

OXÍGENO AERONÁUTICO

POR EL ACADÉMICO DE NÚMERO ELECTO

ILMO. SR. D. JUAN CARLOS MAYO MARTÍNEZ

DISCURSO LEÍDO EN LA SOLEMNE APERTURA DEL CURSO
DE LA ACADEMIA DE FARMACIA «REINO DE ARAGÓN»
EL DÍA 4 DE FEBRERO DE 2020

DISCURSO DE CONTESTACIÓN DEL
PRESIDENTE Y ACADÉMICO DE NÚMERO

EXCMO. SR. D. SANTIAGO ANDRÉS MAGALLÓN

PRECEDIDO DE LA MEMORIA REGLAMENTARIA
DEL SECRETARIO Y ACADÉMICO DE NÚMERO

ILMO. SR. D. IGNACIO ANDRÉS ARRIBAS

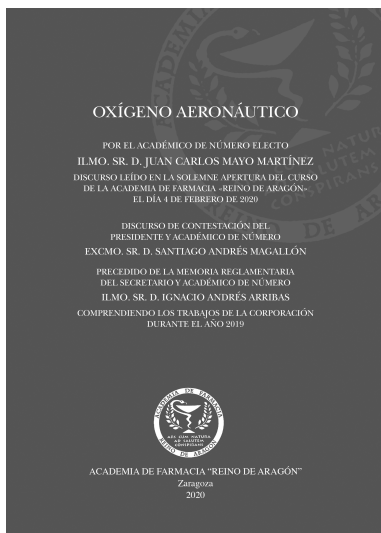
COMPRENDIENDO LOS TRABAJOS DE LA CORPORACIÓN
DURANTE EL AÑO 2019



ACADEMIA DE FARMACIA “REINO DE ARAGÓN”

Zaragoza

2020



Edita:

Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza

Distribuye:

Academia de Farmacia "Reino de Aragón"

Imprime:

Cometa, S.A.

Ctra. Castellón, km 3,400 – 50013 Zaragoza

Depósito Legal:

Z 131-2020

Sumario

<i>Composición de la Academia</i>	5
<i>Memoria reglamentaria del curso 2019</i>	
Ilmo. Sr. D. Ignacio Andrés Arribas	9
<i>Discurso de recepción académica</i>	
Ilmo. Sr. D. Juan Carlos Mayo Martínez	13
<i>Presentación y agradecimientos</i>	17
<i>Preámbulo</i>	19
EL OXÍGENO AERONÁUTICO.....	21
Fisiología del vuelo	21
Riesgos asociados al desplazamiento a grandes velocidades: Aceleraciones.	21
Clasificación de las aceleraciones.....	22
Nomenclatura de las aceleraciones.....	22
Efectos de las aceleraciones.....	23
Riesgos asociados a la altitud.	25
La atmósfera terrestre	25
Leyes físicas de los gases.	27
Hipoxia.....	27
Tipos de hipoxia	29
Etapas de la hipoxia hipóxica (debida a la altitud).....	30
Hiperventilación.	31
Presión alveolar de los gases.....	32
Oxígeno.....	35
Producción de oxígeno.	35
Oxígeno aeronáutico.	38
Contaminantes del oxígeno.....	38
Tipos de contaminantes	39
Principales contaminantes:.....	39
Metano.....	39

Acetileno.	40
Etileno.	40
Etano.	40
Dióxido de carbono.....	40
Monóxido de carbono.....	41
Óxido Nitroso (N ₂ O).	41
Óxidos de Nitrógeno: Óxido nitroso (NO ₂) y Óxido de nitrógeno (NO).	42
Refrigerantes y solventes halogenados.....	42
Agua.....	42
Legislación.	42
Presentaciones del oxígeno aeronáutico.....	44
Componentes del sistema de oxígeno.....	45
Ciclo del oxígeno.	46
Control de calidad del oxígeno aeronáutico.....	47
Toma de la muestra.	48
El laboratorio de oxígeno.	49
Técnicas analíticas.....	50
Pureza.....	50
Humedad.	51
Impurezas (contaminantes).	51
Resultados del laboratorio	59
Consideración final.....	60
Bibliografía	63
<i>Discurso de contestación</i>	
Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón	67

Composición de la Academia
Relación de académicos

JUNTA DIRECTIVA:

Presidente: Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón.

Vicepresidente: Ilmo. Sr. D. Jesús de la Osada García.

Secretario: Ilmo. Sr. D. Ignacio Andrés Arribas.

Vicesecretario: Ilmo. Sr. D. Pedro Roncalés Rabinal.

Tesorera: Ilma. Sra. Doña M^a del Tránsito Salvador Gómez.

Vicetesorero: Ilmo. Sr. D. Julio Montoya Villarroya.

Residencia:

Ayda. Tenor Fleta 57 C. 1^a Planta.

50008-ZARAGOZA.

Teléfono 976481414, Fax: 976 481418.

E-mail: afra@academiadefarmaciadearagon.es.

Página web: www.academiadefarmaciadearagon.es.

Académicos de Número

Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón. Académico n° 2.

Ilmo. Sr. D. Julio Montoya Villarroya. Académico n° 4.

Ilmo. Sr. D. Ignacio Andrés Arribas. Académico n° 5.

Ilmo. Sr. D. Pedro Roncalés Rabinal. Académico n° 6.

Ilmo. Sr. D. Jesús de la Osada García. Académico n° 7.

Ilmo. Sr. D. Fausto García Hegardt. Académico n° 9.

Ilma. Sra. Doña Carmen Torres Manrique. Académica n° 10.

Excma. Sra. Doña María del Carmen Francés Causapé. Académica n° 11.

Ilma. Sra. Doña María del Tránsito Salvador Gómez. Académica n° 12.

Ilmo. Sr. D. Manuel Gómez Barrera Académico. Académico n° 13.

Ilma. Sra. Doña María Reyes Abad Sazatornil. Académica n° 14.

Ilma. Sra. Doña María Luisa Bernal Ruiz. Académica n° 15.

Ilmo. Sr. D. Daniel Tabuenca Navarro. Académico n° 16.

Académico de Número Emérito

Ilmo. Sr. D. Acisclo Pérez Martos. Académico n° 3.

Académicos Correspondientes

Dra. Doña Ángela Idoipe Tomás.

Dra. Doña Herminia Navarro Aznárez.

Dra. Doña Daría Bermejo Ramos.

Dra. Doña Francisca Muñoz Espílez.

Dr. D. Diego Marro Ramón.

Dr. D. Benito del Castillo García.

Dr. D. Alberto Herreros de Tejada y López Coterilla.

Dra. Doña Esperanza Torija Isasa.

Dra. Doña María Ángeles Sanz García.

Dr. D. Vicente Vilas Sánchez.

Dr. D. Oriol Vals Planells.

Dr. D. José María de Jaime Lorén.

Académico de Honor Electo

Dr. José María Ordovás Muñoz

Académico de Número Electo

Dr. D. Juan Carlos Mayo Martínez.

Académicos Correspondientes Electos

Dr. D. José María Ventura Ferrero.

Dr. D. Víctor López Ramos.

Medallas de Oro de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón»

D. Ramón Blasco Nogués.

D. Juan Carlos Gimeno Barranco.

D. Ramón Jordán Alva.

*Memoria reglamentaria
del curso 2020*

Ilmo. Sr. D. Ignacio Andrés Arribas

Secretario de la Academia

Excelentísimo señor Presidente de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón»,
Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades,
Excelentísimos e Ilustrísimos Señoras y Señores académicos,
Señoras y Señores, queridos amigos:

El día 5 de febrero de 2019, nos encontrábamos reunidos por tercer año en este mismo espacio, la iglesia del Hospital Real de Nuestra Señora de Gracia para celebrar la Sesión Inaugural del curso 2019 de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón». El acto fue efectuado por el Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón que por primera vez lo presidió. En él se recordó la figura de nuestro Presidente fundador que había realizado la conferencia de inauguración del curso académico del año anterior y que permanece y permanecerá en nuestra memoria.

Presididos por este gran retablo «Salud de los enfermos» (Salus infirmorum), realizado por el pintor aragonés José Luzán, maestro de los hermanos Bayeu y de Francisco de Goya, alegoría con un título que define perfectamente la finalidad de la profesión de farmacéutico y en general de las profesiones sanitarias comenzamos el acto de inauguración del curso académico 2020 de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón». A continuación, como Secretario de esta Academia, paso a resumir las actividades científicas y representativas celebradas durante el curso 2019, intentando cumplir con los objetivos fundacionales de la Academia.

En primer lugar quiero destacar que esta joven Academia sigue creciendo y en el presente año se han incorporado a la misma como Académicos Numerarios los Dres. Reyes Abad Sazatornil, María Luisa Bernal Ruiz y Daniel Tabuenca Navarro. Reciban todos ellos nuestra bienvenida y más cordial enhorabuena.

Las actividades científicas realizadas en el año que ha vencido se iniciaron el 5 de febrero de 2019 con la inauguración del nuevo curso de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón». El acto comenzó con la imposición de la medalla de oro de la Academia al Ilmo. Sr. D. Ramón Jordán Alva, Presidente del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza. Continuó con la lectura de la Memoria Reglamentaria del año 2018, por el Secretario de la Academia, Ilmo. Sr. D. Ignacio Andrés Arribas. El discurso Inaugural a cargo del Presidente fundador Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón, bajo el título: «**Academia de Farmacia Reino de Aragón: 10 años de historia**». El solemne acto de inauguración se llevó a cabo en esta Capilla del Hospital Real Nuestra Señora de Gracia.

El día 9 de abril de 2019 se celebró el acto de recepción académica de la Ilma. Sra. D^a. Reyes Abad Sazatornil como académica numeraria con el discurso de

ingreso: **«Los medicamentos huérfanos, un reto para el sistema sanitario público»**. La contestación corrió a cargo del Ilmo. Sr. D. Ignacio Andrés Arribas, académico de número y Secretario de la Academia de Farmacia Reino de Aragón.

El martes, 28 de mayo de 2019, se celebró el acto de recepción académica de la Ilma. Sra. D^a. María Luisa Bernal Ruiz como académica numeraria, con el discurso de ingreso **«Medicina personalizada: farmacogenómica-farmacometabolómica»**. Discurso de contestación a cargo del Ilmo. Sr. D. Jesús de la Osada García, académico de número y Vicepresidente de la Academia.

El martes, 24 de septiembre de 2019, el Ilmo. Sr. D. Daniel Tabuenca Navarro se entroniza como académico numerario con el discurso de ingreso: **«La I+D+i en la Industria Farmacéutica Española»**. Discurso de contestación a cargo del Ilmo. Sr. D. Pedro Roncales Rabinal, académico de número.

La Solemne apertura conjunta de curso de las Academias de Aragón se realizó el martes, 22 de octubre, en el Paraninfo de la Universidad de Zaragoza. Se inició con la intervención del Rector Magnífico, Excmo. Sr. D. José Antonio Mayoral Murillo. La lección inaugural fue impartida por el Académico de Número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales, Ilmo. Sr. D. Juan Cacho Palomar, que versó sobre **«Los misterios del olfato y el aroma del vino»**. A continuación intervino el Presidente de la Real Academia de Ciencias, Excmo. Sr. D. Antonio Elipe, que dio por inaugurado el nuevo Curso. La organización del acto corrió a cargo de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales, con la asistencia de la Real Academia de Nobles y Bellas Artes de San Luis, de la Real Academia de Medicina de Zaragoza, la Academia Aragonesa de Jurisprudencia y Legislación y la Academia de Farmacia «Reino de Aragón».

El martes, 17 de diciembre de 2019, se realizó la clausura del curso académico 2019 con la conferencia: **«Plantas medicinales de Aragón y sus usos en Farmacia»**. Impartida por el farmacéutico comunitario de Luna, D. Jesús Catalán Sesma. Fue presentado por el Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón, Presidente fundador de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón».

Es de destacar la presencia del Presidente de nuestra Academia, Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón, como invitado en los actos de las recientes inauguraciones de los cursos académicos de la Real Academia Nacional de Farmacia, el 16 enero en Madrid, y de la Real Academia de Farmacia de Cataluña, en su sede de Barcelona el día 13 de enero del presente año.

Antes de finalizar esta memoria quisiera resaltar que estamos a pocos metros de donde se situó durante más de un siglo el «Hospital Militar de San Ildefonso», que ocupaba el claustro y las dependencias del antiguo Convento de S. Ildefonso del que en la actualidad sólo podemos contemplar la magnífica iglesia renombrada como iglesia de Santiago. En 1958 se trasladó el Hospital Militar a su actual emplazamiento donde el recipiendario, Dr. Mayo, ha desarrollado gran parte de su vida profesional.

Por último y como despedida, quiero mostrar mi deseo de volvernos a ver en la Sesión Inaugural del año 2021 y por supuesto mi más sincero agradecimiento por la atención que han dispensado en la lectura de esta Memoria.

Discurso de recepción académica

Ilmo. Sr. D. Juan Carlos Mayo Martínez

Académico de número electo

A los pilares de mi vida:
A la memoria de mi padre y madre.
A mis hijos Carlos y Nieves.
A mi esposa y compañera Nieves.

PRESENTACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Excelentísimo Señor Presidente de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón»,
Excelentísimos e Ilustrísimos Señoras y Señores Académicos,
Familiares, compañeros y amigos:

Es para mí un grandísimo honor el poder optar a ser recibido como Académico en esta Ilustre Institución. Es para mí un motivo de satisfacción que los miembros de la Academia de Farmacia «Reino de Aragón» hayan considerado mi candidatura, lo cual agradezco, no sólo desde el punto de vista profesional sino también desde el punto de vista humano ya que para un conquense, de nacimiento y de corazón, es muy importante que los miembros de la institución aragonesa como esta Academia me acojan en su seno, supone el reconocimiento de una parte de mis paisanos de adopción, que me reafirma que la decisión de establecernos en esta tierra aragonesa fue acertada.

Lejos quedan los años de formación en la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid (ya junto a la que sería mi esposa) donde pudimos disfrutar de las clases magistrales de los Profesores Cadórniga, Nombela, Francés, Zaragoza, Del Castillo, entre otros, imposible que sin sus enseñanzas hubiese alcanzado tan preciado destino. Pero sin ellos, es imposible entender mi presente en el ámbito profesional, más aun sin mi esposa, compañera y amiga, ya que ella me llevó a estudiar farmacia en lugar de filosofía o historia, no acabaría ahí su influencia pues gracias a ella, como no, ingresé como farmacéutico en el Cuerpo Militar de Sanidad y junto con ella estudié y ejercí como farmacéutico hospitalario durante dieciocho años. No quiero dejar pasar esta oportunidad para agradecer a todos mis compañeros de Hospital Militar de Zaragoza su apoyo y su amistad durante los años que pasé junto a ellos; y a las directoras de mi Tesis Doctoral, las Doctoras D^a Nuria Berenguer Torrijo y D^a Loreto Sáez-Benito Suescun, sin ellas hoy no estaría aquí.

Quiero agradecer a España, sí, a España con mayúsculas y sin complejos, la oportunidad que me ha dado a través de las Fuerzas Armadas de servir a mis conciudadanos tanto en el suelo patrio, en los tres ejércitos, como fuera de nuestro

país, allí donde nuestros gobiernos han decidido, representando y aportando mi grano de arena dentro de las Fuerzas Armadas para ayudar a la estabilización de zonas en conflicto.

No podría finalizar sin agradecer a toda mi familia el apoyo que me han brindado durante toda mi carrera vital, que por supuesto incluye la profesional, comenzando por mi padre fallecido cuando yo aún era un adolescente, mi madre, inteligencia y coraje puro, que nos ha abandonado no hace mucho, a mis hermanos que siempre han estado ahí, a mi familia política que me integraron como uno más, a mis hijos fruto de nuestra vida y a Nieves, sin ella no se puede entender mi vida.

PREÁMBULO

Pasada la emoción del nombramiento comenzó la preocupación por tener que dirigirse a tan ilustre auditorio y tener que elegir un tema que de alguna forma pueda dar una idea de la trayectoria profesional del ponente. De forma que mi primera intención fue encaminada hacia mi condición de farmacéutico militar, haciendo una reseña histórica de la misma, describiendo su presente y soñar con su futuro; pero al hacer una revisión bibliográfica del tema, pronto llegué a la conclusión que si bien no todo estaba dicho, no era gran cosa lo que yo podía aportar frente al trabajo realizado por mis compañeros farmacéuticos del Cuerpo Militar de Sanidad en «La Farmacia Militar: Pasado, Presente y Futuro»¹ con motivo de la Conmemoración del II Centenario de la Concesión del Fuero Militar y Uniforme a los Farmacéuticos Militares por el Rey Carlos IV (1796-1996). Llegado a este punto mi mente voló al otro tema de interés de mi vida profesional, la microbiología y los antibióticos, mi interés por este tema se despertó ya en las clases de microbiología en la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid, impartidas por el entonces catedrático Prof. César Nombela y ha continuado durante mi ejercicio de Farmacéutico de Hospital, hasta el punto que (como no podía ser de otra forma) mi tesis doctoral² versó sobre el tema. Sin embargo, casi siempre se impone la responsabilidad y el deber a la pasión, más en las personas que ya tenemos cierta edad, y en ese momento y en el presente, en gran parte de mi pensamiento está el oxígeno aeronáutico, tema que por cierto nos preocupa y ocupa a muy pocos farmacéuticos y todos ellos farmacéuticos militares, de modo que pensé que mejor tema para presentarme en esta Institución que el oxígeno aeronáutico.

Sin más dilación, a continuación pasaré a exponer el tema de disertación.

EL OXÍGENO AERONÁUTICO

FISIOLOGÍA DEL VUELO^{3,4,5,6,7}

El ser humano está adaptado biológicamente a la vida en la atmósfera terrestre al nivel del mar o cerca de ese nivel. El alejamiento de este hábitat natural que se produce al volar, puede provocar trastornos graves e incluso mortales si no se deja tiempo para que se den los ajustes fisiológicos necesarios o, en su defecto, si no se utilizan los medios artificiales para mantener la vida que hagan falta según la altitud y el tiempo de exposición.

