



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS DE UN DISPOSITIVO  
BIOMÉDICO TEÓRICO CAPAZ DE  
REDUCIR ACCIDENTES AÉREOS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE.  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

**FRANCO ORTEGA JONATHAN ALEJANDRO**

**ASESOR: AMANDA ORALIA GÓMEZ GONZÁLEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA 6/Marzo/2015**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*TABLA DE CONTENIDOS (INDICE):*

INTRODUCCIÓN .....	6
1. Historia de la medicina aeronáutica.....	8
1.1 El mundo de la aviación	
1.2 La medicina aeronáutica	
1.3 Época preaerostática	
1.4 Época aerostática	
1.5 La medicina aeronáutica antes del siglo XX	
1.6 Accidentes aéreos	
2. Sentidos y signos vitales.....	19
2.1 Visión	
2.1.1 Problemas de la visión (Fatiga visual, visión negra, visión gris, miopía nocturna ilusiones visuales)	
2.2 Audición	
2.2.1 Sonido	
2.3 Equilibrio	
2.3.1 Desorientación espacial	
2.4 Respiración	
2.5 Circulación sanguínea	
3. Aparatos que miden los signos vitales.....	33
3.1 Electrocardiograma	
3.2 Oxímetro	
3.3 Transductores de flexibilidad	
4. Alteración de los sentidos .....	55
4.1 ¿Cómo afectan la falla de los sentidos durante el vuelo?	
4.2 Problemas más comunes en la salud de los pilotos	
4.2.1 Incapacitación	
4.2.2 Enfermedades respiratoria	
4.2.3 Hipoxia	
4.2.4 Barotitis o Aerotitis	
4.2.5 Enfermedades cardiovasculares	
4.2.6 La aceleración	
4.2.7 Barotitis o Aerotitis	

4.2.8	Enfermedades cardiovasculares	
4.2.9	La aceleración y su efecto en los sentidos	
5	Problemas en manejos de aparatos.....	80
5.1	Factores humanos	
5.1.1	Actuación humana	
5.1.2	Rasgos de la personalidad	
5.2	Relación hombre máquina	
5.2.1	SHEL	
5.3	“Error de Piloto”	
5.3.1	Gestión de Recursos en Cabina (CMR)	
5.3.2	Estrés	
6.	Análisis teórico del dispositivo.....	92
6.1	¿Cómo realizar la adquisición de datos?	
6.1.2	Dispositivo 1	
6.1.2	Dispositivo 2	
6.2	De cómo se llevaría a cabo el envío de datos del ECG a la torre de mando	
6.2.1	Trasmisión	
6.2.2	Recepción	
6.2.3	Acondicionamiento de la señal	
6.2.3	Acoplamiento con la computadora	
6.3	De cómo se adecuaría el dispositivo de envío de la señal ECG para el envío de la señales del oxímetro, la fuerza que ejerce sobre el volante el piloto y la sudoración de sus manos.	
	RESULTADOS.....	108
	CONCLUSIONES .....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	113

## Introducción

*“Bajar la guardia y extender las manos  
desplegar las alas  
e intentar de nuevo”*

*M. Benedetti*

Viajar en avión es la forma más segura de trasladarse entre dos puntos. Según la International Air Transport Association (IATA) el número de accidentes alrededor del mundo durante el 2011 fue de 0,37, el equivalente a un accidente cada 2,7 millones de vuelos, siendo una gran diferencia con respecto a 2010 donde el porcentaje de accidentes fue de 0,61, es decir un accidente por cada 1,6 millones de vuelos.

Año tras año el número de accidentes ha ido disminuyendo gracias a las compañías aéreas, aeropuertos, proveedores de servicios de navegación aérea y los reguladores de seguridad, toda una comunidad que trabaja en conjunto día tras día, basados en estándares globales, para hacer del cielo un lugar más seguro. Sin embargo, los accidentes aunque en menor cantidad, siguen ocurriendo.

De los accidentes aéreos, aproximadamente el 80% son atribuibles a factores humanos. Durante el 2011 ocurrieron 92 accidentes, cobrando la vida de 486 personas. Esto quiere decir, que de los 92 accidentes, 74 pudieron ocurrir por factores humanos.

“Los factores humanos tratan de llevar a su óptimo nivel la relación entre las personas y sus actividades, mediante la aplicación sistemática de las ciencias humanas, integrada dentro del marco de la ingeniería de sistemas”, afirma el doctor Edwiynd Edwards, creador del modelo SHELL (Software.

Hardware. “Environment. Live”) a principios de los años setentas, en el que se destaca la importancia de la relación hombre/ máquina.

Aproximadamente el 56% de los accidentes ocurren durante la fase de aproximación y aterrizaje de las aeronaves, procesos que la mayoría de las veces se realizan de manera manual por el piloto sin la intervención del piloto automático.

Los factores humanos que pueden provocar un accidente son diversos. Entre ellos destacan los factores perceptuales/ sensoriales, que pueden ser causados por mal juicio o cálculo incorrecto en distancia, altitud, velocidad o libramiento de obstáculos, así como las percepciones visuales falsas y la percepción errónea por problemas vestibulares. Es también de resaltar la Pérdida de Conciencia Situacional la cual provoca fallas de atención, falta de respuesta a alarmas o luces de aviso y fallas para monitorear el vuelo.

### **¿El número de accidentes puede reducirse aún más?**

Partiendo de las premisas que el cuerpo humano es una “máquina” capaz de avisar cuándo necesita una revisión, cuándo no se encuentra en condiciones ordinarias para realizar una actividad y de que el error humano es inevitable, pues aún no nace el humano perfecto, propongo el estudio de un dispositivo capaz de reducir el número de accidentes aéreos a través del análisis de las señales fisiológicas del piloto.

El proyecto plantea mediante el análisis de tres variables, hacer saber a la torre de mando y al piloto, el momento, si es que éste llega a ocurrir, en que el piloto ya no está en condiciones de tripular su nave, provocando la participación del copiloto a mando del avión, evitando así poner su vida en peligro y la de los pasajeros.

Las señales fisiológicas del corazón y el torrente sanguíneo, para una persona de peso, edad y estatura específica, han sido estudiadas por los médicos desde hace años y en la actualidad se cuenta con una base de datos que permite comparar las diversas señales e identificar cuando hay una alteración en el ritmo cardiaco o en el flujo de oxígeno.

El dispositivo, que aún no se diseña, propone un sistema formado por un electrocardiograma y un oxímetro de pulso, conectados al piloto, que continuamente obtenga las señales del corazón, así como la saturación de oxígeno en la sangre, y de esta manera avisar a la torre de mando el momento en que se presente una alteración.

Por otro lado, se propone un estudio, que permita conocer la fuerza con que los pilotos sujetan el volante durante los vuelos, de esta manera, una serie de valores fuera del promedio indicaría que el piloto tiene algún problema en cabina.

Asimismo, partiendo del principio de que en un gran número de enfermedades se presenta la sudoración de las manos, se propone un sensor de humedad que sirva como un elemento más para conocer el estado del piloto.

El dispositivo planteado en este trabajo plantea hacer saber, en primer lugar, a la torre de mando que está ocurriendo un problema con el piloto, para que ésta se ponga en comunicación con el piloto y le pregunte su estado. Como sistema de seguridad, en caso de que la conexión con la torre de mando, el dispositivo puede informar de manera directa al piloto que está por presentar un malestar.

¿Por qué informar a la torre de mando antes que al piloto? Los síntomas de las enfermedades más comunes que sufren los pilotos brindan unos cuantos minutos para tomar acciones. Se le informa a la cabina de mando

en primer lugar para no predisponer al piloto a estar monitoreando sus síntomas, fundamentando en el poder que tiene el cerebro humano sobre el control del cuerpo.

El estudio de un dispositivo que tenga la capacidad de indicar cuándo no se está apto para maniobrar un medio transporte, puede salvar vidas en todos los países del mundo.

En un principio este dispositivo se pensó sólo para pilotos aéreos, pero al realizar el trabajo descubrí que este dispositivo no sólo puede aplicarse a pilotos de avión sino a todos aquellos conductores de un medio de transporte, como el metro, barco y automóvil.

Alejandro Franco



## **Capítulo 1**

### **1. Historia de la medicina aeronáutica**

Siendo uno de los deseos del hombre el poder volar, la medicina aeronáutica tiene sus inicios a partir de la exposición del ser humano a situaciones medioambientales fuera de lo normal en conjunto con todos aquellos avances que permitieron que el hombre pudiera alcanzar el cielo.

Como consecuencia de la exposición a estos ambientes, los pilotos pueden sufrir alteraciones de tipo fisiológico y/o psicológico. Los profesionales de la salud son los responsables de seleccionar al personal de vuelo con capacidades óptimas para pilotear, como forma de prevenir dificultades que pudieran afectar su salud y poner en peligro la seguridad de las personas. Ésta razón, y otras que se explicarán a lo largo del trabajo, resaltan la importancia de la medicina aeronáutica.

#### **1.1 El mundo de la aviación**

La importancia del uso de la aviación hoy en día es trascendental: se ha utilizado con fines comerciales, civiles, bélicos, gubernamentales u otros, convirtiéndose en una actividad cotidiana de la cual dependen una gran cantidad de personas. No existe una cifra real acerca de la cantidad de personas que viajan en avión cada año, pero se tiene un estimado de que aproximadamente tres mil millones viajan anualmente, y es de suponer que esta cifra irá aumentando cada vez más.

El uso de los aviones para el transporte de pasajeros es uno de los más comunes e importantes. Gracias al turismo ha aumentado la demanda de este medio de transporte a nivel nacional e internacional, siendo así una actividad que aporta grandes cantidades económicas anualmente.

La demanda del uso de los aviones es sin duda por las ventajas que se obtienen al utilizar este transporte, ya que el tiempo de viaje es mucho menor que al viajar por

vías terrestres, también se utiliza para transportar mercancías de otros países, correo, maquinarias y diversos equipos industriales así como alimentos perecederos que únicamente pueden ser transportados por este medio.

En la actualidad hay una gran oferta-demanda entre las aerolíneas para ofrecer precios accesibles, así como los servicios que se otorgan al pasajero durante la estancia de los pasajeros.

## **1.2 La medicina aeronáutica**

Cuando una persona es expuesta a un medio ambiente con características diferentes a las convencionales, es inevitable que el cuerpo reaccione tratando de crear de nuevo un equilibrio dentro del propio organismo. Sin embargo, cuando una persona es expuesta a volar, existen muchos factores que impiden que este equilibrio exista, dando como resultado que el cuerpo no se adapte por completo a esas condiciones debido a que el nivel de estrés que recibe el organismo es mucho mayor que el que puede soportar un ser humano.

Es aquí en donde entra la importancia de la medicina aeronáutica, que es una especialidad multidisciplinaria encargada de estudiar los efectos psico-fisiológicos que se tienen en el ser humano al exponerse a un ambiente fuera de lo normal durante el vuelo o en el espacio (causado por factores como la altura, temperatura, cambios gravitacionales, la disminución de oxígeno, la disminución de presión barométrica, aceleraciones, entre otros); así como la investigación de métodos preventivos que puedan garantizar la salud de los pilotos y la seguridad durante los vuelos.

## **1.3 Época preaerostática**

Uno de los grandes sueños del hombre, desde la antigüedad, ha sido el de volar. Incluso existen mitos y leyendas de diversas partes del mundo, acerca de

personas que poseían ciertas habilidades, que hacían posible que estos se elevaran y pudieran volar por los cielos. En muchas civilizaciones existen vestigios de imágenes grabadas en piedras o pergaminos, incluso libros, en donde se habla acerca de seres sobrenaturales que volaban por los cielos, haciendo referencia principalmente a sus dioses.



**Figura 1.1**  
Icaro y sus alas

El primer acercamiento a una turbina fueron las hélices. La historia de la energía eólica se remonta a los romanos y los persas (en el año 644) tenían conocimientos del concepto de hélice por sus molinos de viento.

También se dice que los chinos inventaron las cometas, hay varias historias de cómo pudieron haberse inventado; una de ellas es la de Mo Ti que era un filósofo que dicen, construyó una cometa con forma de ave que voló durante tres días junto a los pájaros, otros dicen que fue el general Han Sin que las ideó (206 a.C.) para fines bélicos.

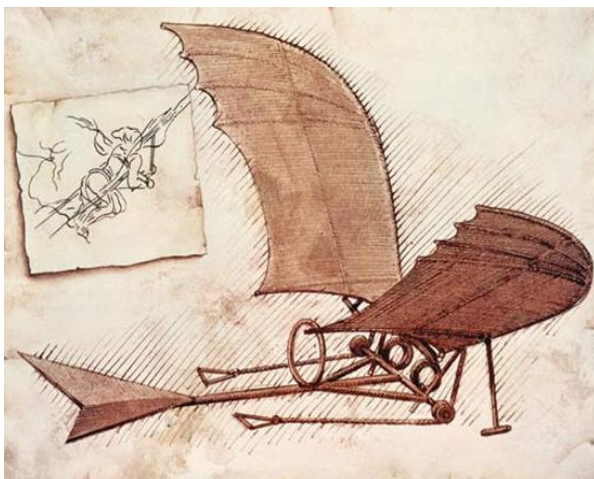
Las cometas para los chinos en la antigüedad tenían un significado religioso y simbólico, eran utilizados para ejercicios de meditación, la actividad pesquera e incluso fueron usadas por los ingenieros en la construcción de sus obras.

Hoy en día, para los chinos siguen teniendo un significado muy especial ya que dedican el noveno día del noveno mes a las cometas como una antigua tradición.



**Figura 1.2**  
**La importancia de los cometas para los chinos**

A inicios del siglo XVI , el inventor italiano Leonardo da Vinci dentro de sus aportaciones, realizó diversos bosquejos. Uno de ellos fue El Planeador, diseñado en base a grandes aves. Los diseños describían que el piloto era capaz de sostener una estructura rígida en la que se fijaran las alas.



**Figura 1.3**  
**El Planeador de Da Vinci.**

Otra aportación del este ilustre italiano fue El Ornitóptero, aparato que se movía mecánicamente cuya estructura también semejaba a alas de un pájaro.

También realizó la aportación del Tornillo Aéreo o Hélice cuyo rotor trabajaba de forma espiral, dando como resultado cierta estabilidad para poder volar.

Asimismo, realizó varios diseños de máquinas voladores. En base a su estudio del análisis del vuelo de las aves descubrió que utilizar las alas de los pájaros no era tan adecuado para una maquina voladora para hombre, ya que las aves filtran el aire con sus plumas lo que provoca que se perdiera estabilidad. Por esta razón, para sus diseños se basó en la estructura de las alas de los murciélagos. Así inventó la Máquina para Batir Alas y la Máquina con Pedales.

En 1783 en París, el Marqués de Bacqueville, anunció que volaría a través del río Sena. Se dice que recorrió aproximadamente 200 metros con una vestimenta inusual. Llevaba puesto un aparato de su invención que constaba de unos arneses unidos a piezas que semejaban grandes alas. Muchos pensaron que moriría, pero para su suerte se estampó contra un barco-lavadero y su violento aterrizaje sólo tuvo como consecuencia un hueso roto de la pierna.

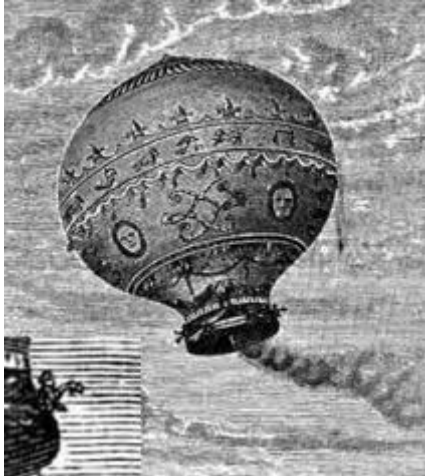
#### **1.4 Época aerostática**

En el siglo XIII el monje Roger Bacon conocido como Doctor Admirable, fue pionero en aplicar las matemáticas a la física en su obra titulada *Opus Maius*. En ella anticipa la invención de máquinas voladoras y concluye que el aire era capaz de soportar un ingenio de la misma manera en la que el agua podía soportar un barco.

En 1709 el brasileño Bartolomeu de Gusmão hizo la primera demostración de aire caliente no tripulado ante la corte del rey Juan V de Portugal.

En 1782 Joseph Montgolfier (fabricante de papel) al ver como ascendía fabricó un globo de tela que se inflaba con aire caliente. Asombrado vio cómo el globo se elevó hasta el techo. La primavera del año siguiente, solicitó la ayuda de su hermano Etienne para construir el primer globo aerostático. Unos meses después

de este acontecimiento el físico francés Jacques Charles probó la potencia del gas hidrogeno en aquella época y logró ascender 2750 metros aproximadamente. En 1783 con la ayuda de los hermanos Robert hizo el primer vuelo de 25 kilómetros.



**Figura 1.4**

**Globo aerostático de los hermanos Montgolfier**

Debido a la inestabilidad de los globos y los pocos métodos para poder tener un control adecuado de ellos, en 1851 Henri Giffard utilizó un motor de cinco caballos de fuerza en un aerostato, convirtiéndolo así el globo en un dirigible. En 1878 C. E. Ritchell voló con un dirigible impulsado por una hélice movida con vapor.

Finalmente fue en 1988 cuando se empezaron a utilizar motores de gasolina gracias al brasileño Santos Dumont y el conde Ferdinand von Zeppelin, en París y en Alemania, respectivamente.

## **1.5 La medicina aeronáutica antes del siglo XX**

Antes de que la medicina aeronáutica fuera como la conocemos hoy en día, tuvo sus inicios en la aparición de los primeros desequilibrios regulatorios del cuerpo debidos a la exposición de temperaturas y altitudes distintas a las habituales.

Dichas irregularidades son conocidas y documentadas principalmente por personas que escalaron montañas, siendo los síntomas más frecuentes la deficiencia de oxígeno por altitud, vómitos, pérdida de consciencia y congelamiento (en caso montañas con bajas temperaturas).

Como ejemplo de ello es el caso de uno de los precursores de la medicina aeronáutica, el sacerdote Acosta que en 1590 cruzó los Andes experimentando síntomas por deficiencia de oxígeno y por altura. Otras personas que hablan acerca de estos desequilibrios son; Ulloa que en 1736 relata los síntomas de hipoxia que sufrieron en su expedición a los Andes y en 1788 Sausurre describe de igual manera los síntomas del mal de montaña en los Alpes.

Debido a la terrible situación que vivieron Glaisher y Coxwell en un viaje en globo, en el que él primero perdió la consciencia, el médico francés Paul Bert Tissandier realizó estudios que lo llevaron a diseñar y construir la primera Cámara Hipobárica. También describió los efectos de la exposición a la altitud.



**Figura 1.5**  
**Cámara Hipobárica**

Continuando con la historia de los vuelos en globo, en 1985 en Alemania se crea con fines de investigación la Asociación Para la Promoción de Viajes en Naves Aéreas. En el primero de vuelos que realizaron describieron problemas en la salud de los pasajeros por la falta de oxígeno, las consecuencias fueron aún más graves que las que se habían manifestado al subir las montañas, ya que se añadía el cansancio, temblor en el cuerpo y trastornos psicológicos (apatía). Posteriormente, miembros de esta asociación realizaron otro vuelo con oxígeno comprimido para

alcanzar más altura que el primer vuelo sólo que en esta ocasión el impedimento para poder elevarse más fue la temperatura, ya que alcanzaron los  $-30^{\circ}$  aproximadamente, y eso les impedía movilizarse.



**Figura 1.6**

**En el primero de vuelos que realizaron describieron problemas en la salud de los pasajeros por la falta de oxígeno**

Otra personalidad importante para la medicina aeronáutica fue Hermann Von Schrotter. Entre 1899 y 1901 demostró que incluso utilizando oxígeno por encima de 40 M' no bastaban para evitar síntomas por deficiencia de oxígeno, diciendo que el oxígeno necesitaba comprimirse para así impedir que otros gases se expandieran en el pulmón. Fue también el responsable de sugerir el uso de la mascarilla para poder maniobrar de manera más sencilla, en lugar del tubo adaptado a la boca que utilizaban

Gracias a estas aportaciones de Von Schrotter se dio la pauta para que tres décadas más tarde el físico Auguste Piccard diseñara una góndola presurizada que alcanzaría una altura de 53.153 pies, siendo ésta la base para futuras investigaciones.

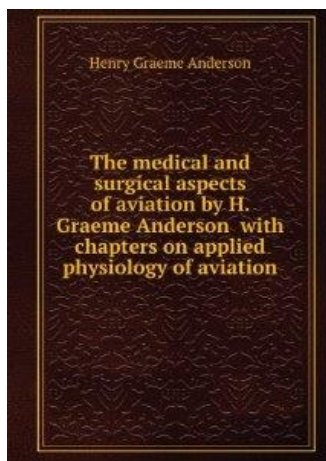


## 1.6 La medicina aeronáutica durante el siglo XX

Gracias al avance de la tecnología durante el siglo XX ocurrieron aportaciones importantes.

Entre los años de 1915 y 1919 ocurrieron varios acontecimientos relevancia para la medicina aeronáutica:

- Se crea en Alemania de una Sección de Medicina Aeronáutica encargada de seleccionar aviadores con características físicas y psicológicas adecuadas.
- Los británicos crearon el Care of Flyer Service para mejorar la selección de los pilotos, su adiestramiento e inclusive su alimentación.
- En Estados Unidos Theodor Lyster fund el primer laboratorio de investigación Aero médica del ejército.
- El Dr. Ralph Green realiza las funciones de Flight Surgeon(médico militar asignado a funciones en el campo), y años más tarde crearía el primer Servicio Médico de Aerolínea en E.U.A.
- Se publican los primeros tratados de medicina aeronáutica, entre ellos el escrito por el Dr. Graeme Anderson que se titula *The Medical and Surgical Aspects of Aviation*.



**Figura 1.7**

**Se publica *The Medical and Surgical Aspects of Aviation* del doctor Graeme**

En el año de 1926 el fundador de la medicina aeronáutica de E.U.A, el doctor Lewis Bauer autor de *Aviation Medicine* crea los primeros requisitos físicos y

psicológicos para pilotos. Dando pauta al control de estos requisitos mediante Médico Examinador de Aviación y a Cirujanos Regionales de Vuelo. También fue el fundador de Aviation Medical Association que en año de 1973 se transformaría en Aerospace Medical Association, que hoy en día es la más importante asociación de medicina aeroespacial a nivel mundial.

En 1938 se sustituye al oxígeno líquido por el oxígeno gaseoso a través de la máscara B-L-B (por sus inventores Booltby-Lovelace-Bulbolian).

Otra figura importante para la medicina aeronáutica fue el Dr. Harry G. Armstrong quien en 1939 edito el libro *Principios y Practicas de la Medicina de Aviación*, donde plasma sus investigaciones referentes a los efectos que sufre el cuerpo frente a la altitud.

A través del paso del tiempo se han reunido especialistas de la medicina para crear asociaciones, una de ellas es la Sociedad Española de Medicina Aeroespacial (S.E.M.A) que se encarga del estudio, investigación y promoción de la Medicina Aeronáutica y Espacial española.

## **1.7 Accidentes aéreos**

Los accidentes aéreos son eventualidades no premeditados existentes por muchas causas como errores técnicos, humanos y hasta factores ambientales que obviamente no están en manos del hombre, principalmente se hace referencia a las condiciones atmosféricas.

Las repercusiones causadas por estos accidentes son muchas, como la pérdida parcial o total de bienes materiales, pérdidas económicas, retrasos en cuanto al suministro de bienes y servicios, daños al medio ambiente, en las personas puede provocar daños psicológicos, lesiones o incluso la muerte.

