

90

Director del capítulo
Buck Cameron

Sumario

La industria aeroespacial <i>Buck Cameron</i>	90.2
Seguridad y ergonomía en la construcción aeronáutica <i>Douglas F. Briggs</i>	90.4
Protección contra las caídas en la construcción y el mantenimiento de los aviones comerciales <i>Robert W. Hites</i>	90.6
Construcción de motores de aviación <i>John B. Feldman</i>	90.9
Controles y efectos sobre la salud <i>Denis Bourcier</i>	90.11
Cuestiones ambientales y de salud pública <i>Steve Mason</i>	90.13

● LA INDUSTRIA AEROESPACIAL

Buck Cameron

Perfil general

Historia y tendencias futuras

Cuando en 1903 Wilbur y Orville Wright efectuaron con éxito su primer vuelo, la construcción de aviones era un oficio que practicaban inventores y aventureros de forma artesanal en pequeños talleres. La aportación, pequeña aunque decisiva, de los aviones militares de la primera Guerra Mundial hizo que la construcción de aviones saliese de los talleres y pasara a la producción en serie. Los aviones de segunda generación permitieron a los operadores de posguerra adentrarse en el ámbito comercial, principalmente en el transporte de correo y carga urgente. Por aquel entonces, los aviones de línea seguían sin presurizar, sus sistemas de calefacción eran deficientes y no podían volar por encima de condiciones climatológicas adversas. A pesar de estos inconvenientes, el tráfico de pasajeros aumentó un 600 % entre 1936 y 1941, aunque continuaba siendo un lujo sólo al alcance de unos pocos. Los significativos avances de la tecnología aeronáutica y la consiguiente utilización de la fuerza aérea durante la segunda Guerra Mundial alentaron el vertiginoso crecimiento de la construcción aeronáutica que tuvo lugar en los Estados Unidos, el Reino Unido y la Unión Soviética tras la finalización del conflicto. A partir de la segunda Guerra Mundial, los misiles tácticos y estratégicos, los satélites de navegación y reconocimiento, y las aeronaves tripuladas fueron ganado protagonismo en el ámbito aeronáutico militar. Las comunicaciones vía satélite y las tecnologías de control geográfico y de previsión meteorológica han ido ganando en importancia comercial. A finales del decenio de 1950, la aparición de los turbo reactores comerciales hizo que los viajes en avión fueran más rápidos y cómodos, con lo que se disparó el crecimiento del transporte aéreo comercial. En 1993 la cifra anual de vuelo —en términos de pasajeros/milla— rondaba los 1,25 billones. Para el año 2013 se espera triplicarla.

Patrones de empleo

El empleo en las industrias aeroespaciales es muy cíclico. En la Unión Europea, América del Norte y Japón, el empleo directo en este sector pasó de un máximo de 1.770.000 en 1989, a 1.300.000 en 1995, y la mayor parte de dicha reducción de empleo se produjo en los Estados Unidos y el Reino Unido. La gran industria aeroespacial de la Confederación de Estados Independientes se vio significativamente afectada tras el derrumbe de la Unión Soviética. En China y en India existen industrias de construcción aeronáutica pequeñas, pero en rápido crecimiento. La construcción de cohetes espaciales y de misiles intercontinentales, así como de bombarderos de largo alcance, se ha visto casi exclusivamente restringida a Estados Unidos y la antigua Unión Soviética, a lo que se añaden los lanzamientos espaciales de carácter comercial de Francia. Ahora bien, la construcción de misiles estratégicos de más corto alcance, de misiles tácticos, de bombarderos, de cohetes para aplicaciones comerciales y de aviones de combate está más extendida. La construcción de los grandes reactores comerciales (con capacidad para 100 o más pasajeros) se hace en fábricas europeas y de Estados Unidos (o en cooperación con ellas). La construcción de aparatos regionales (con capacidad inferior a 100 pasajeros) y de reactores de negocios se encuentra mucho más dispersa. La construcción de aparatos destinados a pilotos privados, localizada principalmente en Estados Unidos, descendió de los aproximadamente 18.000 aparatos fabricados en 1978, a menos de 1.000 en 1992, antes de iniciarse la recuperación del sector.

El empleo se encuentra repartido casi por igual entre los sectores constructores de aparatos militares, reactores comerciales, misiles y vehículos espaciales, y equipos asociados. Por lo que se refiere a las empresas privadas, los puestos de trabajo de la población activa se reparten por igual en las actividades de ingeniería, construcción y servicios administrativos. Cerca del 80 % de los empleados en los sectores aeroespaciales de ingeniería y construcción son hombres, con una abrumadora mayoría de hombres entre profesionales de élite, ingenieros y responsables de producción.

Divisiones del sector

Las marcadamente distintas necesidades y prácticas de los clientes, públicos y privados, ocasionan la segmentación típica de los constructores aeroespaciales en empresas comerciales o para la defensa, o en divisiones pertenecientes a grandes corporaciones. Las células de avión, los motores (o sistema propulsor sin accesorios) y los equipos de aviónica (equipos electrónicos de navegación, comunicaciones y control de vuelo) son suministrados generalmente por fabricantes independientes. Los motores y los equipos de aviónica pueden suponer (cada uno) hasta una cuarta parte del coste final de un reactor comercial. La construcción aeroespacial integra el diseño, la fabricación, el montaje, la inspección y la prueba de una infinidad de componentes. Los fabricantes han establecido redes internas y externas de proveedores y subcontratistas para poder satisfacer sus necesidades de componentes. Las demandas de carácter económico, tecnológico, comercial y político han supuesto un incremento en la globalización de los sectores de la construcción de componentes y submontajes para la industria de construcción aeronáutica.

