Level	0°	150	300[3]	211
60° down	0°	200	500	448
30° down	0°	450	500	314
60° down	60°	200	550	491
45° down	180°	250	600	564

[1] Unless otherwise specified, the cited conditions are at the initiation of the escape sequence.
[2] Impact occurs at instant of seat/Aircraft separation.
[3] 10,000 feet per minute sink rate.
* Condition based on 99%ILE crewmember weight (%ILE not specified in mil-S-9479B)

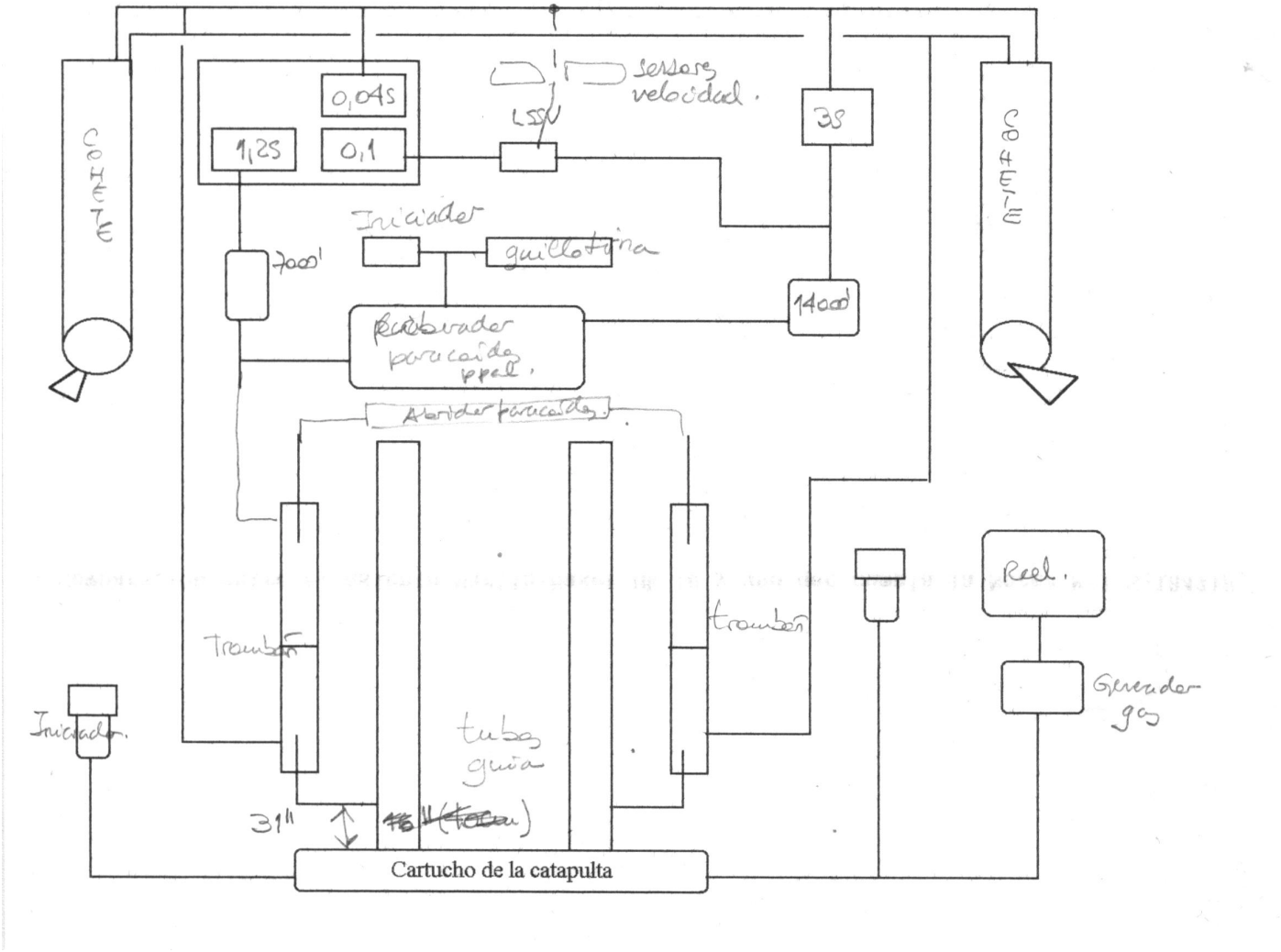
Operación

A fin de ilustrar brevemente la operación de un asiento típico, se describirán las secuencias de operaciones que se producen en el asiento STENCEL SIIIS-3, utilizado en aviones de la Marina de EEUU.

La eyección se inicia al tirar hacia arriba el control manual ubicado en la parte frontal del asiento, entre las piernas del piloto. Este movimiento se transmite a los **iniciadores** mediante un cable que los activa, estos producen gases calientes a alta presión que se transmiten por el **Sistema de Transmisión de Señales Balísticas**, tal como puede observarse en la Figura 7, la cual es un esquema típico de un asiento.

El iniciador derecho provee presión al cartucho de ignición derecho de la catapulta; además enciende el **generador de gas** del **Reel Inercial**, el cual retrae el cuerpo del piloto mediante correas que permiten colocarlo en la mejor posición para la eyección.

El iniciador izquierdo provee presión al cartucho izquierdo de la catapulta; a medida que los cartuchos se queman, la presión de los gases producidos fuerza a los pistones del asiento a moverse hacia arriba, deslizando sobre los tubos de guía internos. Después de una ascensión de 16 pulgadas (aproximadamente 40 cm) se aplica presión a las trabas del **primer paracaídas**, que es expulsado y se produce una apertura rápida del mismo. Este paracaídas contribuye a estabilizar el asiento y la salida del paracaídas principal.



Después de 31 pulgadas (aproximadamente 75 cm) de ascensión se exponen aberturas en los tubos de guía de la catapulta, que permiten alimentar de gas a los **trombones**. Dichos elementos, ubicados a izquierda y derecha en el asiento, permiten la transmisión de gases de manera tal que compensan el movimiento de vaivén del asiento. Cada uno de ellos dirigen gases a los ignitores de los cohetes principales, los cuales se encienden y propulsan al asiento fuera de la cabina a fin de alejarlo lo más posible del avión.

A medida que progresa la secuencia se van desconectando los sistemas de comunicaciones, oxígeno y anti-G. Una pequeña cuerda ubicada en una de las extensiones de la catapulta, al ser tensionada por el movimiento del asiento conecta automáticamente la botella de oxígeno en el kit de supervivencia, lo cual permite efectuar eyecciones a grandes alturas. Por otra parte, otras cuerdas unidas a la catapulta permiten liberara al motor cohete **WORD** (Wind Oriented Rocket Deployment, Motor cohete de despliegue orientado por el viento), el que al soltarse se orienta según el vector de aceleración del asiento al ser tirado por el primer paracaídas.