El ser humano al volar, se ve afectado por unos factores intrínsecos o asociados al sistema de transporte, como son el espacio reducido, escasa movilidad, el desplazamiento a grandes velocidades entre otros, y los factores extrínsecos, o no propios del sistema de transporte, como la composición atmosférica, la temperatura, la irradiación UV, todos ellos relacionados de forma directa con la altitud.

Los riesgos los podemos agrupar atendiendo a su causa

- ✓ Debidos a los cambios de velocidad: Aceleraciones
- ✓ Asociadas al cambio de altitud: Disbarismos, aeroembolismos, hipoxia e hiperventilación.

Riesgos asociados al desplazamiento a grandes velocidades: Aceleraciones.

El desplazamiento de una aeronave en vuelo da lugar a cambios en la velocidad, en la dirección o en ambos simultáneamente. Dichos cambios afectan a la fuerza de la gravedad (g), aumentándola, reduciéndola, invirtiéndola o neutralizándola. Estos cambios se definen como aceleraciones (G).

Las leyes que rigen las aceleraciones son las *leyes de Newton*:

- Primera ley de Newton: un cuerpo en reposo permanecerá en reposo, y un cuerpo en movimiento se moverá a velocidad constante y en línea recta a menos que sea modificado por una fuerza.
- Segunda ley de Newton: la fuerza aplicada a un cuerpo producirá una aceleración, cuya magnitud es proporcional a la intensidad de la fuerza aplicada, e inversamente proporcional a la masa del cuerpo al que se aplica.

$a=F/m$ o $F=ma$ En donde: **F: Fuerza, m: Masa a: Aceleración**

- Tercera ley de Newton: a toda acción corresponde una reacción igual, pero en sentido inverso. (Ley de la inercia).

Por tanto, cualquier cambio de la velocidad produce un cambio en la aceleración, genera una fuerza que afectará a todo el sistema, es decir aeronave y tripulación.

Clasificación de las aceleraciones

Las aceleraciones se pueden clasificar atendiendo al factor que las modifican o la duración de las mismas.

Según el factor que las **modifica** en:

- Aceleración lineal: debido a un cambio en la velocidad lineal de un cuerpo.
- Aceleración radial: debido a un cambio en la dirección de un cuerpo en movimiento.
- Aceleración angular: provocada por un cambio simultáneo en la velocidad y en la dirección de un cuerpo en movimiento.

En razón a su **duración**, las aceleraciones se clasifican en:

- Instantáneas: son aquellas cuya duración es de un segundo o menos. Se presenta primordialmente como consecuencia de los impactos de una aeronave en tierra durante el aterrizaje.
- Intermedias: son aquellas en las que la aceleración se produce entre uno y 2,5 segundos. Este tipo de aceleraciones se observan en la aviación militar durante el despegue de una aeronave impulsada por catapulta a bordo de un portaaviones, o durante el aterrizaje de este tipo de aeronaves detenidas con un gancho. Se observa igualmente durante el lanzamiento de un asiento de eyección.
- Prolongadas: Son aquellas cuya duración es mayor a 2,5 segundos. Estas son las más comúnmente observadas, sobre todo en la aviación militar y en vuelos acrobáticos.

Nomenclatura de las aceleraciones

De conformidad con la tercera ley de Newton, a una acción corresponde una reacción igual en el sentido opuesto. En base a esto, cuando una aeronave en vuelo aumenta su velocidad se debe a la generación de una fuerza considerada como centrípeta, por cuyo efecto el avión se desplaza 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 en dirección.

Con base en ello existe una codificación universal para designar las aceleraciones, según el eje del cuerpo sobre el cual actúan, y en la dirección en la que la fuerza centrífuga (aceleración) se genera (Figura 1).

Cuando la aceleración actúa paralelamente al eje vertical del cuerpo, se denomina fuerza GZ siendo positiva cuando la aceleración actúa de la cabeza a los pies (GZ+) y negativa cuando dicha aceleración actúa de los pies hacia la cabeza (GZ-). Cuando las fuerzas actúan en el eje anteroposterior del cuerpo, se denominan aceleraciones GX, siendo positivas cuando la aceleración o fuerza centrífuga se dirige de adelante hacia atrás (GX+), y por el contrario cuando dicha aceleración actúa de atrás hacia delante se denomina aceleración (GX-). Cuando la fuerza actúa sobre el eje lateral del cuerpo y la fuerza centrífuga o aceleración se genera de derecha a izquierda, se denomina GY+, y cuando la fuerza se genera en sentido contrario, es decir, de izquierda hacia derecha se denomina GY-.

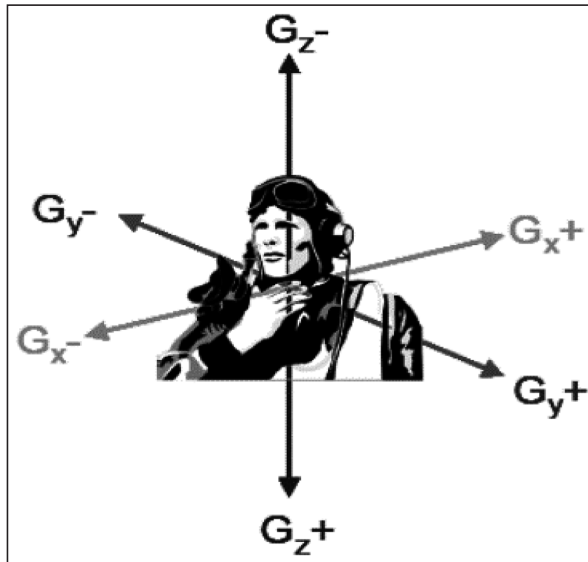


Figura 1: Nomenclatura de las aceleraciones⁹.

Efectos de las aceleraciones⁸

Los efectos de la aceleración sobre el organismo dependen del grado de ésta y de su signo. De hecho en nuestras vidas estamos sometidos «por defecto» al equivalente a 1 G, pero no es lo mismo que someterse a una vez la fuerza de la gravedad que experimentarla multiplicada por cinco, seis o siete. Igualmente del signo de esa aceleración, positiva o negativa, dependerán en gran medida los efectos resultantes.

Cuando la fuerza G a que estamos sometidos es positiva, la sangre tiende a acumularse en las partes bajas del cuerpo. Es esa sensación de ligero aplastamiento que sucede cuando viajamos en ascensor, o cuando realizamos un giro pronunciado en avión –un viraje de 360 grados con 45 de inclinación y rápido fácilmente alcanza los 2G– en el que notamos cómo nos aplastamos contra el asiento, y las piernas comienzan a pesar. En situaciones acentuadas (por encima de los 5G) puede llegar a provocar que los vasos sanguíneos se distiendan e incluso que los capilares revienten, si no se han tomado precauciones.

En tales circunstancias, la respiración se torna dificultosa y el corazón tiene problemas para bombear la sangre, en especial a las zonas altas del cuerpo, y corazón y ojos reciben un riego menor del que debieran. Si falta oxígeno al cerebro, el individuo se siente desorientado y finalmente sobreviene la pérdida de conocimiento.

La progresión es, más o menos, como sigue:

- a 3G se siente un importante el aumento de la presión sobre el cuerpo;
- a 3-4 G se dificulta el uso de los músculos y los tejidos faciales tienden a estirarse;
- con 5G se imposibilita el movimiento del cuerpo y la respiración se dificulta;
- entre 5 y 9G las pantorrillas acumulan demasiada sangre, las piernas se acalambran, se pierde la visión (fenómeno de «visión negra», black out en inglés), producido por la disminución del aporte sanguíneo a la retina, disminuye la audición y en la mayoría de casos, se produce la pérdida del conocimiento.

En el caso de las G negativas, el efecto a baja intensidad (0 o menos 1) es de ingravidez, de flotar en el espacio. Una sensación placentera que esconde el riesgo en valores superiores. El cuerpo humano es menos resistente a las G negativas que a las positivas. Mientras el cuerpo es capaz de soportar hasta 7 u 8 G positivos sin graves consecuencias, en el caso de la deceleración (G negativos) apenas es capaz de soportar 2 o 3 G. En esta situación la sangre fluye profusamente hacia el cerebro. El exceso de presión en los vasos sanguíneos oculares, puede llegar a provocar la rotura de éstos, propiciando la conocida como «visión roja» o »red out», debido a que la visión se produce a través del globo ocular inyectado en sangre. Llegados a este extremo, superados los -3G, el incremento de presión sobre los vasos sanguíneos cerebrales es tan grande, que puede llegar a provocar hemorragias con una sintomatología equivalente a la de un derrame cerebral.

Dentro de los parámetros admisibles, no todo el mundo resiste la aceleración del mismo modo y esta resistencia se ve aumentada con el entrenamiento.

Para paliar los efectos a gran escala de las G positivas, los pilotos de combate, que suelen estar sometidos a aceleraciones realmente importantes de más de 9G, utilizan un traje «anti-G». Se trata de un traje de vuelo que se presuriza según las necesidades y en presencia de aceleraciones o deceleraciones. Su misión es comprimir o descomprimir diversas partes del cuerpo conforme lo requiere cada situación, a fin de contrarrestar los efectos de las fuerzas gravitacionales.

Riesgos asociados a la altitud

Para poder describir estas alteraciones es necesario conocer las nociones básicas de la composición de la atmósfera y las leyes que rigen el comportamiento de los gases.

La atmósfera terrestre⁹

Se define la atmósfera como la mezcla gaseosa que rodea a la superficie de la tierra y que se desplaza con ella en todos sus movimientos. La atmósfera rodea a la tierra en forma de una cubierta gaseosa, que se conserva en su lugar gracias al campo gravitacional. La temperatura de la atmósfera es variable, siendo mayor durante el verano que durante el invierno, y mayor en las bajas latitudes que en las grandes latitudes. El calor radiante del sol causa la expansión de los gases atmosféricos hacia el espacio, y es la interacción de esta fuerza y la gravitacional terrestre la que establece los límites superiores de la atmósfera.

La atmósfera es una mezcla de varios gases. Los tres más importantes son: el Nitrógeno (N_2) en un 78.09%, el Oxígeno (O_2) en un 20.95% y el Dióxido de Carbono o Anhídrido Carbónico (CO_2) en un 0.03%. El resto está compuesto de gases raros (Argón, Neón, Criptón, Xenón, Helio, etc.) (Figura 2). Esta composición porcentual de los gases de la atmósfera se mantiene notablemente constante hasta una altitud de 100 km, aunque en las grandes altitudes se aumenta progresivamente la distancia entre las moléculas del gas y las colisiones entre las partículas se tornan cada vez más raras. Hasta la altitud de 30.000 pies (30 M'; un pie equivale a 0,305 metros) existe una cantidad variable de vapor de agua, y en las bajas altitudes se encuentran contaminantes sólidos que proveen núcleos para su condensación.

En relación a la capacidad para sustentar la vida de organismos, la atmósfera se ha dividido en:

- Zona fisiológica: Se extiende desde el nivel del mar hasta la altitud de 10.000 pies (10M' o algo más de 3.000 metros) y representa el área de la atmósfera en la cual el ser humano, está más o menos adaptado.
- Zona fisiológicamente deficiente: Se extiende desde aproximadamente los 12.000 hasta los 50.000 pies (aproximadamente entre los 3.500-15.000 metros) y representa junto con la anterior, el área en la que actualmente se realiza la mayor actividad de vuelo. El ser humano expuesto a estas altitudes manifiesta ciertas alteraciones, derivadas de que las condiciones de la atmósfera rebasan las capacidades de adaptación de sus sistemas fisiológicos, debiendo por ello hacer uso de los sistemas de apoyo con los que cuenta a bordo, para poder sobrevivir.
- Zona equivalente al espacio parcial: Zona muy extensa, desde los 15.000 m hasta los 200 km, a pesar de ello, desde el punto de vista de presión, el cambio representado apenas alcanza una libra por pulgada cuadrada. La necesidad del uso de cabinas selladas, trajes de presión y los problemas de la sangre y

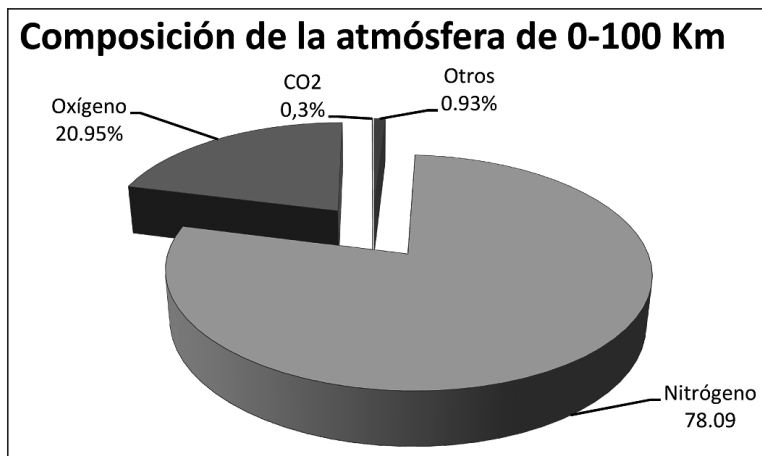


Figura 2: Composición de la Atmósfera desde el nivel del mar a los 100 km de altitud.

los líquidos orgánicos, aunados a los cambios gravitacionales sobre el cuerpo, hacen a esta zona como equivalente al espacio exterior.

- Zona equivalente al espacio verdadero: Se extiende más allá de los 200 km y representa lo que pudiese ser llamado como el espacio verdadero.

Basándonos en las características térmicas de cada región de la atmósfera, se presentan las siguientes capas, desde la superficie de la tierra hacia el espacio exterior, separadas entre sí por una capa gaseosa externa llamada «pausa», Tropósfera, Tropopausa, Estratosfera, Estratopausa, Mesosfera, Mesopausa, Termósfera, Termopausa y Exósfera.

La zona habitada es la tropósfera, la capa atmosférica más próxima a la superficie terrestre, conocida también como «área de cambio» por la variación de sus características físicas de temperatura, humedad, presión y fenómenos meteorológicos. En la tropósfera la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud en una relación aproximada de 1,98 °C o 3 °F por cada 1.000 pies (aproximadamente 305 m) de ascenso. El límite superior de la tropósfera conocida como tropopausa se extiende hasta una altitud de 60M' a nivel del Ecuador y solo hasta los 24 M' o 30 M' a nivel de las regiones polares. En estas altitudes la temperatura ha descendido hasta los -56 °C o -67 °F.

Por encima de la tropopausa, aproximadamente entre los 34.5 M' o 35 M', empieza la estratósfera, la cual se extiende hasta una altitud aproximada de 50 millas (80 km). En la estratósfera y en general por encima de los 35.000 pies, límite superior de la tropopausa, no se encuentran los fenómenos meteorológicos típicos de la tropósfera (Frentes, lluvia, granizo, nieve, turbulencia, etc.), por lo que a la estratósfera se le considera la zona ideal para el vuelo.

Consiguientemente al incremento de la altitud, se produce una disminución de la temperatura y de la presión como se muestra en la Figura 3.

Temperatura*			Altitud ft	Presión	
°C	°F			psi	mmHg
-55.0°	-67.0°	Estratosfera	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°	Troposfera	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°		NM	14.7	760
+15.0°	+59.0°				

Condiciones en latitud N-40°

Figura 3: Ilustra la disminución de la temperatura y presión conforme aumenta la altitud⁹.

La presión atmosférica disminuye con la altitud, como consecuencia de que con el ascenso, la expansión de los gases va siendo mayor y por el contrario la fuerza gravitacional se va reduciendo, lo cual conduce a un enrarecimiento progresivo de los gases atmosféricos, es decir a una reducción de la densidad de la atmósfera, siendo equivalente a la mitad (379 mm Hg) a la altitud de 18 M', y a la cuarta parte (187 mmHg) a los 34 M'. Cabe hacer notar que estos cambios son pequeños y graduales comparados con los cambios observados en la profundidad de las aguas, ya que en éstas la presión se duplica a los 33 pies (aproximadamente 10 m); este es un punto importante cuando se aplica a pilotos que acostumbran bucear en aguas profundas.

Leyes físicas de los gases

Antes de estudiar las alteraciones producidas por la altitud, resulta conveniente repasar las cuatro leyes que rigen el comportamiento de los gases:

- Ley de Dalton o de las presiones parciales: «La presión ejercida por una mezcla gaseosa es equivalente a la suma de las presiones parciales de cada uno de los componentes de dicha mezcla». Esta ley, aplicada a la mezcla gaseosa que constituye la atmósfera terrestre, se representa de la siguiente forma:

$$P_a = p_{N_2} + p_{O_2} + p_{CO_2} + p_X$$

En donde P_a , representa la presión atmosférica y p_{N_2} , p_{O_2} y p_{CO_2} , etc., representan las presiones parciales del nitrógeno, del oxígeno, del dióxido de carbono y p_X de los demás componentes gaseosos de la atmósfera terrestre.

En lo que respecta a su correlación con las alteraciones orgánicas en la altitud, esta ley explica los fenómenos de hipoxia resultantes de respirar un aire con una

reducida presión parcial de oxígeno (O_2), que se verá más adelante, se produce como consecuencia de la reducción de la densidad con el ascenso a la altitud.

- Ley de Boyle-Mariotte o de los volúmenes gaseosos: «A temperatura constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión que se ejerce sobre dicho gas».

De tal modo que al aumentar la altitud, se produce una disminución de la presión con el consiguiente aumento del volumen de los gases y una disminución de la densidad de los mismos. Esto da lugar sobre todo los gases encerrados en cavidades orgánicas, como el aparato digestivo, el oído medio y los senos paranasales, por lo que esta ley se correlaciona con los fenómenos de disbarismos que se presentan con los cambios de la presión atmosférica. La expansión de los gases debido a la disminución de la presión puede ser tan grande que provoque una distensión exagerada de las vísceras gastrointestinales provocando dolor, que puede ser suficientemente intenso para ocasionar un cuadro severo de distensión abdominal acompañado de trastornos neurovegetativos dando lugar a palidez, sudoración, hipotensión arterial y colapso.