A pesar de que son varias las causas por las cuales ocurren estos acontecimientos, se considera que el factor humano es el principal causante de

los accidentes aéreos a nivel mundial, ya que se estima que entre el 70 y 80 por ciento son por este factor.



**Figura 1.8**

**Accidente aéreo del vuelo 214 de Asiana Airlines**

Se dice que un accidente aéreo por factor humano, es aquel que se da por un error del piloto o por alguna otra persona involucrada en las operaciones aéreas. No sólo se limita a hablar del error, si no de la causa que provocó ese error como lo son; la mala coordinación de los responsables, estrés, la desorientación espacial, la fatiga o alguna enfermedad.

Es por ello que el esfuerzo realizado por los médicos y psicólogos con los pilotos es de gran importancia, ya que son ellos los encargados de evaluar las características físico-psicológicas del hombre que estará a cargo de la nave, características ya establecidas de acuerdo a los parámetros fijados a nivel nacional e internacional. Las evaluaciones ayudan a prevenir los accidentes, pero en algunas ocasiones no son suficientes estos esfuerzos para disminuir el índice de accidentes ocurridos.

Por esta razón es de gran importancia crear nuevas alternativas que ayuden optimizar los viajes aeronáuticos, pero sobre todo a minimizar estos errores ocurridos por factores humanos. El estudio de este dispositivo biomédico es una de esas alternativas, ya que será capaz de determinar alteraciones de distintos parámetros fisiológicos que se pudieran presentar en el piloto durante el vuelo, y evitaría que ocurriera un accidente.

## 2. Sentidos y signos vitales

### 2.6 Visión

2.6.1 Problemas de la visión (Fatiga visual, visión negra, visión gris, miopía nocturna ilusiones visuales)

### 2.7 Audición

2.7.1 Sonido

### 2.8 Equilibrio

2.8.1 Desorientación espacial

### 2.9 Respiración

## Sentidos y signos vitales

Los organismos hemos creado medios capaces de crear respuestas adaptativas a cambios específicos del medio ambiente gracias a órganos sensoriales.

Comúnmente se plantea que el hombre tiene cinco sentidos: el gusto, el tacto, el oído, la vista y el olfato. Los órganos de los sentidos tienen una doble función de cubrir cambios (ya que actúan como receptores) y transmitir algún cambio al Sistema Nervioso Central (SNC) coordinando la información recibida para que posteriormente se lleve a cabo una respuesta. Por esa razón es que cada órgano sensorial es una estructura especializada que consta de células receptoras y tejidos accesorios.

Los signos vitales como la temperatura, la respiración, la presión arterial y el pulso son parámetros clínicos que ayudan a conocer el estado fisiológico en el que se encuentra el organismo. Estos datos sirven para evaluar el estado de salud de un individuo, ya que estos valores deben de mantenerse constantes dentro de ciertos límites cuando éste se encuentra en un estado de homeostasis.

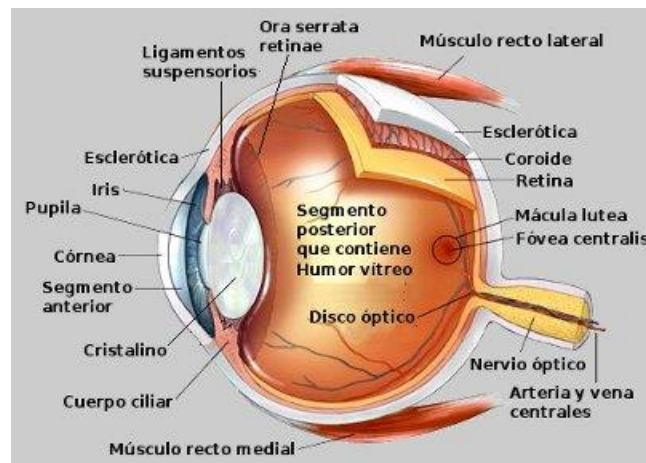
Aquellos factores capaces de alterar las condiciones fisiológicas del piloto, crean un riesgo aeromédico que podría provocar un accidente, debido a que las condiciones anormales propician un cierto margen de incapacidad en los individuos causado principalmente la pérdida parcial leve de alguno de los sentidos o empeorar a patologías más graves que afectan y ponen en riesgo el vuelo.



**Figura 2.1-Signos vitales**

### 2.1 Visión

Los ojos son órganos sensoriales capaces de detectar una gran gama de colores y responder a cantidades de luz. El sistema visual se encuentra formado por diversas estructuras en la que se implica el sistema nervioso central, vías nerviosas y el globo ocular.



**Figura 2.2- Anatomía del ojo.**

El ojo se encuentra formado por las siguientes estructuras:

- ❖ Esclerótica: es una capa dura blanquecina de tejido conjuntivo, es una cubierta conectiva, curvada y dura que se encuentra en la superficie externa del globo ocular. Su función es la de proteger el ojo.
- ❖ Córnea: es transparente y forma parte de la esclerótica. En conjunto con el cristalino enfoca la información luminosa que llega al exterior de la retina. Su función consiste en dejar pasar la luz a través de ella.
- ❖ Conjuntiva: es una membrana que recubre la parte frontal del ojo, que lo ayuda a mantenerse húmedo.

- ❖ Iris: al frente del ojo, la coroides forma el iris que es el encargado de impartir el color al ojo. Se encarga de regular el tamaño de la pupila dependiendo de la cantidad de luz que deje entrar.
- ❖ Cristalino: después de pasar la luz a través de la pupila, la luz pasa por el cristalino que actúa como lente, se mantiene en su posición gracias a ligamentos.
- ❖ Retina: es la capa más interna localizada en el interior de la coroides, está formada por células fotorreceptoras que se encargan de transducir la información luminosa del exterior, y los potenciales de acción pasan por las neuronas sensoriales en el nervio óptico hacia los centros visuales en el cerebro.
- ❖ Fóvea: es el centro de enfoque de la retina, aquí se encuentran muy concentradas las células fotorreceptoras.
- ❖ Humor vitreo: existen dos cámaras que le dan volumen al ojo, esta es la cámara más grande, su consistencia es gelatinosa. Su función es la de mantener la transparencia del globo ocular y a mantener su forma.
- ❖ Humor acuoso: es la otra cámara que se encuentra en menor proporción, se encuentra lleno de líquido similar al plasma sanguíneo, ayuda a mantener la forma del globo ocular.

### 2.1.1 Problemas de la visión

La deficiencia visual o ceguera se define como la pérdida parcial o total del sentido de la vista. Para determinar el grado de deficiencia visual se utilizan dos parámetros. Uno de ellos es el campo de visión, que consiste en la capacidad del ojo para captar información luminosa desde diferentes ángulos normales de visión (50, 60, 70 y 90°). El otro parámetro es el correspondiente a la agudeza visual que consiste en la capacidad para ver claramente los detalles de algún objeto a una cierta distancia. Para conocer el porcentaje de pérdida visual global la OMS utiliza la escala de Wecker.

La visión es una parte fundamental en la aviación. La visión es un sentido indispensable que en un piloto necesita estar en óptimas condiciones, ya que al

obtener una imagen el cerebro inmediatamente procesa la información recibida. Si este sentido falla, se puede llegar a perder agudeza visual evitando identificar objetos, lugares, señalizaciones importantes e incluso tener un mal aterrizaje, poniendo en riesgo a la tripulación.

Fatiga visual.

Es una manifestación de sensación de vista cansada, hipersensibilidad a la luz, ardor, irritación, enrojecimiento, lagrimeos, visión borrosa, dolor de cabeza, mareos, entre otros.

La fatiga visual en pilotos puede ser originada por diversos factores durante sus horas laborales, como lo son diversas alteraciones en el organismo, deficiencias de luz, contrastes inadecuados, deficiencias en la ubicación del puesto de trabajo, largas horas de servicio, horarios irregulares de trabajo, etc. A la larga, la edad también es un factor causante de fatiga visual ya que el cristalino (junto con la córnea) será la lente que enfoque la información luminosa en la retina. Con el paso de los años, ese cristalino va a ir aumentando de tamaño y perdiendo elasticidad provocando que ésta sea la principal causa de la presbicia o vista cansada.

Las consecuencias que esto implica es una disminución en los niveles de alerta, de conciencia y de percepción de la persona. Es por eso que la fatiga es reconocida como una causa importante de accidentes.

### **Visión negra**

La visión negra es la pérdida de la visión, que se provoca por la disminución de flujo de sangre en la arteria oftálmica.

En los pilotos esta anomalía es causada por aceleraciones que se dan a causa de perturbaciones durante el vuelo, en donde las fuerzas gravitacionales positivas +Gz (es decir aquellas que actúan en dirección a la cabeza) o aceleración vertical, se encuentran entre 5 y 6 veces la aceleración de la

gravedad. Esto provoca que en el organismo exista una reducción en el volumen sanguíneo que regresa de los pies hacia el corazón y hacia el cerebro. El primer síntoma de aparición de visión negra puede provocar la pérdida de la conciencia, siendo así un peligro para el vuelo.

### **Visión gris**

Es cuando la visión central es borrosa. Ocurre cuando la gravedad es aumentada entre 4 y 5 +Gz. La visión gris y la visión tubular (que se da entre 3 y 4 +Gz) se usan como pródromos para evitar la pérdida de la conciencia, provocando la incapacidad del piloto e incluso provocándole convulsiones, y posteriormente se llega a un estado de confusión y desorientación.

Para ambos casos, es decir en la visión negra y la visión gris se han tratado de crear elementos que ayuden a evitar o disminuir sus efectos, como lo es la inclinación del asiento, ya que ayuda a que los pilotos tengan una mayor tolerancia a las aceleraciones +Gz. También utilizan el traje anti-G que son unas cámaras que se inflan oprimiendo las piernas y el abdomen del piloto evitando que el flujo sanguíneo se desplace a esta parte del cuerpo haciendo que este se irrigue una mayor cantidad de sangre hacia el cerebro, de esta manera logra que exista una mayor tolerancia a las fuerzas +Gz y disminuye las posibilidades de pérdida de la conciencia.

### **Miopía nocturna**

Ocurre cuando se le induce un sobre esfuerzo al ojo humano, bajo circunstancias en las que existe un contraste visual como en el caso de la miopía espacial cuyo resultado es la baja visibilidad.

La miopía nocturna sucede durante la noche, causada por la poca visibilidad a causa de condiciones de baja luminosidad. Crea una incapacidad que da como resultado que el ojo no pueda enfocar ningún objeto, causando que el sujeto se encuentre en un estado miope; es decir, que se tenga un exceso de potencia refractiva.



## **Ilusiones visuales**

Existen diversos factores que provocan errores de percepción como los son las ilusiones visuales.

Entre algunos de los causantes de que la percepción del piloto cambie se encuentran la ausencia de referencias en las que se pueda saber la altura a la que se encuentra, al no saber esa estimación el piloto puede pensar que esta a una altura mayor o menor a la que verdaderamente se localiza, desenlazando en un mal aterrizaje. Otro factor importante es la oscuridad de las pistas y la mala iluminación de ellas, ya que la perspectiva puede variar dependiendo de qué tan iluminada esté la pista provocando así una ilusión en cuanto a las distancias verdaderas haciendo que el piloto piense que está más lejos o más cerca de la pista.

El clima también es un factor que puede provocar que el piloto pierda la verdadera noción en cuanto a la distancia a la que se encuentra la pista de aterrizaje, ya que bajo condiciones climáticas como la lluvia, nieve, neblina, etc, se provoca la mala visibilidad causando una mala percepción de la verdadera altura a la que se encuentra. Por ello el piloto podría pensar que la altura en la que se encuentra es mayor o menor que la verdadera. La lluvia es el ejemplo claro sobre ello, ya que al contacto con el parabrisas causa que las luces de aterrizaje se vean afectadas, ya que la iluminación de ellas es menor a causa de la mala visión que la lluvia provoca, o de manera contraria, por causa de las gotas de lluvia por la difracción puede aumentar su luminosidad. Lo mismo ocurre con la bruma y otras condiciones atmosféricas no favorables que limitan la visibilidad del piloto.

### **2.2 Audición**

El sentido del oído es otro sentido de importancia para el piloto que maneja alguna aeronave, ya que el ruido siempre se encuentra presente y en grandes cantidades puede provocar serios problemas.

En la parte temporal del cráneo se encuentran unidos dos órganos mecanoreceptores que conforman al oído, estos órganos son independientes entre sí; uno es responsable del sentido del oído y el otro sirve para mantener el equilibrio. Se encuentran formados por una gran cantidad de estructuras accesorias que son capaces de transmitir las ondas sonoras del exterior a las células sensoriales.



**Figura 2.3- Anatomía del oído**

El oído se encuentra compuesto de tres partes:

- ❖ El oído externo: Consta de dos partes, una porción es el pabellón de la oreja que se encuentra formado de cartílago revestido de piel (mejor conocido como la oreja) y el canal auditivo externo que lleva al oído medio. Estas dos estructuras captan ondas sonoras y las llevan hacia el tímpano, esta estructura es la que separa al oído externo, del oído medio.
- ❖ El oído medio: Es una cavidad pequeña que articula a tres huesos que son el martillo, el yunque y el estribo que son los encargados de transmitir las ondas sonoras a través del oído medio. El oído medio se encuentra comunicado a la faringe por medio de la trompa de Eustaquio que se encarga de equilibrar las presiones a cada lado de la membrana

del tímpano, es decir; permite el movimiento del aire hacia dentro y hacia afuera igualando las presiones como cuando se cambia de altura en el avión.

- ❖ El oído interno: Consta de un grupo de conductos y cavidades llenos de líquido que se conocen como laberinto. Tiene una estructura conocida como cóclea que es un tubo enrollado que contiene lo que es en realidad el órgano auditivo conocido como Corti, que se encuentra formado por una gran cantidad de células ciliadas que actúan como receptoras y envían impulsos a las fibras del nervio auditivo.

El ruido producido por los motores y hélices de los aviones puede producir efectos auditivos indeseables, afectando el oído en ocasiones incluso de manera permanente, dependiendo de la intensidad del ruido de las ocasiones que la persona sea expuesta a él.

Cuando un individuo sufre una disminución en su agudeza auditiva por la exposición a un ruido durante algunos minutos y cuya recuperación se da después de varias horas se le llama Cambio de Umbral Temporal. Las variaciones en cuanto a la recuperación auditiva depende de la cantidad de ruido y tiempo al que se exponga el individuo, ya que esto hace que varíe el estado de alteración auditiva. Esta recuperación puede ser de minutos, horas, días, pero existen casos en los que el ruido persiste por más tiempo; sucede cuando la persona es expuesta repetidamente a un mayor grado de ruido causando que el daño sea la disminución auditiva, o en el peor de los casos que sea irreversible. Principalmente ocurre en personas que son expuestas a ruidos por encima de los 90 decibeles (dB).

El ruido en las aeronaves presenta una grave limitación para las tripulan un avión por lo que se deben crear adelantos en cuanto a tecnologías que permitan tener cabinas menos ruidosas.

## **2.3 Equilibrio**

Los pequeños órganos responsables del equilibrio se encuentran junto a la cóclea (en el oído interno), son dos bolsas que se conocen como el sáculo y el utrículo que junto con tres conductos semicirculares son los encargados de la pérdida considerable del equilibrio.

Viajar en avión puede provocar malestares, vómitos, náuseas, sensaciones de frío-calor, entre otras. Se desconoce la causa de las náuseas pero se cree que es resultado de que el cerebro recibe señales de receptores del equilibrio en el oído interno que entran en conflicto con señales provenientes de receptores de los ojos.

El equilibrio implica por lo tanto que la percepción que tiene el piloto de la altitud y la posición del avión es la real y no una ilusión sensorial.

### **2.3.1 Desorientación espacial**

La desorientación espacial es un factor importante en cuanto accidentes aéreos. No importa si el piloto tiene mucha o poca experiencia, la desorientación es un estado en el que el cuerpo humano percibe los cambios de movimiento que ocurren durante el vuelo con los sentidos, y estos pueden dar una información equivocada al cerebro, dando como resultado una mala orientación espacial.

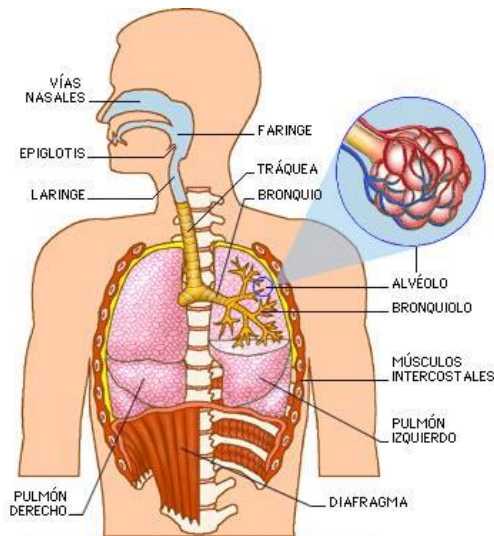
Un ejemplo de ello es el vértigo del piloto, que es una ilusión en la que se tiene una sensación de rotación durante el vuelo.

La desorientación espacial no se puede prevenir completamente, pero el piloto puede darse cuenta de que puede tener ilusiones sensoriales que afectan el equilibrio. Existen casos en los que el piloto no sabe que está desorientado o ni siquiera se da cuenta de la existencia del problema, mientras que en otras ocasiones la desorientación espacial es tan grande a tal grado de que el piloto sea incapaz de seguir piloteando el avión. Aquí encontramos un punto importante para fundamentar el análisis del dispositivo que propone este trabajo.

El buen entrenamiento del piloto, que goce de buena salud e incluso la manera en que se encuentra diseñado el avión son factores que reducen los peligros. Comúnmente los pilotos evitan la desorientación espacial adaptando su visión a la oscuridad, evitando volar sin puntos de referencia.

## 2.4 Respiración

La respiración es un proceso de intercambio de gases en el que al inhalar aire, el oxígeno es transportado a células que cubren el interior de los pulmones, mientras se exhala dióxido de carbono.



**Figura 2.4 Anatomía del aparato respiratorio**

El aparato respiratorio está formado por los pulmones y unos conductos por los cuales circula el aire.

El aire entra al organismo por medio de las fosas nasales que se encargan de filtrarlo, humedeciéndolo y calentarlo hacia el interior. La boca también es un medio de transporte de aire pero a diferencia de la nariz, no puede procesar el aire que entra

El aire sigue adelante y en la faringe se cruzan los conductos de los aparatos digestivo y respiratorio. La faringe se encuentra abierto durante la respiración, pero se cierra mientras ingerimos alimento. De la faringe el aire es llevado a la laringe, también conocida como caja de voz, que cuando se exhala, el aire pasa por unas cuerdas que son capaces de producir sonidos.

Desde la laringe el aire pasa hacia los pulmones a través de la tráquea, que posteriormente se bifurca en dos bronquios, cada uno hacia un pulmón.

Dentro del pulmón los bronquios se van ramificando en tubos más y más finos que son los bronquiolos. Es aquí en los pulmones en donde se lleva a cabo el intercambio gaseoso.

Para los pilotos es de gran importancia el óptimo funcionamiento del aparato respiratorio ya que debe de proporcionar niveles adecuados de oxigenación a las células. Cuando el avión alcanza altitudes muy grandes, en el exterior del avión la temperatura está por debajo a los cero grados centígrados y el aire es muy delgado por la deficiencia de oxígeno (por esa razón las cabinas tienen otra temperatura más cálida y se encuentra presurizada). A pesar de eso debido a la altitud, los individuos pueden parecer de hipoxia, principalmente personas que padecen de enfermedades pulmonares.

La hipoxia es la reducción de oxígeno en los tejidos. En algunos casos la reducción del oxígeno es causado por la aspiración de aire con pocas cantidades de oxígeno. En otros casos es causado por una disminución en la cantidad de hemoglobina en la sangre, que es la encargada de transportar el oxígeno a los otros tejidos del organismo. Los síntomas varían debido a las condiciones a las que es expuesta el cuerpo (como la altitud y el tiempo de exposición) y dependiendo de las condiciones de salud cada persona. Durante el vuelo si una persona presenta síntomas de hipoxia debe de utilizar el oxígeno suplementario en caso de ser necesario. Más adelante, se hablará más a fondo del tema de la hipoxia.

Cada cierto tiempo los pilotos son sometidos a un test pulmonar que indica si existe alguna alteración en la función pulmonar. Si existen anomalías en cuanto al volumen respiratorio máximo (FEV1) respecto a la capacidad vital normal (fVC) es necesario llevarlos con un especialista para una mejor valoración del caso, ya que se pueden presentar diversas enfermedades respiratorias que debido a su complicación son de especial cuidado dentro de la medicina aeronáutica.

Un ejemplo de ellas es el síndrome de apnea del sueño que provoca somnolencia y trastornos respiratorios, esta enfermedad ocurre con mayor frecuencia en personas con sobrepeso. Para su diagnóstico se utiliza la poligrafía cardiorrespiratoria y la polisomnografía. El asma también es una afectación de cuidado ya que al ser una enfermedad que puede ser desatada o empeorada por alguna infección, polvo, frío u otros, dentro de la cabina.

Las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) provocan obstrucción, y fibrosis, son de fácil detección.

## 2.5 Circulación sanguínea

El sistema circulatorio se encuentra formado por capilares, venas y arterias. Las arterias llevan sangre del corazón hacia los tejidos y las venas llevan la sangre desde los tejidos al corazón. Los capilares son vasos que sirven de enlaces entre las venas y las arterias, cuya función es el intercambio de gases, nutrientes y desechos entre la sangre y los tejidos. El corazón es el eje central del sistema circulatorio, por medio de un ciclo rítmico que hace que por medio de relajaciones y contracciones la sangre fluya por todo el cuerpo, a este proceso se le conoce como ciclo cardíaco.



**Figura 2.5 Sistema circulatorio**

Por medio de una serie de mecanismos que se encargan de regular el flujo de la sangre, cada órgano del cuerpo obtiene las cantidades de oxígeno necesarias. El recorrido de la sangre a través del cuerpo no fluye constantemente, ya que en las arterias el flujo es más rápido que en que las venas y los capilares.

El corazón consta de dos fases en las que se contrae y se relaja con un cierto ritmo. La fase en la que el corazón se relaja se conoce como diástole, la sangre entra de la aurícula derecha de la vena cava y a la aurícula izquierda de las venas pulmonares, esta fase dura aproximadamente 0.4 segundos. La otra fase es la sístole, que comienza con una contracción de las aurículas que permiten el llenado por completo de los ventrículos y dura aproximadamente 0.1 segundos, posteriormente los ventrículos se contraen cerrando las válvulas AV y abre las válvulas semilunares que están a la salida de cada ventrículo, lo cual dura aproximadamente 0.3 segundos.

La intensidad de la circulación depende de la presión (que es la fuerza que impulsa la sangre a través de los vasos sanguíneos). Esta presión es creada por el latido del corazón por todas las arterias y arteriolas hacia los capilares. Cuando los ventrículos se contraen la sangre ingresa con mayor velocidad. El efecto de la presión se puede sentir por medio de la medición del pulso que es el estrechamiento rítmico causado por las arterias cuando la presión de la sangre



entra. La presión sanguínea depende del gasto cardiaco que es el volumen de sangre que se bombea por minuto del ventrículo izquierdo hacia la aorta. La presión sanguínea se expresa en milímetros de mercurio (mm Hg) y la velocidad de la sangre en centímetros sobre segundo (cm/s). La reducción en la presión sanguínea se debe principalmente a la resistencia del flujo sanguíneo que es causada por la fricción entre la sangre y la pared de las arteriolas.