El trombón izquierdo dirige, además, presión para activar el **demorador de 0,04 segundos** que forma parte del **iniciador con doble demora** y al **demorador de 3 segundos** del **iniciador con demora única**. El sistema del asiento utiliza presión de este trombón para activar el **extensor de sensores de velocidad**, con lo cual dos sensores son colocados en posición en el asiento. El trombón derecho transmite presión para activar al **iniciador con doble demora**, que contiene dos demoradores: uno de **0,1 segundos** y otro de **1,2 segundos**; el primero de estos demoradores provee gases a la **válvula selectora de baja velocidad**, mientras que el segundo demorador activa al iniciador del **actuador del aneroide de 7000 pies**.

La estabilización del asiento durante esta fase de la eyección es controlada por el sistema de **Re alineamiento Automático Direccional de la Trayectoria** (en inglés: Directional Automatic Realignment or Trayectory, **DART**). Cables fijados en la base de la catapulta mediante soportes con frenos de disco son inicialmente desenrollados a medida que el asiento abandona la cabina. Cuando dichas cuerdas extienden toda su longitud libre, la aplicación de la tensión transmitida por ellas corta unos pines de traba sujetos al asiento, permitiendo que el resto de las líneas se desenrollen a través de los frenos. Los cables pasan a ser controlados por estos, los cuales proveen una restricción diferencial de movimiento, a fin de corregir cualquier tendencia de rolido o cabeceo y mantener una actitud apropiada en el asiento. El fin del control por este sistema ocurre cuando las cuerdas son finalmente expulsadas en su longitud total.

La secuencia de eventos subsiguiente depende de la velocidad y altitud del avión en el tiempo de la eyección. Como puede observarse en la Figura 8, existen cuatro modos posibles de operación: **Modo 1**, en el cual la eyección ocurre debajo de los 7000 pies (2100 m) y a una velocidad inferior a los 225 KEAS (Knots Equivalent Air Speed, Velocidad Equivalente en Nudos); **Modo 2**, debajo de los 7000 pies y con una velocidad mayor que 225 KEAS; **Modo 3**, arriba

de los 7000 pies, pero debajo de los 14000 pies (4200 m) a cualquier velocidad; y, finalmente, **Modo 4**, arriba de 14000 pies y a cualquier velocidad. Dado que los retardadores de iniciación han sido activados, la secuencia siguiente está determinada por su interacción con los mecanismos sensores de altitud y velocidad, con la válvula selectora de baja velocidad y los iniciadores de los actuadores de los aneroides de 7000 y 14000 pies.
En el Modo 1, correspondiente al modo de baja altura/velocidad, es crucial obtener una apertura rápida del paracaídas tan pronto como sea posible. La secuencia en este modo es controlada por el demorador de 0,1 segundos. Los gases que se producen luego del mismo deben pasar a través de la válvula selectora de baja velocidad, la cual contiene un pistón interno el cual normalmente bloquea las salida desde el demorador de 0,1 segundos.
En Modo 1, debido a la velocidad de vuelo y la altitud, causan que la válvula selectora de baja velocidad mueva su pistón (debido a la acción de los sensores de velocidad/altitud), abriendo un camino para que estos gases puedan actuar inmediatamente liberando al motor WORD y armando el iniciador de 14000 pies. Este se enciende inmediatamente dado que la eyección ocurre debajo de su altura tope, y sus gases fluyen dentro del trombón superior de la catapulta, aportando presión de esta manera para abrir el contenedor del paracaídas. Mientras tanto el Motor WORD se alinea con la aceleración neta del asiento, es decir en forma opuesta al movimiento del mismo, y se dispara por acción de los gases. Con este nuevo impulso se extrae el paracaídas principal y las lineas de suspensión del mismo. Una vez que este se ha desplegado una distancia predeterminada, una pequeña cuerda queda tensada y activa un carga que expele pequeñas masa metálicas sujetas en la uniones de las lineas de suspensión con el paracaídas. Esto permite un despliegue rápido y ordenado del mismo.
La separación del piloto y el asiento se cumplen automáticamente mediante otras tiras fijas al paracaídas; cuando éste se tensa dichas tiras activan el iniciador de separación, el cual provee de gas a la guillotina que corta las sujeciones entre el piloto y el asiento. Luego, a medida que este desciende, puede desplegar su kit de supervivencia.
En el Modo 2, alta velocidad-baja altitud, el asiento debe ser frenado previamente a la apertura del paracaídas a fin de prevenir cargas excesivas sobre el piloto. Para ésto se bloquea el funcionamiento del demorador de 0,1 seg mediante la válvula selectora de baja velocidad. El mecanismo sensor de altura/velocidad reacciona ante las condiciones de alta velocidad, no permitiendo que el pistón de la válvula se mueva, lo cual bloquea los gases del demorador de 0,1 seg. La secuencia se detiene hasta que el demorador de 1,2 seg actúa, puesto que éste es el tiempo necesario para desacelerar el asiento mediante la resistencia que produce al aire.
Cuando actúa el demorador de 1,2 seg, sus gases calientes activan al iniciador de 7000 pies. Este se enciende inmediatamente dado que la eyección ocurre debajo de su altura tope, y sus gases liberan al motor WORD y continúan con el resto de la eyección según se describió en el Modo 1.
El Modo 3, de altitud intermedia, permite una relajación en el tiempo necesario para la eyección puesto que se cuenta con la altura suficiente para realizarla. Los sensores de altura/velocidad bloquean los gases del demorador de 0,1 seg, el demorador de 1,2 seg. produce gases que se dirijen al iniciador de 7000 pies, pero este no se activa por encontrarse a una altura superior. Finalmente, el demorador de 3,0 seg deja pasar los gases que activan inmediatamente al iniciador de 14000 pies y liberan al motor WORD. El resto de la secuencia sigue según se explicó en el Modo 1.
Por último, el Modo 4, de gran altura. En este Modo el objetivo principal es lograr que el piloto descienda rápidamente a una altura desde donde pueda respirar libremente y no sufra los efectos del frío. Es por esto que se traban todos los iniciadores controlados por aneroides hasta que se encuentran por debajo de los 14000 pies, donde se activa la secuencia según se explicó en el Modo 3.
Existe una última alternativa, y es el **Modo Manual**, donde el piloto al accionar una palanca al costado de su asiento interrumpe la secuencia liberando al paracaídas principal. Este al desplegarse activa el inciador de separación piloto/asiento que alimenta a la guillotina, la cual corta las correas de sujeción del piloto al asiento.
En la Figura 9 puede observarse la secuencia de eyección para el Modo 1.