Los efectos de la expansión de los gases en otras cavidades suelen ser más leves, pero si existen otros condicionantes como infecciones o caries, estas pueden ser también muy molestas o incluso invalidantes.

- Ley de Henry: «La cantidad de un gas en solución, es directamente proporcional a la presión ejercida por dicho gas sobre el solvente».

El cuerpo humano mantiene permanentemente disuelto en los líquidos y tejidos del mismo, nitrógeno y otros gases del aire atmosférico que respiramos. La cantidad de gases disueltos está siempre en equilibrio con la presión de dichos gases en la atmósfera a cualquier altitud, por lo que, si asciende rápidamente en una aeronave no presurizada, se respirará un aire con menor presión, lo cual da lugar a que los gases disueltos en el cuerpo abandonen su estado de solución para mantener su equilibrio con el gas del aire exterior. Esta liberación brusca de nitrógeno y otros gases en esas condiciones, constituye el aeroembolismo correlacionado con esta ley física. Existen una serie de factores de riesgo: actividad física durante el vuelo, sobrepeso, edad, nitrógeno disuelto, bajas temperaturas y mayor altitud. La liberación brusca de nitrógeno provoca un fuerte dolor articular, embolias gaseosas, parestesias y raramente afectación grave del Sistema Nervioso Central.

- Ley de Charles o de la temperatura de los gases: «El volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura».

Esta ley explica, por una parte, por qué los límites de la mezcla gaseosa que constituye la atmósfera, son más altos a nivel del Ecuador en donde por razón de la mayor verticalidad de los rayos solares la temperatura es más elevada, provocando la expansión de los gases de la atmósfera, y por otra parte, la mayor lectura de los manómetros de los cilindros de oxígeno, cuando están expuestos al calor de la atmósfera.

Hipoxia

Se define como hipoxia, la reducción de la concentración de oxígeno en los tejidos del cuerpo.

Se caracteriza por un comienzo insidioso, severidad de los síntomas que pueden llevar a un compromiso vital y visual y por presentar un tiempo útil de conciencia.

El tiempo útil de conciencia se define como el lapso en que una persona es capaz de realizar actos perfectamente consciente y normal, a partir del momento en que le falta un aporte adecuado de oxígeno. El tiempo útil de conciencia disminuye conforme aumenta la altitud (Tabla 1), existen variaciones intra e inter individuales

<i>Altitud (pies)</i>	<i>Tiempo útil de conciencia</i>
15.000	20-30 minutos
20.000	5-10 minutos
25.000	3-5 minutos
30.000	1-2 minutos
35.000	30-60 segundos
40.000	15-20 segundos
50.000	9-12 segundos

Tabla 1: Se muestra la disminución del tiempo útil de conciencia con el incremento de la altitud (1.000 pies≈300 metros).

Tipos de hipoxia:

- Hipoxia hipóxica: es la resultante de respirar un aire con una presión parcial de oxígeno reducida, como ocurre en la exposición a la altitud, neumonías o bronquitis severas.
- Hipoxia anémica: debida a la reducción de los glóbulos rojos o la hemoglobina en sangre.
- Hipoxia por anemia fisiológica: La hemoglobina pueden ver reducida su capacidad para transportar oxígeno, bien por su unión a monóxido de carbono o por la acción de determinados fármacos (sulfonilureas, salicilatos, etc.).
- Hipoxia estática: Las fuerzas de la aceleración durante un vuelo, provocan el desplazamiento de la sangre circulante hacia diversos segmentos del cuerpo, haciendo que otros reciban poca o ninguna irrigación sanguínea, lo cual se conoce como isquemia; esto reduce consiguientemente el aporte de oxígeno a estas áreas del cuerpo, originando éste tipo de hipoxia. Lo mismo sucede cuando se aplica una ligadura o un torniquete alrededor de una parte del cuerpo.

- Hipoxia histotóxica: provocada por el envenenamiento de citocromo respiratorio como el cianuro, alcohol, plomo, etc.

En un mismo individuo pueden presentarse simultáneamente uno ó más tipos de ésta grave emergencia, agravando sus síntomas, y provocando que éstos se presenten a una menor altitud durante un vuelo.

Etapas de la hipoxia hipóxica (debida a la altitud).

Consta de cuatro etapas:

- Etapa indiferente: se presenta desde el nivel del mar hasta los 10.000 pies, con un tiempo de exposición de 2 horas. El individuo normal no presenta ningún síntoma, salvo una disminución de la capacidad del ojo para adaptarse a la oscuridad, ya que la retina es muy sensible a la carencia de oxígeno. Este el motivo por el que los pilotos militares requieren oxígeno suplementario desde el despegue.
- Etapa compensatoria: se manifiesta entre los 12.000 a 15.000 pies y un tiempo de exposición promedio de 30 minutos. Pese a ponerse en marcha mecanismo compensatorios (taquicardia e hiperventilación), como consecuencia de la estimulación de los quimio receptores carotídeos y del cayado de la aorta debido a la disminución del oxígeno en sangre, aparecen los primeros síntomas: fatiga, dolor de cabeza, somnolencia y apatía
- Etapa sintomática: se manifiesta entre los 15.000 a 18.000 pies con periodos de exposición hasta 15 minutos. En esta fase se presentan todos los síntomas:
 - visión borrosa por disminución de la agudeza visual, reducción del campo visual (visión en túnel);
 - incoordinación motora progresivamente creciente, que se inicia con una torpeza o dificultad para realizar movimientos finos con las manos, seguida de temblor que se convierte en movimientos de tipo convulsivo;
 - alteración de la memoria, del juicio y del razonamiento de lo que la persona afectada no se percata, dado que aunque se le dicten instrucciones correctivas para remediar su carencia grave de oxígeno, es incapaz de llevarlas a cabo;
 - cambios de la conducta y de la personalidad manifestados por un estado de euforia o falso bienestar, o estados depresivos o agresividad, simulando un estado de intoxicación alcohólica;
 - cianosis atribuible a la baja concentración de oxihemoglobina.
- Etapa crítica: Se presenta a altitudes por encima de los 20.000 pies con periodos de exposición hasta de 5 minutos. En ésta etapa se agravan los síntomas y signos de la etapa anterior, y si la deficiencia de oxígeno no se logra corregir, se presentan crisis convulsivas generalizadas y pérdida del conocimiento, pudiendo llegar hasta la muerte por parada respiratoria.

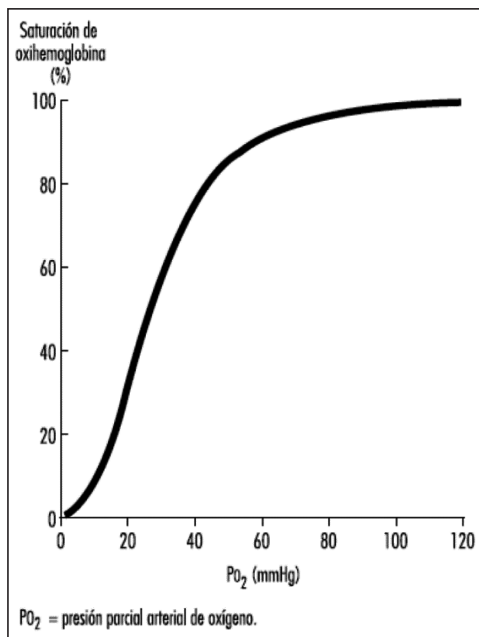


Gráfico 1: Curva de disociación de la oxihemoglobina donde se muestra la relación entre la Presión parcial de oxígeno y la saturación de oxihemoglobina⁶.

Hiperventilación

La hiperventilación es uno de los síntomas que aparecen en la fase compensatoria de hipoxia, esta puede aparecer debido al miedo, la ansiedad, la tensión nerviosa y la propia voluntad. El aumento en la frecuencia respiratoria trae consigo una exhalación exagerada de dióxido de carbono (CO_2), el cual es el estimulante químico más importante del centro respiratorio. Este desplazamiento del CO_2 da lugar a una alcalosis de la sangre, que desplaza la curva de disociación de la oxihemoglobina (Gráfico 1) hacia la izquierda, reduciendo con ello el aprovechamiento del oxígeno. A éste fenómeno se le llama hiperventilación y sus síntomas son: sensación de hormigueo (parestesias) en los dedos de manos y pies, con una contractura espástica en extensión de los mismos, temblor progresivamente creciente de las extremidades, palidez de los tegumentos y pérdida del conocimiento con movimientos, en ocasiones, de tipo convulsivo.

La ausencia de estímulo químico del centro respiratorio por la expulsión del CO_2 , produce un periodo de apnea (falta de respiración) durante el cual el CO_2 se acumula nuevamente en los tejidos, y al estimular nuevamente el centro respiratorio se reanuda la respiración, y se recupera progresivamente el paciente. Hay que evitar que este proceso se ponga en marcha administrando oxígeno con anterioridad, porque una vez iniciado la administración de O_2 no revierte fácilmente la situación. Es más útil y más recomendable respirar más lentamente y suspende

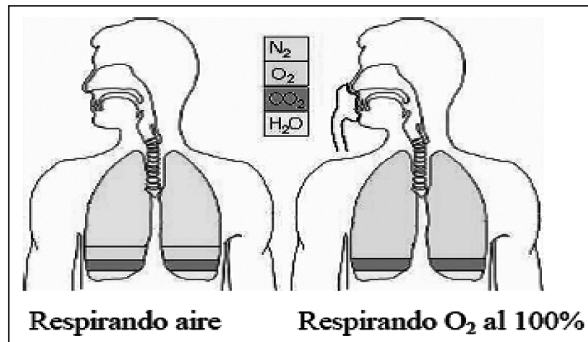


Figura 4: Nivel del Mar 760 mm Hg^o.

momentáneamente la respiración, eso hará que suban los niveles del CO_2 , que se estimule el centro respiratorio y cedan los síntomas.

Presión alveolar de los gases

Para entender cómo se produce la hipoxia desde un punto de vista físico, es necesario estudiar la influencia de las variaciones de presión a los gases a nivel de los alveolos, es decir, los divertículos terminales del árbol respiratorio bronquial, en los que tiene lugar el intercambio gaseoso entre el aire inspirado y la sangre.

A nivel del mar ($P_a = 760$ mmHg) las presiones alveolares de los gases son las siguientes:

$$p_{aO_2} = 103 \text{ mm Hg.}$$

$$p_{aCO_2} = 40 \text{ mm Hg.}$$

$$p_{aH_2O} = 47 \text{ mm Hg.}$$

$$p_{aN_2} = 570 \text{ mm Hg.}$$

De acuerdo con estos valores, a nivel del mar el vapor de agua (H_2O) y el CO_2 combinados ejercen una presión de 87 mm Hg, y ocupan aproximadamente un 11% del volumen pulmonar ($87/760 = 11\%$); el O_2 ocupa un 14% ($103/760 = 14\%$) y el N_2 aproximadamente el 75% restante (Figura 4).

Con la altitud la presión del CO_2 disminuye, pero no en la misma proporción que la del O_2 , y el vapor de agua ejerce una presión constante de 47 mm Hg a cualquier altitud. En ésta forma, a la altitud de 18.000 pies (aprox. 5.000 m), donde la presión barométrica es de 380 mm Hg, la combinación del CO_2 y el H_2O ocuparán un 21% del volumen pulmonar ($31 + 47 / 380 = 21\%$) (Figura 5).

A la altitud de 34.000 pies, el CO_2 ejerce una presión de 30 mm Hg y combinado con el H_2O ocuparán ya un 50% del volumen pulmonar ($30 + 47 / 155 = 50\%$) (Figura 6).

A medida que se asciende, el volumen ocupado por el CO_2 y el H_2O en el pulmón aumenta, reduciendo el volumen ocupado por el oxígeno, de tal forma que a la altitud de 50.000 pies (aprox. 15.000 m), en donde la presión atmosférica

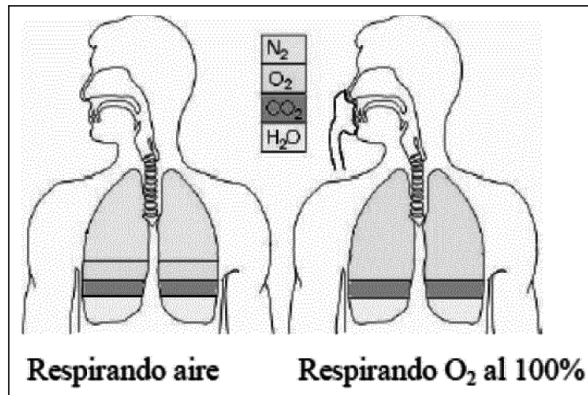


Figura 5: Altitud 18.000 pies – 380 mm Hg°.

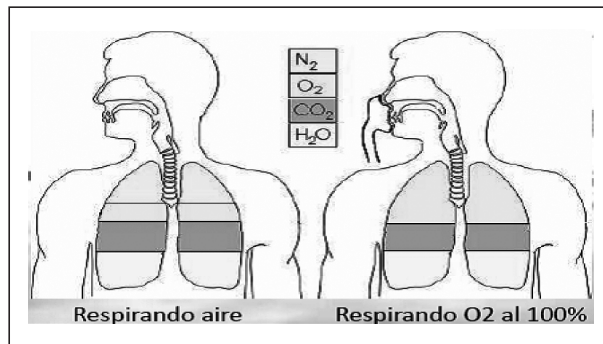


Figura 6: Altitud 34.000 pies – 155 mm Hg°.

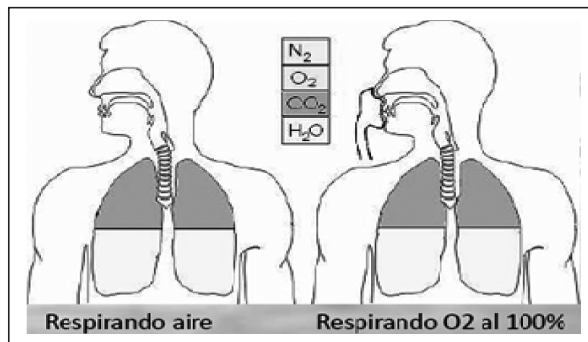


Figura 7: Altitud 50.000 pies – 87 mm Hg°.

rica es de 87 mm Hg, se iguala la presión combinada ejercida por éstos dos gases ($40 + 47/87 = 100\%$), por lo que a ésta altitud no se puede obtener una presión alveolar de O_2 suficiente para vivir, aun cuando se respire un 100% de oxígeno a la presión normal (Figura 7).

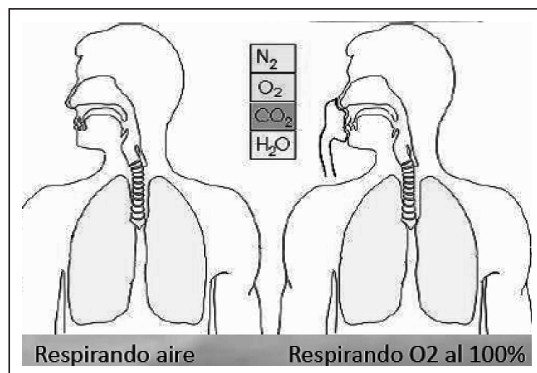


Figura 8: Altitud 60.000 pies – 47 mm Hg⁹.

A la altitud de 63.000 pies (aprox. 18.000 m) en donde la presión atmosférica es de 47 mm Hg, exactamente igual a la ejercida por el vapor de agua, el volumen pulmonar estará totalmente ocupado por este gas (Figura 8). A esta altitud los líquidos de los tejidos de un individuo no protegido entran en ebullición (hierven) espontáneamente, no por calentamiento sino porque tales líquidos tienden a salir de su recipiente al equipararse su presión con la del exterior. A esta altitud se le llama «Línea de Armstrong», por haber sido el Dr. Harry G. Armstrong quien lo descubrió.

Ello significa que a la altitud de 40.000 pies, respirando 100% de O₂ a la presión normal, la presión alveolar de O₂ será solo de 60 mm Hg, y el porcentaje de saturación de la Hemoglobina será aproximadamente de un 90%, llegando al límite de la porción plana de la curva de saturación de la Hemoglobina, es decir, se estará en los límites superiores de la etapa indiferente de la hipoxia. Por encima de ésta altitud se habrá de recurrir a un equipo de respiración que provea el oxígeno a presión, a fin de reducir con ello el volumen ocupado por el CO₂ y el vapor de H₂O y poder recibir algo de oxígeno. Sin embargo, como se verá más adelante el uso de éste tipo de equipos tiene sus limitaciones y sólo protegerá al usuario hasta una altitud máxima de 43.000 pies o 43.500 pies por un tiempo limitado. Por lo que, a estas altitudes y por encima habrá de recurrirse a algún sistema que reduzca la expansión de aquellos dos gases, y permita la llegada del O₂ al alvéolo. Este sistema es la recompresión, proporcionada en la aviación civil, por una cabina a presión, y en la aviación militar por éste mismo sistema y/o un traje a presión.

De todo lo anterior se concluye, que para prevenir los efectos de la hipoxia durante un vuelo, se deberán cumplir las siguientes normas:

- Uso de oxígeno suplementario por encima de los 10.000 pies.
- Respirar oxígeno al 100 % a la altitud de 40.000 pies.
- Respirar oxígeno a presión hasta una altitud máxima de 43.500 pies, por un tiempo limitado.
- Por encima de ésta última altitud se requiere recompresión provista por una cabina presurizada o un traje a presión.

OXÍGENO^{10,11,12}

El oxígeno fue descubierto por dos químicos de forma independiente. En 1772, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele lo obtuvo calentando nitrato potásico, óxido de mercurio y otras sustancias. Joseph Priestley, un químico inglés en 1774, lo obtuvo por descomposición térmica del óxido de mercurio publicando los resultados ese mismo año, tres años antes de la publicación de los resultados de Scheele. En 1775-80, el químico francés Antoine-Laurent Lavoisier determinó el papel del oxígeno en la respiración y la combustión, observó su tendencia a formar ácidos al combinarse con muchas sustancias diferentes y, en consecuencia, denominó al elemento oxígeno (oxigeno) de las palabras griegas para «formador de ácido».