Materiales, instalaciones y procesos de construcción

Materiales

Al principio, los fuselajes de los aviones estaban contruidos a base de madera y lona, que evolucionaron posteriormente por componentes estructurales metálicos. Las aleaciones de aluminio se han utilizado mucho debido a su ligereza y a su gran resistencia. También se utilizan aleaciones de berilio, titanio y magnesio, especialmente en la construcción de aviones de altas prestaciones. Los materiales compuestos modernos (conjuntos de fibras embutidas en matrices de plástico) son unos sustitutos, resistentes y de larga duración, a los componentes metálicos. Los materiales compuestos ofrecen una resistencia igual o superior a los metales actualmente utilizados, además de un peso menor y una resistencia térmica mayor, con la ventaja adicional —para la aviación militar— de que los fuselajes fabricados con materiales compuestos reducen significativamente el perfil radar. Los sistemas a base de resinas epóxicas son los materiales compuestos más utilizados en el sector aeroespacial: suponen cerca del 65 % de todos los materiales utilizados. Cuando se requieren unos niveles elevados de resistencia a altas temperaturas se utilizan sistemas a base de resinas poliimídicas. Entre otros sistemas a base de resinas cabe destacar los fenólicos, los poliésteres y las siliconas. A menudo se utilizan las aminas alifáticas como agentes de curado. Entre las fibras de soporte utilizadas destacan el grafito, el Kevlar y la fibra de vidrio. Los estabilizadores, los catalizadores, los aceleradores, los antioxidantes y los plastificantes actúan como accesorios para producir la consistencia deseada. Otros sistemas a base de resinas son: los poliésteres saturados e insaturados, los poliuretanos y los polímeros vinílicos, los acrílicos y los que contienen urea y flúor.

Las imprimaciones, las lacas y los esmaltes protegen de la corrosión y de las temperaturas extremas a las superficies más vulnerables. Las capas de imprimación más comunes son las

hechas de resinas sintéticas pigmentadas con cromato de zinc y con pigmentos extendidos. Secan con gran rapidez, mejoran la adhesión de las capas superiores y evitan la corrosión del aluminio, el acero y sus aleaciones. A las superficies a las que ya se ha aplicado la imprimación se añaden lacas y esmaltes con la intención de que sirvan de capas protectoras exteriores, a efectos de acabado y de coloración. Los esmaltes empleados en aviación se componen de aceites secantes, resinas naturales y sintéticas, pigmentos y disolventes. Dependiendo de sus respectivas aplicaciones, las lacas pueden tener resinas, agentes plastificantes, ésteres de celulosa, cromato de zinc, pigmentos, aprestos y disolventes adecuados. Las mezclas a base de caucho se utilizan habitualmente en pinturas, en materiales para el revestimiento de los depósitos de combustible, en lubricantes y en agentes conservadores, fijaciones del motor, prendas protectoras, mangueras, casquillos y juntas de estanqueidad. Los aceites, naturales y sintéticos, se emplean para refrigerar, lubricar y reducir la fricción en motores, sistemas hidráulicos y herramientas de máquinas. La gasolina de aviación y el combustible empleado por los reactores se obtienen a partir de hidrocarburos derivados del petróleo. Los combustibles sólidos y líquidos de alta energía se utilizan en aplicaciones espaciales y contienen materiales inherentemente peligrosos por sus propiedades químicas y físicas; entre estos materiales cabe citar el oxígeno líquido, la hidracina, los peróxidos y el flúor.

Muchos materiales utilizados en los procesos de fabricación no llegan a formar parte de la propia estructura del avión. Es frecuente que los fabricantes dispongan de decenas de miles de productos homologados para su uso, aunque hay algunos que ni siquiera llegan a utilizarse. Los disolventes empleados son muchos y variados; entre sus variantes hay algunos, como el freón y la metiletilcetona, que causan daños al medio ambiente y que se están sustituyendo por otros disolventes más ecológicos. Las aleaciones de acero que contienen cromo y níquel se utilizan en la fabricación de herramientas, y en las herramientas de corte en particular se emplean cuchillas de metal duro que contienen cobalto y carburo de tungsteno. El plomo, que solía utilizarse en los procesos de fabricación del acero, apenas se emplea en la actualidad, ya que ha sido sustituido por kirkisita.

En total, la industria aeroespacial utiliza más de 5.000 productos químicos y mezclas de compuestos químicos, en su mayoría procedentes de numerosos proveedores, y muchos de los compuestos contienen entre cinco y diez ingredientes. La composición exacta de algunos de estos productos está patentada o es un secreto comercial, lo que añade complejidad a tan heterogéneo grupo.

Instalaciones y procesos de construcción

La construcción de aviones se hace por lo general en grandes plantas integradas. Las más modernas disponen de sistemas de renovación de aire de gran capacidad, con controles de aire de relleno. Para funciones específicas se añaden sistemas locales de aspiración de aire. En la actualidad, las actividades de fresado químico y de pintura de grandes componentes se efectúan de manera rutinaria en recintos cerrados o cabinas donde el trabajo en las distintas fases está clasificado y automatizado, y donde se producen emanaciones de vapores o vahos. En las instalaciones de construcción aeronáutica más antiguas, el control de riesgos ambientales es más deficiente.

Un numeroso equipo de ingenieros expertos son los que elaboran y perfeccionan las características estructurales de los aviones o de los vehículos espaciales. Otros técnicos se encargan de los niveles de resistencia y durabilidad de los materiales de los componentes y elaboran procesos de fabricación eficaces. Buena parte de la carga de trabajo que suponían los cálculos y los trabajos de delineación —que antes realizaban ingenieros,

delineantes y personal técnico— lo hacen ahora los ordenadores: hoy en día los sistemas informáticos integrados se emplean para construir aviones sin necesidad de planos en papel ni de modelos estructurales a escala. El proceso comienza con la fabricación de las piezas a partir de los materiales generales: se hacen plantillas y herramientas, laminación de metal, mecanizado, trabajos con plásticos y materiales compuestos, y otras actividades auxiliares. Las herramientas se fabrican para servir de plantillas y superficies de trabajo sobre las que se fabrican piezas de metal o de materiales compuestos. Las plantillas se emplean como patrones de guía para cortar, taladrar y montar. Por lo general, las subsecciones del fuselaje, los paneles de las puertas y los revestimientos (superficies externas) de las alas y de la cola están fabricados en chapa de aluminio perfilada y cortada con precisión y tratada químicamente. El funcionamiento de las máquinas se controla por ordenador. Grandes fresas montadas sobre raíles efectúan el mecanizado de los largueros de las alas a partir de piezas únicas de aluminio forjado. Las piezas de menor tamaño se cortan con precisión y se moldean con fresas, muelas y tornos. Las conducciones se fabrican con lámina de acero o con materiales compuestos. Los componentes internos, como el suelo, por lo general se fabrican con laminados o con materiales compuestos, a base de múltiples capas de revestimiento muy delgadas pero de gran rigidez, dispuestas sobre estructuras de panal. Los materiales compuestos suelen disponerse (es decir, colocarse cuidadosamente en capas superpuestas) a mano o mecánicamente, para su posterior curado en hornos o en autoclaves.