Durante el vuelo la mala eficiencia de la circulación sanguínea puede provocar, como se menciono anteriormente, que se padezca de hipoxia, ya que al no ser irrigadas todas las venas del cuerpo, se crea una escases de oxigeno en los tejidos. La hipoxia estática es la que se da debido a que las fuerzas de aceleración que ocurren en el vuelo provocan que la sangre se desplace más hacia unas zonas del cuerpo que a otras, haciendo que la irrigación no sea uniforme en el organismo.

La trombosis venosa profunda también es una condición a la que se predisponen las personas al viajar en avión. Esta es causada por largos periodos de viaje, ya que una persona al permanecer en una misma posición durante mucho tiempo provoca que la circulación en las piernas sea inadecuada por la formación de un coagulo en una vena profunda de la pierna, experimentando entumecimiento, enrojecimiento de la parte afectada y dolor. A pesar de que cualquiera puede padecerlo, hay personas que tienen mucha mayor predisposición debido a factores como lo son la herencia, varices, tabaquismo, cáncer, problemas cardiacos, entre otros. Por lo que se recomienda incrementar la actividad en la que se ejerciten las piernas para favorecer la circulación así como no llevar la ropa muy ajustada y no dormir por largos periodos para evitar estar en una misma posición.

Es importante conocer los signos vitales del ser humano y su alteración cuando se somete al vuelo en un avión para prevenir accidentes.

### 3. Aparatos que miden los signos vitales

#### 3.1 Electrocardiograma

#### 3.2 Oxímetro

#### 3.3 Transductores de flexibilidad

### Aparatos que miden los signos vitales

Como se dijo en el capítulo anterior, los signos vitales son parámetros clínicos que reflejan el estado fisiológico del organismo humano, y esencialmente proporcionan los datos que darán las pautas para evaluar el estado del paciente. Los signos expresan de manera inmediata los cambios funcionales que suceden en el organismo, cambios que de otra manera no podrían ser cualificados ni cuantificados

En este capítulo se describirán los dispositivos que miden la frecuencia cardiaca y el nivel oxígeno de sangre, así como los transductores de presión y sensores de humedad, que son los instrumentos de medición que componen el dispositivo propuesto en esta tesis.

#### Electrocardiograma (ECG)

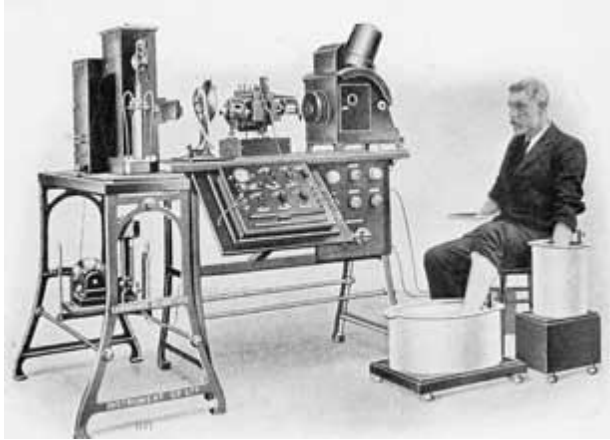
El electrocardiograma (ECG) es uno de los métodos no invasivos más utilizados para realizar diagnósticos del estado de salud de una persona.

##### 3.1.1 Wilhelm Einthoven

En 1903 el fisiólogo holandés Wilhelm Einthoven mejoró los resultados del aparato de Lippman que permitía obtener un tipo de señal electrocardiográfica pero con una distorsión. Durante más de una década Einthoven trabajó en el rediseño de un galvanómetro para reducir la distorsión.

Su trabajo publicado bajo el nombre Die Galvanometrische Registrierung des Menschlichen Elektrokardiogramms en el que mostraba los resultados obtenidos

recibió gran aceptación entre la comunidad científica. En dicho trabajo introdujo la nomenclatura de P, QRS, S y T para las deflexiones registradas. En un principio el electrocardiograma se conoció con las letras EKG (del alemán), que acabó convirtiéndose en ECG.



**Figura 3-1. Galvanómetro de Einthoven**

Pasó poco tiempo para que se usara con fines clínicos. El gran problema era que el aparato era incómodo, su peso superaba los 250 kgs, ocupaba mucho espacio y eran necesarias varias personas para su manejo. Con la ayuda de la Sociedad de Ciencias de Holanda y utilizando los cables subterráneos de la red telefónica de Leiden se estableció una conexión de 1,5 kilómetros entre el Laboratorio de fisiología y el Hospital de la Universidad. Sin embargo este sistema para obtener electrocardiogramas duró poco tiempo por problemas con el director del Departamento.

En 1908, Einthoven publicó otro trabajo en el que hablaba de otras consideraciones adicionales sobre el electrocardiograma, donde daba a conocer sus estudios con ratas y humanos y señalaba que disponía ya de cinco mil electrocardiogramas. También explicó que la onda P refleja la actividad auricular y la onda Q, parte del complejo ventricular.

El trabajo realizado por Einthoven dejó los fundamentos para la teoría y la práctica de la electrocardiografía, y sus trabajos le llevaron a concebir un eje eléctrico

cardíaco y a concebir un triángulo equilátero para la colocación de los sensores del aparato. Sus técnicas se introdujeron en todas las clínicas europeas a partir de la Primera Guerra Mundial, y en los años treinta del siglo pasado se generalizó. Esta incorporación a la práctica clínica cotidiana fue decisiva para que la cardiología fuera convirtiéndose en especialidad.

### 3.1.2 Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca es el número de contracciones del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo. Su medida se realiza en unas condiciones determinadas (reposo o actividad) y se expresa en latidos por minutos (lpm).

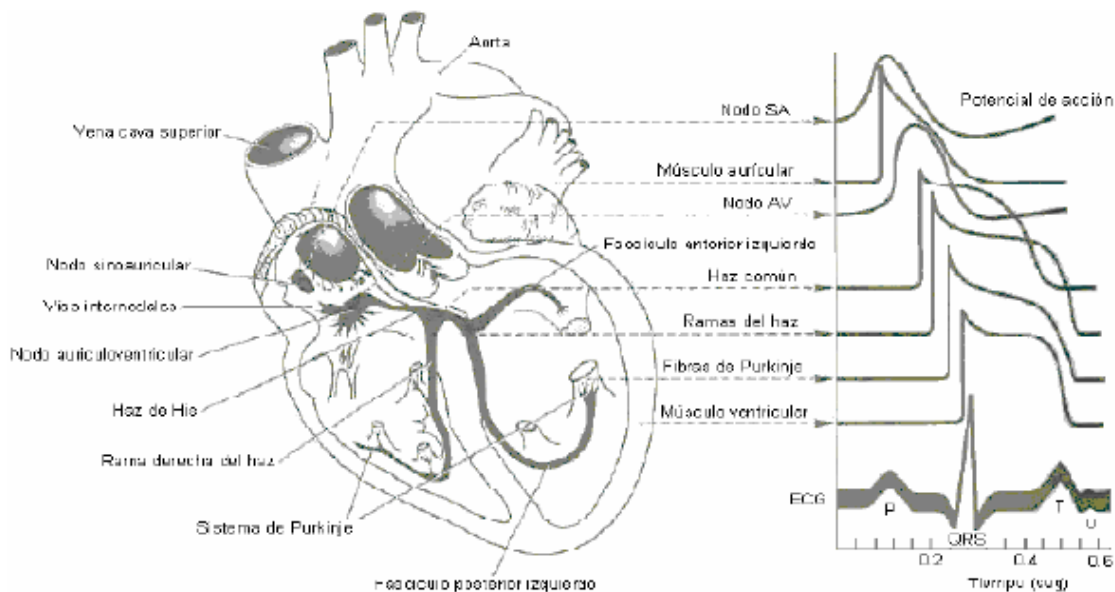
El número de contracciones por minuto está en función de muchos aspectos. Generalmente el corazón late entre 60 y 100 veces por minuto. En las personas que hacen ejercicio habitualmente o que toman medicamentos para reducir el ritmo cardíaco, la frecuencia puede estar por debajo de los 55 latidos por minuto.

Un parámetro para determinar la intensidad de un entrenamiento o actividad es la frecuencia cardíaca. La frecuencia cardíaca de entrenamiento se suele dar en porcentajes relativos al máximo de la frecuencia cardíaca. Existen varios métodos para calcular la intensidad óptima de un entrenamiento, pero no serán mencionados en este trabajo.

Cuando la frecuencia cardíaca es muy rápida (más de 100 latidos por minuto), se conoce como taquicardia. Por otro lado, una frecuencia cardíaca muy lenta se denomina bradicardia (menos de 60 latidos por minuto).

### 3.1.3 Funcionamiento del ECG

El electrocardiograma deja un registro gráfico del voltaje con respecto al tiempo al detectar las señales eléctricas (de aproximadamente 1 mV) asociadas con la actividad cardíaca.



**Figura 3-2 Potenciales típicos del corazón y la actividad registrada**

La actividad cardíaca da lugar a 5 ondas. La señal cardíaca no sólo se compone de estas 5 ondas. Existen además ciertos intervalos o sectores que expresan momentos distintos de la activación y desactivación auricular y ventricular, pero no se abundará al respecto.

Las ondas del corazón se describen más a detalle a continuación:

#### Onda P

La onda P es la primera onda del electrocardiograma, corresponde a la contracción auricular: derecha e izquierda que se contraen simultáneamente. La repolarización de la onda P queda escondida en el comienzo del complejo QRS. Mide normalmente de 0,06 s a 0,10 s de anchura y de 0,5 mm a 2,5 mm de altura. Su aspecto morfológico es útil al momento de indicar enfermedades en entidades que repercuten en el flujo de la sangre sobre las aurículas. La estenosis, la insuficiencia mitral, y la cardiopatía pulmonar hipertensiva son algunos de los ejemplos de enfermedades que pueden diagnosticarse con esta onda.

#### QRS.

Está formado por la sucesión de 3 ondas que representan la despolarización del miocardio ventricular lo que provoca una contracción, esta contracción es mucho

más potente que la de las aurículas, produce una mayor deflexión en el ECG. Mide normalmente de 0,06 s a 0,08 s. La disminución del voltaje de QRS se asocia con enfermedades en las que el músculo cardíaco disminuye sus potenciales principalmente a causa de la muerte del tejido, infiltración acuosa o por edema intracelular. Por otra parte, el voltaje de QRS aumenta cuando el grosor de las paredes ventriculares se incrementa, en las extrasístoles ventriculares y en el ritmo idioventricular.

#### Onda Q

Se trata de una onda negativa, la primera del complejo QRS. Indica la sístole, es decir la contracción de los ventrículos. Tiene una duración aproximada de 0.03 segundos. Transcurre desde el ventrículo izquierdo al derecho.

Por su parte, las ondas R y S indican contracción del miocardio. Ondas QRS anormales pueden indicar problemas como bloqueo de rama, taquicardia de origen ventricular, hipertrofia ventricular u otras anomalías ventriculares

#### Onda T

La onda T representa la repolarización de los ventrículos. El complejo QRS oscurece generalmente la onda de repolarización auricular, por lo que la mayoría de las veces no se ve. En la mayoría de las derivaciones, la onda T es positiva. Las ondas T negativas pueden ser síntomas de enfermedad. Tiene una anchura de 0,10 s a 0,25 s, lo cual representa una diferencia importante con el complejo QRS, que morfológicamente representa que T es una onda de configuración lenta.

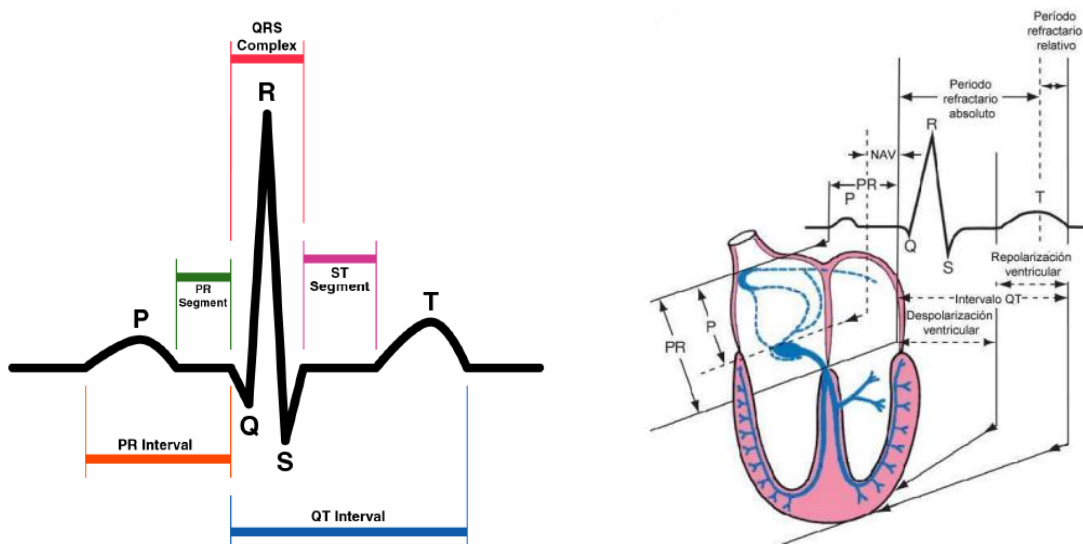
#### Segmento ST

Se conoce como segmento ST al lapso comprendido entre la despolarización y la repolarización. El segmento ST conecta con el complejo QRS y la onda T. Tiene una longitud hasta de 0,15 s.

#### Intervalo QT

El intervalo QT corresponde a la activación y recuperación ventricular, se mide desde el principio del complejo QRS hasta el final de la onda T. La duración del intervalo varía según la frecuencia cardíaca.

Haciendo un breve resumen, la onda P sucede como resultado de la activación auricular, inmediatamente después de P aparecen Q, R y S, integrando el complejo ventricular por la propagación de la onda de excitación a la musculatura de ambos ventrículos y al tabique interventricular. Cuando termina el proceso de despolarización de toda la masa muscular auricular y ventricular, sucede una pequeña pausa a la que se le conoce como segmento S-T, posteriormente ocurre la onda T y empieza de nuevo el ciclo.



**Figura 3.3 Ondas del corazón**

### Frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca en el electrocardiograma se mide utilizando la duración de los intervalos RR. En el registro electrocardiográfico el punto R del complejo QRS se refiere al punto positivo de la despolarización ventricular. Las variaciones latido a latido en la duración de los intervalos RR reflejan cambios en la actividad del sistema nervioso autónomo.

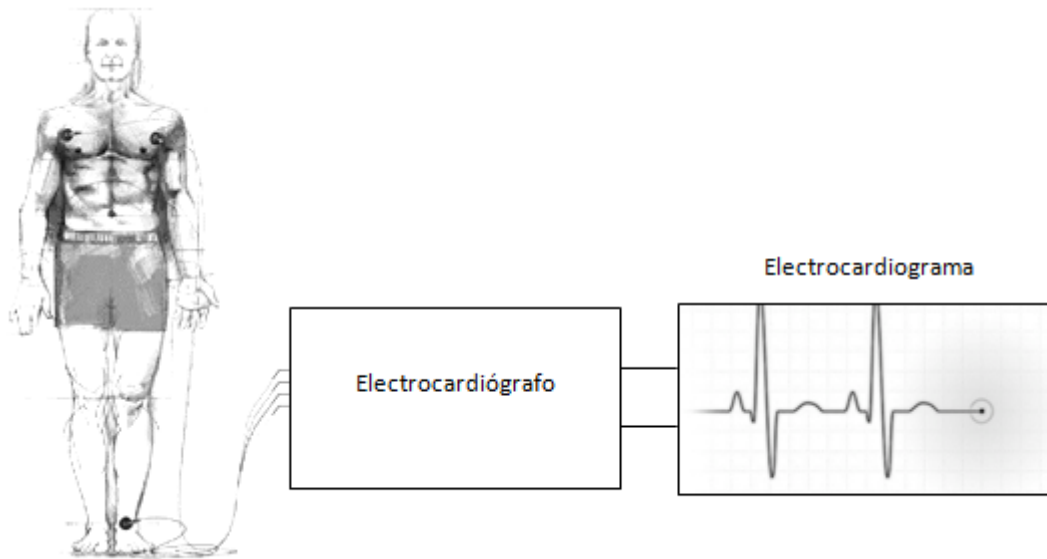
El análisis en el dominio de las frecuencias o análisis espectral permite descomponer las variaciones de la frecuencia cardiaca en componentes oscilatorios y definir la amplitud y frecuencia de estos componentes.

Con frecuencia, no aparecen las 5 ondas en el ECG, se llegan a tener trazados con 4 ondas y en ocasiones con 3. Esto ocurre porque en algunas derivaciones

estándares se puede apreciar con gran nitidez la onda P y, a continuación, la R y la T, esto es: la Q fue tan pequeña (o ausente) que resultó complicado identificarla. Lo mismo sucede con la onda S.

### 3.1.4 Componentes del ECG

Para obtener la señal cardiaca por medio de un ECG son necesarios tres elementos: electrodos, un amplificador de instrumentación y un sistema que muestre la señal de salida del amplificador.



**Figura 3.4 Conexión del ECG**

#### Electrodos

Los electrodos son sensores que ponen en contacto al paciente con el electrocardiograma. A través de ellos se obtiene los impulsos eléctricos del corazón. Los impulsos son obtenidos cuando los electrodos convierten las corrientes iónicas, que son el mecanismo de conducción de las señales bioeléctricas en los tejidos, en corrientes eléctricas.

El electrodo se compone de una superficie metálica y un electrolito en contacto con la piel. La impedancia del electrodo tiene que ser baja para reducir el efecto de carga en la etapa posterior de amplificación, y de esta manera minimizar la interferencia de modo común que aparece al tomar la medición, logrando de esta manera la disminución de este voltaje.



Un buen electrodo cuenta con las siguientes características: transforma corrientes con poca pérdida de información, son higiénicos, no produce efectos secundarios en el paciente, tienen baja impedancia, un potencial de contacto estable y pequeño y son duradero en el tiempo.

Antes de usar el electrodo la superficie debe ser limpiada con alcohol para eliminar las células muertas, debido a su alta impedancia, y debe usarse un gel para electrodos que al entrar en contacto con la piel disminuya la impedancia de ésta.



**Figura 3.5 Electrodo**

#### Amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación, como su nombre lo dice, tiene la función de amplificar la señal proveniente del corazón, ya que éstas tienen una amplitud de milivolts y hasta microvolts.

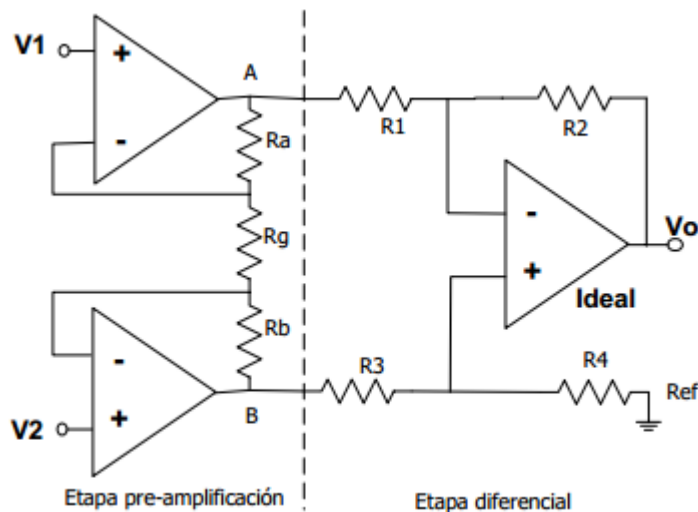
Los amplificadores de instrumentación son amplificadores diferenciales con un CMRR (razón de rechazo común) alto, ganancia variable, impedancia de entrada alta e impedancia de salida baja. Estos amplificadores surgen ante la necesidad de medir tensiones de un nivel muy bajo en presencia de señales indeseadas (ruidos), como lo son las señales biomédicas.

El ruido se define como una señal ajena a la señal de estudio que provoca errores en la salida del circuito.

En el caso del ECG el ruido provocado por el exterior es producido por el contacto entre el electrodo y la piel del paciente, a este fenómeno se le conoce como

interferencia capacitiva. Si el cuerpo se considera como un conductor y al aire como un dieléctrico se produce dicha interferencia capacitiva.

Los potenciales bioeléctricos del ser humano son magnitudes muy pequeñas que varían con el tiempo.



**Figura 3.6 Configuración del amplificador de instrumentación**

#### Etapas del amplificador

En términos generales la etapa de pre amplificación aumenta la impedancia de entrada del circuito. Gracias a su configuración no-inversora, iguala la impedancia del circuito a la del amplificador. Por su parte, la segunda etapa del amplificador diferencial rechaza la señal de ruido y amplifica la señal diferencial.

La precisión y estabilidad de los amplificadores de instrumentación se realiza a costa de limitar su flexibilidad, a cambio de ello, proporcionan características necesarias para el manejo de señales biomédicas. Además, existen encapsulados como el AD522 que permite utilizar este amplificador sin necesidad de conocer con detalle su diseño interno y con sólo interpretar su especificación externa.

Finalmente está la parte del circuito que permite visualizar la señal. Para ello se utilizan microcontroladores que permitan trabajar con la señal en la pantalla de una computadora.

## 3.2 Oxímetro

### 3.2.1 Conceptos

A continuación se describirá algunos conceptos para entender el funcionamiento del oxímetro.

El oxígeno es un gas claro, sin olor, que constituye el 21 por ciento de los gases del aire. Es esencial para el cuerpo humano, ya que permite producir la energía indispensable para el metabolismo. Mucho  $O_2$  puede ocasionar enfermedades o muerte, lo mismo sucede si es poco, por ello es importante cuantificar la cantidad de oxígeno en la sangre.

En el cuerpo el oxígeno puede ser transportado por la hemoglobina y el plasma.

La hemoglobina es la parte activa en el transporte de  $O_2$  del eritrocito. Está constituida por cuatro átomos de hierro (hem) y cuatro cadenas de polipéptidos(globina). Cada átomo de hierro reacciona con una molécula de  $O_2$ . Un gramo de hemoglobina transporta 1.34 mL de  $O_2$ .

La sangre del adulto comúnmente contiene cuatro especies de hemoglobina: Oxihemoglobina ( $O_2Hb$ ), desoxihemoglobina (RHb), carboxihemoglobina (COHb) y metahemoglobina (MetHb). Las últimas dos se encuentran en mínimas concentraciones en personas sanas.

El valor normal de saturación de oxígeno en la sangre es mayor a 95% para adultos sin patología pulmonar y mayor a 96% en pacientes pediátricos

### 3.2.2 Antecedentes

El interés por medir los niveles de oxígeno en la sangre empieza a cobrar importancia en el año de 1930, cuando médicos alemanes utilizaron métodos de absorción de luz.

En 1935, Karl Mattheus, científico alemán, reportó el uso de un "medidor de oxígeno del oído", que utilizaba la luz roja e infrarroja para compensar los cambios

en el grosor del tejido, el contenido de la sangre, intensidades de luz y otras variables.

De 1940 a 1942, Glenn Allan Millikan, investigador británico, Millikan, trabajó con dos longitudes de onda de la luz, roja y verde, y observó que la luz transmitida en un filtro rojo era paso de saturación de oxígeno-sensible y luz a través de un filtro verde era independiente de la saturación de oxígeno lo que determinó que el oxígeno era insensible a la luz infrarroja. Este trabajo representó el desarrollo del primer oxímetro.

Durante la segunda guerra mundial el interés por el estudio de la saturación de oxígeno en la sangre por los casos de hipoxia en los pilotos.

En la década de 1964, retomando el trabajo de Millikan, Hewlett Packard comercializa el primer oxímetro, realizado por Shaw, contaba con ocho longitudes de onda de luz, y su uso fue limitado a funciones pulmonares y a laboratorios de sueño, debido a su costo y tamaño.