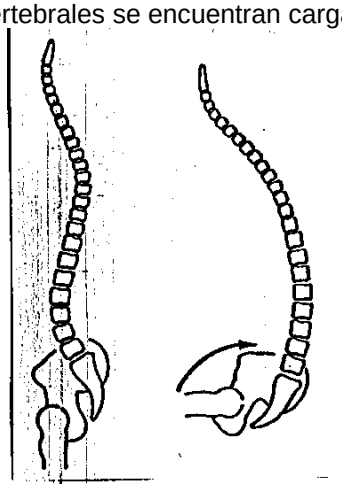
Problemas físicos de la eyección

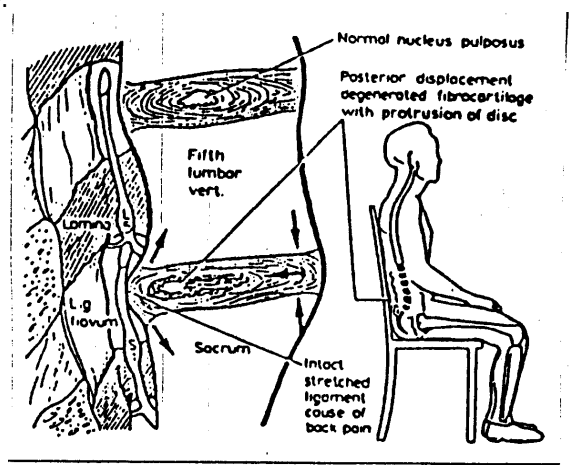
Si bien las estadísticas demuestran un elevado porcentaje de éxito durante el abandono de los aviones en emergencia, también se encuentran lesiones que van de leves a mortales por fallas de los sistemas. Un diagnóstico temprano de las probables lesiones aceleraría el tratamiento posterior en beneficio del afectado.
Las lesiones pueden producirse en cualquier parte de la eyección. Como se sabe este procedimiento se realiza normalmente a altas velocidades, bajo fuerte presión psicológica y sin márgenes para seguir formalmente las normas operativas. Es común la fractura de miembros inferiores por impacto. La ruptura de ligamentos se origina en los procedimientos a gran velocidad, y la luxación de hombro es causada por la dificultad del piloto en mantener baja la cortina de protección al desplazar los brazos el soplo producido por la alta velocidad del aire.
Los traumatismos de pie causan inflamación en los dedos, pero las punteras reforzadas de los borceguíes evitan las amputaciones y fracturas. Esta lesión se observa por el eventual golpe de los pies contra el borde del tablero al salir el asiento de la cabina. La falta de guantes colocados durante el manipuleo puede producir quemaduras en las manos al comenzar la ignición del cohete impulsor del asiento. Al no bajarse la visera del casco puede aparecer una patología oftálmica (máculo patías). Otras lesiones leves, como traumatismo lumbar, son comunes por la incorrecta posición al sentarse o por la mala posición que el asiento obligara a tomar al piloto. La despresurización previa de la cabina causa hipoxia y alteraciones que disminuyen el poder de concentración y alerta, por lo cual es común que los pilotos hayan pasado por un entrenamiento previo en una cámara hipobárica. Los esguinces de tobillo son típicos del impacto contra el suelo.
Después de la eyección suelen aparecer dilataciones gástricas o intestinales, por lo cual se suele servir al afectado una alimentación blanda durante 48 hs, postergando las celebraciones. Pero la patología más frecuente es la desadaptación al vuelo en el tipo de avión motivo de la eyección, y se muestra como una fobia al aparato de combate. No se han efectuado investigaciones sobre este tema, que podría dar lugar a sorpresas inesperadas.

Como ejemplo puede citarse el historial médico de una eyección ocurrida hace algún tiempo. A las dos horas de haberse producido, el piloto fue rescatado por un helicóptero y a las dieciséis horas fue atendido en un hospital provincial por un profesional no especializado, el cual evaluó el estado general y las prioridades. En la historia clínica figuró la ananmesis, el diagnóstico y los estudios radiológicos complementarios de cervicales (frente y perfil). Se diagnosticó politraumatismo y se lo trató con analgésicos.
Diecinueve horas más tarde fue llevado por vía aérea a la unidad de destino donde fue examinado por el médico aeronáutico que tomó como guía el formulario de examen psicofísico. El paciente estaba ansioso y con fuerte dolor en el epigastrio, por lo que se hicieron radiografías de columna detectando en la región lumbo-sacra una espina bífida congénita, y además en el electrocardiograma se verificó arritmia supraventicular. En el examen oftalmológico se observó que la visión cromática era anormal (confundía los colores).
A las veintitrés horas el paciente fue llevado a su domicilio y medicado con tranquilizantes y antinauseosos, y al día siguiente se comprobó que habían desaparecido las alteraciones oftalmológicas. El Instituto de Medicina Aeronáutica y Espacial (INMAE) controló al piloto al cuarto día y lo derivó al Hospital Aeronáutico Central para que hiciera tratamiento por síndrome meniscal.
De este caso se puede inferir que si fuera posible realizar diagnósticos correctos antes de las 48 hs, el tratamiento del accidentado podría ser más enérgico, oportuno y efectivo con lo que se evitarían los probables traumas psicológicos y la readaptación al vuelo sería casi inmediata.

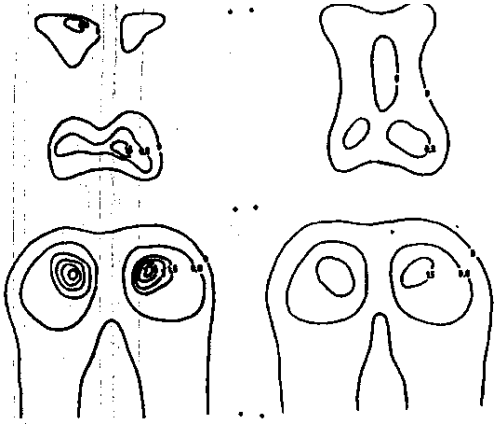
Ergonomía

La Ergonomía es una ciencia dedicada al estudio e investigación de las propiedades humanas para establecer como el equipamiento y el ambiente pueden ser diseñados para tenerlos en cuenta a fin de obtener un mejor rendimiento y comodidad.
Los propósitos de la ergonomía se encuentran vinculados con la organización en las tareas humanas, el diseño de sistemas hombre-máquina y la clase de ambiente. Refiriéndonos al sistema hombre-máquina los aspectos de diseño ergonómico son: la **controlabilidad** de la máquina y el denominado **diseño antropométrico** del equipo técnico.
Estas consideraciones en el diseño de dichos sistemas necesitan ser aplicadas durante el diseño de asientos, especialmente cuando se espera que puedan ser utilizados durante varias horas como ocurre en diversos tipos de transportes.
Lo más importante para lograr una posición de reposo saludable es la forma que adopta la columna vertebral. En un individuo que se encuentra erguido esta toma la forma de una **doble S**, mientras que al sentarse en la mayoría de los asientos más comunes adquiere el contorno de una **C**. La forma de **doble S** es la óptima debido a que los discos intervertebrales se encuentran cargados simétricamente.