El oxígeno supone 46% de la masa de la corteza terrestre, el 21% en volumen de la atmósfera y el 89% en peso del agua.

El oxígeno (O) es un elemento químico no metálico, muy electronegativo, con dos estados de oxidación (-1 y -2) del Grupo 16 (VIa, o el grupo de oxígeno) de la tabla periódica. El oxígeno posee tres isótopos naturales y estables: ¹⁶O, ¹⁷O y ¹⁸O, siendo este el ¹⁶O el más abundante (99,762%). Presenta dos formas alotrópicas, diatómica (O₂) y triatómica (O₃, ozono), este último tiene un papel importante en impedir que las radiaciones UV peligrosas para la vida lleguen a la biosfera. Es muy inflamable y muy reactivo, en contacto con metales forma óxidos.

A temperatura ambiente el oxígeno se encuentra en estado gaseoso, es incoloro, insípido e inodoro. Por debajo de -183 °C (-297 °F), el oxígeno es un líquido azul pálido; se vuelve sólido a aproximadamente -218 °C (-361 °F). El oxígeno puro es 1,1 veces más pesado que el aire.

El oxígeno es un elemento químico muy reactivo, capaz de formar compuestos con casi todos los elementos de la tabla periódica (excepto con los gases nobles), forma óxidos con los metales excepto con los gases nobles, en muchos casos al reaccionar con otros compuestos se produce calor y luz y en tales casos estas reacciones se conocen como combustiones. El oxígeno no es un combustible pero es el comburente, encargado de la oxidación del combustible favoreciendo la combustión. Cuando el oxígeno se encuentra en estado líquido, la combustión puede ser explosiva, sobre todo si la superficie presenta una gran superficie y existen compuestos grasos.

Es esencial para los organismos vivos, los animales lo absorben y lo convierten en dióxido de carbono. Las plantas, a su vez, utilizan dióxido de carbono como fuente de carbono y devuelven el oxígeno a la atmósfera.

Producción de oxígeno

A nivel de **laboratorio** el oxígeno se puede obtener por cuatro métodos:

- Descomposición térmica de sales como el clorato potásico o nitrato potásico.
- Descomposición térmica de óxidos de metales pesados como óxido de mercurio o de plata.

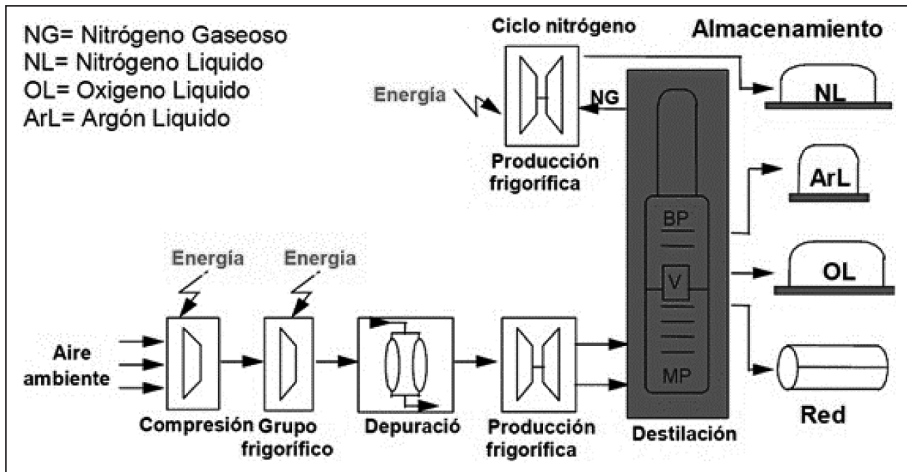


Figura 9: Esquema de destilación fraccionada del aire¹⁶.

- Por descomposición de peróxido de hidrogeno o peróxidos de metales.
- Electrólisis del agua que contienen pequeñas cantidades de sales o ácidos que facilitan el proceso.

Cuando se requieren grandes cantidades de oxígeno de calidad, hay que recurrir a la **destilación fraccionada**^{13,14, 15} del aire líquido, obteniendo en este caso oxígeno líquido (LOX), a partir de cual mediante gasificación se puede obtener oxígeno gaseoso. Este método tiene su fundamento:

- El oxígeno es uno de los principales componentes del aire.
- Presenta un punto de ebullición más alto que el argón y nitrógeno por lo que es menos volátil.
- Por último, el hecho de que los gases comprimidos se enfrían cuando se dejan expandir.

El proceso básicamente consiste en los siguientes pasos (Figura 9):

1. El aire se filtra para eliminar partículas.
2. La humedad, el dióxido de carbono e hidrocarburo se eliminan mediante una absorción por un absorbente (alúmina activa, zeolitas y gel de sílice).
3. El aire se comprime mediante compresión mecánica, eliminando el calor producido por la compresión mediante un intercambiador.
4. El aire comprimido y enfriado se pasa a bobinas contenidas en una cámara.
5. Una porción del aire comprimido (a una presión de aproximadamente 200 atmósferas) se deja expandir en la cámara, enfriando las bobinas.
6. El gas expandido se devuelve al compresor con múltiples etapas posteriores de expansión y compresión, lo que resulta finalmente en la licuefacción del aire comprimido a una temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$.

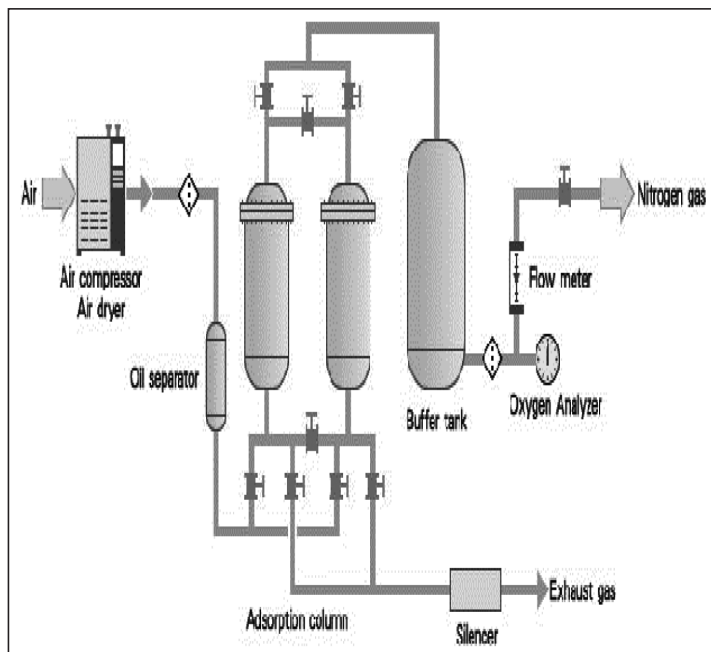


Figura 10: Instalación del oxígeno por adsorción¹⁸.

7. Se deja calentar el aire líquido para destilar primero los gases raros ligeros, luego el nitrógeno, dejando oxígeno líquido (LOX). Los fraccionamientos múltiples producirán un producto muy puro (>99.5 por ciento).
8. El LOX está listo para suministrarse directamente o bien por gasificación del mismo se puede obtener oxígeno gaseoso.

Cuando se requiere la producción de oxígeno *in situ* en aviones de combate, unidades médicas desplazadas a zona de operaciones donde es imposible obtener un oxígeno de calidad, centros hospitalarios e industrias con alta demanda de oxígeno se puede recurrir al proceso de adsorción: por oscilación de presión (PSA) o por oscilación de presión al vacío del oxígeno (VPSA). La tecnología por adsorción¹⁷ se basa en la adsorción por tamices moleculares de determinadas sustancias, gracias a lo cual se asegura la separación de la mezcla de aire. La tecnología de adsorción permite obtener del aire eficazmente tales gases como el nitrógeno y el oxígeno.

Los esquemas compuestos (VPSA) conjugan el cambio de la presión del valor positivo al negativo (Figura 10). Al pasar el aire por uno de los dos adsorbentes activados por turno y llenos con el adsorbente que representa un tamiz molecular de carbón (TMC) o zeolita, se produce la adsorción preferente del oxígeno en la TMC o la zeolita, al mismo tiempo el medio gaseoso se enriquece con el nitrógeno. Saturada la TMC o zeolita con el oxígeno, el aire se dirige al otro adsorbente, mientras que en el adsorbente usado la presión se baja hasta el valor de la presión

atmosférica y se sopla con una parte del nitrógeno producido; al mismo tiempo se extrae de la TMC o zeolita el oxígeno adsorbido restableciéndose las propiedades del tamiz. La separación del aire según el método por adsorción se realiza a las temperaturas de +10 a +40 °C.

Oxígeno aeronáutico

El oxígeno aeronáutico debe cumplir una serie de requerimientos^{19, 20}:

- Pureza mayor del 99,5%.
- Humedad: menor 5 mg de agua/m³.
- Inodoro.
- Inflamabilidad: dada por un contenido menor en hidrocarburos menor 60 ppm (a 15 °C y 760 mm Hg).
- Inocuo.
- Contenido en sólidos sin partículas mayores 100 µm y masa menor de 1 mg/m³.

***Contaminantes del oxígeno*^{21, 22, 23, 24}**

Los contaminantes provienen en su mayor parte de la atmósfera, ya que el aire atmosférico es la materia prima utilizada para la obtención del oxígeno, salvo los refrigerantes y solventes que puede provenir del proceso de producción del oxígeno, y las fibras y partículas que tienen su origen en el desgaste de válvulas, bombas y filtros y de la contaminación durante transferencias y almacenaje.

Para establecer las concentraciones límites para cada uno de los contaminantes vamos a valorar una serie de factores:

1. Mecánicos: para prevenir la formación de cristales que alteren los reguladores de oxígeno y la corrosión de los equipos.
2. Debe considerarse las reacciones fisiológicas adversas a la exposición a cada contaminante, ya que estas pueden afectar y limitar la capacidad operativa del piloto, lo que puede ocurrir en niveles de concentración muy por debajo de los niveles tóxicos. El límite se establece en la décima parte de los Valores Límites de Exposición Ambiental (VLA o TLV), entendiendo por estos como los valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire, y representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. También se calculan el VLA-ED (Valores para la exposición diaria) y el VLA-EC (Valores para la exposición de corta duración —15 minutos—) para cada sustancia, que son publicados anualmente por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo²⁵.
3. La ausencia de olor: la presencia de un olor desagradable puede limitar gravemente la capacidad operativa de piloto por lo que se establece como criterio la décima parte del Umbral del Olor.

4. La inflamabilidad o los riesgos de explosión, que para cada sustancia viene determinado por Límite de Explosividad (LEL o LFL): La menor concentración de un gas o de un vapor en el aire capaz de producir un destello de fuego en presencia de una fuente de ignición. Realmente el LEL engloba un rango de concentraciones (concentraciones compendiadas LIE —Límite inferior de explosividad— y el LSE —Límite Superior de Explosividad—) ya que el LEL se ve ampliado al aumentar la presión y la temperatura. La presencia de oxígeno incrementa LSE. Se establece como criterio un décimo LEL.
5. Por último, hay que tener en cuenta la solubilidad del contaminante en LOX. Si el contaminante es insoluble en LOX formará partículas, se concentra, las partículas ingresan al convertidor LOX y de allí pueden llegar al piloto, estará expuesto en corto intervalo de tiempo a una gran concentración de contaminante.

Tipos de contaminantes

1. Sólidos inertes: partículas 1-100 μm provenientes de fragmentos de equipamiento o cristales de agua y dióxido de carbono. En cualquier caso deberán ser menores de 100 μm y una masas total menor 1 mg/m^3 .
2. Contaminantes inertes disueltos: como nitrógeno y argón que son solubles e inertes, no se les considera contaminantes.
3. Sustancias tóxicas que normalmente aparecen a muy baja concentración y no suelen suponer ningún problema.
4. Sustancias odoríferas: el olor puede tener efectos psicológicos serios sobre los pilotos. Pueden causar el vómito, ansiedad y bajar el rendimiento; circunstancia nada deseable en un piloto.
5. Sustancias combustibles: que incluyen a los hidrocarburos (metano, etano, etileno, acetileno...) todos contaminantes habituales del aire atmosférico. Para el cálculo LEL se deberán tener en cuenta la totalidad de los componentes inflamables

Principales contaminantes

• *Metano*

El metano no es tóxico (VLA-ED = 1.000 ppm); a muy altas concentraciones puede actuar como gas asfixiante por desplazamiento del oxígeno. Muy soluble el LOX cerca del 100% (980.000 ppm). Es un gas inflamable con un LEL de 5% (50.000 ppm) en volumen. En los submarinos nucleares de la Navy se permite valores de 13.000 ppm, alcanzándose niveles con facilidad de 500 ppm. El límite máximo en el oxígeno aeronáutico es 25 ppm para el LOX y 50 ppm en el oxígeno gaseoso.

La presencia de valores elevados de metano puede ser indicativo de fallos en la fabricación o en su almacenaje. Hay que tener en cuenta que dada su elevada solubilidad en oxígeno puede concentrarse en los depósitos criogénicos, si no se

realiza un adecuado mantenimiento de los mismos. El metano puede interferir en la determinación analítica de otros hidrocarburos. En ocasiones, puede dar niveles elevados cuando se realiza su análisis, debido a que la muestra se ha tomado de forma no idónea.

- *Acetileno*

El acetileno, es con mucho, el contaminante más peligroso que se encuentra comúnmente en la producción de LOX. No es tóxico aunque es anestésico, pero no a concentraciones inferiores al 9%. Presenta un límite inferior de inflamabilidad (LEL) de 2,5% y con una muy baja solubilidad en LOX de 10 ppm a (-182,9 °C); esto unido a que una vez sólido difícilmente se solubiliza y además en este estado es mucho más inflamable. Durante el almacenamiento, el acetileno tiende a cristalizarse por evaporación en las paredes del tanque a medida que disminuye el nivel de LOX. Por todo lo anterior, se establece un nivel de acetileno en LOX inferior a 0,05 ppm. En el caso de oxígeno gaseoso el nivel máximo del acetileno se establece en 0,1 ppm, una concentración muy superior debido a que al estar el oxígeno en estado gaseoso los problemas de solubilidad no están presentes.

- *Etileno*

El etileno no es tóxico, con un valor VLA-ED=200 ppm, fue utilizado como anestésico pero a unas concentraciones superiores al 75%. Es un gas más inflamable que el metano con un LEL de 2,75%, con una buena solubilidad en LOX (55.000 ppm). Esto lleva a determinar que un nivel seguro sería 100 ppm, con un factor de seguridad de más de 100 veces. Pero los niveles normales de fabricación son inferiores 0,2 ppm por lo que niveles superiores son un indicador de una mala fabricación del LOX. Por ello el nivel para el etileno se fija en 0.2 ppm para el LOX y 0,4 ppm para el oxígeno gaseoso.

- *Etano*

El etano tampoco es tóxico (VLA-ED=1.000 ppm), se utilizó como anestésico a concentraciones del 75%. Muy buena solubilidad en LOX (430.000 ppm) y tiene un inflamabilidad similar (3%) al etileno. Un límite de seguridad válido sería 200 ppm, pero los valores por encima de 5 a 10 ppm en la fabricación de oxígeno son excepcionales, y dado que presenta interferencias analíticas con el resto de hidrocarburos, se establece como límite para el etano y el resto de hidrocarburos para LOX 3 ppm y 6 ppm para el oxígeno gaseoso.

- *Dióxido de carbono*

El límite de exposición ambiental para el CO₂ es de 0,5% o 5.000 ppm (el aire contiene entre 200-500 ppm), el inicio de los efectos tóxicos se sitúa en el 1% pero puede variar por el estrés ambiental. La hiperventilación se da a concentraciones del 5%, concentraciones más bajas pueden tolerarse siempre y cuando haya un adecuado suministro de oxígeno del alta pureza.

El CO₂ no es inflamable y se concentra en el LOX por evaporación. El principal problema del dióxido de carbono es la solubilidad limitada (4 ppm a una atmós-

fera) en LOX. Las partículas sólidas de CO_2 (se solidifica a -57°C) representan un problema por dos vertientes, la primera es que las partículas sólidas puedan obstruir las conducciones del sistema de oxígeno con el consiguiente riesgo de hipoxia, y por otro lado provocado por la posible llegada al piloto de las partículas sólidas, lo que supondría una exposición a una alta concentración CO_2 de corta duración con el consiguiente riesgo de hiperventilación. El límite actual de CO_2 es menor 5 ppm en el LOX, las concentraciones por encima de 10 ppm supone la presencia del contaminante sólido dada la baja solubilidad del CO_2 . Al igual que en el caso del acetileno, el problema de solubilidad es menor en el oxígeno gaseoso, por lo que se establece como valor límite 10 ppm.

Los niveles superiores al límite de solubilidad del CO_2 en LOX (10 ppm) son indicativos de un acúmulo de los cristales en el fondo de los tanques, muestra no homogénea y del número de transferencias del oxígeno líquido. Los cristales de CO_2 no flotan, al contrario de los cristales de acetileno que flotan, el acetileno coprecipita con el CO_2 . El coprecipitado no presenta riesgo de explosión, por lo que existe la posibilidad que el CO_2 sólido actúe como un factor de seguridad mediante la absorción de acetileno, pero sin olvidar que si estos cristales llegan al aviador, podría suponer una exposición a una alta concentración de los contaminantes.

- *Monóxido de carbono*

El límite de inflamabilidad del CO es aproximadamente del 15%. El Monóxido de carbono es soluble en LOX, pero el CO hierve a una temperatura más baja que LOX, por lo que no se concentra por evaporación. Es venenoso en altas concentraciones (VLA-ED=20 ppm). Sus efectos tóxicos se manifiestan de forma progresiva siguiendo la siguiente secuencia: dolor de cabeza, náuseas, mareos, tos, colapso, pérdida de la consciencia y muertes. Bajas concentraciones pueden menoscabar las habilidades del aviador, incluido el juicio, la coordinación y agudeza visual.