La fase de montaje comienza con la elaboración de submontajes a partir de las piezas componentes. Entre los submontajes principales destacan las alas, los estabilizadores, las secciones del fuselaje, el tren de aterrizaje, las puertas y los componentes interiores. El montaje de las alas resulta particularmente laborioso, ya que requiere taladrar con precisión numerosos orificios en el revestimiento metálico, en los que se introducen los clavos para remachar. Una vez terminado, el ala se limpia y se sella desde el interior para asegurar la estanqueidad de los depósitos de combustible. El montaje final tiene lugar en inmensas naves de montaje, algunas de las cuales se cuentan entre los edificios de construcción más grandes del mundo. La línea de montaje consta de varias posiciones secuenciales en cada una de las cuales permanece la estructura del avión durante varios días —e incluso hasta más de una semana— mientras se efectúan los trabajos correspondientes. Numerosos trabajos de montaje tienen lugar simultáneamente en cada una de las posiciones, con lo que se originan situaciones en las que puede producirse una exposición cruzada a productos químicos. Las piezas y los submontajes se colocan en la posición apropiada por medio de plataformas rodantes, dispositivos de transporte fabricados a medida y grúas-puente. Estas últimas desplazan la estructura del avión de una posición a otra hasta que queden instalados los trenes de aterrizaje principal y de morro. A partir de ese momento, los desplazamientos se efectúan remolcando la estructura del avión.

Durante la fase final de montaje, las secciones del fuselaje se ensamblan entre sí en torno a un armazón, mediante remaches embutidos. A continuación se colocan las vigas y los largueros de sustentación del suelo del aparato, y se recubre todo el interior con una capa de compuesto anticorrosión. Las secciones delantera y trasera del fuselaje se ensamblan con las alas por medio de la sección de encastre (una estructura en forma de caja que actúa como depósito principal de combustible y como centro estructural del avión). El interior del avión se cubre en su totalidad con mantas de fibra de vidrio que actuarán de aislante, se tienden el cableado eléctrico y las conducciones de aire, al tiempo que las superficies interiores se cubren de paneles

decorativos. A continuación —y para uso de los pasajeros— se procede a instalar las luces y las máscaras de oxígeno de emergencia, que incorporan habitualmente los portaequipajes. Las cocinas, los aseos y los asientos —ensamblados previamente— se instalan manualmente asegurándolos a los raíles de fijación que discurren por todo el suelo del avión, y que permiten cambiar rápidamente la configuración de la cabina de pasajeros, de acuerdo con las necesidades de la compañía. A continuación se instalan los trenes de aterrizaje principal y de morro, así como las plantas motrices y los equipos de aviónica. Una vez comprobado exhaustivamente el funcionamiento de la totalidad de los componentes del avión, éste se remolca hasta un hangar independiente y bien ventilado para proceder a su pintura. El pintado comienza por una capa de imprimación protectora (por lo general a base de cromato de zinc) seguida de una capa decorativa externa a base de pinturas de uretano o epoxídicas. Antes de proceder a su entrega, el avión es sometido a una serie de rigurosas pruebas tanto en tierra como en vuelo.

Además de los trabajadores que participan en los procesos reales de ingeniería y construcción, hay otros muchos dedicados a las tareas de planificación, seguimiento e inspección de trabajos, facilitando así el trasiego de piezas y de herramientas. El personal técnico se encarga del mantenimiento de las herramientas mecánicas y de la puesta a punto de los dispositivos de corte. Se precisan también muchos trabajadores para el mantenimiento de las instalaciones, los servicios de conserjería y manejo del parque de vehículos.

● SEGURIDAD Y ERGONOMIA EN LA CONSTRUCCION AERONAUTICA

Douglas F. Briggs

Gestión de la seguridad

Los sistemas de gestión para la industria de la construcción aeronáutica han reflejado el proceso evolutivo experimentado por la gestión de la seguridad en el ámbito de la construcción tradicional. Los programas de salud y seguridad solían estar muy estructurados, dirigidos por los ejecutivos de las compañías y estructurados jerárquicamente de acuerdo con los sistemas de gestión tradicionales de control y mando. Las grandes compañías del sector aeronáutico y aeroespacial disponen de equipos de profesionales especializados en el campo de la salud y la seguridad (especialistas en higiene industrial, radiofísicos, ingenieros de seguridad, enfermeras, médicos y demás personal técnico) que trabajan con los mandos intermedios para abordar los diversos riesgos para la seguridad que entrañan sus respectivos procesos de construcción. Tal concepción de los programas de seguridad, controlados por los mandos intermedios, supervisados por un encargado de la gestión diaria de riesgos ayudado por un equipo de profesionales especializados en el campo de la salud y la seguridad, fue el modelo original desde el nacimiento del sector. La introducción de normas detalladas en los Estados Unidos a principios del decenio de 1970, hizo que la confianza se depositara cada vez más en los profesionales especializados en materia de salud y de seguridad, no sólo en cuanto al desarrollo de programas, sino también a su aplicación y evaluación. El cambio fue debido a la naturaleza técnica de las normas que no eran del todo comprendidas ni se aplicaban a los procesos de construcción. Como consecuencia, numerosos sistemas de gestión de la seguridad pasaron a convertirse en sistemas basados en el cumplimiento más que en la prevención de lesiones y enfermedades. Los anteriores programas integrados de gestión de la seguridad,

controlados por los mandos intermedios, perdieron parte de su eficacia cuando la complejidad de las normas exigió una mayor dependencia con respecto a los equipos de profesionales especializados en salud y seguridad en todos los aspectos de los programas de seguridad, al tiempo que se descargó a los mandos intermedios de ciertas responsabilidades.

Con el aumento a nivel mundial de la importancia concedida a la gestión de la calidad total, la línea de producción ha recobrado su protagonismo. Los constructores del sector aeronáutico están adoptando programas que incluyen la seguridad como un componente integral de todo proceso fiable de construcción. El grado de cumplimiento pasa a ocupar un segundo lugar, en el convencimiento de que, centrándose en procesos fiables la prevención de lesiones y enfermedades constituirá el objetivo prioritario, y las normativas o sus intenciones se cumplirán con el establecimiento de procesos fiables. Actualmente, el conjunto del sector dispone de programas tradicionales, programas basados en procedimientos y técnicas, y programas basados en el comportamiento cuyas aplicaciones son cada vez mayores. Con independencia del modelo específico, los que demuestran los mayores niveles de aciertos en cuanto a la prevención de lesiones y enfermedades son los que cumplen tres requisitos decisivos: *a)* un compromiso patente tanto por parte de la gerencia como de los trabajadores, *b)* unas expectativas claras en cuanto al resultado en materia de prevención de lesiones y enfermedades, y *c)* sistemas de responsabilidad y reconocimiento basados tanto en criterios de medidas (datos sobre lesiones y enfermedades) como en indicadores de procesos (porcentaje de comportamiento seguro) o en cualesquiera otras acciones preventivas proactivas que tengan el mismo peso que otros objetivos primordiales de organización. La totalidad de los sistemas antes mencionados conducen a una cultura positiva en materia de seguridad, gestionada por la dirección aunque con amplia participación de los trabajadores tanto en el diseño del proceso como en los esfuerzos para su perfeccionamiento.