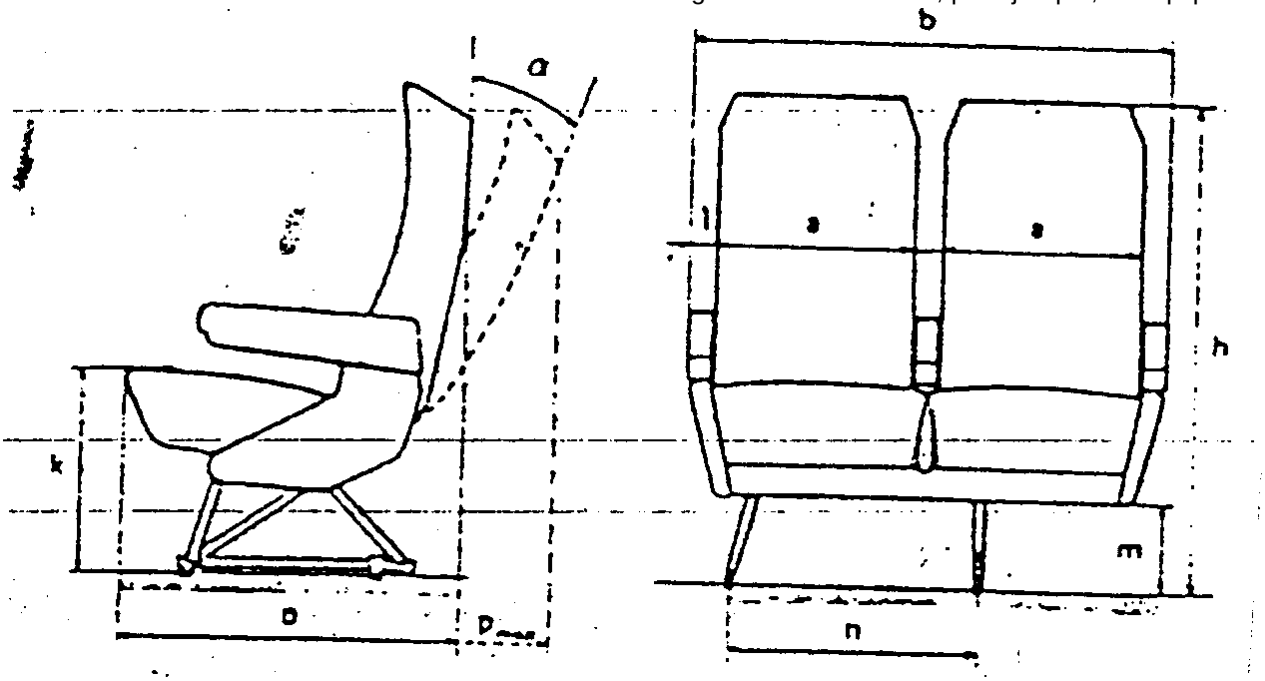




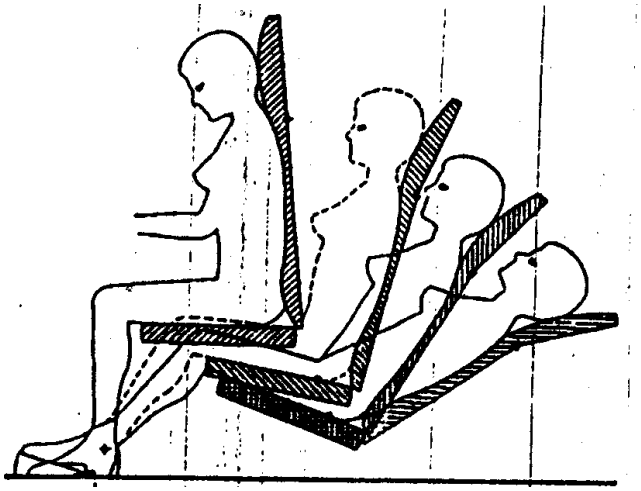
Como la forma de **C** produce cargas asimétricas entre los discos, los nervios raquídeos que parten de la médula espinal se encuentran comprimidos. Esto puede llegar a causar **ciática** o **dolores de espalda** en la vida del individuo, cuando se analiza el caso de una eyección en dicha posición las consecuencias pueden ser muy graves.
La principal razón de la postura en **C** se debe a que la pelvis se desplaza hacia adelante al sentarse. Para prevenir esta mala postura se recomienda, desde el punto de vista de la ergonomía, la utilización de un soporte lumbar ajustable o fijo.
Otra influencia en el confort de un asiento se debe a la distribución de presión en la áreas de contacto entre el cuerpo humano y las superficies de la butaca. El la parte izquierda de la Figura se muestra la distribución en un asiento duro mientras que a la derecha puede observarse la correspondiente a un asiento blando. La regla ergonómica para la elección del material de recubrimiento prescribe que la presión no debe ser mayor que 3-4 Pa, de otra manera, la circulación sanguínea se verá afectada lo cual causa la sensación de poco confort.
El problema más difícil es la gran variación entre las alturas de los potenciales usuarios. En antropometría la altura del cuerpo humano se clasifica mediante porcentajes. Una altura masculina del noventa y cinco por ciento significa que el 95% de una cierta población de



hombres serán más pequeños que esta cifra. Análogamente, una altura femenina del cinco por ciento se interpreta como que el 5% de la población femenina será menor que dicha altura.
La aplicabilidad de dicho sistema de clasificación consiste en lo siguiente: considérese, por ejemplo, un equipo técnico