El oxímetro de pulso fue desarrollado en 1972, por Takuo Aoyagi y Michio Kishi, bioingenieros, en el Nihon Kohden. Susumu Nakajima, que descubrieron que se podía medir la saturación de oxígeno mediante el envío de luz a través de los tejidos.



Fig Takuo Aoyagi creador del primer oxímetro de pulso.

En 1979 la Corporación Biox, en Colorado, logró avances importantes en la oximetría de pulso, al introducir por primera vez el uso de diodos emisores de luz(LED) para las fuentes de luz roja e infrarroja. A partir, de ese año, el oxímetro de pulso ha tenido importantes cambios a lo largo del tiempo hasta ser como lo conocemos ahora.



**Figura 3.7 Oxímetro de pulso 2014**

### 3.2. 3 Oxímetro

Este apartado estará enfocado a la oximetría de pulso, que es un método no invasivo que permite el monitoreo de la saturación de la hemoglobina de un paciente.

El uso de los oxímetros permite el monitoreo continuo e instantáneo de la oxigenación, así como la detección temprana de hipoxiantes de que ocurran cianosis, taquicardia o bradicardia, también permite reducir la frecuencia de punciones arteriales y el análisis de gases sanguíneos en el laboratorio.

Aquí nos encontramos con un punto importante de este trabajo. La detección temprana de hipoxia en el piloto es relevante en el dispositivo ya que puede evitar accidentes aéreos. Asimismo, ayuda a confirmar que el piloto está por tener una

taquicardia o bradicardia, padecimientos que se determinan con mayor facilidad con el electrocardiógrafo, sin embargo, con la señal del oxímetro pueden confirmarse que no se trate de un falso-positivo.

### 3.2.4 Principio de operación

El oxímetro de pulso es un equipo que consiste en un dedal y un dispositivo que grafica la saturación de oxígeno en sangre.

El sistema de detección consta de diodos emisores de luz (LED) de una sola longitud de onda, fotodetectores y microprocesadores.

El principio en el que se fundamenta la determinación de la saturación de O<sub>2</sub>, con el oxímetro de pulso, es la ley de Beer que dice que: *“La absorbancia de una radiación monocromática es directamente proporcional al espesor de la radiación a través de la solución y a la concentración de la especie absorbente”*. Es decir, la sustancia que se está analizando se ilumina y se mide cuanta absorbe, de esta forma se puede calcular la concentración, a este proceso se le conoce como análisis espectrofotométricos. Asimismo, el oxímetro combina el principio de la pletismografía que sirve para medir el cambio de volumen.

### 3.2.5 Funcionamiento

El sensor del oxímetro de pulso se coloca en una región del cuerpo, como puede ser un dedo de la mano, del pie o la oreja. Una vez colocado el sensor transmite dos longitudes de onda de luz a través de la piel, 660 nm (roja) y 930 nm (infrarroja), las longitudes son absorbidas por la oxihemoglobina, que es de color rojo y es capaz de absorber la luz infrarroja, y la desoxihemoglobina, que es de color azul y es capaz de absorber la luz roja.

La razón entre la luz roja y la infrarroja se usa para derivar la saturación de oxígeno. El fotodetector al otro lado del tejido transforma la luz transmitida en señales eléctricas proporcionales a la absorción.

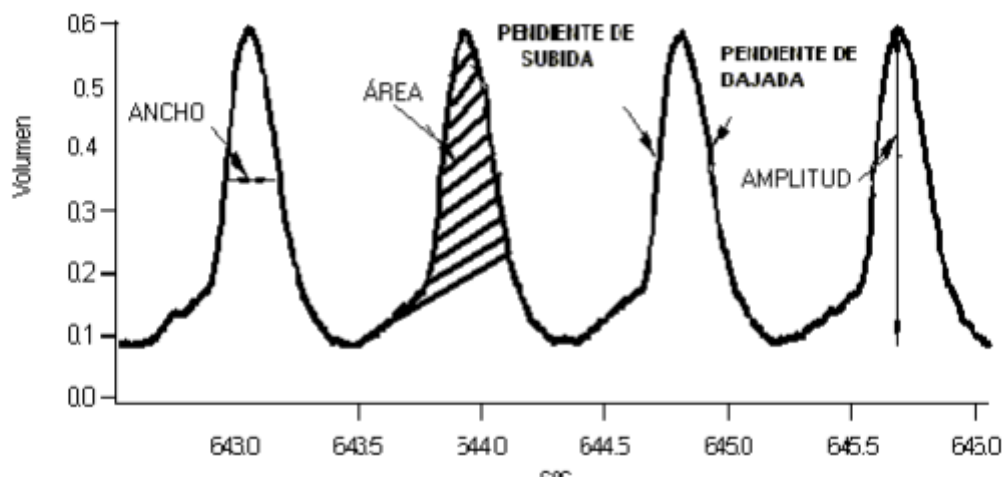
La señal eléctrica es procesada por el microprocesador del equipo, que presenta una lectura e indica si las lecturas obtenidas son normales.

Cada pulso de la sangre arterial provoca que el lecho capilar se expanda y se relaje. Las variaciones cíclicas resultantes en la longitud de la trayectoria de la luz transmitida permiten al dispositivo distinguir entre la saturación de hemoglobina de la sangre arterial (pulsante) y la de la sangre venosa, y los componentes tisulares porque no hay ningún pulso del tejido alrededor y el pulso de la sangre venosa es insignificante.

El microprocesador compara la relación entre los valores de absorción de la sangre arterial pulsátil con los datos almacenados derivados de los estudios invasivos en seres humanos para calcular y presentar la saturación de oxígeno en la sangre. (CENETEC, Salud, 2006)

La mayoría de los oxímetros de pulso ofrecen características de representación visual de los datos como frecuencia de pulso, límites de alarma relativos a la saturación de oxígeno, estudios de pletismografía, gráficos de cálculo análogos o de barras que indican la amplitud del pulso, y diversos mensajes del estado del sistema y de los errores. Asimismo, algunos de los equipos tienen memoria para almacenar las tendencias de la saturación de oxígeno en la sangre en un periodo de tiempo.

Las alarmas generalmente se activan cuando se sobrepasan los límites de la saturación de oxígeno o de la frecuencia del pulso, y a menudo el tono que marca cada pulso variará conforme a los cambios de la saturación de oxígeno. (CENETEC, Salud, 2006)



**Figura 3.8 Señal de la saturación de oxígeno** (Anesth Analg 93(6), 1466-1471, (2001))

El oxímetro de pulso ha hecho un impacto significativo en el campo de la medicina y ha impulsado el avance de la atención de los pacientes en particular en las áreas de anestesia y cuidados intensivos.

### 3.3 Sensores para el movimiento de la mano

Un sensor se puede definir como un dispositivo que transforma una señal física en una señal eléctrica para poder ser detectada por un sistema de control. Existe una gran variedad de sensores, dependiendo de aplicación en la que se quiera utilizar. En este capítulo nos enfocaremos en los sensores que puedan utilizarse para captar el movimiento y la posición de la mano, ya que el dispositivo planteado en el capítulo 6 usa unos guantes para medir la presión con que el piloto sujeta el volante.

#### Historia

Los sistemas de captación de datos aplicados a la mano se llevan utilizando desde hace mucho tiempo. Un ejemplo de ello es el de Nintendo, que en 1989 lanzó al mercado el guante Nintendo Power Glove, el cual llevaba en su interior unos sensores de flexibilidad. Aunque su funcionamiento era muy preciso, tenía el gran

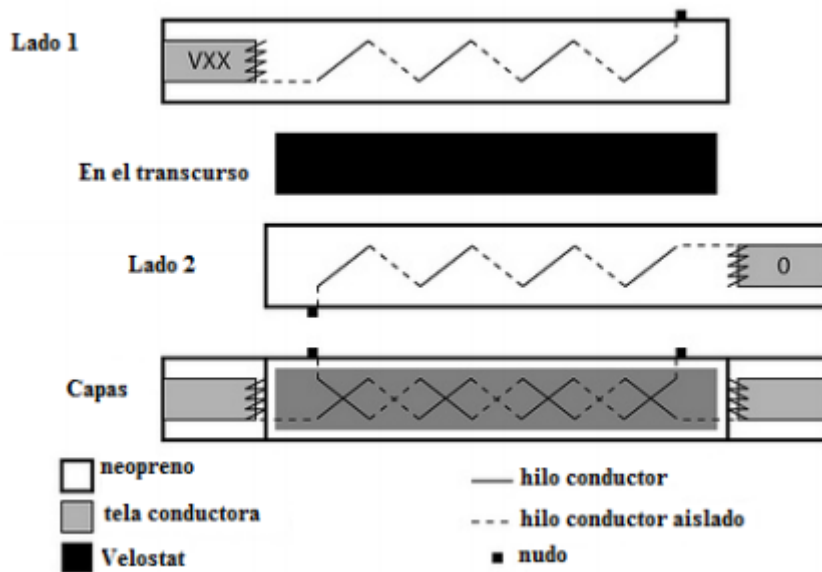


inconveniente de conectarse por medio del puerto serie con un cable, y debido a eso no tuvo mucho éxito. Otro guante de obtención de datos es Aceleglove, que funciona a partir de un conjunto de seis acelerómetros, situados en la punta de los dedos y en la parte central de la mano. Se conectaba por medio de puerto USB en vez del puerto serie.

### Bend Sensor

Es un tipo de sensor que cualquier persona puede fabricar haciendo uso de materiales caseros. Este tipo de sensor varía su resistencia al doblarlo. Presenta la ventaja de que no está limitado por un rango de valores, ya que se adapta a los valores de la fabricación.

Los materiales que se utilizan para fabricarlo son: Neopreno, hilo conductor, tejido elástico conductor y velostat. En la Figura 3.9 se aprecia el modelo para su construcción.



**Figura 3.9 Constitución del Bend Sensor**

## Galgas extensiométricas

Es un elemento que se caracteriza por ser elástico y es el transductor más común en el mercado. También conocido como célula de carga, se utiliza para medir diversas magnitudes mecánicas como pueden ser la presión, carga, torque, deformación, posición, etc. Así como la expansión y la contracción.

El principio de funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo de metales semiconductores, donde su resistividad varía en función a la deformación a la que se encuentran sometidos.

Las células de carga están construidas en torno a un elemento elástico al que se le adhiere varias galgas de resistencia eléctrica. La forma geométrica y el módulo de elasticidad determinan la magnitud del campo de deformación producido por la fuerza que se aplica. Cada extensómetro, responde diferente a la deformación local, la medida de la fuerza determinada se calcula al integrar los factores individuales de construcción de la galga.

Las capacidades de carga de los elementos elásticos de la galga varían de 5 N a 50MN.

La ecuación que representa la deformación en la galga es:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

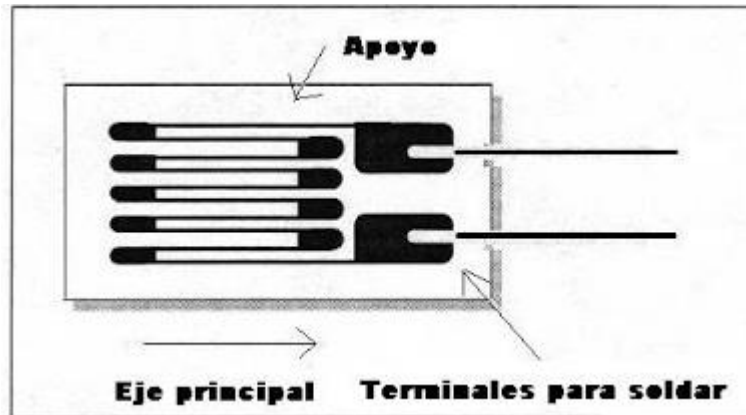
Donde R : es la resistencia eléctrica

l : la longitud transversal

A: la sección transversal

$\rho$  : la resistividad

Como se puede apreciar, la resistencia eléctrica del hilo es directamente proporcional a su longitud, es decir, su resistencia aumenta cuando éste se agranda.



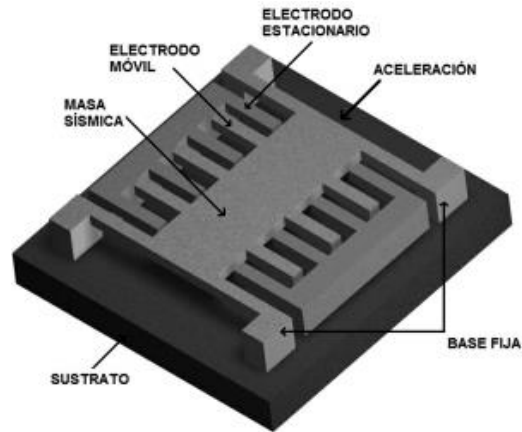
**Figura 3.10 Galga extensiométrica**

### Acelerómetro

Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos que detectan las fuerzas de aceleración, ya sean estáticas o dinámicas. Las fuerzas estáticas incluyen la gravedad, mientras que las fuerzas dinámicas pueden incluir vibraciones y movimiento.

Los acelerómetros pueden medir la aceleración en uno, dos o tres ejes. Hacen uso de una masa de prueba que se encuentra ubicada en el marco de referencia del dispositivo

Existen acelerómetros que trabajan en función de efectos capacitivos y otros en función de efecto piezoeléctricos. Los primeros contienen placas capacitivas internamente: Algunos de ellos son fijos, mientras que otros están unidos a resortes minúsculos que se mueven internamente conforme las fuerzas de aceleración actúan sobre el sensor. Como estas placas se mueven en relación el uno al otro, la capacitancia entre ellos cambia. A partir de estos cambios en la capacitancia se determina la aceleración.

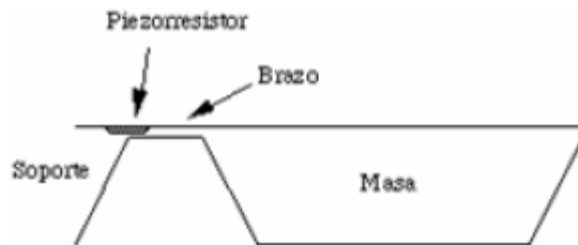


**Figura 3.11 Estructura interna de un acelerómetro**

Por su parte los piezoeléctricos contienen un retículo cristalino que al ser comprimido produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Cuando se mueve el acelerómetro en la dirección arriba o abajo, la fuerza que se requiere para mover la masa es soportada por el elemento activo. Según la segunda ley de Newton, dicha fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. La fuerza sobre el cristal produce la señal de salida, que es proporcional a la aceleración del transductor.

Los acelerómetros se comunicarse a través de un convertidor analógico, digital , o una interfaz de conexión modulada.



**Figura 3.12 Acelerómetro**

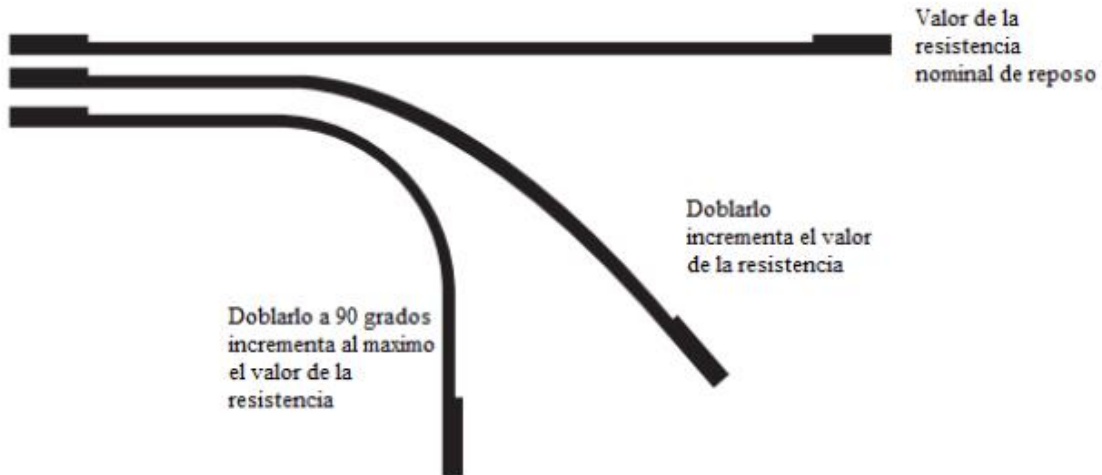
Entre las funciones del acelerómetro está el detectar el movimiento. Por ejemplo, en el WiiMote de Nintendo se puede utilizar para detectar golpes de derecha y de revés emulando los golpes de una raqueta de tenis, o el efecto que se le pone a una bola de boliche. Otra de sus funciones es detectar si un dispositivo está en un estado de caída libre. Esta característica se implementa en varias unidades de disco duro: si esto se detecta manda la señal al Disco Duro para guardar datos y bloquearse para evitar que el golpe dañe los datos.

En los últimos meses ha cobrado gran importancia en los celulares que lo utilizan para desarrollar aplicaciones en las que se mide el movimiento del usuario al correr, caminar, o durante una actividad determinada.

#### Sensores de flexibilidad

Los sensores de flexibilidad son sensores del tipo resistivo que cambian su resistencia en función de la curvatura del sensor: El cambio de la curva se ve reflejado en el cambio de la resistencia eléctrica. Comúnmente se utilizan en los guantes para detectar el cambio de movimiento en los dedos. Los sensores de flexibilidad varían su resistencia de 10 a 50 K  $\Omega$ .

Este tipo de sensores son construidos con elementos resistivos de carbono dentro un sustrato flexible delgado. Cuando el sustrato se dobla el sensor produce una resistencia de salida con respecto al radio de curvatura. Por poner un ejemplo, con un sensor típico de flexión, una flexión de  $0^\circ$  dará una resistencia de 10 K  $\Omega$ , al ser doblado  $90^\circ$  dará de 30 a 40 K  $\Omega$ . Así cada ángulo da una resistencia diferente, lo que permite obtener la posición de los dedos de una mano, por ejemplo.



**Figura 3.13 Muestra del aumento de la resistencia con respecto a la curvatura del sensor**

De acuerdo al objetivo que tiene el dispositivo planteado en la tesis, se recomienda usar el sensor de flexibilidad ya que, al realizar la investigación, este tipo de sensores cuenta con rangos de resistencias que pueden ser utilizados para la aplicación, además al marcar un valor mínimo al estar en cero grados evitará confusiones de medición si los dedos del piloto al estar extendidos llegan a estar un poco inclinados. Entre otro de los beneficios de utilizar estos sensores está su máxima sensibilidad al flexionar los dedos, bajo costo y el manejo de voltaje de 5 12 volts que facilitara el uso de la señal cuando sea adquirida por una computadora.

Uno de los principales motivos para recomendar el uso de sensores de flexibilidad es que, en su mayoría, son usados para para detectar el movimiento del dedo, como equipos de gimnasio, aparatos de medición, tecnología de asistencia, instrumentos musicales, Smartphones, joysticks, juguetes que detectan diferentes grados de flexión, robots, control de máquinas y dispositivos médicos.

## 4. Alteración de los sentidos

### 4.3 ¿Cómo afectan la falla de los sentidos durante el vuelo?

### 4.4 Problemas más comunes en la salud de los pilotos

#### 4.4.1 Incapacitación

#### 4.4.2 Enfermedades respiratoria

#### 4.4.3 Hipoxia

#### 4.4.4 Barotitis o Aerotitis

#### 4.4.5 Enfermedades cardiovasculares

#### 4.4.6 La aceleración

Durante todo este capítulo se describirán las enfermedades con especial consideración aeromédica que alteran los sentidos de los pilotos, por ello se hablará de síntomas muy claro que presentan los tripulantes en medio de un vuelo

### 4. 2. 1 Incapacitación

Se entiende como incapacitación a la reducción de la aptitud de un tripulante por debajo del nivel necesario para cumplir una tarea o misión con seguridad. Esta incapacitación puede ocurrir durante el vuelo por lo cual puede poner en riesgo la seguridad del avión (Pérez Sastre, 2013).

En un estudio patrocinado por IFALPA(International Federal AirLine Pilot Association) en el que se encuestó a 4000 pilotos, el 29% respondió que había sufrido al menos un incidente de incapacitación durante el vuelo en el que fue necesario o deseable que otro miembro de la tripulación realizara sus funciones. En el 45% de dichas incapacitaciones los pilotos informan que la seguridad se podía haber afectado potencialmente.

Hay dos tipos de incapacitación: evidente y velada. La primera ocurre cuando quien la padece no ofrece dudas de que está imposibilitado para llevar a cabo una tarea, ejemplo de ella son pérdida de consciencia, ataque cardíaco, hemorragia nasal, etc.

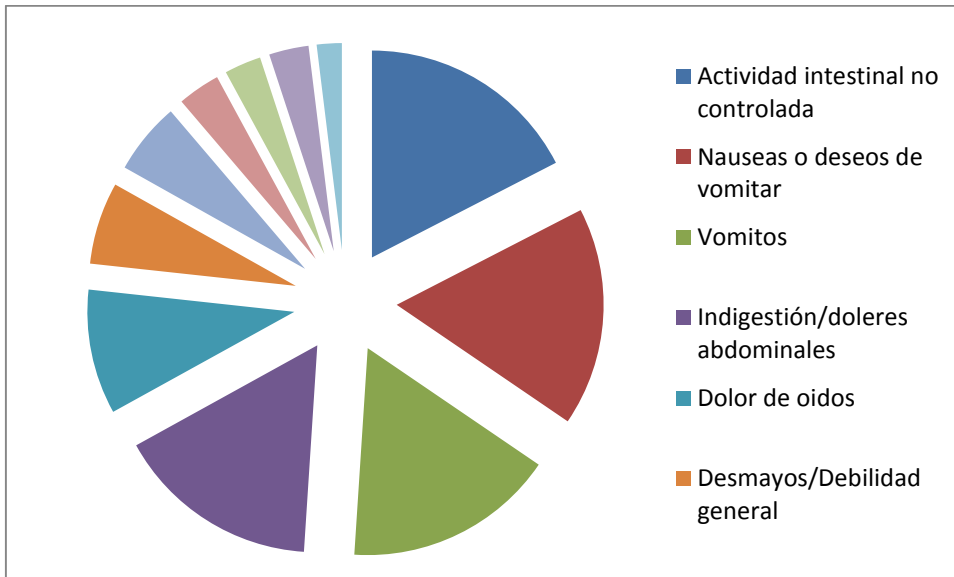
La incapacitación velada ocurre cuando ni la persona ni los que están a su alrededor se enteran de que hay una incapacitación, debido a que no se presenta claramente, ejemplos de ella son, miedo, distracción, ansiedad,

Imprudencia, etc.