Seguridad física

El sector de la construcción aeronáutica entraña varios riesgos potencialmente graves, debido en buena medida a las descomunales proporciones físicas de algunos de sus productos, a la complejidad de los mismos y al carácter diverso y variable del conjunto de los procesos de construcción y de montaje del sector. La exposición a estos riesgos (ya sea por inadvertencia o control inadecuado) puede originar lesiones graves de inmediato.

En la Tabla 90.1 se ofrece una visión general de los peligros físicos para la seguridad identificados en este sector.

Las fuentes del traumatismo directo e inmediato son variadas: simple caída de una barra de remachar o de cualquier otro objeto; tropezar en superficies irregulares, sucias o escurridizas; caídas desde pasarelas de grúa, escaleras de mano, andamios y grandes estructuras de montaje; contacto con dispositivos eléctricos sin conexión a tierra, con objetos calientes, con soluciones químicas, con cuchillas, brocas y hojas desbastadoras; engancharse los cabellos, las manos o las prendas de vestir en fresadoras, tornos y punzadoras; proyección de partículas, virutas y otros fragmentos al taladrar, desbastar y soldar; y contusiones y cortes ocasionados por golpes contra piezas y componentes de la estructura del avión durante el proceso de construcción.

La frecuencia y gravedad de las lesiones relacionadas con situaciones de riesgo físico que afectan a la seguridad se han ido reduciendo a medida que maduraban los procesos de seguridad en el sector. Las lesiones y enfermedades relacionadas con situaciones de riesgos de carácter ergonómico son fiel reflejo de la mayor preocupación que muestran todas las firmas constructoras y de servicios.

Tabla 90.1 • Riesgos para la seguridad en las industrias aeronáutica y aeroespacial.

Tipo de riesgo	Ejemplos típicos	Posibles efectos
Físicos		
Caída de objetos	Pistolas de remachado, barras de remachar, pasadores, herramientas de mano	Contusiones, lesiones en la cabeza
Equipos móviles	Camiones, tractores, bicicletas, carretillas elevadoras, grúas	Contusiones, fracturas, laceraciones
Alturas peligrosas	Escaleras de mano, andamiajes, soportes de aviones, cunas de montaje	Lesiones graves múltiples, muerte
Objetos punzantes	Cuchillas, brocas, hojas de sierra o de desbastar	Laceraciones, heridas punzantes
Maquinaria en movimiento	Tornos, punzonadoras, fresadoras, cizallas	Amputaciones, avulsiones, lesiones por aplastamiento
Fragmentos en suspensión en el aire	Taladrado, lijado, aserrado, escariado, rectificado	Cuerpos extraños en el ojo, abrasiones de la córnea
Materiales calientes	Metales tratados térmicamente, superficies soldadas, aclarados con agua hirviendo	Quemaduras, formación de ampollas, cambios en la pigmentación
Metales calientes, escorias, sedimentos	Soldadura, corte con soplete, trabajos de fundición	Quemaduras graves en la piel
Equipos eléctricos	Herramientas de mano, cables eléctricos, lámparas portátiles, cajas de empalmes	Contusiones, esguinces, quemaduras, muerte
Fluidos a presión	Sistemas hidráulicos, engrase sin aire y pistolas pulverizadoras	Lesiones oculares, heridas subcutáneas graves
Alteración de la presión del aire	Ensayos de presurización del avión, autoclaves, cámaras de pruebas	Lesiones en oídos, senos y pulmones, parálisis
Temperaturas extremas	Trabajo con metales en caliente, fundiciones, trabajos de fabricación con metales en frío	Agotamiento por calor, congelaciones
Ruidos fuertes	Remachado, pruebas de motores, taladrado a alta velocidad, martinets	Pérdida auditiva transitoria o permanente
Radiaciones ionizantes	Radiografía industrial, aceleradores, investigación sobre radiación	Esterilidad, cáncer, síndrome de radiación, muerte
Radiaciones no ionizantes	Soldadura, rayos láser, radares, hornos de microondas, trabajos de investigación	Quemaduras de córnea, cataratas, quemaduras de retina, cáncer
Andar o trabajar en superficies	Lubricantes derramados, herramientas fuera de su sitio, mangueras y cables eléctricos	Contusiones, laceraciones, esguinces, fracturas
Ergonómicos		
Trabajos en espacios reducidos	Depósitos de combustible en los aviones, alas	Privación de oxígeno, atrapamiento, narcosis, ansiedad
Grandes esfuerzos	Levantamiento, transporte, patines tubulares, herramientas manuales, trefiladoras	Fatiga excesiva, lesiones musculoesqueléticas, síndrome del túnel carpiano
Vibraciones	Remachado, lijado	Lesiones musculoesqueléticas, síndrome del túnel carpiano
Interfaz hombre-máquina deficiente	Empleo de herramientas, posturas incómodas de montaje	Lesiones musculoesqueléticas
Movimientos repetitivos	Teclado de datos, trabajos de diseño de ingeniería, tendido de plásticos	Síndrome del túnel carpiano, lesiones musculoesqueléticas

Adaptado de Dunphy y George 1983.