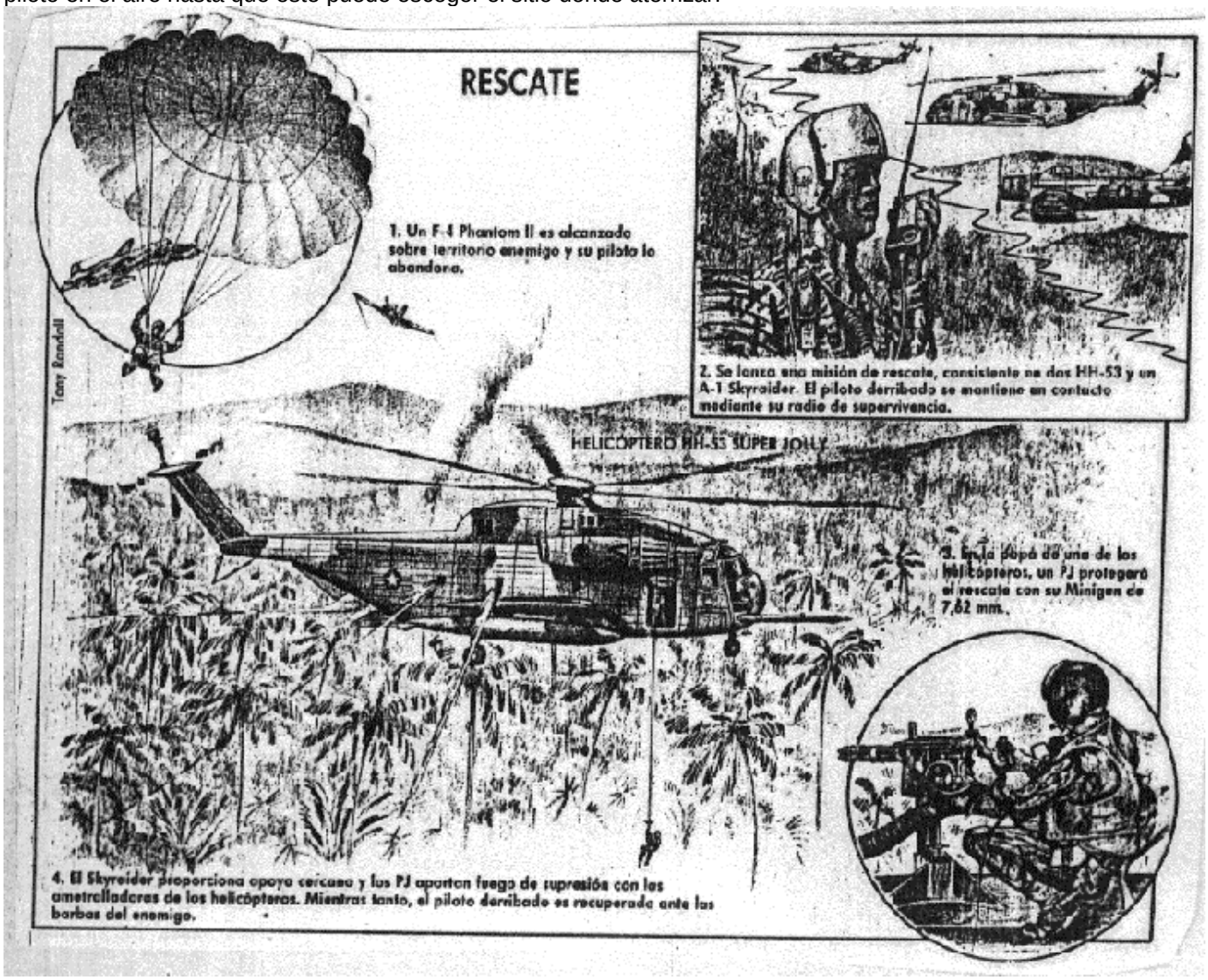
diseñado de tal manera que pueda ser utilizado desde el 5% femenino al 95% masculino, esto implica que dicho equipo se encontrará disponible para el uso del 90% de la población. Pero, observado la Figura, puede inferirse la gran diferencia que aún se presenta.
Por esta razón de la individualidad física, un asiento ideal tendría que ser ajustable a las necesidades de cada individuo. Dichos ajustes se refieren a la longitud del mismo, el soporte lumbar y de cabeza. Considerando el caso de aviones de pasajeros, el apoya cabeza debería tener un diseño tal que permitiera sostener la cabeza del pasajero mientras duerme.
Sería un error considerar, según las indicaciones anteriores, que con un diseño **rígido** de base estadística ergonómica proveería una posición de reposo saludable y confortable. El cuerpo humano no fue creado para una vida sin movimiento, puesto que -como todo el mundo sabe- mientras una persona se encuentra sentada adopta diferentes posturas.
De los resultados de investigaciones ergonómicas, se recomienda el uso de **asientos dinámicos**.



Sistemas de escapes futuros

En los últimos conflictos de importancia (Corea, Vietnam, Golfo Pérsico) ha quedado plasmado el problema de la recuperación de pilotos que han sido abatidos detrás de las lineas enemigas, puesto que es una razón moral de importancia para todo el grupo de pilotos y una cuestión de estrategia dada la información que puede proveer al adversario, además del costo económico que representa la pérdida de un piloto experimentado.
Las técnicas de salvamento actualmente empleadas se pusieron a punto en Vietnam, donde caza bombarderos norteamericanos efectuaban misiones de bombardeo sobre objetivos ubicados en Vietnam del Norte. A partir de la incorporación de dicho país de sistemas antiaéreos misilísticos (SAM) de origen soviético, el porcentaje de derribos fue en incremento y la moral de los aviadores decayó. Una actitud obvia fue proveer de seguridad sobre el retorno a las propias líneas en caso de derribo, lo cual llevó a establecer un complejo sistema de recuperación. El mismo consistía en colocar en vuelo sobre la frontera a un conjunto de dos helicópteros de gran porte Sikorsky HH-53 "Green Jolly" y un A-1 Skyraider -avión de ataque a tierra con gran capacidad de carga de armas- que se encargarían de localizar al aviador derribado y de recuperarlo hasta la base. Como puede observarse en la Figura 15, se requería una gran coordinación entre las aeronaves y el rescatado, amen de una potencia de fuego elevada para protección de las mismas contra las fuerzas enemigas; aparte del gran riesgo de permanecer en vuelo estacionario sobre una zona infestada de equipos antiaéreos. A todo esto, se le debe sumar el costo logístico, económico -muy importante en las guerras actuales- y en vidas que implica una operación de tal naturaleza.
Una alternativa que comenzó a estudiarse a fines de 1969 y actualmente se encuentra en boga es la de proveer al piloto alcanzado con un sistema de escape que le permita dirigirse a un terreno seguro, puesto que esto disminuiría los riesgos de derribo de los equipos de rescate.

A tal fin existen las propuestas de sistemas de **"*asientos volantes*"**, los cuales se encuentran en estudio por la marina y la fuerza aérea de los EEUU. La idea es simple: consiste en un asiento de cabina común y corriente, que puede desplegarse después de ser eyectado el asiento y que, con un pequeño motor de reacción, pueda conservar al piloto en el aire hasta que éste puede escoger el sitio donde aterrizar.