La intoxicación por monóxido de carbono actúa principalmente por su combinación con la hemoglobina formando la carboxihemoglobina (HbCO), ya que el monóxido de carbono presenta una afinidad muy superior al oxígeno por la hemoglobina, impidiendo así que la hemoglobina pueda transportar el oxígeno. El deterioro de la capacidad se produce al 2% de HbCO y es grave al 5% de HbCO , existe una capacidad de adaptación a concentraciones altas como se constata en los fumadores.

La concentración de CO en oxígeno medicinal y en el oxígeno al 93% se establece en 5 ppm. En el LOX empleado en la aviación militar este valor se sitúa en 0,1 ppm y 0, 2 para el oxígeno gaseoso. Este nivel tan bajo se debe al gran impacto que puede tener una disminución en las capacidades, aunque sea ligera, en un piloto militar en situaciones críticas.

- *Óxido Nitroso (N_2O)*

El N_2O es un componente natural de la atmósfera (0,5 ppm). Tiene un VLA-ED de 25 ppm y se comporta como anestésicos a concentraciones altas (por

encima del 50%) conocido como gas de la risa o gas hilarante. La presencia de N_2O no puede causar ninguna reacción fisiopatológica.

Tiene una baja solubilidad en LOX (70 ppm). Puede cocrystalizar con el acetileno, mientras los cristales de acetileno puede flotar en el LOX, los cocrystalos formados con N_2O al 50% pueden formar suspensiones. Si el porcentaje de N_2O aumenta producirán cristales que precipitaran. Si los cocrystalos tienen más del 25% de acetileno, estos pueden explotar. Además, la presencia simultánea de cristales de acetileno y de óxido de nitroso hace que aumente el riesgo de explosión, ya que los cristales de óxido nitroso aislados no son explosivos. Se establece como límite para el LOX 2 ppm y 4 ppm para el oxígeno gaseoso.

- *Óxidos de Nitrógeno: Óxido nitroso (NO_2) y Óxido de nitrógeno (NO)*

Presenta una baja solubilidad en oxígeno, puede incrementar el riesgo de explosión. El óxido nítrico puede presentar un olor muy desagradable aunque este se elimina fácilmente por aireación. Se determinan junto con otros contaminantes.

- *Refrigerantes y solventes halogenados*

Los refrigerantes halogenados son fluocarburos o fluoroclorocarburos, con valores de VLD-ED del orden de 1.000 pm. Su presencia se debe al proceso de fabricación. Los valores límites se fijan en 1,0 ppm para el LOX y 2,0 ppm para el oxígeno gaseoso.

Los solventes halogenados son clorocarburos como el tetracloruro de carbono que es tóxico, con valores VLA-ED entre 10-50 ppm. Si aparecen en el oxígeno es porque estaban presente en el aire utilizado como materia prima. El nivel máximo es 0,1 ppm para el LOX y 0,2 ppm para el oxígeno gaseoso.

- *Agua*

La presencia representa un problema por la posible obstrucción de las conducciones de oxígeno por partículas del agua congelada, ya que el oxígeno líquido se encuentra a menos 183 °C. El límite se sitúa en 7 ppm (5 mg de vapor de agua por m^3) para el LOX y de 14 ppm (10 mg de vapor de agua por m^3) para el oxígeno gaseoso.

Legislación

Los niveles máximos de los contaminantes se basan en el estudio de sus características físico-químicas y toxicidad. Las autoridades (sanitarias, industriales o militares) acotan el nivel máximo de cada contaminante teniendo en cuenta el uso al que se destina el oxígeno. Las autoridades sanitarias establecen las características del oxígeno, tanto en lo relativo a su composición (pureza, humedad y contaminantes) como en las técnicas empleadas en su determinación en la Farmacopeas²⁶ y las autoridades militares en el ámbito de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN o NATO), en forma de Acuerdos de Normalización o Standardization Agreement (STANAG), en este caso el STANAG 7106 «Características del oxígeno líquido respirable, de las presiones de suministro y de las mangueras»²⁷

y el STANAG 2558 «Estándares mínimos del oxígeno al 93% producido en operaciones»²⁸, ambos documentos recientemente ratificados por España²⁹. Los límites establecidos para cada tipo de oxígeno se recoge en la Tabla 2.

	Oxígeno líquido (LOX) ²⁷	Oxígeno gaseoso ²⁷	Oxígeno 93% ^{26,28}	Oxígeno Medicinal ²⁶
Pureza %	≥99,5	≥99,5	93+/-3	≥99,5
Metano. ppm (V)	25,0	50,0		
Etano y otros HC. ppm (V)	3,0	6,0		
Etileno. ppm (V)	0,2	0,4		
Acetileno. ppm (V)	0,05	0,1		
Anhídrido Carbónico. ppm (V)	5,0	10,0	300	300
Monóxido de Carbono ppm (V)	*	*	5	5
Óxido nitroso. ppm (V)	2,0	4,0		
Refrigerantes halogenados ppm (V).	1,0	2,0		
Disolventes halogenados ppm (V)	0,1	0,2		
Agua ppm (V)	7	14	67	67
Dióxido de azufre. ppm (V)			<1	
Mono y dióxido de nitrógeno. ppm(V)	*	*	2	
Aceite mg/m ³			0,1	
Otros contaminantes. ppm (V)	0,1	0,2		
Olor	Inodoro	Inodoro		

Tabla 2: Limite de los contaminantes según las distintas normativas. Aparecen sombreados los valores que según la legislación no es necesario determinar. Los parámetros marcados con asteriscos se engloban dentro del Apartado «Otros contaminantes».

A parte de la calidad del oxígeno en la aviación civil se establecen los niveles de oxígeno a través del Real Decreto 601/2016, de 2 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa y dice, lo siguiente:

7.4.2 Reserva de oxígeno. (Libro 7, Capítulo 4, Artículo 7).

7.4.2.1 No se iniciarán vuelos en aviones con cabina a presión a menos que lleven suficiente provisión de oxígeno respirable para suministrarlo a todos los miembros de la tripulación y a la proporción de los pasajeros que sea apropiada a las circunstancias del vuelo que se esté emprendiendo, en caso de bajar la presión durante todo período de tiempo en que la presión atmosférica en cualquier compartimiento por ellos ocupado, sea menos de 700 hPa (0,7 atm).

7.4.2.2 Las aeronaves de transporte con pasajeros a bordo, no iniciarán vuelos cuando se tenga que volar a altitudes en las que la presión atmosférica

rica en los compartimientos del personal (tripulación o pasaje) sea inferior a 700 hPa (0,7 atm), a menos que se lleve una provisión suficiente de oxígeno respirable para suministrarlo:

a) a todos los tripulantes y al 10 por ciento de los pasajeros durante todo el período de tiempo, que exceda de treinta minutos, en que la presión en los compartimientos que ocupan se mantengan entre 700 y 620 hPa (0,7-0,6 atm);

b) a la tripulación y a los pasajeros durante todo período de tiempo en que la presión atmosférica en los compartimientos ocupados por los mismos sea inferior a 620 hPa (0,6 atm).

Presentaciones del oxígeno aeronáutico

El oxígeno utilizado para respirar en la aviación, se emplea actualmente en diversas formas o presentaciones:

- Oxígeno gaseoso: Es el más ampliamente utilizado y conocido. Tiene como características que lo distinguen del oxígeno industrial o medicinal, su pureza casi absoluta mayor 99,5% y su bajos niveles de contaminantes. Se presenta en cilindros 150 psi (10,2 atmósferas o 10 bar o 7757,2 torr).
- Oxígeno líquido (LOX): Se almacena en recipientes metálicos de doble fondo llamados convertidores en donde se mantiene en estado líquido mediante una gran presión y una muy baja temperatura. Tiene en su interior una especie de serpentín a través del cual, mediante calentamiento, fluye el oxígeno convertido en gas. Tiene la ventaja de su poco peso y de ocupar poco espacio y proveer una reserva de oxígeno considerable (de un litro de LOX se obtienen 0,861 m³ de oxígeno gas a 21 °C y 1 atm). Dada su alta peligrosidad explosiva y requerir un equipo y personal altamente sofisticado y especializado para su manejo, no se emplea en la aviación comercial sino sólo en cierto tipo de aviones militares y en los vuelos espaciales.
- Oxígeno sólido: La generación química de oxígeno ofrece algunas ventajas sobre los sistemas de oxígeno gaseoso; el estar autocontenidos, su fácil almacenamiento, su regulación de flujo sencilla y una vida hasta de veinte años son algunas de sus ventajas. Una vez activado sin embargo, el generador continúa produciendo oxígeno hasta que el generador químico se agota. Actualmente las combinaciones químicas o los sistemas de oxígeno sólido están limitados para uso de emergencia para pasajeros tanto en aviones civiles como militares.
- Sistemas generadores de oxígeno a bordo: Una de las mayores desventajas de este sistema es la presencia de impurezas, ya que las unidades operacionales pueden solo proveer hasta un 95% de oxígeno con presencia de un 5% de argón; sin embargo, recientes desarrollos de laboratorio usando tamices de carbón molecular, en lugar de los zeolitas, producen oxígeno de una pureza superior al 99%. Estos sistemas se utilizan en la actualidad en la aviación militar.

Componentes del sistema de oxígeno

Los sistemas de oxígeno engloban a una serie de componentes que van a permitir un adecuado suministro del mismo. Todos los sistemas de oxígeno para respirar en la aviación, con diferentes variedades y tipos están compuestos por 5 elementos constantes:

1. Recipientes de almacenamiento: Cilindros de oxígeno gaseoso, convertidores de oxígeno líquido, bujías de oxígeno sólido y generadores de oxígeno.
2. Sistemas de conducción: Son los conductos o tuberías por las cuales circula el oxígeno del recipiente de almacenamiento hacia los reguladores, o de estos hacia las mascarillas de respiración; pueden ser de acero inoxidable, tuberías de cobre o de otro tipo de metales, de materiales plásticos o de polietileno como sucede en las aeronaves pequeñas.
3. Reguladores de oxígeno: Son los dispositivos mediante los cuales, como su nombre lo indica, regulan el flujo y la presión de oxígeno. Se conocen tres tipos:
 - De flujo continuo: Aquellos que proveen oxígeno tanto durante la fase inspiratoria como espiratoria de la respiración.
 - De dilución-demanda: Diluyen el oxígeno con aire ambiental hasta una determinada altitud; están provistos de una doble entrada, una de oxígeno y otra de aire regulada por un sistema de aneroides; están dotados de una válvula automezcladora con dos posiciones: normal y 100%. Cuando la válvula se coloca en posición normal, y la aeronave se encuentra a nivel del suelo, la entrada de oxígeno está totalmente cerrada y la válvula de aire totalmente abierta, es decir, el usuario respira aire atmosférico; a medida que la aeronave se eleva, los aneroides se van expandiendo bloqueando progresivamente la entrada de aire y abriendo en la misma forma la entrada de oxígeno hasta alcanzados los 39 M', en donde automáticamente se cierra la entrada de aire y se abre totalmente la de oxígeno para respirar este gas al 100%. Cuando la válvula auto mezcladora se coloca en la posición de 100%, se bloquea la entrada de aire y por consiguiente, se respirará oxígeno al 100% en cualquier altitud.
 - De presión-demanda: Funcionan de igual manera que los reguladores de dilución-demanda anteriormente mencionados hasta la altitud de 40 M' y por encima de esa altitud mediante un mecanismo que fuerza la mayor apertura de la válvula de oxígeno empiezan a proveer este gas a presión hasta un máximo de 30 mm Hg. El uso del sistema de respiración a presión tiene sus limitaciones debido a que: su uso es altamente fatigante, dado que invierte el ciclo respiratorio haciendo que la inhalación se vuelva pasiva y por el contrario la exhalación se vuelva activa. Otra desventaja es que aumenta la presión intra pulmonar por la sobre distensión forzada del parénquima del pulmón, provocando que la circulación de retorno se dificulte y se produzca un estancamiento de la sangre venosa en las porciones inferiores del cuerpo. Otra tercera desventaja, lo constituye la posibilidad de provocar

hiperventilación en los individuos no familiarizados con el uso de los sistemas de respiración a presión.

4. Indicadores: Estos son los dispositivos utilizados en los sistemas de oxígeno para indicar el contenido o la reserva de oxígeno en el sistema (manómetros) y por otra parte los indicadores de flujo que señalan al usuario que el oxígeno está fluyendo del regulador hacia la mascarilla.
5. Mascarillas: Son los dispositivos generalmente de tipo oronasal que adaptados a la cara del usuario sirven para que este reciba el flujo de oxígeno. Su forma, tamaño, características, materiales son sumamente variadas dependiendo del tipo de regulador con las cuales se esté utilizando esta mascarilla. Las de flujo continuo se identifican fácilmente por tener adaptada lo que se llama una bolsa de respiración, que sirve para almacenar el oxígeno que fluye hacia la mascarilla durante la fase espiratoria del ciclo respiratorio. Cada tipo de mascarilla tiene un límite de altitud para su uso con toda seguridad: las de flujo continuo se recomiendan hasta una altitud máxima de 25 M' y las de dilución-demanda hasta una altitud máxima de 35 M'; las de presión-demanda se usan para altitudes por encima de estas con toda eficiencia, sobre todo en la aviación militar, ya que este tipo de aviones y sus tripulantes están provistos con otros sistemas de apoyo como son la cabina presurizada y el traje a presión.

Ciclo del oxígeno

En este punto se centra en el oxígeno aeronáutico (líquido y gaseoso) empleado por Ejército del Aire Español. Este ciclo tiene varias etapas (Figura 11):

- Fabricación por parte de la empresa suministradora (excepto en Canarias).
- Control de Calidad del producto por parte del proveedor.
- Almacenamiento por parte del proveedor.
- Declaración de la necesidad: Unidad usuaria (de caza o transporte).
- Transporte del oxígeno desde las instalaciones de almacenamiento del proveedor a las instalaciones de almacenamiento del usuario.
- Almacenamiento: El mantenimiento de las instalaciones del almacenamiento del usuario son responsabilidad del proveedor.
- Control de Calidad del oxígeno suministrado de acuerdo a las especificaciones propias del Ejército del Aire que asume las directrices de la Organización del Tratado del Atlántico Norte a través de los STANAGs aplicables en este caso²⁷. La responsabilidad corresponde a los Centros de Farmacia del Ejército del Aire (Canarias, Madrid, Sevilla y Zaragoza). La toma de la muestra se realiza en unos tomadores por parte de la Sección de Combustibles en presencia de personal del Centro de Farmacia. Los tomadores son unos dispositivos que permiten tomar una muestra de LOX y posteriormente permite la gasificación del oxígeno que con el que se trabaja en el laboratorio de gases. En el caso del oxígeno gaseoso el análisis se lleva a cabo sobre la totalidad de las botellas suministradas.

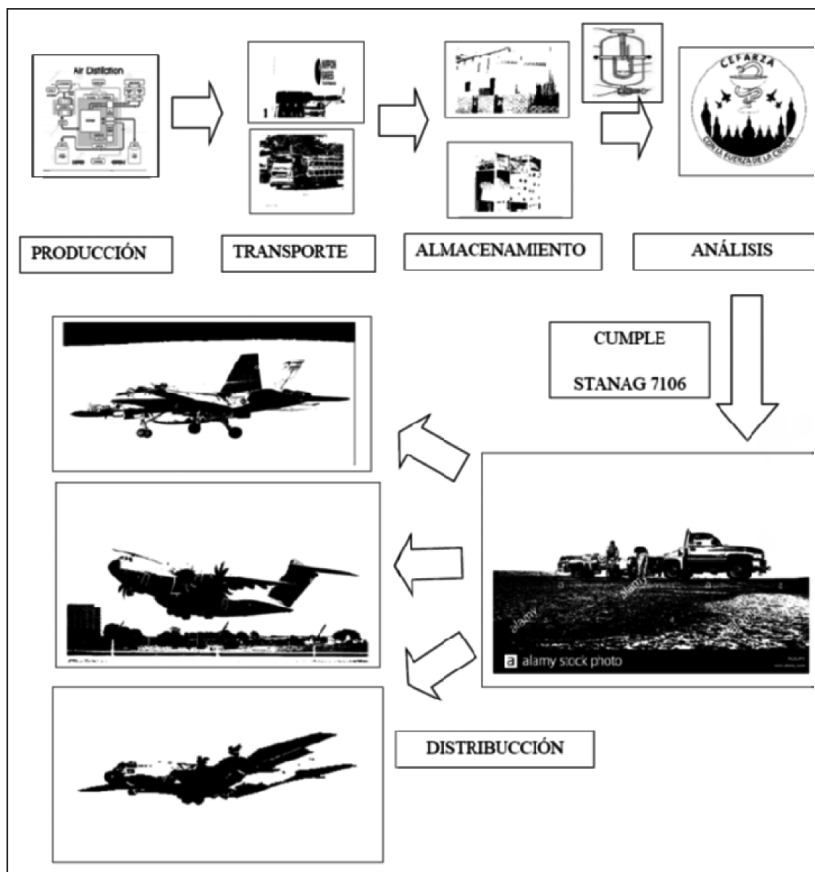


Figura 11: Ciclo del oxígeno.

- Distribución del oxígeno a las aeronaves, mediante dispositivos denominados carritos, llenado de convertidores (que permiten el transporte del LOX en las aeronaves y la gasificación del mismo para que pueda respirarlo el piloto). Esta fase es responsabilidad de la Sección de combustibles.
- Mantenimiento de carritos y convertidores empleados en el transporte y uso del LOX por parte de las secciones de mantenimiento de las unidades usuarias. Los Centros de Farmacia intervienen a petición de las mismas para verificar que las labores de mantenimiento de los mismos es adecuada.