Factores ergonómicos

Las empresas dedicadas a la construcción aeronáutica gozan de un amplio historial en la utilización de factores humanos en la elaboración de sistemas esenciales para sus productos. La cabina de vuelo ha sido una de las partes más estudiadas de toda la historia del diseño industrial: los técnicos en factores humanos han dedicado sus esfuerzos a optimizar los niveles de seguridad en vuelo. Actualmente, la ergonomía aplicada a la prevención de lesiones y enfermedades, a la que se concede cada vez mayor importancia, no es más que una ampliación del trabajo realizado previamente en el campo de los factores humanos. Es un sector en el que son frecuentes los esfuerzos, las posturas inadecuadas, las acciones repetitivas, el estrés por contacto con máquinas y por vibraciones. La exposición a estos riesgos puede exacerbarse por

el hecho de trabajar en espacios reducidos, como el interior de las alas o los depósitos de combustible. Para abordar estos aspectos, el sector acude a ergónomos en diseño de procesos y productos, así como a la “ergonomía participativa”, es decir, a equipos interdepartamentales compuestos por personal de producción, supervisores y diseñadores de herramientas e instalaciones que trabajan conjuntamente para reducir los riesgos ergonómicos en sus respectivos procesos.

En el sector de la construcción aeronáutica, una de las preocupaciones clave en materia de ergonomía son los talleres de cableado, que requieren la utilización de numerosas herramientas manuales para desmontar y engarzar, y que precisan el empleo de grandes fuerzas de agarre. En su mayor parte, estas herramientas están siendo sustituidas por otras que, cuando son

pesadas, se suspenden de dispositivos dotados de contrapesos. Los puestos de trabajo de altura regulable, diseñados tanto para varones como para mujeres, ofrecen la opción de permanecer de pie o sentado. El trabajo se organiza en células, de manera que cada trabajador realiza tareas variadas que reducen la fatiga de cualquier conjunto de músculos concreto. En las líneas alares, otra zona clave, es necesario dotar a los trabajadores, a las piezas y a las herramientas de almohadillas de amortiguación para reducir el estrés provocado por el contacto con máquinas en espacios reducidos. En las líneas alares se emplean también plataformas de trabajo regulables en altura, en vez de escaleras de mano, para reducir al mínimo los riesgos de caídas y permitir que los trabajadores realicen las tareas de taladro y remache en posiciones neutras. Las áreas de remachado siguen constituyendo uno de los principales retos dado que presentan los riesgos derivados tanto de las vibraciones generadas como de los esfuerzos excesivos que es preciso realizar. Para resolver esto están empezando a incorporarse técnicas de remachado electromagnético y remachadoras de bajo retroceso, pero debido tanto a algunos de los criterios de actuación de los propios productos como a las limitaciones prácticas de estas técnicas en alguno de los aspectos del proceso de construcción, ninguna de las dos opciones es una solución de carácter general.

Con la incorporación de materiales compuestos, por cuestiones de rendimiento y de peso, la colocación manual en capas que se hace de los mismos ha supuesto también la aparición de nuevos riesgos potenciales debido a la excesiva utilización de las manos para dar forma, cortar y trabajar estos materiales. Para reducir estos riesgos se están incorporando otras herramientas de tamaño de agarre variable y otros procesos automatizados. Asimismo se utilizan herramientas ajustables para poder trabajar con posturas neutras. En los procesos de montaje constituye todo un reto el número de posturas incorrectas y de operaciones manuales difíciles que se producen, de lo cual suelen ocuparse los procesos ergonómicos participativos. Los riesgos se reducen aumentando la utilización, siempre que sea posible, de dispositivos mecánicos de izada; reorganizando la secuencia de trabajo y estableciendo otras mejoras en el proceso que no sólo se ocupen de los riesgos ergonómicos, sino que beneficien la productividad y la calidad del producto.

● PROTECCION CONTRA LAS CAIDAS EN LA CONSTRUCCION Y EL MANTENIMIENTO DE LOS AVIONES COMERCIALES

Robert W. Hites

En el sector de la carga aérea y de las compañías de aviación, los aviones comerciales se utilizan para el transporte de pasajeros y de carga. Los procesos de construcción y de mantenimiento implican actividades de retirada, fabricación, alteración e instalación de componentes en todo el aparato. El tamaño de los aviones varía, aunque algunos (como el Boeing B-747 y el Airbus A340) se encuentran entre los más grandes del mundo; de ahí que ciertas actividades requieran que el personal trabaje a una altura superior a la del suelo o la superficie del terreno.

En el ámbito del sector del transporte aéreo suelen producirse situaciones de caídas potenciales tanto en la fase de construcción como en la de mantenimiento. Aunque cada situación sea única y requiera una solución diferente en términos de protección, el mejor método de protección contra las caídas es la *prevención*

de éstas por medio de un plan estricto de identificación y control de riesgos.

Para que la protección contra las caídas sea eficaz debe haber un compromiso institucional que aborde la totalidad de los aspectos relativos a la identificación y al control de riesgos. Cada operador debe evaluar continuamente las situaciones concretas de exposición a caídas y elaborar un plan de protección lo suficientemente exhaustivo para que contemple todas esas situaciones en el desempeño de su trabajo.

Riesgos de caída

Siempre que alguien se encuentra en un lugar elevado respecto al suelo está potencialmente expuesto a caer a un nivel inferior. Las caídas que se producen desde lugares elevados suelen originar lesiones graves e incluso mortales. Con ese fin se han elaborado normas, disposiciones y políticas que ayudan a las compañías a abordar la cuestión de los riesgos de caídas que puedan producirse en el transcurso de sus actividades.

Se produce una exposición al riesgo de caída en cualquier situación en la que una persona trabaja en una superficie elevada, cuando la distancia al nivel inmediatamente inferior es de varios metros. La evaluación de las actividades relativas a estas situaciones de exposición conlleva la identificación de todas aquellas áreas o tareas en las cuales existe la posibilidad de que las personas tengan que trabajar sobre superficies elevadas.

Los registros de enfermedades y lesiones (estadísticas laborales, registros de empresas aseguradoras, registros médicos, de seguros, etc.) constituyen una buena fuente de información; sin embargo, es importante no estancarse en los meros hechos históricos.

Cada proceso o área de trabajo debe evaluarse para establecer la posible existencia de situaciones en las que la tarea o el proceso en cuestión requieran que la persona trabaje en una zona o superficie situada a varios metros de altura sobre el nivel inmediatamente inferior.