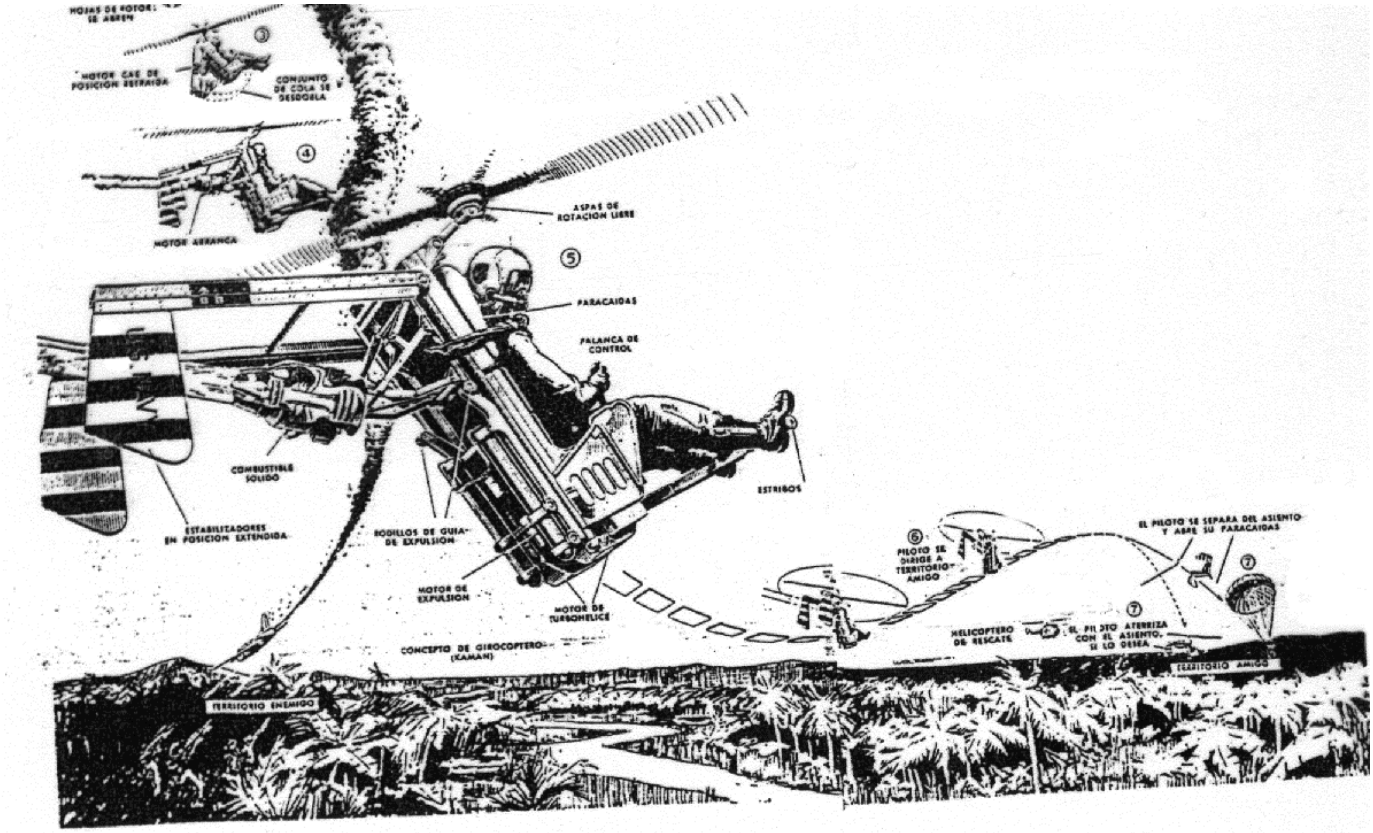


Los requisitos exigidos son los siguientes:

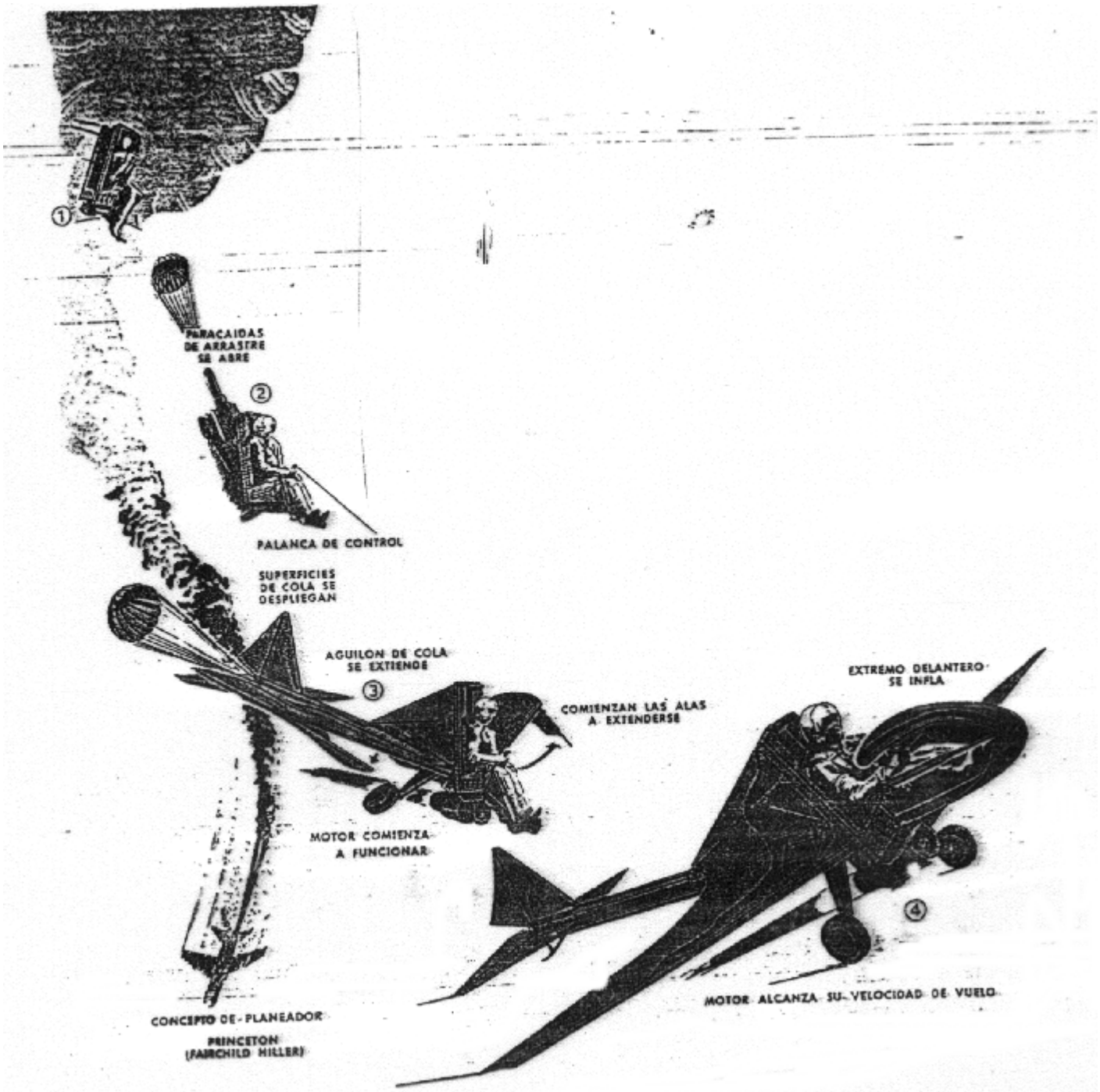
- El piloto podrá escoger entre el sistema o su propio paracaídas, si sabe que se encuentra sobre territorio enemigo.
- Después de la eyección, el sistema será automático, pero el piloto podrá anularlo cuando lo desee. El funcionamiento automático permite que un piloto herido o semiconsciente pueda utilizar el asiento, el cual se moverá en una dirección y altura determinadas de antemano.
- Un sensor barométrico impedirá que el sistema entre en acción hasta bajar el asiento a un nivel de 10000 pies (3048 m). Si actúa a una altura mucho mayor, el piloto podría sufrir los efectos de una exposición a condiciones extremas, viéndose obligado a consumir su oxígeno con excesiva rapidez. Si el piloto sale expulsado a una altura inferior a los 10000 pies, el sistema deberá actuar de inmediato.
- El asiento deberá ser capaz de moverse a una velocidad de 100 nudos, deberá tener un índice de ascenso de 1000 pies (304,8 m) por minuto y un alcance aproximado de 50 millas (80 km).
- El sistema deberá incluir un equipo de supervivencia y un faro localizador para facilitar cualquier rescate aéreo.
- El sistema automático deberá permitir la separación del asiento y el despliegue del paracaídas del piloto a una altura mayor de 200 pies (60,9m) después de un vuelo de 30 minutos.