Control de calidad del oxígeno aeronáutico

En el ciclo logístico del oxígeno ya se estableció que el responsable del control de calidad del oxígeno serán, en el caso del Ejército del Aire, los Centros de Farmacia que cuentan para ello con las instalaciones y equipos necesarios para esta función.

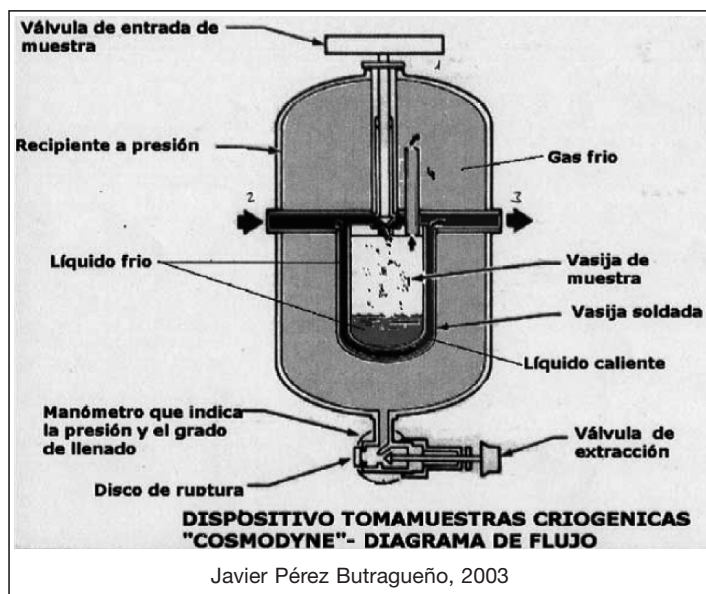


Figura 12: Tomador criogénico Cosmodyne.

Las técnicas analíticas a emplear no vienen definidas en el STANAG 7106 (3ª Ed versión)²⁷, sólo que deberán llevarse a cabo técnicas analíticas aprobadas y en laboratorios acreditados. En el STANAG 2558²⁸ (relativo al oxígeno al 93%) se establece que deberán usarse técnicas descritas en las farmacopeas nacionales especialmente en la Farmacopea Europea (Ph Eur) y en la Farmacopea Americana (USP). En el caso de España los Centros de Farmacia se acogen a las técnicas establecidas en Farmacopea Española para el Oxígeno Medicinal y el Oxígeno 93%²⁶.

Toma de la muestra

En el ciclo logístico del oxígeno ya se indicó que la responsabilidad de la toma de la muestra corresponde a la Sección de Combustible, debido a la peligrosidad que tiene trabajar con el LOX por sus características como excelente comburente, el riesgo de reaccionar con la grasa que puede llegar a provocar explosiones y debido a su baja temperatura. La toma de la muestra se lleva a cabo mediante los tomadores de oxígeno criogénico (Cosmodyne el modelo americano o el Mod AMP type 13250 modelo francés), el fundamento del proceso consiste en tomar una muestra líquida en el recipiente interior del sistema y, a continuación, permitir que se transforme al estado gaseoso, en el equilibrio con el recipiente externo del mismo. El modelo más empleado en nuestro entorno es el tomador criogénico Cosmodyne (Figura 12).

Tanto si la toma de la muestra se realiza desde el tanque criogénico, como desde el carrito, destinado al transporte desde el tanque a la aeronave, se hace necesario la purga previa a la transferencia que impida que las impurezas que



Figura 13: Laboratorio de oxígeno del Centro de Farmacia del Aire de Zaragoza (CEFARZA).

están a nivel ambiental interfieran en el análisis. Esto se verifica cuando a través de la manguera salga oxígeno en estado líquido.

A continuación, la tubería se debe conectar a la entrada del cosmodyne, tanto la entrada (inlet) como la salida (outlet) se encontraran abiertas, mientras que las válvula que conecta las cámaras internas y externa debe estar ahora cerrada. Se hace pasar una corriente de LOX por el interior hasta que se forme un halo de nieve, de 2 a 2,5 cm de diámetro, alrededor de la boca de salida (outlet). Este proceso dura de 2 a 3 minutos; durante en este tiempo se enfría la pared de la cámara interna de forma que pueda albergar en su interior LOX y de forma simultánea, se eliminan las impurezas que pudiese albergar el cosmodyne.

Posteriormente se abre la válvula de entrada de la muestra, durante cuatro minutos y se permite cargar la cámara interna a una presión de 400 psi, presión suficiente para realizar los análisis sin que rompa la válvula de seguridad (disco de ruptura).

Para terminar se cierra la válvula de salida del tanque o carrillo y la válvula de entrada de la muestra como la entrada al cosmodyne (inlet). Se purga la manguera de suministro de LOX para eliminar la sobrepresión (para poder desconectarla de cosmodyne) y se debe eliminar el exceso de presión de Tomador dejando unos segundos abierta la salida (outlet) cerrándola posteriormente.

Antes de realizar el análisis se debe esperar entre 30-45 minutos para que la muestra de LOX pase a gaseosa y pueda ser analizada.

El laboratorio de oxígeno

El laboratorio de oxígeno (Figura 13) está constituido por 3 componentes:

- Gases empleados en el análisis, ubicados fuera del espacio donde se realiza en análisis, son los siguientes:

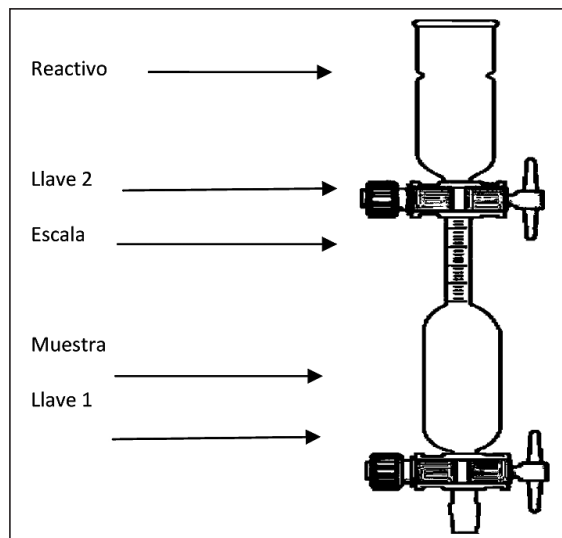


Figura 14: Bureta de Claude graduada.

- Nitrógeno de pureza 99,9995%
- Helio
- Aire comprimido
- Patrones de impurezas
- Patrón de humedad
- Instalación de tuberías y reguladores de flujo que permiten llevar la muestra y los distintos gases empleados en los equipos.
- Equipos: que permiten realizar cada una de las técnicas analíticas.

Debido a que en el laboratorio se emplean gases, las medidas de seguridad están relacionadas con la presión, el peligro de explosión (prohibido el uso de móviles, ausencia de cualquier tipo de grasa, cambio frecuente de ropa de trabajo), peligro de aplastamiento de miembros al movilizar botellas de gas de peso elevado, etc.

Técnicas analíticas

Pureza

La pureza del oxígeno aeronáutico según el STANAG 7106 debe ser al menos 99,5%. Existen dos técnicas para determinar la pureza.

Método químico:

Se basa en hacer reaccionar el oxígeno presente en la muestra con un reactivo capaz de capturar al oxígeno en el interior de la bureta de Claude graduada (Figura 14). En uno de los compartimentos de la bureta se captura el oxígeno (primero llave 1 y 2 abiertas se hace pasar el oxígeno, se cierra la llave 1 y poste-

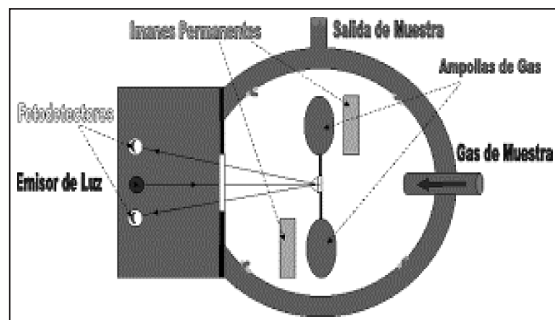


Figura 15: Esquema de un equipo paramagnético.

riormente la 2), posteriormente se llena el segundo compartimento con reactivo secuestrante del oxígeno [9 g Hidróxido potásico (KOH), 2 g Ditionito sódico (metabisulfito sódico o hidrosulfito sódico) ($S_2O_4Na_2$) y 50 mL en agua]. Cuando se hace pasar el reactivo (abriendo la llave 2) al compartimento del oxígeno, este se elimina quedando en la parte superior una burbuja de gas que se corresponde a las impurezas. Tras 10 minutos se procede a la lectura del nivel de solución que ha alcanzado el cuerpo de la bureta lo que expresa el porcentaje de oxígeno de la muestra. Es un método que requiere algo de destreza por parte del analista para recoger la muestra precisa, sigue siendo un método oficial aunque está en desuso con respecto al método físico.

- Método físico:

Se fundamenta en las características paramagnéticas del oxígeno (a diferencia de las características diamagnéticas del nitrógeno y otras sustancias gaseosas) siendo por ello ligeramente atraído por un campo magnético.

El equipo está constituido por una balanza de torsión con dos pequeñas esferas a los extremos, en cuyo interior se encuentra una pequeña cantidad de nitrógeno puro, que es sometido a la acción de un campo magnético externo (Figura 15).

Al hacer pasar un flujo de oxígeno a través de la balanza de torsión y, como consecuencia de que se produce una variación del campo magnético externo por el efecto paramagnético del oxígeno, varía también la posición de la balanza de torsión.

La corriente eléctrica que el instrumento debe aportar para restablecer la posición inicial de la balanza o la desviación de un haz de luz se encuentra relacionada con el porcentaje de oxígeno de la muestra que atraviesa el equipo de análisis.

Este equipo necesita ser calibrado en dos puntos empleando nitrógeno gaseoso de pureza 99,9995% (4X) para calibrar a punto cero y oxígeno gaseoso de pureza conocida y próxima al valor que se espera obtener en la muestra.

Humedad

Los higrómetros de óxido de aluminio o pentóxido de fósforo, se basan en que la constante dieléctrica varía con la humedad absorbida por óxido de aluminio o pentóxido de fósforo, la cual depende de la humedad que tiene el gas que la rodea.

En el caso de los higrómetros de óxido de aluminio, la calibración se realiza permitiendo el contacto del sensor con la atmósfera y considerando que la humedad ambiente es lo suficientemente elevada siempre como para saturar dicho sensor de modo que el valor de lectura sea el del valor más alto de la escala. La calibración en los equipos con pentóxido de fósforo no es necesaria. Es necesario un gas patrón de humedad conocida que permita validar la posterior medida de la muestra.

Impurezas (contaminantes)

Para la determinación de impurezas se emplean dos técnicas analíticas, una oficial (Farmacopeas) la espectroscopia Infrarroja y otra empleada para poder dilucidar incertidumbres en algún parámetro, la cromatografía de gases.

Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.

La absorción de radiación electromagnética por parte de una molécula incrementa su energía interna pero solo puede producirse para ciertos valores de energía permitidos o cuantificados (que corresponden a niveles o estados), es decir, ciertos materiales absorberán energía correspondiente a ciertas longitudes de onda y no otras, en función de su estructura molecular.

La absorción de radiación infrarroja por parte de una molécula se debe a que aquella produce cambios en los movimientos vibracionales (de elongación y tensión) o rotacionales de los enlaces de la misma. El espectro de absorción IR suele dar lugar a unas bandas estrechas, siendo la principal la vibracional y las secundarias, las rotacionales. El infrarrojo abarca una región de longitudes de onda entre $0,78 \cdot 10^{-4}$ a $1.000 \cdot 10^{-4}$ cm). La región de análisis del equipo para gases cubre una región de 4.000 a 400 cm^{-1} expresado en número de ondas (k) ($2,5 \cdot 10^{-4} - 0,25 \cdot 10^{-4}$ cm) que corresponde con el IR medio. Las dos regiones más importantes para un examen preliminar del espectro son: la región por encima de 1.300 cm^{-1} y la región de $909-650 \text{ cm}^{-1}$. La primera es la región del grupo funcional, donde aparecen bandas características y bien definidas de grupos funcionales de tipo OH, NH y C=O. Por otra parte, la región intermedia del espectro ($1.300-909 \text{ cm}^{-1}$) se denomina huella digital.

Se suele emplear más como unidad el n° de ondas (k) por su proporcionalidad directa con la frecuencia (f) y, por tanto, con la energía (E). A mayor k , mayor energía y frecuencia y menor longitud de onda.

$\text{Energía (E) [ergios]} = \text{constante de Planck (h) [erg seg]} * \text{frecuencia (f) [Hertz (Hz=}\text{s}^{-1}\text{)]}$ $\text{Longitud de onda (\lambda)} = \text{c (velocidad de la luz)} / \text{f (frecuencia)}$ $\text{Longitud de onda (\lambda)} = 1 / \text{número de ondas (k) (cm}^{-1}\text{)}$

Para que se produzca un cambio en el estado vibracional o rotacional de la molécula debe experimentar un cambio neto en su momento dipolar. Sólo en ese caso, el campo eléctrico de la radiación interacciona con el campo eléctrico alterno producido por el cambio de distribución de cargas eléctricas que acompaña a una vibración en la molécula y altera la amplitud de alguno de esos movimientos. Entonces, y si la frecuencia de la radiación iguala exactamente a la frecuencia de vibración

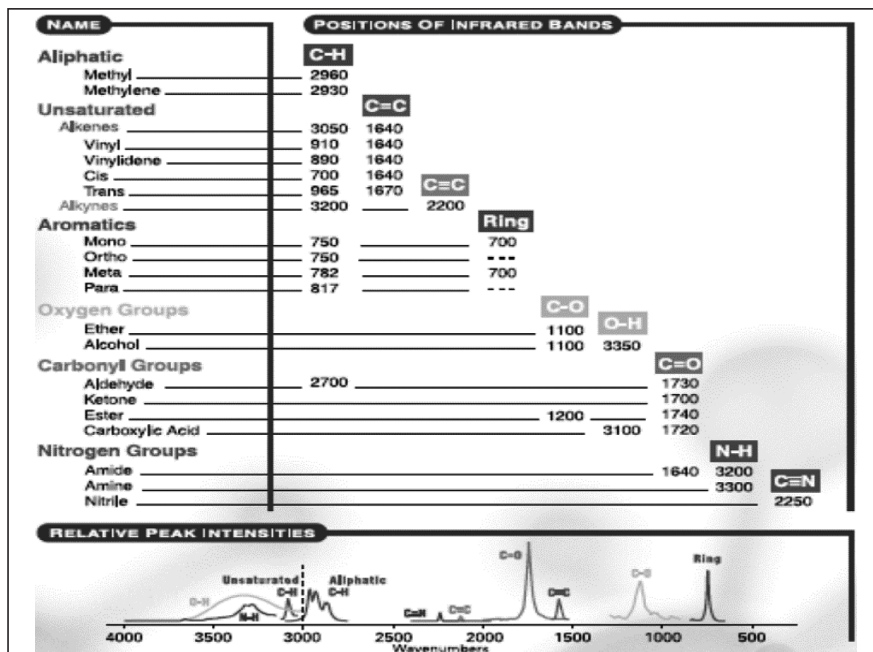


Figura 16: posición relativa de los grupos funcionales en IR³⁴.

natural de la molécula, se produce el fenómeno de absorción de la radiación. Esa absorción puede ser expresada como transmitancia (T) o absorbancia (A), ambas relacionadas, por las leyes de Lambert. La relación entre T y concentración corresponde a una curva mientras que entre A y concentración corresponde a una recta.

Hay que hacer unas consideraciones en cuanto a las bandas de absorción a la absorción:

- Existen distintos tipos de movimientos rotacionales y vibracionales (tensión y flexión: retorcimiento, cabeceo y torsión) por lo que es posible que, para cierto tipo de enlaces, exista posibilidad de absorción en el infrarrojo en más de una frecuencia (aparecerán bandas en distintas posiciones del espectro para un mismo tipo de enlace).
- En relación con el tipo de enlace: A mayor fuerza de enlace, mayor energía necesaria por lo que la banda dentro del espectro aparecerá más a la izquierda (mayor k). Aparecerán más a la izquierda los triples enlaces, luego los dobles y finalmente los simples.
- En relación con la masa del átomo participante en el enlace: A mayor masa, menor frecuencia y por ello menor energía (menor k). Aparecerán más a la izquierda los átomos de menor masa.
- La posición de las bandas dentro del espectro depende de esos dos hechos íntimamente relacionados con la estructura molecular y con los grupos funcionales que las componen (Figura 16).

Hay una serie de consideraciones a tener en cuenta:

- Los metales no absorben en el IR y se comportan como espejos empleándose como tales en FTIR (aluminio)
- Los iones no se ven y se comportan como ventanas empleándose como cubetas en FTIR (cubetas de KBr para el análisis de sólidos).
- Los gases nobles no absorben en IR.
- Las moléculas diatómicas no son visibles en IR (O_2 , N_2 , H_2 , Cl_2). El nitrógeno se emplea para obtener el fondo y para limpiar el equipo.
- Sí se ven aquellas moléculas cuando existe cambio del momento dipolar bien en sentido, dirección y/o intensidad. Todos los contaminantes a determinar en el oxígeno aeronáutico presentan cambio en su momento dipolar cuando interaccionan con el IR
- Todas las moléculas incluso las pequeñas puedan dar lugar a espectros complejos.
- Se aprovecha la identificación de un compuesto por las bandas características que originan algunos de sus enlaces siendo improbable que dos compuestos distintos obtengan el mismo espectro (excepto los enantiómeros ópticos).
- Aparecen conjuntos de bandas debido a las generadas por los cambios vibracionales (banda principal) y rotacionales (laterales).
- También aparecen nuevas bandas en algunos casos debido a interacciones en la vibración de ciertos enlaces.
- Hay que destacar la presencia de bandas para el agua (H_2O) a 3.700-3.600 y 1.600 cm^{-1} y presencia de bandas para el dióxido de carbono (CO_2) a 2.350 y 666 cm^{-1} .