El estudio de IFALPA sobre la incapacitación arrojó los siguientes porcentajes

Malestar	Porcentaje de los pilotos
Actividad intestinal no controlada	15.20%
Nauseas o deseos de vomitar	14.90%
Vomitos	14%
Indigestión/dolores abdominales	13.90%
Dolor de oídos	8.50%
Desmayos/Debilidad general	5.60%
Dolor de cabeza	4.90%
Vértigo	2.90%
Lesión ocular	2.50%
Mareo. Visión doble	2.70%
Hemorragia nasal	1.70%

**Figura 4.1 Estudio de IFALPA (Aviation, Space and Environmental Medicine .1991)**



**Figura 4.2 Principales síntomas**

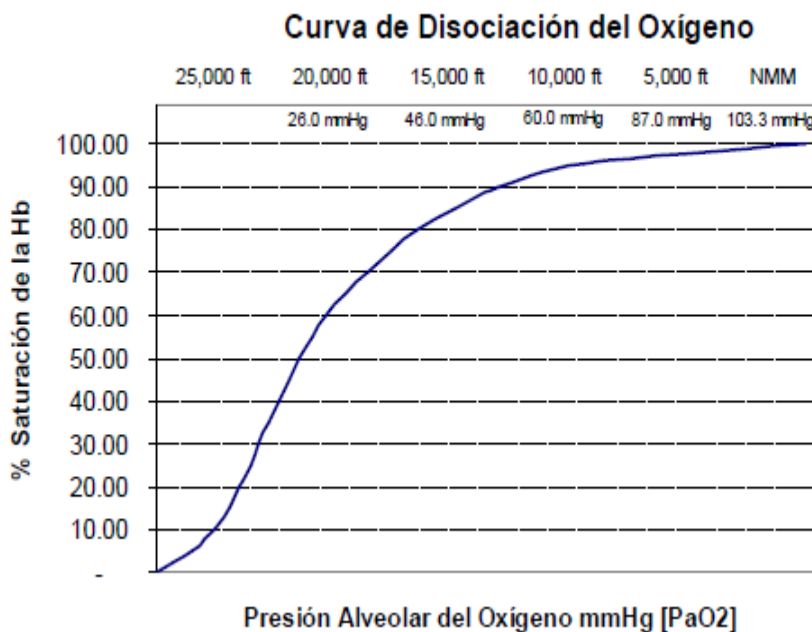
Las respuestas de los pilotos a este estudio denotan que es indispensable el uso de la tecnología para evitar este tipo de incapacitaciones. Un dispositivo como el que se propone permitiría avisar al piloto el momento que sufre una incapacitaciones velada permitiendo una mayor seguridad durante el vuelo.



#### 4.2.2 Enfermedades respiratorias

El doctor Pérez Sastre explica que “la importancia del sistema respiratorio en la aviación reside en la capacidad de proporcionar niveles adecuados de oxigenación celular durante la estancia a diferentes altitudes”.

Existe una curva denominada Curva de la disociación de hemoglobina, esta gráfica determina que a partir de una presión determinada (60 mm Hg) se produce una cesión de oxígeno a los tejidos con la caída en la saturación de la hemoglobina.



**“Por debajo de una presión parcial de 60 mm, la saturación se mantiene arriba del 90%; por debajo de este punto, la saturación disminuye rápidamente siendo menor del 80% para cuando la presión parcial ha alcanzado los 45 mm” (Amezcuca González, 2013)**

**Figura 4.3 Curva de la disociación del oxígeno**

Estudios demuestran que la caída brusca de la curva permite a la hemoglobina llegar rápidamente a los tejidos relativamente hipóxicos. El tema de la hipoxia se tratara un poco más adelante.

A continuación se describirán, a grandes rasgos, las enfermedades respiratorias de mayor importancia en la medicina aeronáutica.

#### Neumotórax

La neumotórax ocurre por la presencia de aire en la cavidad pleural. Sucede en forma esporádica y reincidente en personas jóvenes o en personas mayores con

enfermedad pulmonar crónica (bronquitis o enfisema). En fase aguda, produce incapacidad con fuerte dolor en el tórax y falta de aire (disnea). Puede ser recurrente debido a la disminución de la presión en altitud que provoca expansión de gases y dificultad respiratoria. (Sastre,1996)

## Asma

El asma es provocada por una obstrucción aguda de las vías respiratorias con carácter reversible, recurrente y de causa alérgica. (Sastre, 1996).

El desarrollo e intensidad del asma es imprevisibles. Puede ser provocada por una infección viral respiratoria, hiperventilación, frío, polvo, humos o vapores en cabina y otras circunstancias estresantes de tipo psicológico u operacional que pueden provocar un ataque.

Los pilotos con asma leve, intermitente y persistente no suelen tener problemas para el desarrollo de sus funciones. Los especialistas en medicina aeroespacial toman en cuenta la frecuencia e intensidad de las crisis, los tratamientos requeridos, las admisiones hospitalarias y el tratamiento preventivo. ( Pérez, 2003)

## Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)

El doctor Pérez explica que, “el proceso patológico que afecta a la vía aérea causando obstrucción inflamatoria, fibrosis y destrucción de la unidad alveolar conduce a problemas de ventilación-perfusión y difusión que pondrá en riesgo la capacidad del sistema respiratorio especialmente en situaciones de hipoxia ambiental”. Ejemplos de esta enfermedad son la bronquitis y enfisema.

No es recomendable que un piloto con EPOC avanzada vuele por la poca tolerancia que su cuerpo tiene a la hipoxia, la posibilidad de bullas, el peligro de la hipertensión pulmonar y la necesidad de medicación con posibles efectos adversos( Pérez, 2013)

### 4. 2. 3 Hipoxia

Se define como hipoxia al déficit de oxígeno en células, sangre y tejidos. Este término es de vital importancia ya que en la actividad aeroespacial interviene con frecuencia la disminución parcial de oxígeno en el aire que se respira (Iglesias, 2012).

Por su parte el doctor Amezcua González explica que respirar un aire con una presión parcial reducida de este gas, se conoce como hipoxia

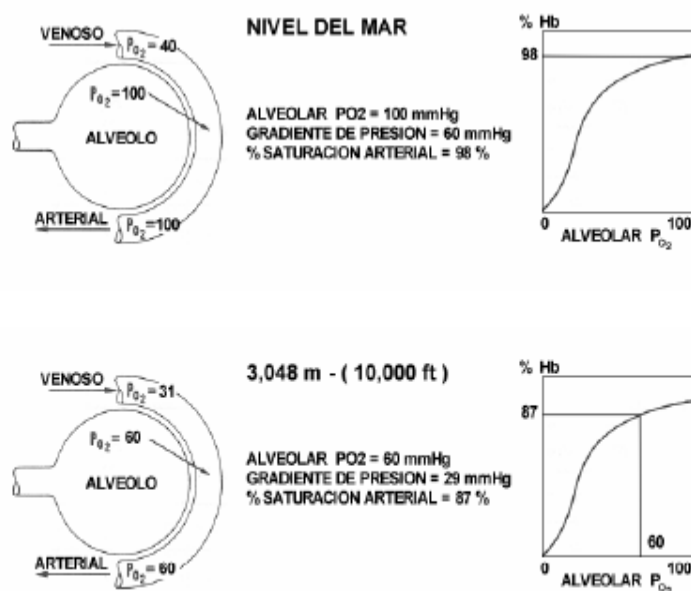
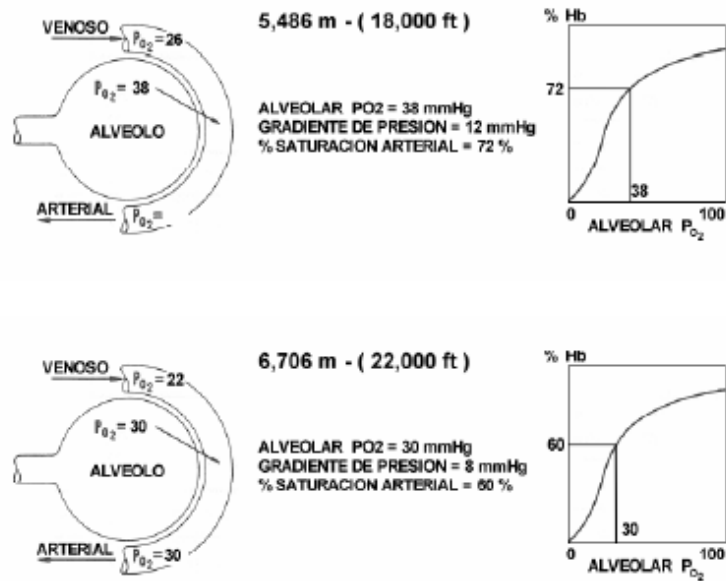


Figura 4.4

Gráfica comparativa de la presión de oxígeno a nivel del mar y a 10,000 pies. (Amézcua González, 2013)



**Figura 4.5**

**Gráfica comparativa de la presión de oxígeno a 18,000 y 22, 000 pies (Amezcuca González, 2013)**

La limitación más importante para realizar los vuelos a grandes altitudes es la disminución de la presión atmosférica y por lo tanto de la presión parcial del oxígeno, lo que puede provocar una hipoxia.

### Atmósfera

Temperatura*		Estratósfera	Altitud		Presión	
°C	°F		ft	psi	mmhg	
-55.0°	-67.0°		100,000	.155	8	
				.250	13	
-55.0°	-67.0°		80,000	.403	21	
				.649	34	
-55.0°	-67.0°		60,000	1.05	54	
				1.59	87	
-55.0°	-67.0°	Tropósfera	40,000	2.72	141	
-54.3°	-65.8°		30,000	4.36	225	
-44.4°	-48.0°		20,000	6.76	349	
-34.5°	-30.2°		10,000	10.11	523	
-24.6°	-12.3°					
-14.7°	+5.5°					
+4.8°	+23.3°					
+5.1°	+41.2°					
+15.0°	+59.0°		NM	14.7	760	

Condiciones en Latitud N-40°

**Figura 4.6 Tabla comparativa de la disminución de la presión atmosférica**

Desde el punto de vista de la medicina aeroespacial se destacan 5 tipos de hipoxia:

**Hipoxia hipobárica:** Es causado por la disminución de la presión parcial de oxígeno en el ambiente. Sucede al volar por encima de ciertos límites con cabinas no presurizadas

**Hipoxia anémica:** Ocurre por la disminución de la hemoglobina, lo que provoca que no haya suficientes glóbulos rojos para transportar la cantidad necesaria de oxígeno

**Hipoxia isquémica:** Se debe a la disminución de la perfusión sanguínea por obstrucción parcial de las arterias, lo que provoca que llegue a territorios correspondientes el aporte adecuado de oxígeno.

**Hipoxia por estancamiento:** Cuando la sangre circula lentamente, la aceleración +Gz es un ejemplo de por qué ocurre este tipo de hipoxia

**Hipoxia histotóxica:** Es aquella en la que las células del organismo están dañados para captar el oxígeno, es provocada por envenenamiento de cianuro, arsénico y monóxido de carbono. En el caso del monóxido de carbono es un gas que desplaza con mucha facilidad el oxígeno a la hemoglobina y puede provocar un daño en el tejido hemático (Iglesias, 2012).

Para fines de esta tesis se describirán las situaciones relacionadas con la hipoxia hipobárica.

En el aire que respiramos se encuentran gases como el oxígeno, nitrógeno, gases raros y el dióxido de carbono. Los de mayor importancia para el sistema respiratorio son el oxígeno y el nitrógeno. A diferentes alturas la presión de los gases sobre los alveolos y la sangre arterial cambia, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 1 (Iglesias, 2012). Presión parcial de gases y saturación de oxígeno arterial a diferentes niveles de altitud

<i>Altitud (pies/ metros)</i>	<i>Presión barométrica (mmHg)</i>	<i>PO<sub>2</sub> en el aire (mmHg)</i>	<i>PO<sub>2</sub> en los alvéolos (mmHg)</i>	<i>Saturación de O<sub>2</sub> arterial %</i>	<i>PCO<sub>2</sub> en los alvéolos (mmHg)</i>
Nivel del mar	760	159	104	97	40
10 000/3048	523	110	67	90	36
20 000/6096	349	73	40	70	24
30 000/9144	226	47	21	20	24
40 000/12192	141	29	8	5	24
50 000/15 240	87	18	1	1	24

**Figura 4.7 Presión parcial de gases y saturación de oxígeno**

**\*PO<sub>2</sub> es la presión arterial de oxígeno**

De la Tabla 1 es posible apreciar que cada a medida que la altura aumenta el PO<sub>2</sub> disminuye progresivamente el aire, lo que puede causar hipoxia.

Como lo dice el doctor Iglesias, “en el estudio de la cardiología espacial tiene particular importancia la hipoxia hipobárica porque en el medio ambiente laboral de las tripulaciones aéreas están expuestos frecuentemente a variaciones de la presión interior de la cabina y, consecuentemente, a la presión parcial del oxígeno del aire que se respira”

Entre la altura de 1500 m y 3000m sobre el nivel del mar, se ponen en juego reflejos compensadores de la hipoxia (Iglesias, 2012).

El cerebro y la retina son los órganos más sensibles a la hipoxia, con respecto a los aparatos el respiratorio y el cardiovascular son los que más alteraciones reciben. También afecta la coordinación psicomotora, el control neuromuscular se deteriora conforme la altura aumenta.

Con respecto a la retina, la hipoxia deteriora la visión nocturna, por ello si se conducen aviones de noche con cabinas no presurizadas se debe usar oxígeno suplementario a partir de los 3000 m de altura.

Por su parte, a nivel del sistema nervioso central el efecto de la hipoxia presenta efectos similares a los de la ingesta de alcohol: se presentan sensación de bienestar, euforia, seguridad y confianza; se deteriora el juicio crítico, la capacidad de decisión y el razonamiento. Otros síntomas son cefalea, somnolencia, vértigo y dificultad de concentración y fatiga, entre otras.

Según el doctor Hubert Strughold los niveles de eficiencia mental cuando se sufre hipoxia pueden clasificarse según la siguiente tabla

Tabla 2

Eficiencia mental según Hubert Strughold	Altura	Nivel de eficiencia
Fase indiferente	Antes de los 3000m	No hay compromiso funcional
Fase de compensación	De 3000 a 4500 m	Existen una complicación si se hace ejercicio físico importante. Se activan mecanismo de compensación de la hipoxia, especialmente en aparato respiratorio y cardiovascular
Fase de compensación incompleta	De 4500 a 6700 m	Los mecanismo de compensación del cuerpo no funcionan tan bien. La capacidad física y mental se deteriora de forma considerable. Se acerca el colapso.
Fase crítica	De 6700 a 7600 m	La capacidad física y mental se pierde. Se pierde la conciencia. Se presentan convulsiones. Insuficiencia cardiorespiratoria. Existe el riesgo de muerte si no se da auxilio.

### Tiempo de conciencia útil

Se define como tiempo de conciencia útil al intervalo de segundos en el que los tripulantes pueden ponerse la mascarilla de oxígeno y salvarse de la hipoxia en caso de una descompresión rápida de la cabina.

El tiempo de conciencia útil varía de acuerdo a la altura a la que se encuentre el avión. Si no se actúa con prontitud y dentro de los márgenes establecidos el tripulante puede quedar incapacitado física y mentalmente para conducir la nave (Iglesias, 2012)

Tabla 3 (Iglesias, 2012)

Tiempo de conciencia útil a diferentes niveles de altitud		
<i>Altitud</i>	<i>Tiempo de conciencia útil</i>	
<i>Metros/pies</i>	<i>Segundos</i>	<i>Minutos</i>
15 240 / 50 000	9-15	
12 192 / 40 000	15-20	
10 668 / 35 000	30-60	
9 144 / 30 000		1-2
8 534 / 28 000		2.5-3
7 622 / 25 000		3-5
6 707 / 22 000		10-15
5 488 / 18 000		20-30

**Figura 4.8 Tiempo de conciencia útil**

En el aparato respiratorio los efectos se manifiestan desde los 1500m a 3000 m sobre el nivel del mar. Los efectos son aumento en la frecuencia respiratoria y en



el volumen circulante, aumento en el volumen circulante, elevación de la presión arterial pulmonar y se acentúa el tono bronquiolar (Iglesias 2012).

Del párrafo anterior podemos afirmar la importancia que tiene un oxímetro de pulso en el dispositivo propuesto en el capítulo 6 de esta tesis. Las señales obtenidas por el oxímetro pueden ser examinadas por un doctor en medicina aeroespacial en la cabina, y éste podría avisar oportunamente al piloto si requiere utilizar su mascarilla de oxígeno antes de que ocurra un percance. Esto es, evitar los síntomas de hipoxia gracias a sus señales fisiológicas.



**Figura 4.9 Uso de las mascarillas de oxígeno**

Con respecto al aparato cardiovascular la hipoxia provoca las siguientes manifestaciones: aumento de la frecuencia cardiaca, incremento del gasto cardiaco, elevación de la presión arterial sistémica, vasoconstricción periférica, vasodilatación cerebral, y a veces hiperventilación y disminución del dióxido de carbono en la sangre, lo que causa vasoconstricción cerebral. (Iglesias 2012)

El doctor Iglesias afirma que en “una exposición a 6000 o más metros ocurren cuadros cardiovasculares severos consistentes en colapso circulatorios, bradicardias acentuada, arritmias auriculares y ventriculares, hipotensión arterial, síncope, aumento de la presión venosa, sudoración fría y paro cardiorespiratorio”.

El dispositivo de estudio de esta tesis también propone el uso de un electrocardiógrafo, en realidad el electrocardiógrafo es el elemento principal del dispositivo, ya que gracias al ritmo cardiaco es posible conocer una infinidad de enfermedades (como se verá más adelante), la hipoxia es sólo una de ellas. El

uso de un electrocardiógrafo en tiempo real de vuelo permitiría al médico en cabina prevenir al piloto de que ya no se encuentra en condiciones de manejar la nave.

#### Alternativas contra la hipoxia

Una de las alternativas para evitar la hipoxia son las cabinas presurizadas.

El doctor Luis Amézcuca González, ex presidente de la Academia Internacional de Medicina Aeronáutica y Espacial, explica en el manual de la S. E. M. A que existen 3 sistemas de control de la presurización a bordo de una aeronave:

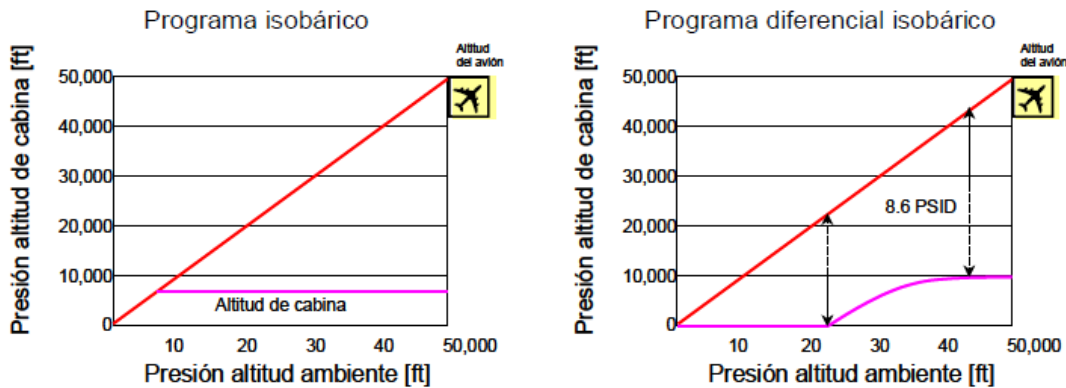
**Control isobárico:** Consiste en mantener una altitud de cabina constante a cualquier altitud de vuelo, lo cual provoca limitaciones debido al hecho de que con la altitud la presión diferencial, puede exceder la resistencia de la estructura de la aeronave, sobre todo en superficies débiles como ventanas, sellos y salidas de emergencia, etc, lo que podría provocar una ruptura de la estructura que origine una pérdida de la presurización.

La presión diferencial se define como la diferencia entre la altitud de cabina y la presión ambiental ( $P_d = P_c - P_a$ )

**Control diferencial:** Este sistema cuenta con una válvula que permite la salida del aire de la cabina hacia el exterior cuando se excede la presión diferencial, previamente establecida (normalmente nunca mayor a 8.6 lb/plg<sup>2</sup>), evitando así la creación de una presión diferencial excesiva que comprometa o afecte a la resistencia máxima de la estructura de la aeronave.

**CONTROL MIXTO:** Existen aeronaves modernas para transporte de pasajeros (Boeing 747-400, MD's de la serie 80, Airbus de la serie 300), que cuentan con un sistema de control mixto operando con sistema isobárico hasta determinada altitud para posteriormente en forma automática continuar su control mediante el sistema diferencial

## Comparativo entre programas de presurización



**Figura 4.10 Comparación entre programas de presurización**

Otro medio para prevenir la hipoxia en vuelo es la disponibilidad de oxígeno suplementario. Los aviones modernos tienen un suministro de O<sub>2</sub> que se pone en uso automáticamente cuando la presión de la cabina desciende o se pierde súbitamente (Amezcuca González, 2011)

### 4.2.3 Barotitis o Aerotitis

La barotitis o aerotitis constituye una de las patologías más frecuentes del personal de vuelo, generalmente sucede durante el descenso del vuelo y ocurre por los procesos inflamatorios de las vías aéreas superiores (faringitis, amigdalitis, rinofaringitis, catarro común, etc.), que ocasionan un edema o inflamación de estas estructuras del aparato respiratorio y bloquean el paso del aire a través de la trompa de Eustaquio y consecuentemente evitan el equilibrio de presiones.

La barotitis es un padecimiento agudo, traumático, del oído medio provocado como consecuencia de una presión diferencial entre el aire de esta cavidad y el aire atmosférico. La oclusión de la trompa de Eustaquio, por culpa de un virus, bacterias o procesos traumáticos dificultan o impiden el paso del aire a través de este conducto provocando un desequilibrio de presiones en el oído medio (Amezcuca González, 2011).

El doctor Amezcua explica que “los síntomas se manifiestan con una sensación de llenura o sordera de uno o ambos oídos seguido de dolor progresivo a medida que el descenso continúa y la presión diferencial aumenta, llegando a ser excesivamente intenso acompañándose de zumbido de oído , mareo, sensación de vértigo y ocasionando, cuando la intensidad es muy alta, palidez, sudoración, náusea y vómito y hasta colapso de la persona afectada. Cuando la presión diferencial entre el aire del oído medio y el aire atmosférico sobrepasa los 100 mmHg, puede provocarse la ruptura del tímpano con lo cual se reduce de inmediato la intensidad del dolor, persistiendo una sensación de dolorimiento en el oído afectado y la presencia de sangre en el conducto auditivo, como consecuencia de la ruptura de los vasos de la membrana timpánica afectada”.

Los expertos en medicina aeronáutica recomiendan a los pilotos no tripular la nave cuando se tienen síntomas de catarro común o proceso inflamatorio de las vías respiratorias. Comúnmente, a los pilotos con síntomas de catarro se les realiza una prueba de impedanciometría que permite saber la permeabilidad de la trompa de Eustaquio y qué tanto está inflado el oído medio. En caso de necesidad obligatoria de tripular una nave cuando se sufre este tipo de padecimiento, el piloto deberá utilizar un atomizador nasal previo al vuelo para ventilar las fosas nasales, así como hacer un descenso lento y en el caso de contar con cabina a presión reducir el régimen de despresurización.

#### 4.2.5 Enfermedades cardiovasculares

Los médicos especializados en aviación reconocen como factores de riesgo cardiovasculares a la hipertensión arterial, hiperlipidemias, estrés psicológico, personalidades tipo A y otros como la diabetes mellitus, obesidad, sedentarismo y el tabaquismo. Sin embargo hay una en la que hay que tener un alto cuidado y es la enfermedad coronaria, ya que se reconoce como la causa más frecuente de incapacitación súbita en vuelo.

Cada determinado tiempo se realizan a los pilotos exámenes médicos para comprobar el estado de su salud. La cardiopatía isquémica es la primera causa de

pérdida de licencia, por cuanto las enfermedades cardiovasculares están frecuentemente asociadas con el riesgo de incapacitación súbita o insidiosa y pueden intrínsecamente descalificar a una persona para la realización de funciones aeronáuticas (Manual de medicina aeronáutica civil, 1985)

La mitad de las causas médicas por las que ocurre un accidente de aviación son atribuidas a enfermedades cardiovasculares(García Cosío, 2001).

La oficina aeromédica de la Asociación de Pilotos de Aerolínea (ACPA) indica que el 23 % de los pilotos tienen enfermedades cardiovasculares, lo que constituye el 35 % de la discapacidad. Sin embargo, frecuentemente no se estudian a detalle los riesgos que puede tener el tener un piloto al mando de una nave con riesgos cardiovasculares.