Los conceptos que se encuentran en estudio son tres: el de autogiro, el de planeador y el de ala delta.
El primero de ellos es el único sistema concebido para llevar al piloto a tierra, sin que tenga que separarse de su asiento, aunque todavía puede utilizar su paracaídas si lo desea.
El motor va empotrado en el respaldo del asiento, con las dos aspas de un rotor plegadas por detrás. Durante el despliegue, las aspas se extienden hacia afuera y hacia arriba, tirando al mismo tiempo de su brazo de control. Luego se mueven hacia abajo mediante unas bisagras, se extienden totalmente (15 pies - 4,57m) y se inmovilizan. Mientras tanto, unas superficies estabilizadoras cuyas formas permiten que se adapten a los lados del asiento sin perder sus características aerodinámicas se desplazan hacia atrás para inmovilizarse. El motor cae de su posición de transporte y

se prende. El empuje hacia adelante hace que las aspas del rotor giren, y las aspas de por sí proporcionan la sustentación y el control.
Este sería el único sistema capaz de permitir al piloto de realizar un aterrizaje.



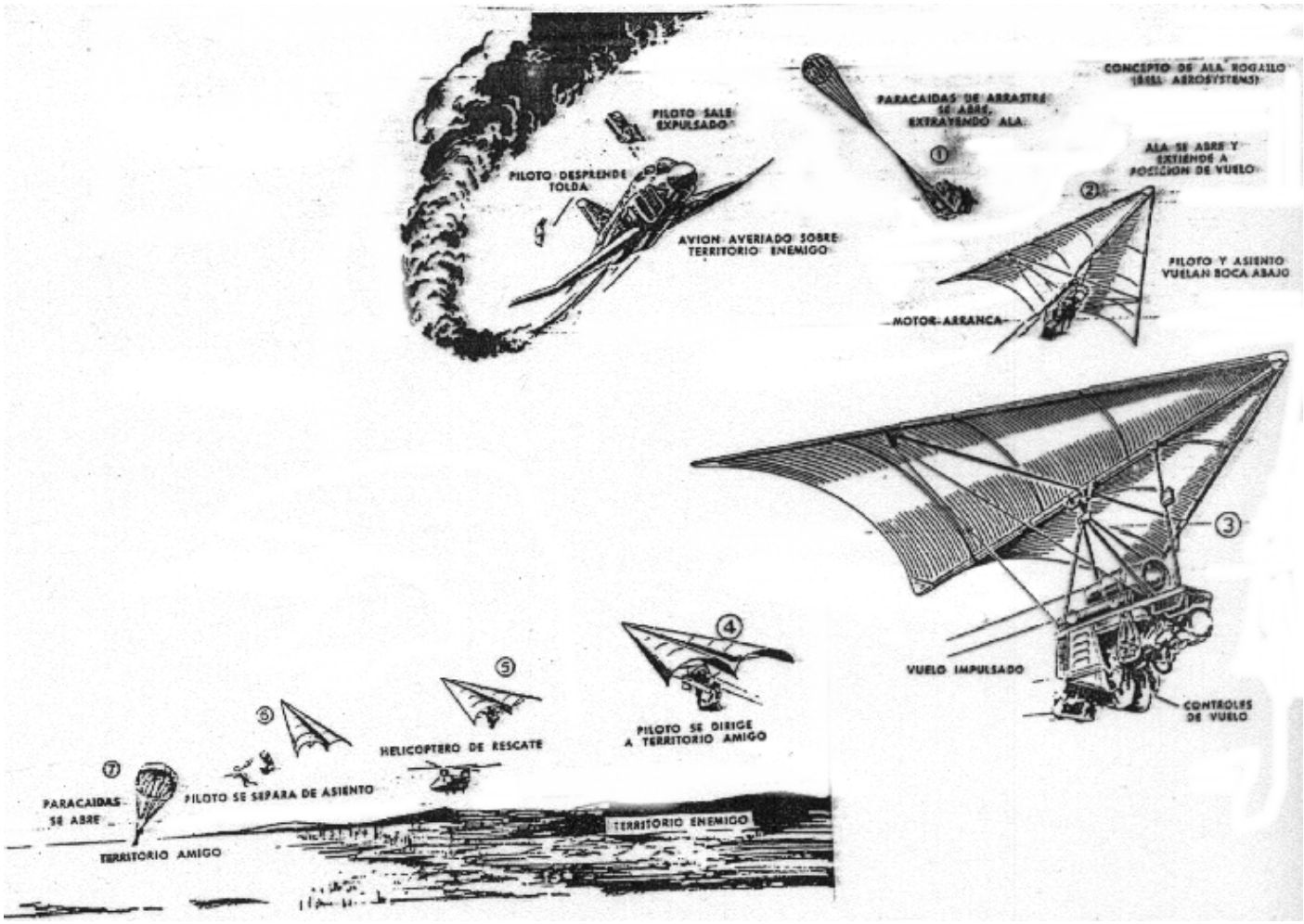
El planeador se asemeja a un avión con una relación C_L/C_D de 5 a 1 y puede deslizarse hasta mucho después de agotarse su combustible.
El despliegue se efectúa de la siguiente manera: después de que el paracaídas de deceleración haya hecho perder velocidad al asiento, un conjunto de cola -compuesto de secciones encajadas la una en la otra- sale de su posición retraída y se extiende totalmente. La última sección tiene muescas que se extienden a casi todo su largo. La superficies de la cola se pliegan y retraen dentro de estas muescas. Cuando la sección queda expuesta, las superficies de la cola, bajo la tensión de resortes salen y se inmovilizan. Unos largueros abisagrados en el extremo delantero forman los bordes de ataque y tiran de unos cables para formar los bordes de seguimiento.
Las alas se encuentran abisagradas en dos puntos. La sección anterior del borde de ataque, se encuentra abisagrada al asiento, mientras que la sección exterior, que va empotrada en la sección interior, se extiende más mediante una bisagra en el extremo exterior de la sección interior.
Cuando se halla totalmente extendida, el ala se inmoviliza y tira del cable para el borde de seguimiento, la tela y dos costillas que sirven como refuerzos.
Se completa el fuselaje inflando una sección delantera hecha en tela revestida de caucho. Esto le proporciona al sistema mejores características aerodinámicas y alargue el vehículo a 14 pies (4,26 m). Su envergadura es de 16 pies (4,87m).
Una palanca en el piso permite mover unas bolsas de aire (vejigas) dentro de las alas, que disponen éstas para inclinar el asiento hacia adelante o lateralmente.
El motor va fijado al borde inferior del asiento y también se puede controlar mediante un acelerador en el brazo del asiento.