El equipo de FTIR está formado por los siguientes componentes: una bancada óptica (compuesta, a su vez, por: fuente IR, Interferómetro, detector y un laser) y un ordenador. La bancada óptica (Optical bench) mide la intensidad de la señal IR codificada (por el interferómetro) tras pasar a través de la muestra.

La bancada óptica está compuesta por los siguientes componentes (Figura 17):

- Fuente IR: corresponde una lámpara de cerámica incandescente.
- Interferómetro: constituido por un juego de una lente divisor de haz compuesto por película de germanio (beamsplitter), un espejo fijo y un espejo móvil. Por acción combinada del divisor, el movimiento de la lente móvil (cada movimiento del espejo dura un 1 segundo y se denomina SCAM) y el espejo fijo, se van a generar una serie de interferencias constructivas y destructivas cuyo resultado es haz recombinado para cada una de las frecuencias.
- Detector: tipo piro eléctrico (DGTS), sulfato de triglicina deuterado. El haz combinado llega al detector, cada vez que la intensidad es medida por el detector, la diferencia entre la longitud de paso óptico (desfase) de los haces individuales es calculada (posición del espejo móvil), empleándose dicha información para obtener una señal codificada: Interferograma, que contiene información sobre la suma de la intensidad de cada una de las

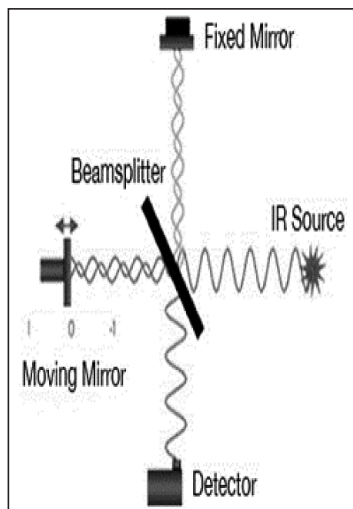


Figura 17: Esquema de la Bancada óptica.

frecuencias que componen el haz original de la radiación IR que llega al detector (expresada en voltios, en eje y de ordenadas), para cada posición del recorrido del espejo móvil.

- Láser He-Ne: Se utiliza además un láser de He-Ne, cuyo haz monocromático sigue la misma trayectoria que la de la radiación IR y se emplea como calibrador interno y que determina exactamente la posición del espejo móvil en todo momento.
- El Ordenador lee el interferograma usando la Transformada de Fourier para decodificar la información sobre intensidad que contiene para cada frecuencia y presentar un espectro.

Para poder llevar a cabo el procedimiento requiere además de muestra, un patrón multicomponente para la validación de la técnica, patrones para la realización del método y nitrógeno alta pureza 4X para obtener el fondo y mantener la bancada óptica libre de CO₂ durante el procedimiento.

El funcionamiento puede ser desglosado en 3 pasos:

1. Obtención de un Fondo (Background): mediante la presencia en la celda de la bancada óptica de un gas inerte como el N₂ 4X. Este paso permite determinar el ruido de fondo del equipo de forma que se pueda eliminar este a la hora de obtener el espectro de la muestra, pero hay que tener en cuenta que hacer un fondo no es hacer un blanco, no se resta el valor obtenido al valor posterior de la muestra, es un proceso más complejo
2. Patrón/muestra

De modo similar, se obtiene un segundo interferograma para la patrón/muestra, situando la misma en la trayectoria de la IR codificada (recombinada tras abandonar el interferómetro).

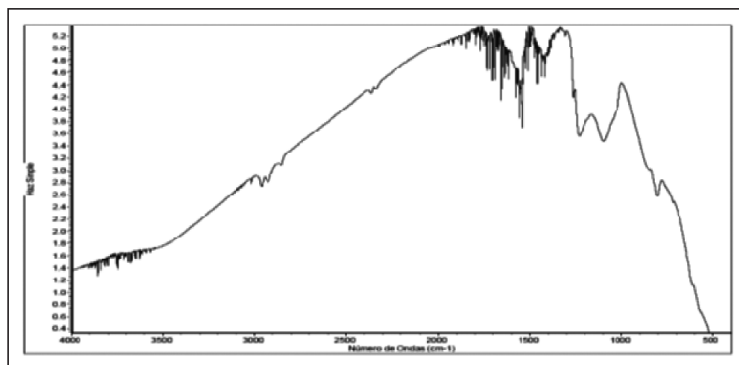


Figura 18: Fondo.

Así, parte de la IR será absorbida por la patrón/muestra (parte de las frecuencias que contiene) y será una radiación IR menor la que llegue al detector.

3. Transformada de Fourier

El siguiente paso corresponde a la función que realiza el ordenador en la decodificación de los datos.

El ordenador decodifica los datos que contiene el interferograma para obtener una curva de energía que muestra la intensidad de IR que alcanza al detector (expresado en emisividad) para cada frecuencia (expresado en n° de ondas).

Para ello emplea la Transformada de Fourier que permite decodificar los datos del interferograma (recordemos, gráfica de intensidad de IR que alcanza al detector frente a posición espejo móvil) y proporcionar una curva de energía que contiene datos referentes a la intensidad de la radiación para cada frecuencia (expresado como número de onda) que alcanza al detector durante el «scan».

El procesamiento informático del primer interferograma dará lugar a lo que se denomina Fondo (Background), y corresponde a las señales medidas a causa del paso de energía a través de los componentes de la bancada sin presencia de muestra.

La gráfica que se genera de este Background (expresado como emisividad en el eje de ordenadas frente a número de ondas en el eje de abscisas) debería corresponder a una curva de tipo gaussiano (como la que genera inicialmente la lámpara de cerámica), pero con la presencia de ciertas bandas indicativas de presencia de impurezas (que deben reducirse al mínimo posible) o interacciones con los componentes de la bancada no eliminables (Figura 18).

Este proceso de cálculo se realiza tanto para el interferograma del background como para el segundo interferograma (Figura 19) de la patrón/muestra. A continuación, el ordenador divide ambas curvas de energía obteniendo como resultado un espectro de transmisión que muestra el cambio de intensidad para cada frecuencia (% transmitancia frente a n° de ondas). Los valles de este espectro corresponden a una disminución en el 100% (o máximo) de transmitancia como consecuencia de la absorción IR por parte de la muestra en ciertas frecuencias.

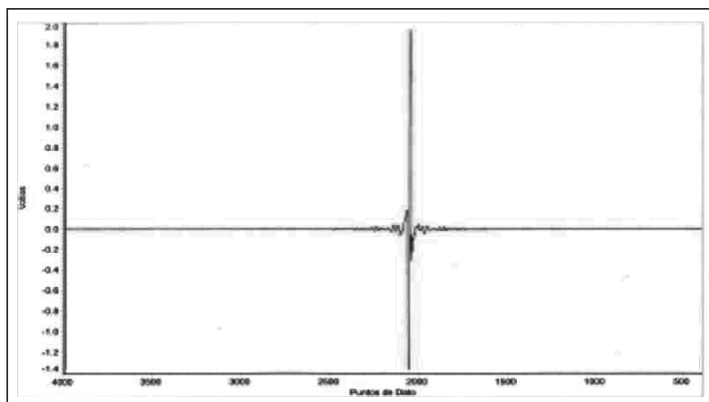


Figura 19: Interferograma del Patrón.

El espectro anterior también puede expresarse como espectro de absorción mostrando la relación de Absorbancia frente a número de ondas donde los picos corresponden a la absorción IR por parte de la muestra. La absorbancia presenta una relación lineal con la concentración (Figura 20, Figura 21).

La resolución, o la capacidad de diferenciación de dos frecuencias próximas entre sí, se pueden aumentar de dos modos:

- Aumentando el recorrido del espejo móvil (paso óptico) (destaca de esta manera las diferencias en las interferencias que generan dos frecuencias próximas entre sí y facilita que sean resueltas por la Transformada de Fourier). La resolución corresponde a la inversa de la máxima diferencia de paso óptico (Ejemplo: $\text{resolución} = 1 / 0.25 \text{ cm} = 4 \text{ cm}^{-1}$). incrementando el número de puntos de datos leído. Un valor de resolución de 2 cm^{-1} es mayor que uno de 4 cm^{-1} , sin embargo, también ofrece menor relación señal / ruido. Así, un espectro obtenido con resolución 4 cm^{-1} es la mitad de ruidoso que uno obtenido con resolución de 2 cm^{-1} .

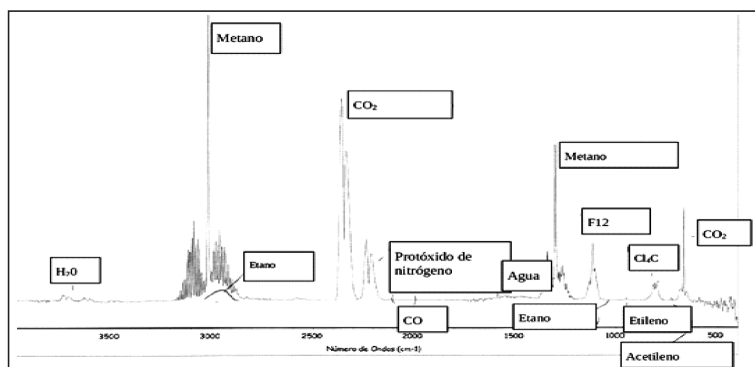


Figura 20: Espectro del Patrón.

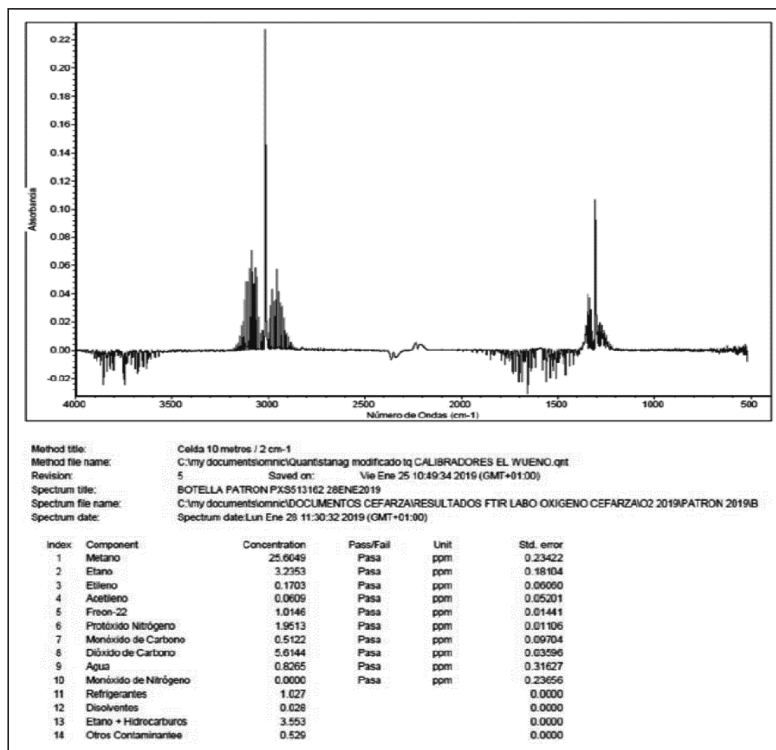


Figura 21: Espectro de una muestra cuantificado.

4. Cuantificación de la relación patrón/muestra.

Mediante un método de cuantificación (adecuado a las condiciones de trabajo) y la ayuda de un programa informático.

Cromatografía de gases (CG).

El fundamento de la técnica de cromatografía de gases se basa en la distinta movilidad de los componentes de una mezcla (en estado gaseosa) en una columna, donde existe una fase estacionaria (sólida), por donde fluye junto a la fase móvil en estado gaseoso. La fase estacionaria (sólida) que se encuentra en las paredes a través de un proceso de adsorción con los componentes muestra, produce unos tiempos de retención característicos para cada componente en función de las condiciones. Por lo tanto el resultado de la CG dependerá del compuesto (peso molecular, tamaño, etc.), naturaleza de la fase estacionaria y la fase móvil, condiciones de desarrollo del proceso (temperatura, presión y tiempo de desarrollo.)

Los componentes de cromatógrafo de gases de forma esquemática son los siguientes (Figura 22).

- Fase móvil: gas portador, Helio, que fluye a lo largo de toda columna impulsando a la muestra.

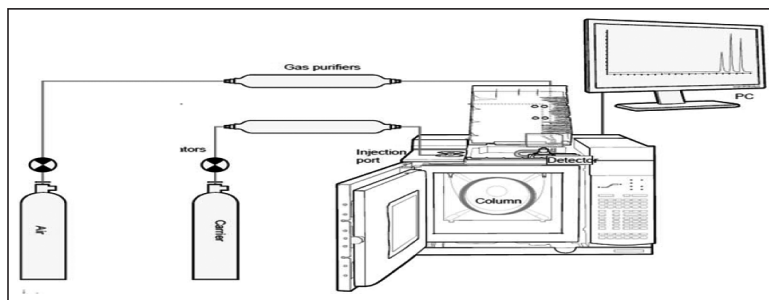


Figura 22: Cromatógrafo de gases.

- Purificador de Helio.
- Inyector que permite la introducción de la muestra en la columna.
- Válvulas que abren o cierran el paso.
- Columna en cuyas paredes se encuentra la fase estacionaria que permite la separación de los componentes de la muestra. En el caso del Centro de Farmacia de Zaragoza, está constituido por dos columnas unidas de 0.53mm dispuestas en serie que actúan como una única: PORAPLOT U (HP-PLOT/U p/n 19095P-U04) que separa acetileno (C_2H_6) y etileno (C_2H_4) y PORABOND Q (p/n CP7354PT) que separa CO_2 y N_2O ; y tamiz molecular MOL-SIEVE 5A (p/n CP7538PT) que separa metano (CH_4), CO y aire que se conecta o desconecta del conjunto para separar y aislar dichos componentes.
- Horno: que permite mantener o modificar la temperatura.
- Detector: de ionización de llama. Se puede sustituir por espectrómetro de masas.
- Programas informáticos y Ordenador: que convierten la señal del detector en un cromatograma (Figura 23 y Figura 24) que permite la identificación y la cuantificación de los componentes de una muestra.
- Patrón o patrones que nos permitan establecer un método, construido por los gases que pretenden identificar y/o cuantificar.
- Aire comprimido que permite el movimiento de las distintas válvulas

Como se comentó anteriormente la técnica oficial es la FTIR, empleándose la CG como técnica para solventar dudas analíticas en algún parámetro, especialmente en el caso del dióxido de carbono que el FTIR da concentraciones anormalmente altas.

Resultados del laboratorio

Los resultados de los laboratorios de gases del Ejército del Aire pueden ser únicamente dos:

- Cumple el STANAG 7106: el oxígeno es apto para su empleo, todos los parámetros analizados cumplen lo establecido en esta norma.

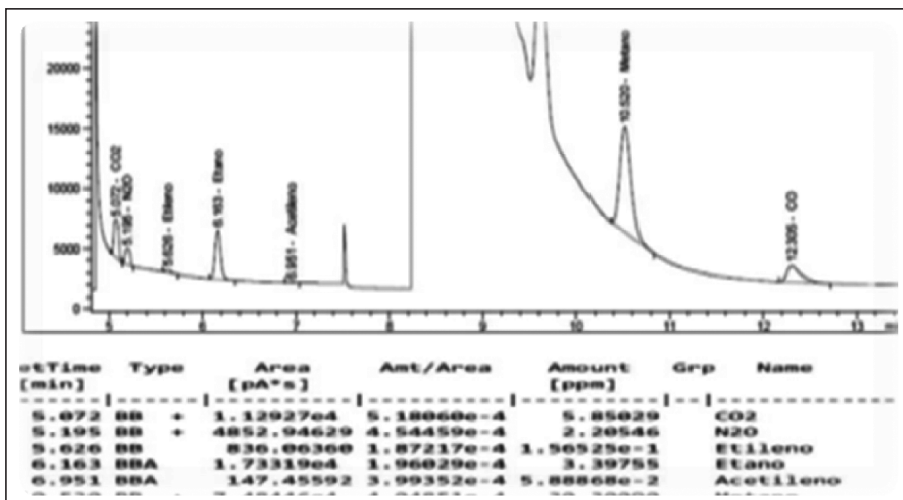


Figura 23: Cromatograma de mezcla patrón empleada en el CEFARZA.

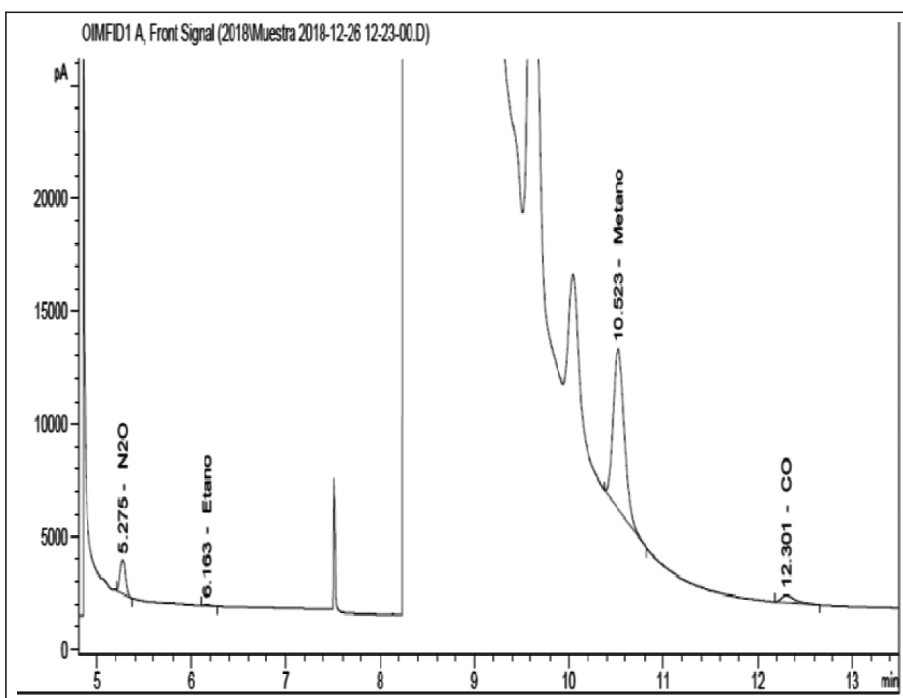


Figura 24: Cromatograma muestra.