El dispositivo propuesto en esta tesis permitiría nunca obviar el riesgo cardiovascular, evitando un accidente y en casos extremo la muerte del piloto.

Un estudio realizado en Colombia en 2005 a 614 pilotos arrojó los siguientes resultados:

**Resumen prevalencia de factores de riesgo cardiovascular**

Factor De Riesgo	Prevalencia (%)
Hipertensión arterial	7.8
Diabetes Mellitus	1.3
Hipercolesterolemia	36.3
Hipertrigliceridemia	39.7
HDL Bajo	36.6
Hipercolesterolemia LDL	32.7
Tabaquismo	12.9
Antecedente Familiar	5.1
Obesidad	7
Síndrome Metabólico	6

**Figura 4.11**  
**Prevalencia de factores de riesgo cardiovascular en pilotos de aviación civil en Colombia, 2005**

Es estudio indicó que los factores de riesgo de que más se presentaron fueron hipertrigliceridemia, hipercolesterolemia y tabaquismo.

Arteaga y Fajardo, responsables del estudio en 2005 afirman que, “la enfermedad coronaria es la causa principal de muerte y discapacidad en el mundo, en especial después de los cuarenta años, afecta significativamente a pilotos con un 25 % de

casos registrados y es responsable de una tercera parte de la pérdida de licencia”.

Realizar un estudio como el que se llevó a cabo en Colombia en nuestro país permitiría conocer más a detalle la población de pilotos en México para tener un mayor control de los riesgos cardiovasculares y de otros tipos, para de esta manera contar con una mejor seguridad aérea. Además se podría poner especial énfasis en los pilotos que su salud no es óptima, para su estudio en medicina preventiva como en el uso obligatorio del dispositivo propuesto en el trabajo.

En nuestro país la encargada de realizar exámenes al personal del vuelo es la Dirección General de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte (DGPMPT) que es una unidad adscrita a la Subsecretaría de Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con atribuciones para formular y proponer políticas, normas y programas en materia de protección y medicina preventiva en el transporte para coadyuvar a la disminución de accidentes en las vías generales de comunicación.

Entre sus funciones, la DGPMPT determina las condiciones psicofísicas que debe presentar el personal que conduce, opera y/o auxilia en los diversos modos de transporte federal y sus servicios auxiliares, a través de la práctica de exámenes psicofísicos integrales, médicos en operación y toxicológicos para coadyuvar en la seguridad de los usuarios en los diferentes modos de transporte.

En 2011 la DGPMPT evaluó a 33, 333 casos, de personas que deseaban acreditarse como persona del vuelo. 759 fueron considerados no aptos para el desempeño de sus funciones. Las principales causas del rechazo pueden apreciarse en la siguiente tabla:

Tabla 4 Principales de causas para considerarlos no aptos

No.	SISTEMAS	TOTAL	%	TASA POR CADA 10,000 EXÁMENES PSICOFÍSICOS INTEGRALES PRACTICADOS
1	7 ENFERMEDADES DEL OJO Y SUS ANEXOS	167	20.34	2,200.26
2	4 ENFERMEDADES ENDOCRINAS, NUTRICIONALES Y METABOLICAS	89	10.84	1,172.60
3	9 ENFERMEDADES DEL SISTEMA CIRCULATORIO	54	6.58	711.46
4	8 ENFERMEDADES DEL OIDO Y DE LA APÓFISIS MASTOIDES	15	1.83	197.63
5	5 TRASTORNOS MENTALES Y DEL COMPORTAMIENTO	11	1.34	144.93
	OTROS DIAGNÓSTICOS	485	59.07	6,389.99
TOTAL		821	100.00	10,816.86

**Figura 4.12 Evaluación DGMT, 2011**

Las enfermedades del sistema circulatorio, que no se detallan en el estudio, estuvieron en tercer lugar, de ahí su importancia de conocerlas más a fondo para su prevención, así como la justificación de electrocardiograma en el dispositivo.

Hipertensión arterial.

El consejo de salubridad de nuestro país define a la hipertensión arterial como el aumento de la resistencia vascular debido a la vasoconstricción arterial e hipertrofia de la pared vascular que conduce a la elevación de la presión arterial sistémica >140/90 mmHg.

La hipertensión arterial es un factor de riesgo de la enfermedad coronaria y de la enfermedad cerebro vascular (trombosis, hemorragia cerebral). Se le conoce también como la muerte silenciosa.

La hipertensión no es descalificante para el vuelo, pero deben tenerse presente las siguientes estándares de hipertensión para pilotos en activo: “Si la presión sobrepasa los 140/90 mmHg pero no rebasa los 160/100 mmHg, la presión arterial debe considerarse como leve y es susceptible de normalizar con dietas, ejercicio físico cotidiana y moderado y disminución de la ingesta de sal y alcohol, supresión de tabaco y disminución de estrés. Si las cifras están por encima de los 160/90 mmHg se debe imponer un tratamiento farmacológico como diuréticos y betabloqueadores (Iglesias,2012) .

Existe la denominada Hipertensión de Bata Blanca, denominada así por aparecer en personas que no comúnmente no sufren hipertensión pero cuando asisten al médico se ponen nerviosos con los exámenes clínicos y aparece.

El doctor Sastre explica que en los pilotos jóvenes suele presentarse continuamente este fenómeno dado que los exámenes son obligatorios y conllevan una calificación o aptitud con repercusiones socio laborales evidentes, también puede presentarse en pilotos veteranos. Este tipo de hipertensión es un reflejo de defensa cuya finalidad fisiológica es la finalidad.

La mejor manera de diferenciar la hipertensión de bata blanca de la hipertensión alta, es tomar la tensión varias veces en un ambiente habitual. Por ello, a los pilotos se les debe hacer más de una toma de la presión arterial para no confundir un diagnóstico de hipertensión.

#### Enfermedad coronaria

La enfermedad coronaria es una enfermedad cardíaca que provoca un suministro inadecuado de sangre al músculo cardíaco, una afección potencialmente perjudicial.

La enfermedad coronaria es causada por una acumulación de depósitos grasos y cerosos en el interior de las arterias. Estos depósitos se componen de colesterol, calcio y otras sustancias de la sangre. Esta acumulación se denomina Placa Aterosclerótica. Los depósitos de placa pueden obstruir las arterias coronarias y hacerlas rígidas e irregulares causando el Endurecimiento de las Arterias.

Los primeros síntomas se presentan cuando el corazón late más fuerte de lo normal, como durante el ejercicio. Sin embargo, estos síntomas también se pueden producir cuando se está en reposo y no se está realizando ninguna actividad.

Los síntomas de la enfermedad coronaria difieren en cada persona, pero los síntomas típicos incluyen: Malestar o dolor torácico (angina), dificultades



respiratorias, fatiga extrema al hacer ejercicio, edema en los pies, dolor en el hombro o el brazo (Medtronic, consultado el 1 de abril 2014)

El doctor Sastre explica que los factores de riesgo son:

Edad: la incidencia se incrementa con la edad, siendo excepcional antes de los 35 años y muy frecuente en mayores de 60.

Sexo: antes de los 60 años es mucho más frecuente en los varones. A partir de esta edad, se iguala en ambos sexos

Hipercolesterolemia: el colesterol es la base de las placas de ateromas que obstruyen las arterias. Valores por encima de 220 mg en personas menores de 50 años son predictivas, especialmente con la elevación del LDL-colesterol. Así mismo valores disminuidos de HDL-colesterol se asocian con mayor frecuencia.

Hipertensión arterial: acelera la aparición de las complicaciones de la arterioesclerosis coronaria y cerebral.

Tabaco: el riesgo se relaciona con la edad de comienzo del hábito, número de cigarrillos , su composición y la inhalación del humo

Diabetes: sea clínica, química o latente, se acompaña de aumento en la incidencia, precocidad y gravedad de la enfermedad coronaria. Es independiente de otros factores de riesgo.

Antecedentes familiares: hay un componente genético importante todavía por conocer exactamente. La incidencia en personas con familiares de 1º grado enfermos es elevada.

Otros factores son el sobrepeso, el aumento de triglicéridos y ácido úrico, el sedentarismo y el estrés.

“En un estudio realizado en Inglaterra en pilotos aviadores, civiles y militares, muertos en accidentes aéreos, la necropsia reveló enfermedad coronaria significativa en el 19% de los pilotos cuya edad promedio era de 32 años. Esto significa que una proporción no despreciable de personas sanas presentan desde temprana edad lesiones ateromatosas en la red coronaria que no tienen expresión

clínica (...) En la mayor parte de los países del mundo los pilotos de empresas aéreas que presentan sintomatología y datos objetivos de cardiopatías isquémicas son puestos en tierra y relevados de sus funciones. Excepcionalmente pilotos civiles y militares con cardiopatía aterosclerosa coronaria mínima (lesiones menos del 50% en un solo vaso) y algunos que han sido sometidos a revascularización quirúrgica, se les ha permitido reanudar su actividad, con la condición de que siempre formen parte de tripulaciones múltiples y que las medidas prevención secundaria del proceso ateromatosa sean estrictas y se sometan periódicamente a estudio de coronografía ” Iglesias, 2012.

De nuevo es posible apreciar la importancia de un dispositivo como el propuesto en este trabajo. Si bien el dispositivo, en este caso, no puede hacer nada para evitar las lesiones ateromatosas, puede ayudar a que la tripulación no sea puesta en riesgo con la participación pronta del copiloto.

Cabe destacar que en la aviación comercial y militar no es una práctica común hacer rutinas de estudios especializados para detectar enfermedad coronaria. En los últimos años se ha incluido un estudio ecocardiográfico de rutina en el examen de admisión para pilotos (Iglesias, 2012).

Cualquier anomalía detectada en el electrocardiograma del piloto durante el vuelo puede ser detectada por parte del doctor en medicina espacial en la cabina de control, para que éste indique el tratamiento a seguir y analice si el piloto está en condiciones de continuar tripulando la nave.

### Lesiones Estructurales

“Durante los exámenes periódicos posteriores que se practican al personal de vuelo se han descubierto lesiones orgánicas mínimas (que no aparecían en los primeros estudios), pero que pueden agravarse con el tiempo o ser motivo de incapacidad en pilotos de combate (...) Algunas de las lesiones que se han descubierto en los exámenes posteriores son prolapso de válvula mitral, válvula aórtica bicúspide, insuficiencia aórtica con válvulas normales, comunicación interauricular, coartación de la arteria leve y miocardiopatías ” Iglesias, 2012.

El doctor explica que los pilotos con los lesiones mínimas se le permite tripular una nave con la condición de que se sometan a un estudio ecográfico anual por el resto de su vida con el fin de conocer cualquier agravamiento de la lesión.

“Las dos lesiones valvulares congénitas más comunes en el personal del vuelo que han pasado inadvertidas son la válvula aórtica bicúspide y el prolapso de la válvula mitral” Iglesias, 2012

El colegio americano de cardiología explica que válvula aórtica bicúspide (BAV) es la cardiopatía congénita más frecuente en la población general, con una prevalencia alrededor del 0,5-2%. Se trata de una enfermedad congénita que frecuentemente produce complicaciones durante la edad adulta, representa una alteración genética que involucra el desarrollo del corazón y de la aorta.

La BAV habitualmente está constituida por dos valvas desiguales. La mayor presenta un borde central como resultado de la fusión de lo que serían, en condiciones normales, dos valvas. No obstante, existen diversos patrones morfológicos, dependiendo de qué comisuras estén fusionadas.

En los pilotos la BAV puede evolucionar desfavorablemente hacia enfermedades más graves como la estenosis aórtica, la insuficiencia valvular aórtica, la calcificación de las valvas, la endocarditis bacteriana y la dilatación de la raíz aórtica (Iglesias, 2012)

#### Trastorno del automatismo

El Instituto Nacional de Corazón de Estados Unidos, explica que el término arritmia cardíaca implica no sólo una alteración del ritmo cardíaco, sino que también cualquier cambio en el sitio de iniciación o en la secuencia de la activación eléctrica del corazón. Durante una arritmia el corazón puede latir demasiado rápido, demasiado despacio o de manera irregular. Los latidos demasiado rápidos se llaman taquicardia. Los latidos demasiado lentos se llaman bradicardia.

La mayoría de las arritmias son inofensivas, pero algunas pueden ser graves e incluso poner en peligro la vida. Durante una arritmia es posible que el corazón no

pueda bombear suficiente sangre al resto del cuerpo. La falta de circulación de la sangre puede causar daños en el cerebro, corazón y otros.

Toda persona que sufra una arritmia cardiaca maligna debe ser consideradas, en un principio, como no compatibles. Se trata de un tema complejo, un especialista en cardiología aérea es el responsable de tomar esta decisión (Iglesias, 2012)

La Organización de Aviación Civil Internacional marca como límite de edad los 65 años para los pilotos, pero desde los 60 deben estar acompañados de un copiloto por los riesgos cardiovasculares que la edad conlleva.

#### 4.2.6 La aceleración

Los efectos de la aceleración no afectan de manera relevante en la aviación civil, pero sí a la aviación militar en el funcionamiento del sistema cardiaco, circulatorio y respiratorio, por ello se dejó al final de este capítulo para su descripción.

Durante el desplazamiento de un avión en vuelo ocurren cambios en la velocidad y en la dirección, o en ambos simultáneamente. Estos cambios se definen como aceleraciones (G) porque afectan la fuerza de la gravedad a la que el humano está adaptado; aumentándola, reduciéndola, invirtiéndola o neutralizándola lo que provoca alteraciones orgánicas a las personas a bordo que afectan su salud y su seguridad durante el vuelo (Amezcu Luis, 2011).

La velocidad se define como la distancia recorrida por unidad de tiempo. La aceleración, por su parte, es el cambio de velocidad de un cuerpo en movimiento. La aceleración puede ser positiva o negativa cuando el cuerpo disminuye de velocidad.

“Cuando una aeronave en vuelo aumenta su velocidad se debe a la generación de una fuerza considerada como centrípeta que desplaza al avión hacia delante, originando con ello una fuerza centrífuga en sentido opuesto que empuja al piloto contra su asiento. Es esta fuerza centrífuga la que representa la aceleración. De la misma manera cuando un avión en vuelo cambia de dirección, por ejemplo para ascender al salir de una picada, la fuerza centrípeta es la que provoca el ascenso

del avión y la aceleración resultante es la fuerza centrífuga que presiona al cuerpo del piloto contra el asiento, la cual es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y a la masa del aeronave, e inversamente proporcional al radio de la curvatura en la cual se produce el cambio de la dirección” Amezcua, 2011.

La medicina aeroespacial reconoce tres tipos de aceleraciones: lineal, es aquella en la que se produce un cambio en la velocidad de un cuerpo en movimiento, pudiendo ser este positivo o negativo; radial que ocurre cuando se produce un cambio en la dirección de un cuerpo en movimiento y angular que es aquella en la que se produce simultáneamente un cambio en la velocidad y en la dirección de un cuerpo en movimiento.

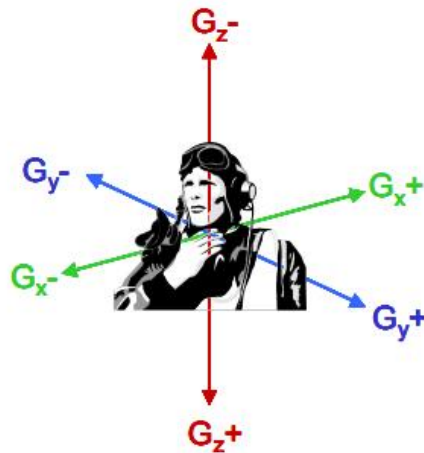


Figura 4.12 Fuerza de gravedad en los distintos ángulos

Cuando la aceleración actúa paralelamente al eje vertical del cuerpo, se denomina fuerza  $G_z$  siendo positiva cuando actúa de la cabeza a los pies ( $G_z^+$ ) y negativa cuando la aceleración actúa de los pies hacia la cabeza ( $G_z^-$ ).

Cuando las fuerzas actúan en el eje anteroposterior del cuerpo, se denominan aceleraciones  $G_x$ , siendo positivas cuando la aceleración se dirige de adelante hacia atrás ( $G_x^+$ ), y aceleración ( $G_x^-$ ) cuando actúa de manera inversa.

Cuando la fuerza actúa sobre el eje lateral del cuerpo y la aceleración se genera de derecha a izquierda, se denomina ( $G_y^+$ ), y cuando la fuerza se genera en sentido contrario, es decir, de izquierda a derecha se denomina ( $G_y^-$ ).

Se describirá brevemente los efectos de la aceleración  $G_z$ , no porque los efectos en  $G_x$  y  $G_y$  no sean importantes, sino porque esta tesis está enfocada para los pilotos civiles, y los efectos de las aceleraciones  $G_x$  y  $G_y$  son más evidente en los vuelos militares.

“Las fuerzas que actúan en el eje longitudinal del cuerpo, de la cabeza a los pies tienen marcados efectos sobre la circulación, el corazón y la respiración. La sangre tiende a acumularse en las porciones bajas del cuerpo, la presión hidrostática en las columnas sanguíneas abdominales y de miembros inferiores se eleva importantemente, el retorno venoso disminuye, la presión arterial y la perfusión sanguínea cerebral descienden significativamente, los movimientos respiratorios se dificultan, el intercambio gaseoso se deteriora, la retina es particularmente sensible a la isquemia y a la hipoxia, de ahí que los primeros síntomas se manifiestan en la visión” Iglesias, 2012.

Dentro del sistema cardiovascular se afecta, la frecuencia cardiaca, la circulación coronaria, el gasto cardiaco así como la circulación en diferentes partes del cuerpo.

Si se ve en electrocardiograma la señal cardiaca, a partir de +3  $G_z$  la onda P se vuelve más ancha, más elevada y de morfología puntiaguda. El complejo QRS, cualquiera que sea la intensidad de la aceleración, no modifica su amplitud, pero puede tener algunas variaciones porque el eje eléctrico se modifica al haber rotación y desplazamiento del corazón. El segmento ST es difícil valorar porque durante la aceleración se registran numerosos artefactos: su desplazamiento es poco frecuente, y cuando lo hay, casi siempre corresponden a cardiopatía isquémica subyacente. Por su parte las alteraciones de la onda T son muy frecuentes y se manifiestan por aplanamiento, difasismo y negatividad de esta onda, pero se normaliza en el transcurso de la aceleración y se vuelve algo más alta y puntiaguda a la que hay en tierra, permanece así minutos después del término de la aceleración. (Iglesias, 2012).

Referente a la frecuencia cardiaca, ésta se eleva de manera importante en la aceleración +Gz, su incremento es proporcional al grado de aceleración que experimenta el sujeto; puede elevarse hasta 200 latidos por minuto, pero éste es el límite máximo permisible. El aumento de la frecuencia cardiaca es una repuesta a la baja de la presión arterial y a la disminución del flujo sanguíneo a nivel de los barorreceptores en los senos carotídeos.

Por su parte, la circulación coronaria se ve afectada durante la aceleración +Gz

Cuando ésta pasa de los 3 o 5 Gz, puede disminuir de un 25 a un 50%.

El gasto cardiaco se define como el producto del volumen por latido y la frecuencia cardiaca y está en función del retorno venoso; durante la aceleración el retorno venoso está disminuido, porque se incrementa la presión hidrostática en las columnas venosas, lo que dificulta la progresión de la sangre hacia las cavidades derechas; disminuyendo el volumen por latido y por lo tanto el gasto cardiaco.

Con respecto a la circulación, en la cabeza y el cuello existe una disminución de flujo sanguíneo y de la presión arterial proporcional a la intensidad de la aceleración. Hasta las +3 Gz estos cambios en general son bien tolerados; más allá de estos límites y a medida que se incrementa la aceleración, se presenta una disminución en la vista periférica. Por su parte, la parte inferior del cuerpo se produce una gran distención del sistema vascular, un incremento en la presión intravascular y acumulación de la sangre en miembros inferiores, que se manifiesta con calambres. (Iglesias, 2012)

Como puede apreciarse a lo largo de este capítulo, un dispositivo como el que propone esta tesis podría ayudar a la detección de enfermedades que impidan a los pilotos maniobrar la nave: enfermedades que no son diagnosticadas en los estudios que se les realizan a los pilotos.

## 5. Problemas en manejos de aparatos.

### 5.4 Factores humanos

#### 5.4.1 Actuación humana

#### 5.4.2 Rasgos de la personalidad

### 5.5 Relación hombre máquina

#### 5.5.1 SHEL

### 5.6 "Error de Piloto"

#### 5.3. 1 Gestión de Recursos en Cabina (CMR)

#### 5.3.3. Estrés

## 5. 1 Factores humanos

Cuando el hombre realizó el primer vuelo consideró todas las variables hasta ese momento descubiertas, sin embargo, cuando ya estaba en el aire se enfrentó a una variable que no había considerado y que se volvería la más importante: su inherente condición humana.

Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) los factores humanos se refieren a las personas en sus situaciones de vida diaria y trabajo, a su relación con las máquinas, con los procedimientos y con el ambiente que les rodean.

"Los factores humanos tratan de llevar a su óptimo nivel la relación entre las personas y sus actividades, mediante la aplicación sistemática de las ciencias humanas, integrada dentro del marco de la ingeniería de sistemas", afirma el doctor Edwiynd Edwards, creador del modelo SHEL (Software. Hardware. Environment. Liveware)

En la actualidad, el 80 por ciento de los accidentes aéreos son provocados por errores humanos. Durante el 2011 ocurrieron 92 accidentes, cobrando la vida de 486 personas. Esto quiere decir, que de los 92 accidentes, 74 pudieron ocurrir por factores humanos.



Aproximadamente el 56% de los accidentes ocurren durante la fase de aproximación y aterrizaje de las aeronaves, procesos que la mayoría de las veces se realizan de manera manual por el piloto sin la intervención del piloto automático.

Los factores humanos que pueden provocar un accidente son diversos. Entre ellos destacan los factores perceptuales/ sensoriales, que pueden ser causados por mal juicio o cálculo incorrecto en distancia, altitud, velocidad o libramiento de obstáculos, así como las percepciones visuales falsas y las percepción errónea por problemas vestibulares. Es también de resaltar la Pérdida de Conciencia Situacional la cual provoca fallas de atención, falta de respuesta a alarmas o luces de aviso y fallas para monitorear el vuelo.

Es imposible negar que la aviación seguirá avanzando, las máquinas cada vez serán más perfectas, pero el hombre continuará con sus mismas limitaciones físicas, fisiológicas y psicológicas, y lo único que lo puede ayudar, es conocer esas limitaciones y manejarlas cada vez mejor.

#### 5.1.1 Actuación humana

La actuación humana se entiende como todos los factores físicos o rasgos de personalidad que afectan la capacidad de responder del hombre.

Entre los factores físicos se encuentran las enfermedades, las lesiones o deficiencias fisiológicas, los factores ambientales e individuales. Los factores ambientales afectan de manera importante los cambios de presión, temperatura, humedad del cuerpo. Los factores individuales hacen referencia a la resistencia que cada hombre tiene ante condiciones adversas así como sus hábitos.

La psicóloga española Paloma Caudevilla dijo una vez que el elemento humano es la parte más flexible, adaptable y valiosa del sistema aeronáutico, pero es también la más vulnerable a influencias que pueden afectar negativamente a su comportamiento.

#### 5.1.2 Rasgos de la personalidad

Entre los rasgos de personalidad se encuentran las percepciones e ilusiones, la motivación y satisfacción en el trabajo, la emoción, la complacencia y la autodisciplina.

De los rasgos de personalidad mencionados con anterioridad, el más importante es la complacencia, debido a que se le atribuye la mayor cantidad de accidentes aéreos de los últimos años.