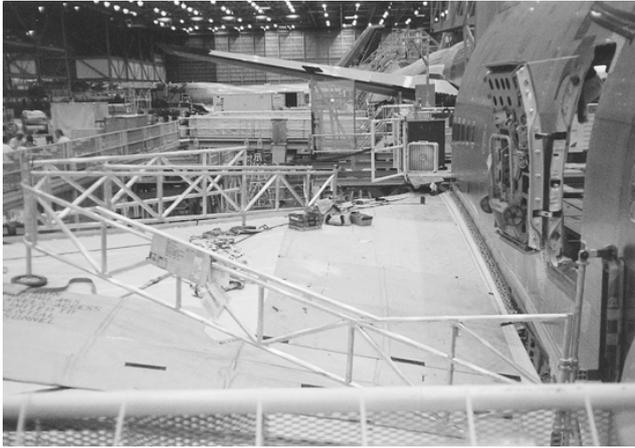
Clasificación por categorías de las situaciones de caída

Debido a las dimensiones de los aparatos, no existe prácticamente tarea alguna relacionada con la construcción o con el mantenimiento de este tipo de aeronaves que no entrañe un riesgo potencial de exposición a las caídas para el personal. Las dimensiones de las aeronaves es tal que prácticamente no hay zonas que no se encuentren a varios metros de altura del suelo. Aunque ello da lugar a numerosas situaciones en las que el personal se expone al riesgo de sufrir una caída, aquella pueden clasificarse en categorías según se trate de *trabajos en altura realizados sobre plataformas* o de *trabajos en altura realizados sobre las superficies del avión*. La división tiene su origen en los factores que intervienen al abordar las propias exposiciones al riesgo de sufrir una caída.

La primera categoría se refiere al personal que utiliza plataformas o andamiajes para acceder al avión. Incluye cualquier trabajo efectuado desde una superficie elevada ajena al propio avión y que se utilice, de manera específica, para acceder al mismo. También se incluyen en esta categoría todas aquellas tareas desarrolladas desde sistemas de estacionamiento de aeronaves para su mantenimiento, plataformas alares, soportes de motor, carretillas elevadoras y similares. Los riesgos potenciales de exposición a caídas desde superficies elevadas que se contemplan en esta categoría pueden abordarse por medio de sistemas tradicionales de protección contra las caídas, o mediante los numerosos sistemas de actuación que existen actualmente.

La segunda categoría afecta al personal que utiliza las superficies del avión como plataformas de acceso al mismo. Se incluyen aquí todos los trabajos realizados sobre cualquier superficie del avión, como las alas, los estabilizadores horizontales, el fuselaje,

Figura 90.1 • Sistema portátil de barandillas para los Boeing 747; el sistema de barandillas protectoras de dos lados se acopla al costado del fuselaje, como protección contra posibles caídas durante los trabajos efectuados en las puertas situadas sobre el ala y en la zona del extradós.



Cortesía de The Boeing Company

los motores o sus soportes. Los riesgos de exposición potenciales en esta categoría varían mucho en función la tarea de mantenimiento que se esté realizando; en ocasiones requieren planteamientos poco habituales en materia de protección.

La razón para distinguir entre ambas categorías queda clara al tratar de aplicar medidas de protección, es decir, actuaciones destinadas a eliminar o controlar cada riesgo de exposición. Los métodos para controlar las situaciones de riesgo de caídas pueden consistir en controles técnicos, equipos de protección personal (EPP) o controles de procedimiento

Controles técnicos

Los controles técnicos son medidas por las que se *alteran las instalaciones* para reducir al mínimo la exposición del personal a situaciones de riesgo. Como ejemplo puede citarse las barandillas, los muros y similares. Los controles técnicos son los métodos preferidos para proteger al personal frente al riesgo de sufrir caídas.

Los controles técnicos son la medida más empleada en las plataformas, tanto en su construcción como en su mantenimiento. Por lo general suele tratarse de barandillas comunes; no obstante, cualquier barrera que cierre los laterales abiertos de una plataforma, supone una protección eficaz para el personal frente al riesgo de sufrir caídas. En caso de que la plataforma esté colocada junto al avión, como suele suceder, el lado que coincide con la nave no necesita barandilla, ya que la protección la ofrece el propio aparato; el riesgo quedaría limitado a los espacios de separación entre el avión y la plataforma.

Por lo común, los controles técnicos no suelen utilizarse para las labores de mantenimiento que se hacen sobre las superficies del avión, ya que cualquier control técnico que se instale en el avión supondría un aumento del peso, con la consiguiente reducción de la eficacia durante el vuelo. Por sí mismos, los controles son ineficaces cuando se diseñan para proteger el perímetro de cualquiera de las superficies del avión, ya que deben ser específicos para cada zona, ubicación y tipo de aparato, y deben colocarse de forma que el aparato no sufra daño alguno. En la Figura 90.1 se muestra un sistema de barandilla portátil para un ala de avión. Los controles técnicos se utilizan mucho

en los procesos de fabricación sobre las superficies de los aviones. Son eficaces durante la fabricación, ya que los procesos se llevan a cabo en el mismo lugar y con la superficie del avión en la misma posición en todas las ocasiones, de manera que los controles pueden hacerse a medida para un lugar y una posición concretos.

Una alternativa al empleo de barandillas para los controles técnicos es colocar redes en torno a la plataforma o a la superficie del avión, capaces de recoger a aquellos trabajadores que sufran una caída. Son eficaces para recoger al trabajador que cae, pero su aceptación no es generalizada, ya que son frecuentes las lesiones producidas al chocar con la propia red. Asimismo, son sistemas que requieren su correspondiente procedimiento para la retirada o rescate de las personas que han caído en la red.

Equipos de protección personal (EPP)

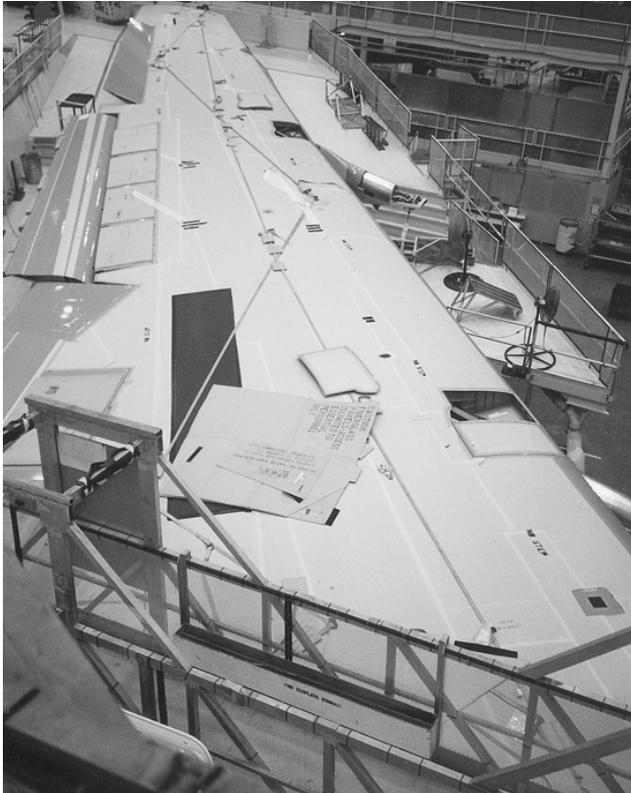
Los EPP contra caídas constan de un arnés de cuerpo entero con un cabo enganchado a un cable salvavidas del barandillado o a cualquier otro tipo de anclaje adecuado. Se trata de sistemas utilizados habitualmente para frenar la caída, aunque pueden emplearse también con sistemas de sujeción contra las caídas.