- No cumple el STANAG 7106: el oxígeno analizado no puede ser utilizado como oxígeno respirable. Uno o más de los parámetros analizados no cumplen lo establecido en el STANAG 7106.

El rechazo puede afectar únicamente a una botella de gas comprimido o a un tanque de LOX lo que tiene un gran impacto económico.

CONSIDERACIÓN FINAL

He intentado mostrar a lo largo de esta exposición la trascendencia del oxígeno aeronáutico el control de calidad del mismo en el ámbito del Ejército del Aire. Pero cabe hacerse algunas preguntas: ¿Qué hacen estos farmacéuticos controlando a una industria tan solvente? y ¿Se han planteado el coste de estos controles? Sin duda cualquier persona con un espíritu crítico se plantea estas preguntas cuando entra en contacto por primera vez con esta realidad. Intentaré aportar algo de luz a estas dudas.

En primer lugar para la empresa suministradora no le supone un inconveniente que se realice un control externo a coste cero, que normalmente detecta problemas de mantenimiento de sus depósitos instalados fuera de sus instalaciones. Adicionalmente se pueden llevar a cabo controles a empresas fuera de Territorio Nacional con una solvencia no tan contrastada en el ámbito de la calidad.

En segundo lugar, el Ejército del Aire dispone de un laboratorio propio con disponibilidad total que le permitirá verificar que las tareas de mantenimiento dentro del ciclo del oxígeno de su responsabilidad (carritos, convertidores) se llevan de forma adecuada.

En tercer lugar y último, el coste de estos laboratorios, incluido equipos, controles, patrones y mantenimiento es elevado, pero como todo en la vida es relativo. En el ámbito que desarrollan su actividad estos laboratorios, hay que tener en cuenta que se debe eliminar como causa de un posible accidente o incidente el oxígeno respirable. Los accidentes con aeronaves pueden tener como consecuencia la pérdida de personas y equipos y esto genera una serie de impactos negativos:

- Impacto económico derivados de las pérdidas de pilotos, con elevados costes de formación y de aeronaves. Hay que tener en cuenta que un avión de transporte como el Airbus 400, tiene un coste superior a 200 millones de euros o un avión de caza, como el F-18, tiene un valor superior a 50 millones de euros.
- Impacto operativo, dado que ambos recursos son muy escasos y por lo tanto críticos.
- Impacto en el prestigio de las Fuerzas Armadas: sin duda los incidentes no son positivos para el prestigio interno como internacional de las mismas.

Espero que una vez expuestas estas razones, las dudas hayan quedado disipadas sobre el papel de los farmacéuticos y de los laboratorios que dirigen en el aseguramiento de la calidad del oxígeno respirable en las aeronaves del Ejército del Aire.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gómez Rodríguez, L.; Navarro Gallo, J.A. (1996), La Farmacia Militar. Pasado, Presente y Futuro. Madrid, España. Parque Central de Farmacia Militar, Editorial Olalla.
2. Mayo Martínez, Juan Carlos. Evaluación del Impacto del Programa de Optimización de Uso de Antimicrobianos en un Hospital de Tercer Nivel. Directoras de Tesis: Dra. Nuria Berenguer Torrijo y Dra. Loreto Sáez-Benito Suescun. Universidad San Jorge Villanueva de Gallego. Facultad de Ciencias de la Salud. 2016.
3. Lareo Cortizo, J. (coord.) (2001), Medicina aeronáutica. Conceptos generales; versión electrónica: http://www.semae.es/?page_id=4705 [11/07/2019].
4. Organización de Aviación Civil Internacional (2014). Manual de Medicina Aeronáutica Civil; versión electrónica: https://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_es.pdf. [14/07/2019].
5. International Air Transport Association. Medical Manual 11th Edition (2018). Versión electrónica: <https://www.iata.org/publications/Documents/medical-manual.pdf>. [14/07/2019].
6. Sauter SL, Hurrell Jr JJ, Murphy LR, Levi L. Presión Barométrica Reducción. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid. Ministerio de Trabajo e Inmigración. 2001. Pag 37 1-16.
7. Granda Orive JI (Octubre-2016). Fisiología de la respiración. Insuficiencia respiratoria. Oxígeno en Ambiente Hipo e Hiperbárico. [diapositivas en PowerPoint]. Curso de Calidad de Oxígeno Respirable en Aeronaves y Hospitales. Escuela Militar de Sanidad. Ministerio de Defensa. España.
8. Fuerza G (II). 19-diciembre-2015 Avión&Piloto. Disponible en: <http://avionypiloto.es/secciones/escuela/fuerza-g-ii/>. [17-09-2019]
9. Amescua L. Médica aeronáutica para el médico de familia. Ambiente atmosférico y de cabina. Sociedad Española de medicina Aeroespacial.
10. Máxima Uriarte J. «Oxígeno». Para Características.co. Disponible en; <https://www.caracteristicas.co/oxigeno/> [26/7/2019].
11. Gas Encyclopedia Air Liquide. Air Liquide. Disponible en: <https://enciclopedia.airliquide.com/> [26/07/2019].

12. Robert C Brasted. «Oxygen (chemical element)» (9/07/2019). The Enciclopedia Britannica. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/oxygen>. [27/07/2019].
13. Cerrada Martínez, P. (2017). Diseño y análisis de una planta de separación de aire. Disponible en: http://oa.upm.es/48874/1/TFG_PABLO_CERRADA_MARTINEZ.pdf [12-08-2019].
14. Manual de Tecnología. Air Liquide. Disponible en: https://www.engineering-airliquide.com/sites/activity_eandc/files/2018/09/11/air-liquide-e-c-techbook-es.pdf. [12-08-2019].
15. Gaskue I. Producción de Oxígeno y Nitrógeno. Procedimiento Linde. Diciembre 2.012. Disponible en: <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/307-produccion-de-oxigeno-y-nitrogeno-proceso-linde>. [12-08-201].
16. Fernández Garrido AJ, Tecnologías de separación del aire. Enero 2014. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/343-tecnologias-de-separacion-del-aire>. [14-01-2020]
17. Tecnología de adsorción. GrasyS JSC. Moscú. Disponible en: <https://www.grasy.com/es/technologies/adsorption/> [13-08-2019].
18. Chexmin Tamiz molecular de Carbono. Diciembre 2.017. Guangzhou Chemxin Material Ambiental Co., Ltd. Disponible en: <http://www.chemxin-es.com/news/chemxin-carbon-molecular-sieve-10984531.html> [12-12-2019].
19. Norma ISO 2046:1973. Gaseous Breathing oxygen supplies for Aircraft. Madrid: AENOR, 1973.
20. Norma UNE 28575:1986. Suministro de oxígeno respirable para aeronaves. Madrid: AENOR, 1986.
21. Sheinson RS, Williams Fw. Aviator's Breathing Oxygen Purity. Chemical Dynamics Bruch. Chemical Division. Naval Reserch Laboratory. Washington DC.1976.
22. Brown EC. U.S. Air Force School of Aerospace Medicine Laboratory Sampling and Analysis Guide. Air Force Research Laboratory School of Aerospace Medicine Occupational & Environmental Health Dept. November 2016.
23. López Colon JL. Importancia Toxicológica de las Sustancias Contaminantes de Oxígeno. Curso de Control de Calidad del Oxígeno Respirable en Aeronaves y Hospitales. Octubre 2016. Escuela Militar de Sanidad. Ministerio de Defensa España.
24. Olson RM, Richardson D. Aviator's Breathing Oxygen Specifications. Aerospace Medicine Division USAF of Aerospace Medicine. Texas 1976.
25. Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2019. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. Gobierno de España. Disponible en <https://www.insst.es/documents/94886/188493/L%C3%ADmites+de+exposici%C3%B3n+profesional+para+agentes+qu%C3%ADmicos+2019/7b0b9079-d6b5-4a66-9fac-5ebf4e4d83d1?version=1.0> [13-09-2019].
26. Real Farmacopea Española 5ª ed. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, 2015. Disponible en: www.biblioteca.ucm.es [16-08-2019].

27. Nato Standardization Office. Characteristics of gaseous breathing oxygen, liquid breathing oxygen and supply pressures, hoses and replenishment couplings. NATO STANAG 7106. Edición A versión 1. 2015. Ratificado 10-07-2019.
28. Nato Standardization Office. Minimum standards for oxygen 93 percent produced on operations. NATO STANAG 2558 Allied Medical Publication. AmedP-8.17. Edición A versión 1. 2017. Ratificado 23-06-2019.
29. STANAG implantados en España. Actualizado a 1 de Noviembre 2.019. Ministerio de Defensa. Gobierno de España. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/portalservicios/normalizacion/ST-NORM-stanag-implantados.pdf>. [06-11-2019].
30. Real Decreto 601/2016, de 2 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa. Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales «BOE» núm. 292, de 3 de diciembre de 2016. Referencia: BOE-A-2016-11481.
31. Tabla de equivalencias pesos-volumen de gases. Gryogas SL. Disponible en: <http://www.criogas.com.mx/pdf/tabla-de-equivalencias-peso-volumen-gas.pdf> [08-08-2019].
32. Protocolos Normalizados de Trabajo Laboratorio de Oxígeno. Centro de Farmacia del Aire de Zaragoza 2019. Ministerio de Defensa España.
33. Normas Militares Españolas de materiales aprobadas (1-09-2019). Ministerio de Defensa España. Gobierno de España Disponible en: <http://www.defensa.gob.es/Galerias/portalservicios/normalizacion/ST-NORM-nme-aprobadas.pdf> [03-09-2019].
34. Romero. Dos métodos exclusivos para medir el oxígeno cada uno con sus pros y sus contras. La web de los instrumentistas. Disponible en: <http://instrumentacion.webcindario.com/Oxigeno.htm#Deflexion> [1-09-2019]
35. Grafica de grupos funcionales de compuestos orgánicos Termofisher Scientific. Disponible en: <https://www.thermofisher.com/es/es/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-basics.html> [04/09/2019].

Discurso de Contestación

Excmo. Sr. D. Santiago Andrés Magallón

Académico de número y presidente de la Academia

Excmas. Autoridades,
Excmas. e Ilmas. Señoras y Señores Académicos,
Señoras y Señores:

De nuevo me cumple atender gustosamente a la invitación para tomar la palabra en el solemne acto de entrada de un nuevo académico que realza la ya importante lista de ilustres farmacéuticos que componen esta cada vez más influente Academia de Farmacia «Reino de Aragón».

En este caso particular me corresponde realizar la contestación al excelente discurso del ya Ilmo. Sr. D. Juan Carlos Mayo Martínez, que próximamente recibirá el nombramiento de Coronel del Cuerpo Militar de Sanidad.

Nacido en El Provencio, provincia de Cuenca, el 17 de marzo de 1966. Es el segundo municipio más meridional de la provincia de Cuenca, después de San Clemente, situado en la comarca natural de la Mancha conquense, y limita con la provincia de Albacete y está muy cerca de la de Ciudad Real. Ha sido nombrado en ocasiones como el pueblo más bonito de Cuenca. En él vivió hasta los ocho años, hasta que se trasladó a Madrid y allí estudió EGB, BUP y COU en el Instituto Calderón de la Barca.

En 1986 inicia la carrera de Farmacia en Madrid y la concluye brillantemente en el mes de junio de 1991, obteniendo la Licenciatura de Farmacia por la Universidad Complutense de Madrid.

Enseguida se prepara las oposiciones para el ingreso en el Ejército como farmacéutico militar, objetivo que consigue y en 1992 ingresa por oposición en el Cuerpo Militar de Sanidad (CMS), Especialidad Fundamental Farmacia. Su primer destino es el Hospital Naval de Cartagena donde es nombrado Oficial de Cargo de la Zona Marítima del Mediterráneo, nombramiento que ocupó desde mediados de 1993 hasta casi finales de 1994. Pasó posteriormente a Ceuta como Oficial Farmacéutico de la Unidad de Apoyo Sanitario, XI/23.

En el primer trimestre de 1996 inicia su formación sanitaria especializada en Farmacia Hospitalaria en el Hospital Militar de Madrid, Gómez Ulla, terminándola con gran aprovechamiento en el año 1999, fecha en la que consiguió la especialidad de Farmacia Hospitalaria.

Ese mismo año de 1999 fue destinado como Adjunto al Servicio Farmacia del Hospital de la Defensa de Zaragoza, donde ha desarrollado la mayor parte de su

trayectoria profesional hasta el año 2017, trabajando conjuntamente con su mujer en lo que ha sido una de las épocas más brillantes de la carrera de ambos.

En estos casi veinte años ha desarrollado distintas labores de farmacéutico en los destinos que le han correspondido en su carrera militar. Así fue entre 1999 y 2000 Jefe del Equipo de Farmacia del Escalón Médico Avanzado Terrestre en Kosovo. Fue nombrado en 2002 Oficial Farmacéutico de la Sección Asistencia Sanitaria Cuartel General del MALOG-OP (Mando de Apoyo Logístico a las Operaciones de la Fuerza de Maniobra). Dicho puesto lo desarrolló durante seis meses. En la actualidad estas fuerzas se encuentran desplegadas en Mostar (Bosnia Herzegovina), Istok (Kosovo), Herat (Afganistán) y Marjayoun (Líbano). En el año 2006 fue Jefe del Equipo de Farmacia, dentro del Elemento de Apoyo Logístico en Bosnia. Dentro de las funciones de apoyo a los destacamentos de las Fuerzas Armadas Españolas destacadas en distintos países extranjeros por mandato de organismos internacionales, en 2017 fue destacado en la Unidad Logística en Irak como Jefe Equipo de Farmacia. En abril de 2019 fue enviado a Libreville (Gabón) para desempeñar funciones propias de Inspección en el Destacamento Mamba, del Ejército del Aire.

Ha desempeñado temporalmente funciones de Jefe de Servicio de Farmacia el Hospital MAZ de Zaragoza en sustituciones de verano durante dos años consecutivos. También, en comisión de servicio en el año 2011, fue Jefe de Servicio de Farmacia en Hospital Naval de San Fernando en Cádiz.

En 2017 fue nombrado Teniente Coronel Farmacéutico, Jefe del Centro de Farmacia de Zaragoza (*CEFARZA*). En la actualidad, está a punto de ser ascendido al empleo de Coronel del Cuerpo Militar de Sanidad, por su gran carrera profesional, ya que es un puesto al que se llega por elección.

Los méritos y condecoraciones militares concedidas a Juan Carlos Mayo son los siguientes:

- Cruz al mérito aeronáutico.
- Cruz y Placa de San Hermenegildo.
- Medalla y Distintivo ALTHEA (misión Bosnia).
- Medalla y Distintivo KFOR (misión Kosovo).
- Distintivo OMP (misión IRAK).

En el año 2016 consigue el Doctorado en Ciencias de la Salud por la Universidad San Jorge de Zaragoza. El título de la tesis es «**Evaluación del impacto del Programa de Optimización de Uso de Antimicrobianos en un hospital de tercer nivel**». El trabajo lo realizó bajo la dirección de la Dra. Nuria Berenger Torrijo, obteniendo la calificación de sobresaliente cum laude.

Ha presentado casi una decena de trabajos a congresos y revistas relacionados con la farmacia. También ha realizado cerca de treinta cursos de actualización y perfeccionamiento en aspectos vinculados con su desarrollo profesional.

Al año siguiente de su ingreso en la carrera militar, en 1993, contrae matrimonio con Nieves Nieto Rodríguez, también farmacéutica del Cuerpo Militar de Sanidad, en la actualidad es la Jefa del Servicio de Farmacia del Hospital General

de la Defensa en Zaragoza. Tienen un hijo y una hija nacidos en Madrid pero aragoneses de adopción. A ambos Juan Carlos Mayo les ha inculcado su afición por el deporte.

En efecto una de las grandes pasiones del nuevo académico, además de su familia y de su carrera profesional, ha sido el atletismo donde se inició como velocista y se transformó con los años a maratoniano, consiguiendo en París su mejor marca de 2 horas 31 minutos. Pasión que ha transmitido a sus hijos, a los que ha dedicado todo su tiempo, de lo cual se siente orgulloso y por ello sus logros los asume como propios, ya que los dos hijos son punteros en el atletismo Aragonés tanto a nivel nacional como internacional. Carlos, recién graduado en Medicina y estrella de fondo júnior y sub-23, con sus ilusiones puestas en las Olimpiadas de Tokio 2020. Nieves Mayo Nieto, graduada en Magisterio Infantil, ha sido bronce del campeonato Nacional juvenil de 400 lisos y sigue cosechando éxitos en 200 y 400 metros.

La conferencia que ha desarrollado la ha centrado en el «oxígeno aeronáutico». En este punto hay que recordar que una de las funciones que desarrollan los farmacéuticos, en especial los hospitalarios, es el control en todos los aspectos de los gases medicinales, al ser considerados a todos los efectos como medicamentos. Teniendo en cuenta la importancia y las características especiales que debe tener el oxígeno para uso aeronáutico la conferencia ha desgornado las aportaciones que los farmacéuticos hacen al control, la seguridad y la disponibilidad de este gas cuyo uso es imprescindible en la aviación en general y en la aviación militar en particular.

Permítanme cerrar esta contestación que sirve de presentación al nuevo Académico Numerario con el convencimiento de que la Academia de Farmacia «Reino de Aragón» puede sentirse orgullosa de la incorporación del Coronel Dr. Mayo Martínez. Juan Carlos, bienvenido y felicidades tanto para ti como para la corporación que presido.

Edición patrocinada por:



Colegio
Oficial
Farmacéuticos
Zaragoza