El ala delta es el sistema más sencillo de los tres. Es activada por un sincronizador o por activadores que reaccionan al tiro del paracaídas desacelerador. Sea cual fuere el caso, el ala con forma de V se desprendería del respaldo del asiento y se extendería a un largo aproximadamente de 7 pies (2,13 m) y a un ancho de 13 pies (3,96 m) en el borde de seguimiento. Cada una de las tres quillas tendría por lo menos dos secciones, una empotrada en la otra. Durante el despliegue también se extendería un travesaño para conservar las tres quillas en posición rígida y proporcionarle al ala de tela la "flotabilidad" necesaria.

El ala tendría un ángulo de ataque de aproximadamente 30°. El piloto, todavía asegurado a su asiento con correas, estará tendido boca abajo. Moviendo una palanca, podrá inclinar el ala hacia la dirección de vuelo que desee. El motor, colocado en el respaldo del asiento, comienza a funcionar cuando el ala se despliega y es controlado manualmente por un acelerador en un brazo del asiento.

Un inconveniente de este concepto es que el piloto se sentiría muy incómodo cabeza abajo, además no podría aterrizar atado a un enorme asiento, por lo que tendría que expulsar el asiento y bajar en paracaídas.


CONCEPTO DE ALA ROGALLO
(BELL AEROSYSTEMS)
PILOTO SALE EXPULSADO
PILOTO DESPRENDE TOLDA
AVION AVERIADO SOBRE TERRITORIO ENEMIGO
PARACAIDAS DE ARRASTRE SE ABRE, EXTRAYENDO ALA
ALA SE ABRE Y EXTIENDE A POSICION DE VUELO
PILOTO Y ASIENTO VUELAN BOCA ABAJO
MOTOR ARRANCA
VUELO IMPULSADO
CONTROLES DE VUELO
PILOTO SE DIRIGE A TERRITORIO AMIGO
HELICOPTERO DE RESCATE
PILOTO SE SEPARA DE ASIENTO
PARACAIDAS SE ABRE
TERRITORIO AMIGO
TERRITORIO ENEMIGO

Tablas

Tabla 1

Clase	Seat Pitch	a
1º	37"-42"	19"
Turista	32"-36"	17"
Económica	28"-31"	16"

Tabla 2

Clasificación asiento	Trayectos Largos/medios		Trayectos cortos	
	lb	kg	lb	kg
Primera clase - single	47	21,3	40	18,1
-doble	70	31,8	60	27,2
Clase Turista - single	30	13,6	22	10
- doble	56	25,4	42	19
- triple	78	35,4	64	29
Económica -simple	24	10,9	20	9,1
-doble	47	21,3	39	17,7
-triple	66	29,9	60	27,2
Conmuter -simple	-	-	17	7,7
-doble	-	-	29	13,2
Asientos livianos	-	-	14	6,4
Asientos de camareros	18	8,2	14	6,4
Asientos de ejecutivos				
Single - VIP	50	22,7		
- normal	40	18,1		
- pequeño	32	14,5		
Asientos eyectables	150	68	(instalado)	

Tabla 3

Capacidad asientos	Número de salidas requeridas a cada lado del fuselaje			
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
1 a 9	-	-	-	1
10 a 19	-	-	1	-
20 a 39	-	1	-	-
40 a 59	1	-	1	-
60 a 79	1	-	1	-
80 a 109	1	-	2	-
110 a 139	2	-	1	-
140 a 179	2	-	2	-

Notas:

1. Los requerimientos BCAR son levemente diferentes para el rango 1-10 pasajeros; por esta causa una salida de Tipo III se requiere para cada lado del fuselaje. Dos del Tipo I y II se exigen para una capacidad entre 180 y 219 pasajeros.
2. Las salidas no necesitan encontrarse ubicadas en forma diametralmente opuesta a cada una. Pueden ser colocadas según la distribución de asientos de los pasajeros.

Tabla 4

Clasificación salidas de emergencia y ubicación	B (mín) pulgadas (mm)	H (más) pulgadas (mm)	R (más) pulgadas (mm)	Altura máxima del escalón	
				dentro (h1)	fuera (h2)
I Nivel Piso	24 (610)	48 (1219)	1/3 B	-	-
II Nivel Piso	20 (508)	44 (1117,6)	1/3 B	-	-
Arriba Ala			1/3 B	10 (254)	17 (431,8)
III Arriba Ala	20 (508)	36 (914,4)	1/3 B	20 (508)	27 (685,8)
IV Arriba Ala	19 (482,6)	26 (660,4)	1/3 B	29 (736,6)	36 (914,4)