Figura 90.2 • Andamio de motor, con protección frente a caídas, para trabajadores especialistas en motores de avión.



Cortesía de The Boeing Company

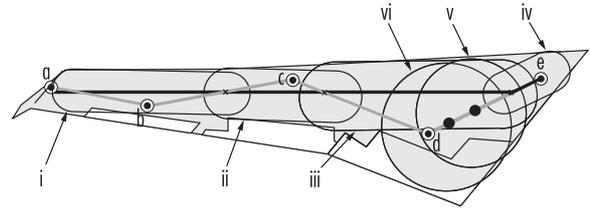
Figura 90.3 • Sistema de desconexión rápida sobre el ala de un Boeing 747.



Los equipos de protección personal (EPP), utilizados en sistemas de amortiguación de caídas, son eficaces para evitar que una persona se golpee con el nivel inmediatamente inferior en una caída. Para que resulte eficaz, la distancia prevista de caída no debe superar la distancia hasta el nivel inferior. Aún así, este tipo de sistemas no impiden que la persona pueda lesionarse como consecuencia de la propia amortiguación de la caída. Son sistemas que precisan igualmente de un procedimiento para el rescate/recuperación de las personas una vez que han caído y su caída ha sido amortiguada.

Los sistemas de amortiguación de caídas se utilizan sobre todo al trabajar sobre plataformas en las cuales los controles técnicos resultan ineficaces, generalmente por las propias limitaciones del proceso de trabajo. También se utilizan para trabajar sobre las superficies del avión, debido a las dificultades logísticas asociadas a los controles técnicos. Los aspectos más problemáticos de los sistemas de amortiguación de caídas y del trabajo sobre las superficies del avión son la distancia de caída con respecto a la movilidad del personal y el peso añadido a la estructura del avión para sostener el sistema. La cuestión del peso puede eliminarse si el sistema se diseña de manera que se ancle a algún lugar de la instalación en torno a la superficie del avión, en vez de a la propia estructura del aparato; no obstante, también esto supone una limitación a la capacidad protectora contra las caídas en la ubicación de la propia instalación. En la Figura 90.2 se muestra un andamio portátil utilizado como sistema de amortiguamiento de caídas. Los sistemas de este tipo se emplean en tareas de mantenimiento más que en las de construcción (aunque se usan en ciertos momentos de la fase de construcción).

Figura 90.4 • Zonas de protección contra caídas del sistema de desconexión rápida sobre el ala de un Boeing 747.



Producción

Descripción:	Línea de vida horizontal:	Longitud de la barandilla:
Tipo:	Limitación de caída	Zona i) 152,4 cm
Anclaje:		ii) 152,4 cm con prolongación de 30,48 cm
a) Empalme desmontable		iii) 152,4 cm con prolongación de 91,44 cm
b) Empalme desmontable		iv) 152,4 cm con prolongación de 30,48 cm
c) Soporte de enganche de la cuerda de evacuación		v) 152,4 cm con prolongación de 228,6 cm
d) Empalme desmontable		vi) 152,4 cm con prolongación de 304,8 cm
e) Soporte emperrado		Dispositivo de desaceleración: ninguno

Fuente: Cortesía de The Boeing Company.

Cortesía de The Boeing Company

Un sistema de sujeción contra caídas está diseñado de manera que el personal no pueda caer por el borde de una superficie. Son sistemas muy parecidos a los de amortiguación, ya que todos los componentes son los mismos; ahora bien, los de sujeción limitan la libertad de movimientos de la persona, que no puede llegar lo suficientemente cerca del borde de la superficie como para caerse. De los sistemas de protección personal, los de sujeción son los preferidos tanto para trabajos de mantenimiento como de construcción, ya que evitan cualquier lesión por las caídas y no precisan de labores de rescate. Su uso no está extendido ni en el trabajo sobre plataformas ni sobre las superficies del avión, debido a las dificultades que entraña el diseño de sistemas que permitan la libertad de movimientos que los trabajadores necesitan para desarrollar su tarea, a la vez que su acceso al borde de la superficie queda restringido. Son sistemas que reducen el problema del peso y de la eficacia al trabajar sobre las superficies del avión, ya que no requieren la resistencia necesaria en los de amortiguamiento. En el momento de imprimir esta publicación, sólo existe un tipo de avión (el Boeing 747) que disponga de un sistema de sujeción contra caídas incorporado a su estructura (véanse las Figuras 90.3 y 90.4).

Hay un cable salvavidas horizontal enganchado a unos ajustes permanentes de la superficie alar, creando así seis zonas de protección. Los trabajadores conectan un cabo de 1,5 m a unas anillas en forma de "D" o a las extensiones de cincha que corren a todo lo largo del cable salvavidas, desde la zona 1 hasta la zona 4, y que son fijas en las zonas 5 y 6. El sistema permite acceder solamente al borde del ala, evitando así la posibilidad de caer desde la superficie de la misma.

Controles de procedimiento

Los controles de procedimiento se utilizan cuando los controles técnicos y los equipos de protección personal no resultan prácticos ni eficaces. Es el menos utilizado de los métodos de protección, aunque es eficaz si se emplea correctamente. En este tipo de control la superficie de trabajo se considera como un área restringida, a la que tiene acceso únicamente el personal necesario durante unos procesos de mantenimiento concretos. La

protección contra caídas se consigue mediante procedimientos escritos sumamente estrictos que cubren la identificación de la exposición al riesgo, la comunicación y las acciones individuales. Se trata de procedimientos que mitigan la exposición de la mejor manera posible en circunstancias muy concretas. Deben ser localmente específicos y abordar cada riesgo concreto. Raramente se utilizan para el trabajo sobre plataformas, ni en la fase de construcción ni en la de mantenimiento, aunque sí se utilizan en trabajos de mantenimiento efectuados sobre las superficies del avión.