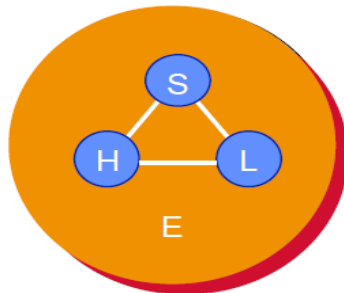
El doctor Octavio D. Amézcu Pacheco, experto en factores humanos en aviación y en investigación de accidentes aéreos explica que no es fácil dar una definición de lo que es la complacencia debido a que ésta se debe al entorno y a la idiosincrasia de cada nación, sin embargo se puede entender como la manifestación de una conducta inadecuada (activa o pasiva), de permisividad, tolerancia o aburrimento, a nivel individual o de equipo, que propicia el rompimiento de las normas de seguridad. Una encuesta realizada por Aeromexico arrojó que la complacencia es el tema que más preocupa a las tripulaciones de vuelo. “La complacencia tiene raíces en las actitudes de los individuos”, asegura el doctor Amézcu tras un análisis exhaustivo.

## 5.2 Relación hombre máquina

### 5.2.1 S.H. E. L

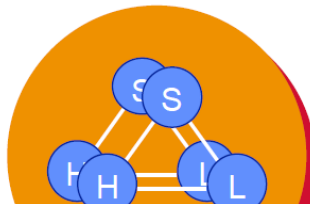
A principios de los años setentas, el doctor Edwiyn Edwards, crea el modelo SHEL (Softwere. Hardwere. Enviroment. Livewere), en el que destaca la importancia de la relación entre el hombre y la máquina.

El doctor Edward llamó Software a todo lo que estuviera relacionado con reglamentos, manuales operacionales, leyes, convenios Internacionales, entre otras cosas. Refirió como Hardware a toda lo infraestructura aeronáutica, como son los aviones, hangares, camiones, talleres y edificaciones. Denominó Livewire al hombre y Enviroment al medio ambiente. En su modelo Edwiyn Edwards explica que los primeros tres elementos deben estar en equilibrio con el cuarto para que el sistema funciones de forma adecuada.



**Figura 5.1 Modelo SHEL**

El punto débil del modelo SHEL, explicó el doctor Edward, es cuando se vuelve tridimensional, es decir cuando dos personas intervienen en el comando de la nave, es decir, cuando intervienen las relaciones humanas.



**Figura 5.2 Modelo SHEL tridimensional**

Al tratarse de un trabajo en equipo, es muy importante que cada miembro conozca sus responsabilidades y las de los demás, para prevenir que haya equivocaciones al momento de realizar la tarea. Es importante que el individuo se mentalice de manera objetiva para actuar como un profesional y que tenga presente que aunque cuente con mucha preparación la posibilidad de equivocarse no es nula, pues, otra vez, no existe todavía el humano perfecto.

### 5.3 Error de Piloto

Hasta principios de los años 70, la gran mayoría de los accidentes aéreos eran resultado del llamado “error del piloto”, que consistía en una equivocación del piloto al tripular la nave. La razón del accidente, es decir qué tipo de error cometió el piloto no se dejaba clara, ya que no se tenía la tecnología necesaria para su detección.

Una forma de reducir los incidentes que ocurren dentro de la nave por culpa de irresponsabilidades o golpes de ego, es mejorando la Dirección de Equipo a través de un eficaz adiestramiento que incluye selección, formación y supervisión.

Las aerolíneas tienen altos estándares para realizar la selección y formación del personal que estará a cargo de la nave. Con respecto a la supervisión los expertos han tratado de eliminar las posibles fallas entre el hombre y la máquina, por medio de la adaptación de la máquina al hombre, teniendo presente la posibilidad de falla de los equipos, estudiando la automatización y la mala influencia que puede ser para el piloto y sobre todo, teniendo presente la condición humana de los tripulantes. La supervisión tiene presente las variables biológicas, psicológicas, sociológicas y la presión al miedo.

El tema de la adaptación de la máquina al hombre es muy importante para este trabajo, ya que aunque en la actualidad se encuentran con diversos sistemas dentro de la nave, no hay uno como el que plantea esta tesis, lo que se busca es

que con la adaptación del dispositivo que se propone en el capítulo seis de este trabajo, el número de accidente se reduzca aún más.

### 5.3. 1 Gestión de Recursos en Cabina (CMR)

Después de un accidente ocurrido en 1978, la compañía United Air Lines desarrolló la Gestión de Recursos en Cabina, conocido por sus siglas en inglés como CMR (Crew Resource Management). El fundamento teórico del CMR es la administración del riesgo e incluye el estudio de las técnicas que faciliten el trabajo en equipo haciendo uso de programas de entrenamiento, como se haría con la gerencia de un negocio.



**Figura 5.3**  
**Personal del vuelo**

Los Doctores Charles K. Billings y John K. Lauber y el capitán George E. Cooper, motivados por alto índice de accidente aéreos ocurridos en los años setentas, promovieron un programa de investigación que estuviera enfocado a descubrir las causas del error del piloto. Este programa fue el predecesor del Sistema de Reportes de Seguridad Aérea de la NASA (SRSA), que es el que en la actualidad se usa.

Durante el programa se entrevistó a los pilotos que habían sido involucrados en algún accidente y se recabó una amplia base de datos sobre los errores que los pilotos cometían durante el vuelo, pero sobre todo se manifestó la opinión de los pilotos, quienes expresaron la necesidad de contar con otras habilidades

complementarias a las que se les daba en su entrenamiento, como: toma de decisiones, mando, liderazgo y comunicaciones adecuadas.

La otra fuente de información del programa fueron los registros de los accidentes ocurridos. Uno de los más conocidos es el accidente del L-1011 en los pantanos de Everglades, Florida. E.U.A. La razón de que el avión se estrellara fue que la tripulación del vuelo activó el piloto automático mientras se preocupaban por cambiar una luz indicadora de la pierna de nariz del tren de aterrizaje, sin advertir que en algún momento del cambio de la luz la función de altitud del piloto automático se apagó, lo que llevó al avión a perder altura y finalmente caer.



**Figura 5.4 Accidente aéreo ocurrido en Honduras el 2008**

El análisis de los accidentes arrojó que en más de 60, estaban involucrados problemas de toma de decisiones; liderazgo, juicio del piloto y comunicaciones.

Otro trabajo que llevó a tener las características actuales con que cuenta el CMR fue el proyecto del investigador inglés Ruffel Smith en el Centro AMEC de la NASA llamado Simulación de Misión Completa, aunque hoy en día es conocido internacionalmente como Adiestramiento Orientado a la línea o LOFT, por sus siglas en idioma inglés.

La Simulación permitió conocer cómo actuaban diferentes pilotos ante la misma situación. Las conclusiones demostraron que existe una correlación directa entre

un desempeño aceptable y las comunicaciones en cabina, es decir que la tripulación que vuela por 2 o 3 días juntos lleva a una mejora en las intercomunicaciones en la cabina de vuelo y toma de decisiones.

El programa de Gestión de Recursos en Cabina se fundamenta en cuatro puntos: comunicación efectiva, liderazgo y motivación con el equipo de trabajo, consciencia situacional y toma de decisiones adecuadas. Sin embargo, pueden agregarse puntos a trabajar de acuerdo al análisis que realice el operador.

Asimismo el CMR considera 4 variables: Conducción del vuelo, mando y toma de decisiones, pilotaje, y comunicaciones.

De acuerdo a los investigadores Maister y Swain, el error humano se puede evaluar usando los siguientes criterios: Realización incorrecta de una acción requerida, no realización de una acción requerida, realización de una acción requerida fuera de secuencia, realización de una acción no requerida, no realización de una acción requerida en el tiempo disponible

El dispositivo que se está estudiando en este trabajo puede ser un complemento para que el CMR funcione de una mejor manera, ya que si el piloto se encuentra enfermo, su conducción de vuelo, pilotaje y toma de decisiones se ve afectada.

### 5.3.2 Estrés.

El estrés es la manera en la que el cuerpo se enfrenta a un reto, o a eventos inesperados, y se prepara para actuar ante una situación difícil. Es una sensación que el cuerpo crea como forma de reaccionar ante la adversidad.

“Cualquier cosa que compite por la energía del cuerpo”, es la definición del doctor Octavio Amezcua. Otros autores lo han definido como factores físicos, fisiológicos, o emocionales que causan tensión al cuerpo o mente.

El término estrés fue usado por primera vez por el doctor canadiense Hans Selye en 1961, quien lo definió como una reacción o respuesta de la mente y cuerpo a cualquier cambio de demanda, de requerimiento exterior (del ambiente) o interior”.

El estrés se clasifica en dos grandes grupos: estrés a corto plazo, que se manifiesta de manera rápida, y el estrés a largo plazo o crónico.

Las causas que provocan estrés son diversas, pero las causas se pueden clasificar en tres categorías: Trabajo, problemas físicos y problemas personales.

El estrés debido a trabajo es causado por la realización de tareas de cualquier tipo, ya sea actividad rutinaria o profesional, por dar un ejemplo en el caso de los pilotos podrían ser la planeación del vuelo o el vuelo en sí.

Con respecto al estrés provocado por problemas físicos se entiende como la reacción física del cuerpo a diversas situaciones de la vida, a este tipo de estrés son asociadas la fatiga, enfermedades, hambre e incomodidad, entre otras.

El estrés emocional es otro tipo de estrés provocado cuando el individuo está en situaciones complicadas o inmanejables. Este tipo de estrés suele presentarse de manera diferente en cada persona, pues cada una maneja de diferente manera las situaciones. El estrés emocional lleva al estrés físico, si una situación te afecta de manera emocional se hará presente en algún malestar físico.

Estudios demuestran que la vida que lleva un piloto profesional es muy estresante, por ello es importante aprender a identificar signos y síntomas, su efecto en el desempeño de sus tareas, y establecer métodos para su prevención.





**Figura 5.5 Estudios demuestran que la vida de los pilotos es muy estresante**

El estrés se manifiesta de diferente manera para cada individuo, sin embargo, dificultad para razonar, dolor muscular, coordinación pobre, escalofrío, malestar general, ojos inyectados u ojerosos, lentitud al hablar, bostezos frecuentes, falta de atención, acciones inesperadas, pereza y dificultad para enfoque visual, entre otras, suelen ser síntomas más importantes de la presencia de estrés en el organismo.

Para entender mejor cómo afecta el estrés a las acciones del individuo, los investigadores Yerkes y Dodson crearon la Curva del Estrés que hace una comparación entre Activación y la Actuación.

La curva de Yerkes-Dodson establece que, “mientras más compleja sea una tarea, más bajo será el nivel de la emoción que puede tolerarse antes de que disminuya el nivel de rendimiento”



**Figura 5.6 Curva del estrés de Yerkes-Dodson**

De la curva puede apreciarse que una actuación adecuada requiere de una activación adecuada. Cuando la activación es baja se cae en un estado de complacencia, lo que da como resultado una actuación muy pobre. Una sobre activación puede llevar al pánico o la confusión provocando una muy mala toma de decisiones.

No existe una cura simple o única para la cura del estrés, ya que ningún estrés es igual a otro, sin embargo estudios han demostrado que la disminución de ingesta de productos con alto contenido de cafeína, así como respiraciones largas, lentas y pausadas ayudan a controlarlo. En el caso del estrés crónico es más difícil de tratar y la recomendación general para este tipo de estrés es reconocer que se padece y seguir las indicaciones de un médico.

Para manejar el estrés se requiere de reconocer los síntomas y desarrollar estrategias individuales. Saber identificar las causas que provocan el estrés puede ayudar a prevenir a que ocurra de nuevo en caso de presentarse situaciones similares. Estudios demuestran que una buena actitud mental es quizás el elemento más importante en el manejo del estrés.

Es indiscutible que el estrés se manifiesta en la cabina de mando del avión, y por ello el doctor Amézcuca da las siguientes recomendaciones: Si existe un problema en cabina, discutirlo, revisar los procedimientos durante el vuelo, establecer normas estrictas, efectuar las listas de las acciones a llevar a cabo, revisión continua entre piloto y copiloto, enumerar y ordenar las prioridades, anticiparse a situaciones, efectuar un plan de solución, vigilar factores nutricionales, delegar funciones y acciones. Como medidas físicas recomienda tener un descanso adecuado, relajarse y mantenerse en una buena condición física.

## Test a los pilotos

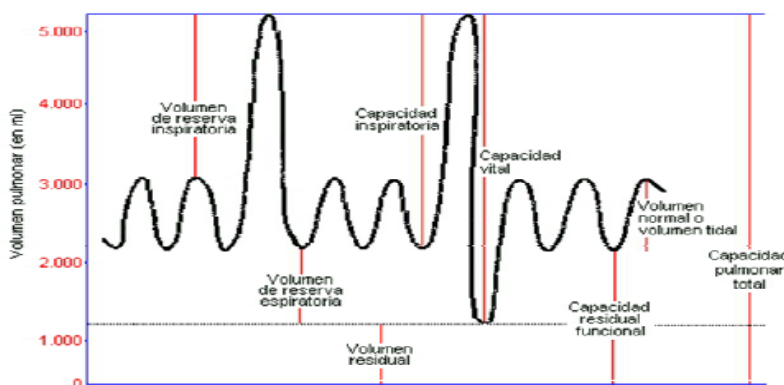
Los pilotos son sometidos regularmente a pruebas para comprobar su estado pleno de facultades físicas y mentales para pilotear una nave. En este apartado se describirán algunas de las pruebas a las que son sometidos.

### Test de función pulmonar.

Estas pruebas se realizan constantemente e informan de manera genérica si el proceso respiratorio del piloto es obstructivo o restrictivo. Esta prueba mide la eficiencia de los pulmones para tomar y liberar aire, asimismo otorga la eficiencia del aparato respiratorio para movilizar gases, como el oxígeno, desde la atmósfera hasta la circulación del cuerpo.

Lo más común para llevarlas a cabo es el uso a través de una prueba de espirómetro que consiste en respira dentro de una boquilla que va conectada a un instrumento llamado espirómetro, que registra la cantidad y frecuencia de aire inspirado y espirado durante un período de tiempo.

. La espirometría mide el flujo de aire. Al medir la cantidad de aire que uno exhala y qué tan rápidamente lo hace, evalúa un amplio rango de enfermedades pulmonares



**Figura 5.7**  
**Volúmenes pulmonares.**

El Volumen espiratorio máximo al segundo (FEV1) está normalmente reducido en un síndrome obstructivo. Los cambios significativos en los parámetros de volumen

o flujo, particularmente los cambios en la relación FEV1/FVC permiten a los expertos una exploración más profunda.

### **1) Requisitos Psico-Físicos Generales** (Perfil físico y emocional)

-El piloto no debe tener ninguna enfermedad, defecto, lesión o secuela que pueda interferir con el ejercicio de sus funciones con seguridad.

Particularmente importantes son los requisitos referentes a la funcionalidad de Extremidades superiores (brazos y manos) y extremidades Inferiores

-El piloto no padecerá ni tendrá historia clínica comprobada de enfermedad mental o trastorno de la personalidad que pueda interferir con la seguridad de vuelo.

No se trata de conseguir "superhombres" sino personas equilibrada, capaz de trabajar en equipo con eficacia y seguridad.

### **2) Requisitos Visuales**

Se exige unos mínimos de agudeza visual lejana y cercana, que pueden conseguirse con o sin lentes correctoras (se permiten defectos de refracción de 3 dioptrías para pilotos comerciales y 5 para privados).

Es preceptivo y a veces problemático, (ya que entre el 4-8% de los varones tienen algún tipo de defecto), una correcta visión de colores

### **3) Requisitos Auditivos**

El piloto no debe padecer disfunciones auditivas que le impidan realizar una comunicación eficaz. Se permiten déficits de hasta 20 dB en las frecuencias conversacionales (500, 1000, 2000 Hz) y 35 dB en 3000 Hz

La lista de requisitos médicos no se refiere a toda la patología existente, sólo es una guía de referencia. El sistema confía en el diagnóstico del médico para saber evaluar cada caso en particular.

El piloto debe saber que el no cumplimiento de cualquiera de los requisitos, no significa que automáticamente será descalificado. Existe una cláusula de **flexibilidad** por la cual, a pesar de no cumplir el requisito, podrá ser criticado siempre y cuando la anomalía responsable no interfiera con la seguridad del vuelo

## **Capítulo 6 Análisis teórico del Dispositivo**

### **6.1 ¿Cómo realizar la adquisición de datos?**

#### **6.1.2 Dispositivo 1**

#### **6.1.2 Dispositivo 2**

### **6.2 De cómo se llevaría a cabo el envío de datos del ECG a la torre de mando**

#### **6.2.1 Trasmisión**

#### **6.2.2 Recepción**

#### **6.2.3 Acondicionamiento de la señal**

#### **6.2.3 Acoplamiento con la computadora**

### **6.3 De cómo se adecuaría el dispositivo de envío de la señal ECG para el envío de la señales del oxímetro, la fuerza que ejerce sobre el volante el piloto y la sudoración de sus manos.**

Partiendo de las premisas que el cuerpo humano es una “máquina” capaz de avisar cuándo necesita una revisión, cuándo no se encuentra en condiciones ordinarias para realizar una actividad y de que el error humano es inevitable, pues aún no nace el humano perfecto, propongo el estudio de un dispositivo capaz de reducir el número de accidentes aéreos a través del análisis de las señales fisiológicas del piloto.

Se plantea que mediante el análisis de tres variables, se puede hacer saber al piloto y a la torre de mando, el momento, si es que éste llega a ocurrir, en que el piloto ya no está en condiciones de tripular su nave, provocando la participación del copiloto a mando del avión, evitando así poner su vida en peligro y la de los pasajeros.

Las señales fisiológicas del corazón y el torrente sanguíneo, para una persona de peso, edad y estatura específica, han sido estudiadas por los médicos desde hace años y en la actualidad se cuenta con una base de datos que permite comparar las señales de los individuos con salud y los individuos enfermos.

La adquisición en tiempo real de los signos del piloto cobra gran importancia durante el vuelo, pero sobre todo al despegue y al aterrizaje. Si la cabina de control detecta que el piloto no está en condiciones de pilotear la nave, en cualquiera de los tres casos (despegue, durante el vuelo o aterrizaje), el copiloto puede entrar en funciones para evitar un accidente.

### **¿Cómo realizar la adquisición de datos?**

Esta tesis plantea el uso de dos dispositivos, que son uno en sí, para la adquisición de las cuatro señales de estudio.

#### **Dispositivo 1 (ECG y saturación de oxígeno)**

Se trata de un dispositivo no invasivo, formado por un electrocardiograma y un oxímetro de pulso, conectados al piloto, que continuamente obtenga las señales del corazón, así como la saturación de oxígeno en la sangre

Pensando en la seguridad del piloto y de la tripulación, se requiere el diseño de un sistema que no afecte las maniobras del piloto, por lo cual se piensa en un chaleco que contenga un electrocardiograma y un oxímetro.

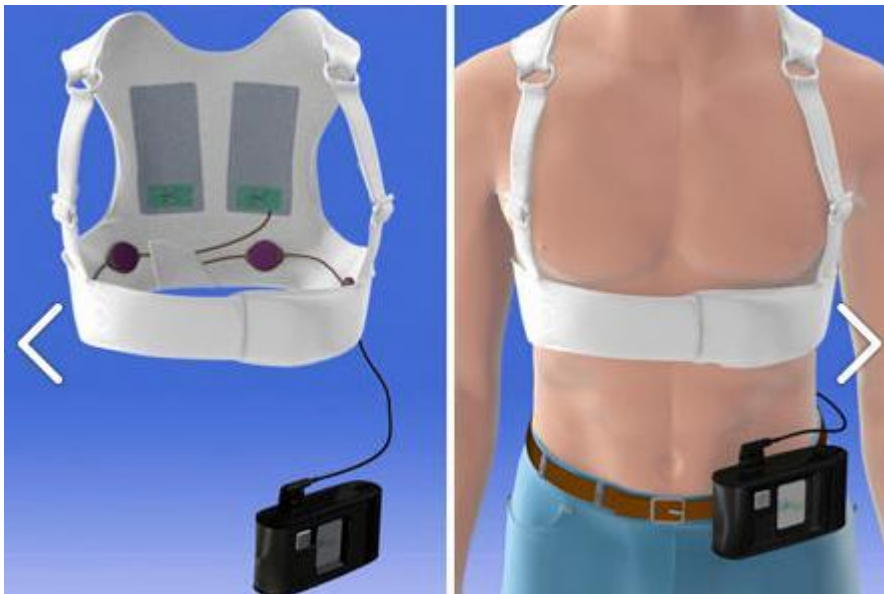


**Figura 6.1 Chaleco con electrodos incorporados**

(<http://www.igooh.com/notas/la-cama-que-vigila-su-corazon/>)

En la actualidad la Unión Europea en conjunto con el fabricante de electrodomésticos Phillips se encuentra trabajando en un chaleco con electrodos incorporados para el muestreo continuo de la señal cardiaca mientras las personas duermen.

Un chaleco como el que se puede apreciar en la imagen, en ningún momento afectaría las funciones que realiza el piloto. El chaleco que se propone es semejante al mostrado en la foto anterior pero no contendría los electrodos incorporados, sería más bien parecido al siguiente:



**Figura 6.2 Chaleco desfibrilador.**

<http://www.medicalexpo.es/prod/zoll-medical-corporation/chalecos-desfibriladores->

Si bien la imagen muestra un chaleco desfibrilador, el chaleco pensado para esta tesis se adaptaría para que contara con un ECG y un oxímetro.



**Figura 6.3 Oxímetro GO2 de Nonin**

<http://rescatagoer.blogspot.mx/2010/11/tecnologia-nuevo-pulso->

Dispositivo 2.

El segundo dispositivo, se trata de unos guantes que permitan la adquisición de la fuerza que el piloto ejerce sobre el volante.

No existe un estudio que indique con que fuerza los pilotos sujetan el volante, ante situaciones como despegue, aterrizaje, vuelo en condiciones óptimas y adversas. Por ello, esta tesis sugiere la realización de dicho estudio.

Estudio de Fuerza

El estudio de fuerza se podría realizar a través de la creación de unos guantes como los que la empresa SensoGlove utiliza para análisis de los jugadores de Golf. ( <http://www.sensoglove.com/> )

El sistema SensoGlove analiza los parámetros de presión de los jugadores de Golf, Por medio de cuatro sensores cosidos a la derecha del guante. En la parte frontal del guante, está colocada una pantalla en las que se muestra la presión con que es sujetado. Los guantes utilizados por SensoGlove no son diferentes a los que utilizan los jugadores de golf comúnmente, por ello pueden utilizarse sin que sean incómodos o alteren su tiro. El dispositivo SensoGlove incluso muestra qué dedo está demasiado apretado al momento de realizar un tiro, por ellos los jugadores de golf pueden ajustar su agarre y mejorar sus tiros.

La creación de unos guantes con el mismo principio de la empresa SensoGlove, es decir utilizando sensores de flexibilidad, permitiría llevar a cabo el estudio de fuerza sobre el volante. Los guantes que se necesitan para este estudio, deben de además de sensar la presión y la flexibilidad de los dedos, contar con sensores de estrés colocados en las muñecas, esto partiendo del principio de que en un gran número de enfermedades se presenta la sudoración de las manos, como ya se explicó en el capítulo 4. Los datos de posición de los dedos y estrés obtenidos durante todo el vuelo deben de ser almacenados en una memoria interna de los guantes para que posteriormente puedan ser descargados a una computadora para su análisis.



En los pilotos, el uso de estos guantes no alteraría el modo en que llevan a cabo sus funciones dentro de la nave, ya que se recomienda crear unos guantes que permiten realizar las funciones de vuelo pero con los sensores.

Una vez que el estudio se haya realizado, se debe pensar en un nuevo tipo de guantes que continúen con el sensado de la posición de los dedos sobre el volante y el estrés pero que ahora se envíe los datos en tiempo real a la torre de control donde un médico especialista indicará si el piloto tiene está en condiciones de volar o se requiere la participación del copiloto. De la misma manera, una serie de valores fuera del promedio, obtenido del primer estudio, indicaría que el piloto tiene algún problema en cabina.

El dispositivo se podría llevar a cabo, aún sin el estudio que analice la fuerza del piloto, es decir sólo con el chaleco que permite conocer el electrocardiograma del piloto y la saturación de oxígeno en la sangre, sin embargo se recomienda que dicho estudio se realice para contar con un mayor número de variables y de esta manera tener un diagnóstico más certero.

### **De cómo se llevaría a cabo el envío de datos del ECG a la torre de mando.**

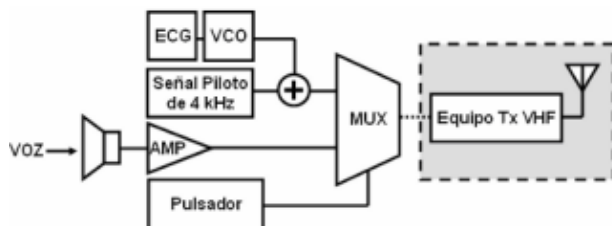
Como se explicó al comienzo del documento, el dispositivo está pensado para el envío de los datos del piloto a la cabina de mando. ¿Con qué fin? Para no predisponer al piloto a que está por ocurrirle alguna enfermedad, y por el poder del cerebro, los síntomas que aún no se presentan, se presenten antes de lo esperado. Como sistema de seguridad, en caso de no tener contacto con la torre de control por alguna circunstancia, el dispositivo informará directamente al piloto y copiloto que el piloto está por tener algunos síntomas que probablemente le impidan pilotear la nave de la mejor manera.

Para la obtención de la señal del electrocardiograma (ECG) en tierra de los datos obtenidos del piloto durante el vuelo, se planea llevar a cabo en dos etapas: Trasmisión y Recepción. En este documento se segurá parte del protocolo realizado por ingenieros en Colombia, para el monitoreo cardiaco de pilotos de

combate. La dirección web de dicho documento se puede encontrar en el apartado bibliográfico.

## Trasmisión

Durante esta etapa están comprendidas la adquisición de la señal del ECG, acondicionamiento de la señal (Señal de prueba, Sumador, multiplexor), acoplamiento del prototipo al radio transmisor y trasmisión AM en VHF.



**Figura 6.4 Fase de trasmisión**

[http://download.springer.com/static/pdf/553/chp%253A10.1007%252F978-3-540-74471-9\\_96.pdf?auth66=1392341228\\_e004c9ef12f18c0e4f03f25cb3dff476&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/553/chp%253A10.1007%252F978-3-540-74471-9_96.pdf?auth66=1392341228_e004c9ef12f18c0e4f03f25cb3dff476&ext=.pdf)

## Adquisición de la señal del ECG

Electrocardiograma de instrumentación.

Un electrocardiógrafo es un aparato eléctrico, empleado en el ámbito sanitario, capaz de captar y ampliar la actividad eléctrica del corazón a través de electrodos normalmente colocados en las extremidades y en las posiciones precordiales.

Empleando este instrumento biomédico se tiene la ventaja de realizar un procedimiento no invasivo, económico y, además, de éste se obtienen resultados inmediatos a través de un gráfico llamado electrocardiograma. Estas características convierten al electrocardiógrafo

en el principal instrumento de la electrofisiología cardíaca, a través del cual se pueden detectar y diagnosticar enfermedades cardiovasculares, alteraciones metabólicas e, incluso, una súbita muerte por algunas otras patologías del corazón.

De las partes que integran un electrocardiógrafo

A continuación se numeran las partes que integran un electrocardiógrafo comercial:

- Amplificador de biopotenciales. Compuesto por un circuito de protección, señal de calibración, preamplificador, circuito de aislamiento y amplificador manejados.
- Circuito manejados de pierna derecha. Este circuito crea una tierra virtual para la pierna derecha del paciente, con el propósito de reducir los voltajes en modo común. Dichos voltajes de modo común, provocados por una corriente filtrada al paciente, son disminuidos al reducir la impedancia del electrodo de tierra.
- Selector de derivaciones. Consiste en un arreglo de resistencias que obtiene el contenido de las señales de cada electrodo, ponderando la contribución de cada uno por medio de resistencias y obteniendo, de esta manera, la derivación de interés.
- Registro

De este dispositivo de medición se habla ampliamente en el capítulo 3 de este trabajo.

#### Acondicionamiento de la señal

Consta de un conversor de ECG a tonos, una señal de prueba, un sumador de señales y un multiplexor.

✓ Señal de prueba

Es necesario añadir una señal de 4kHz que se encargará de indicarle a desmultiplexor cuál es la señal que se envía al altavoz del receptor (voz) y cuál se envía a la computadora que está en la torre de mando. Además de asegurar que en el receptor el desmultiplexor seleccione únicamente el canal donde es transmitida la señal del ECG y permitir que la señal del ECG no sea audible por el altavoz del equipo receptor de comunicaciones, permitiendo así sólo escuchar la voz del piloto.

La señal de 4kHz puede generarse por medio de un generador de señales o un PLL (Phase-Locked Loop)

✓ Micrófono

Para el envío de señal de la voz del piloto es necesario un micrófono en conjunto con amplificador, que serán una señal más que entrará al multiplexor.

✓ Sumador

En esta etapa se suma la señal  $V_0$  con la señal de prueba de 4 kHz con el objetivo de que ambas señales entren al multiplexor por el mismo medio.

Además este sumador se utilizará para añadir a la transmisión de la señal del ECG por el canal de la voz, las señales de oxímetro, fuerza con que se sujeta el volante y la sudoración de las manos.

✓ Multiplexor

Un multiplexor es un dispositivo lógico que recibe información por sus dos o más entradas (de uno o más bits de ancho) y mediante una señal de control decidimos cuál de la entradas aparecerá en la salida. Al tratarse de dos o más entrada y una única salida, el multiplexor es un convertidor de paralelo a serie. El multiplexor puede contar con una señal “enable” que puede hacer que el multiplexor esté habilitado o no.

En el caso del dispositivo al que estamos estudiando, el multiplexor envía la señal del ECG a tonos y la señal de prueba al equipo de VHF por un mismo canal pero no ambas a la vez.



Figura 6.5 Diagrama general de un multiplexor digital

El multiplexor contará con una señal denominada pulsador, que permitirá enviar la señal del electrocardiograma.

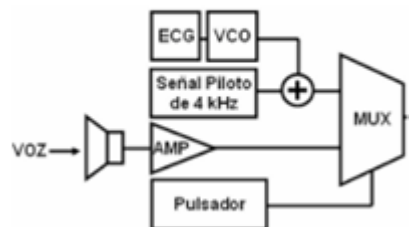


Figura 6.6 Acondicionamiento de la señal

Si se desea enviar información de voz, se acciona el micrófono, si se desea enviar la señal del electrocardiograma, se acciona el pulsador.

#### Acoplamiento del dispositivo de adquisición de datos al radio

En el proyecto antes mencionado, los colombianos utilizaron el radio de comunicaciones ICOM A110, que es un radio de transmisión de señales desde el aire. Asimismo, el envío de la señal entre el dispositivo que contiene la señal y el radio se realizó a través de cables RJ 45. La intensidad de la señal de entrada al radio debe de ser de  $10\text{mV}_{\text{RMS}}$ , la impedancia del micrófono de  $600\ \Omega$  y el índice de modulación de 0.7 a 1. Se recomienda utilizar el mismo radio de comunicaciones a razón de todas las facilidades que aporta el uso del ICOM A110.



**Figura 6.7** radio de comunicaciones ICOM A110

Todas las características del ICOM A110 pueden consultarse en: <http://www.icomamerica.com/es/products/avionics/groundcom/a110/default.aspx>

El ICOM A110 realiza la transmisión AM en VHF de las señales a la salida del multiplexor

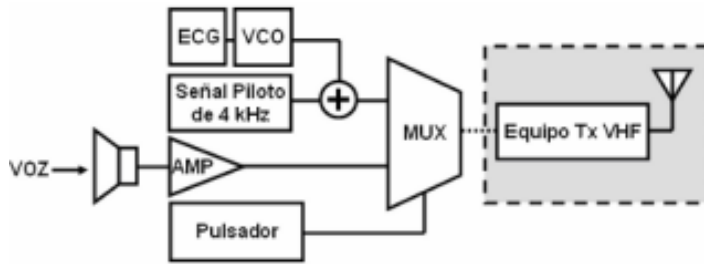


Figura 2. Fases de la etapa de Transmisión

### Figura 6.8 Fase de etapa de Transmisión

[http://download.springer.com/static/pdf/553/chp%253A10.1007%252F978-3-540-74471-9\\_96.pdf?auth66=1392341228\\_e004c9ef12f18c0e4f03f25cb3dff476&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/553/chp%253A10.1007%252F978-3-540-74471-9_96.pdf?auth66=1392341228_e004c9ef12f18c0e4f03f25cb3dff476&ext=.pdf)

## Recepción

Fases de recepción AM en VHF, acoplamiento del radio al prototipo, acondicionamiento de la señal, acoplamiento del prototipo a la computadora y visualización de la señal ECG.

### Recepción y demodulación

La recepción de la señal de tierra se hace a través del ICOM IC A-200, que es un equipo de comunicaciones con las mismas características que el IC A110, pero es un equipo de comunicaciones diseñado para ser operado por tierra.



**Figura 6.9 IC- A200**  
(<http://www.icomamerica.com/en/products/avionics/handheld/a200/default.aspx>)

El equipo recibe las señales a través de una antena ubicada en campo abierto.

Tanto el ICOM IC A-200 como el IC A-110 deben estar ajustados a la misma frecuencia dentro de la banda aeronáutica para poder realizar la transmisión y recepción de la señal del ECG.

Acoplamiento del radio al prototipo.

El ICOM IC A-200 tiene una salida hacia un audífono externo, a través de esta salida se debe conectar un cable monofónico con el fin de acoplar con el multiplexor y la siguiente parte del dispositivo que se encargará de enviar la señal del ECG a la computadora y la voz del piloto

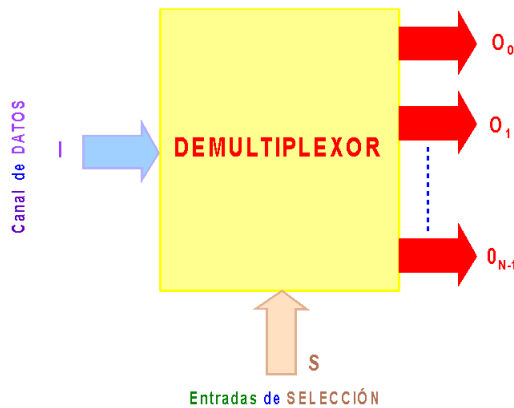
### Acondicionamiento de la señal

Esta etapa es utilizada para modificar las señales recibidas (ECG y voz) para su visualización en la computadora (señal ECG) y con un altavoz (señal de voz)

#### ✓ Demultiplexor

Los demultiplexores realizan la función inversa a la del multiplexor, solamente tiene una entrada y varias salidas que permiten dividir la información contenida en la entrada.



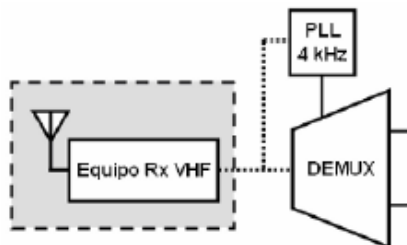


**Figura 6.10 Demultiplexor. Una entrada, diferentes salidas.**

En este caso, el demultiplexor se encarga de recibir por un mismo canal la señal electrocardiográfica y de voz enviada desde el avión, una vez recibidas, las discrimina de modo que sean enviadas una a la computadora (ECG) y la otra al altavoz (señal de voz).

✓ Detector

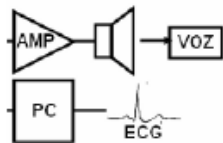
De nuevo se hace uso de un PLL, en esta ocasión para que detecte la componente frecuencial de 4 kHz contenida por la señal ECG, para indicarle al demultiplexor que esa señal debe llevarla hacia la salida conectada a la computadora. Cuando el PLL no detecta la señal de 4kHz, el demultiplexor asume que está recibiendo la señal de voz del piloto y la envía a los altavoces.



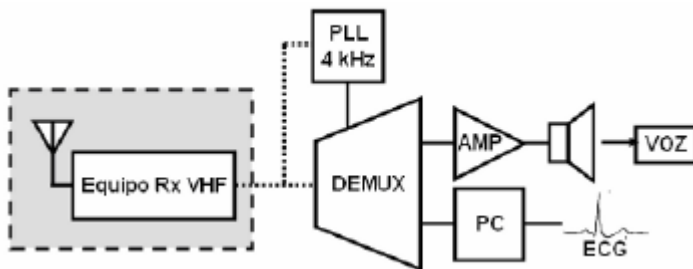
**Figura 6.11 El detector es el PLL de 4 kHz.**

### Acoplamiento con la computadora.

Por medio de un cable monofónico, se debe conectar las salidas del demultiplexor, una a la computadora y la otra al amplificador de voz.



**Figura 6.12** Señales de voz (amplificador) y señal de ECG (PC)



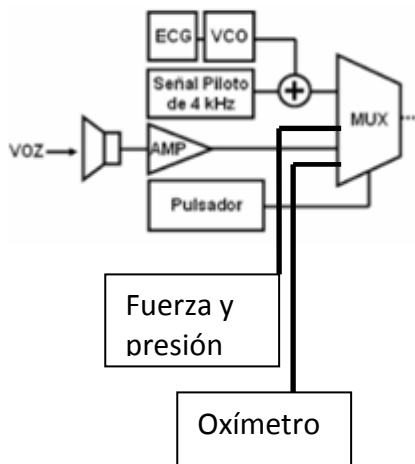
**Figura 6.13** Equipo de recepción

Software de demodulación y visualización.

Mediante un programa hecho en Matlab se realizará demodulación, filtrado y visualización de la señal del ECG que llega por la tarjeta de sonido.

**De cómo se adecuaría el dispositivo de envío de la señal ECG para el envío de las señales del oxímetro, la fuerza que ejerce sobre el volante el piloto y la sudoración de sus manos.**

Partiendo de la parte donde el dispositivo realiza las trasmisión, sería posible agregar tres entradas más al multiplexor que contengan las señales del oxímetro, la fuerza y la sudoración.



**Figura 6.13** Equipo de recepción con nuevas entradas.

Se recomienda que las pruebas del oxímetro y del electrocardiógrafo se realicen en una cámara hipobárica antes probarlo en el espacio.

## RESULTADOS

La mayoría de las enfermedades que se les presentan a los pilotos pueden ser diagnosticadas, antes de que existen los síntomas, a través del ritmo cardiaco, saturación de oxígeno, sensación de ansiedad.

En la actualidad, el 80 por ciento de los accidentes aéreos son provocados por errores humanos. Durante el 2011 ocurrieron 92 accidentes, cobrando la vida de 486 personas. Esto quiere decir, que de los 92 accidentes, 74 pudieron ocurrir por factores humanos.

En un estudio patrocinado por IFALPA (International Federal AirLine Pilot Association) en el que se encuestó a 4000 pilotos, el 29% respondió que había sufrido al menos un incidente de incapacitación durante el vuelo en el que fue necesario o deseable que otro miembro de la tripulación realizara sus funciones. En el 45% de dichas incapacitaciones los pilotos informan que la seguridad pudo verse afectado potencialmente.

La oficina aeromédica de la Asociación de Pilotos de Aerolínea (ACPA) indica que el 23 % de los pilotos tienen enfermedades cardiovasculares, lo que constituye el 35 % de la discapacidad. Sin embargo, frecuentemente no se estudian a detalle los riesgos que puede tener el tener un piloto al mando de una nave con riesgos cardiovasculares.

El dispositivo de este trabajo busca eliminar el riesgo cardiovascular en un cien por ciento, evitando un accidente y en casos extremo la muerte del piloto y con ello algún accidente con el avión.

Es importante resaltar que en la aviación comercial y militar no es una práctica común hacer rutinas de estudios especializados para detectar ciertos tipos de enfermedades como la coronaria.

Por ello, un dispositivo que mida el ritmo cardíaco, el flujo de oxígeno y la sensación de ansiedad resulta ideal para evitar accidentes aéreos.

## CONCLUSIONES

Las señales obtenidas por el oxímetro y el electrocardiógrafo deben ser examinadas por un doctor en medicina aeroespacial ubicado en la cabina en tierra, para que éste pueda dar aviso oportunamente al piloto si requiere utilizar su mascarilla de oxígeno o dejar de tripular la nave antes de que ocurra un percance. Esta comunicación entre doctor y piloto es muy importante para mejorar la eficiencia del tiempo de conciencia útil para evitar los síntomas de hipoxia.

Cualquier anomalía detectada en el electrocardiograma del piloto durante el vuelo puede ser detectada por parte del doctor en medicina espacial en la cabina de control, para que éste indique el tratamiento a seguir y analice si el piloto está en condiciones de continuar tripulando la nave o el copiloto debe tomar el mando.

En la actualidad no hay un dispositivo comercial, sin contar el de la Aviación Militar de Colombia, como el que se propone.

A diferencia del dispositivo diseñado por los colombianos, el dispositivo de este trabajo agrega otras variables para el diagnóstico de enfermedades, no sólo quedándose con el análisis del ritmo cardíaco.

Con el dispositivo, pueden detectarse anomalías que no son diagnosticadas durante el examen de salud de los pilotos.

Un médico psiquiatra del ISSSTE comentó que en 2010 un avión, de un vuelo comercial que llegaba al DF, comenzó a dar vueltas extrañas evitando el aterrizaje. Desde cabina se comunicaron con él y él aseguraba que no le pasaba

nada, después de 30 minutos el piloto le delegó el mando al copiloto, se encerró en el baño y comenzó a llorar. Este es sólo uno de los casos en el que dispositivo propuesto podría ser útil, pues el ataque de ansiedad que sufrió el piloto pudo ser diagnosticado antes de que el piloto entrara en crisis.

El dispositivo está pensado para los aviones pero también se podría utilizar en otros transportes, como es el metro de la Ciudad de México, que en las últimas fechas se ha dado a conocer casos de conductores que no están en condiciones de manejar el tren.

## RECOMENDACIONES

Llevar a cabo el dispositivo físico y probarlo durante las simulaciones de vuelo, y posteriormente en vuelos reales.

Explicar a los pilotos que el dispositivo no va alterar sus funciones durante el vuelo, y que sólo busca ser una ayuda desde tierra para evitar accidentes aéreos.

Hablar con la Dirección General de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte para que realice un estudio como el que se llevó a cabo en Colombia en el 2005 (Capítulo 4) en nuestro país para conocer más a detalle la salud de la población de pilotos en México, que permitirá tener un mayor control de los riesgos cardiovasculares y de otros tipos de enfermedades, lo que mejorará la seguridad aérea. Además del estudio propuesto, permitiría poner especial énfasis en los pilotos que su salud no es óptima, para su estudio en medicina preventiva como en el uso obligatorio del dispositivo propuesto en el trabajo

Con el objetivo de que el dispositivo cuente con una variable más para analizar se recomienda hacer un estudio sobre la presión que ejerce el piloto sobre el mando de la nave durante el vuelo. Dicho estudio debe realizarse en diferentes vuelos y en diferentes pilotos para obtener un promedio de la presión ejercida en el mando durante cada etapa del vuelo. Una vez obtenido los datos, estos pueden compararse en tiempo real durante el vuelo.



## Bibliografía.

- R. L. Iglesias, *Cardiología Aeroespacial*. Tamaulipas, Ciudad Victoria, 2002
- V.M. Rico, H. M. Ramos, J. J. Almanza. “Perfil de estrés y estilo de afrontamiento en pilotos aviadores de la Fuerza Aérea Mexicana”, in *Rev Sanid Milit*. México, 2010, pp. 158-167
- D. González (2010). *La fatiga es temporal pero se puede volver crónica* [Online]. Available: <http://blog.factorynet.com.ar/2010/08/fatiga-fisica-la-fatiga-es-temporal.html>
- J.M. Pérez Sastre (2011). *Historia Medicina Aeronáutica*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/Historia-Medicina-Aeron%C3%A1utica.pdf>
- L. Amézcuca (2011) . *Ambiente Atmosférico y de Cabina*. . S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/Ambiente-atmosf%C3%A9rico-y-de-cabina.pdf>
- J. M. Sastre (2010). *Hipertensión de bata blanca: un fenómeno muy frecuente en pilotos*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2010/04/SEPLA-HTA-BATA-Blanca.pdf>
- L. Amézcuca (2011). *Efectos Fisiológicos del vuelo*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/3.-Fisiolog%C3%ADa-del-Vuelo-Hipoxia-Disbarismos-y-Aceleraciones.pdf>
- J.L. Rodríguez (2011). *Visión y vuelo*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/5.-Visi%C3%B3n-y-Vuelo.pdf>
- J.M. Calvete (2011). *Audición y vuelo*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/6.-Audici%C3%B3n-y-Vuelo.pdf>
- P. Ortiz (2011). *Sentido del equilibrio y vuelo*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/Wquilibrio-y-Vuelo.pdf>
- D. Beaty, *The Naked Pilot: The Human Factor in Aircraft Accidents*. Shrewsbury, England, 1996.
- O. Amézcuca(2011). *Factores Humanos en Aviación*; S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/Factores-Humanos.pdf>
- J.M. Pérez Sastre, P. Caudevilla (1996), *Aspectos clínicos de la medicina aeronáutica*. S. E. M. A. E [Online]. Available: <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/9.-Aspectos-Cl%C3%ADnicos.pdf>

—F. García, “Guías de Práctica Clínica de la Sociedad Española de Cardiología sobre conducción de vehículos, pilotaje de aviones y actividades subacuáticas en cardiopatas” in Rev. Española de Cardiología. España, 2001, pp. 476-90.

— ([http://download.springer.com/static/pdf/553/chp%253A10.1007%252F978-3-540-74471-9\\_96.pdf?auth66=1392341228\\_e004c9ef12f18c0e4f03f25cb3dff476&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/553/chp%253A10.1007%252F978-3-540-74471-9_96.pdf?auth66=1392341228_e004c9ef12f18c0e4f03f25cb3dff476&ext=.pdf)) Consultado en agosto 17 del 2014.

—(<http://www.aviaciondigitalglobal.com/canal.asp>.) Consultado en septiembre 2 del 2014

—(<http://www.clinica-aeromedica.net/?p=4784> ) Consultado en septiembre 2 del 2014

<http://www.medtronic.es/su-salud/enfermedad-arteria-coronaria/> Consultado en Abril 1 del 2014

<https://www.nhlbi.nih.gov/health-spanish/health-topics/temas/arr/>

— L.J. Acierno, “The History of Cardiology” in TheParthenon Publishing Group. Londres, 2002.

—Willem Einthoven. Nobelprize.org.

([http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1924/einthoven-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1924/einthoven-bio.html)). Consultado en abril 2 del 2014.

(<http://www.unet.edu.ve/~ielectro/42-AmplificadorInstrumentacion.pdf> ) Consultado en mayo 4 del 2014.

([http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipo\\_guias/guias\\_tec/38gt\\_oximetro.pdf](http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipo_guias/guias_tec/38gt_oximetro.pdf) ) Consultado en junio 1 2014.

(<http://es.scribd.com/doc/97620799/Oximetro>) Consultado el 22 de junio.

(<http://5hertz.com/tutoriales/?p=228> ) Consultado el 13 de agosto