● CONSTRUCCION DE MOTORES DE AVIACION

John B. Feldman

La construcción de motores de aviación, tanto de pistón como de turbina, exige la transformación de las materias primas en máquinas de una fiabilidad y precisión extremas. La combinación del transporte aéreo y de unos entornos operativos sometidos a enormes tensiones requiere la utilización de una amplia gama de materiales muy resistentes. Se utilizan métodos de construcción tanto convencionales como exclusivos.

Materiales de construcción

Los motores de aviación están contruidos fundamentalmente de componentes metálicos, aunque en los últimos años se han incorporado materiales plásticos compuestos en la fabricación de determinadas piezas. Para las partes donde es decisivo que confluyan la resistencia y la ligereza (componentes estructurales, secciones de compresor, bastidores de motor), se emplean diversas aleaciones de aluminio y titanio. Las aleaciones de cromo, níquel y cobalto se emplean donde se requiere una resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas (cámara de combustión y secciones de turbina). En las partes intermedias se emplean numerosas aleaciones de acero.

Dado que la minimización del peso de una aeronave es un factor decisivo para reducir los costes de los ciclos operativos (maximización de la carga de pago y minimización del consumo de combustible), han empezado a incorporarse nuevos materiales compuestos como sustitutos ligeros de aluminio, titanio y ciertas aleaciones de acero en zonas estructurales y conductos donde no se produce la exposición a elevadas temperaturas. Básicamente, estos materiales compuestos están hechos de poliimida, epoxi y otros sistemas a base de resinas, reforzados mediante fibras de grafito o fibra de vidrio entretejida.

Actividades de construcción

En la construcción de motores para aviación intervienen prácticamente todas las actividades relacionadas con la metalurgia y la mecanización, entre ellas: forja en caliente (discos de compresor, superficies aerodinámicas); fundición (componentes estructurales, bastidores de motor); esmerilado; mandrinado; torneado; taladrado; fresado; cizallado; serrado; fileteado; soldadura normal; soldadura de latón; etc. Entre los procesos asociados cabe destacar: acabado de metales (anodización, cromado, etc.); galvanizado; tratamiento calórico y pulverización térmica (llama, plasma). La resistencia y gran dureza de las aleaciones empleadas, junto con sus complejas formas y sus holguras de precisión, requieren un mecanizado más difícil y riguroso que el propio de otros sectores industriales.

Algunos de los procesos metalúrgicos más exclusivos de este sector son los fresados químico y electroquímico, la mecanización

por descargas eléctricas, el taladrado mediante láser y la soldadura por haz de electrones. *Los fresados químico y electroquímico* suponen la retirada de metal de grandes superficies de forma que se mantenga o se cree un contorno. Las piezas, dependiendo de su aleación específica, se sumergen en baños controlados de altas concentraciones ácidas, cáusticas o electrolíticas. El metal se retira por la acción química o electroquímica. El fresado químico se emplea a menudo tras el forjado de las superficies aerodinámicas para conseguir el grosor especificado, manteniendo un contorno concreto.

El mecanizado por descargas eléctricas y el taladrado mediante láser se emplean habitualmente para practicar orificios de pequeño diámetro o dar contornos intrincados a los metales duros. En los componentes de las cámaras de combustión y de las turbinas es donde más se utilizan esos orificios, a efectos de refrigeración. La retirada del metal se lleva a cabo mediante la acción termomecánica de alta frecuencia producida por descargas de chispa eléctrica. El proceso se realiza en un baño de aceite mineral dieléctrico. El electrodo actúa a modo de imagen inversa del corte deseado.

La soldadura por haz de electrones se utiliza para la unión de piezas donde se requiere una soldadura de penetración profunda, en geometrías de difícil acceso. La soldadura se genera dirigiendo un haz de electrones acelerado al interior de una cámara de vacío. La energía cinética generada por los electrones al golpear sobre la pieza de trabajo, se transforma en calor para efectuar la soldadura.

En la fabricación de materiales plásticos compuestos o bien se aplican técnicas de acumulación "en mojado", o se utilizan tejidos previamente impregnados. Con la acumulación en mojado, la mezcla viscosa de resinas sin curar se extiende sobre el molde de la herramienta bien mediante pulverización o mediante el empleo de brochas. El material de refuerzo por fibras se aplica manualmente a la resina, añadiendo más resina para dar uniformidad y adaptarse al contorno de la herramienta. Una vez finalizada la aplicación se somete a la presión y temperatura de un autoclave. Los materiales impregnados previamente son láminas semirrígidas, listas para utilizar y parcialmente curadas de materiales compuestos a base de resina y fibra. El material se corta a la medida, se moldea a mano según el contorno y la forma de la herramienta y se cura posteriormente en un autoclave. Las piezas curadas se mecanizan de manera convencional y se instalan en el motor.

Inspección y pruebas

Para asegurar la fiabilidad de los motores de aviación se llevan a cabo muchos procedimientos de inspección, prueba y control de calidad, durante su construcción y una vez acabado el producto. Entre los métodos habituales de inspección no agresiva cabe destacar el radiográfico, el ultrasónico, el de partículas magnéticas y el de penetración fluorescente. Se utilizan para detectar grietas o fisuras en el interior de las piezas. Una vez ensamblados, los motores se someten a pruebas por lo común en células instrumentales de prueba para su posterior entrega al cliente.

Riesgos para la salud y la seguridad y métodos de control

Los riesgos para la salud asociados a la construcción de motores para aviación están básicamente relacionados con la toxicidad de los materiales empleados y la potencial exposición a los mismos. El aluminio, el hierro y el titanio no se consideran muy tóxicos; el cromo, el níquel y el cobalto son más problemáticos. Ciertos compuestos y estados de valencia de estos tres últimos metales han demostrado sus cualidades cancerígenas tanto en animales como en seres humanos. Sus formas metálicas son consideradas,

por lo general, menos tóxicas que sus formas iónicas, que suelen estar presentes en los baños para el acabado metálico y en los pigmentos para pinturas.

Durante el mecanizado convencional, la mayoría de las operaciones se efectúan con refrigerantes o fluidos de corte que reducen al mínimo la generación de vapores y de polvo en suspensión al aire. A excepción del esmerilado en seco, los metales no suelen presentar riesgos por inhalación, aunque sí resulta preocupante la inhalación de las emanaciones de los refrigerantes. En las piezas de los motores de turbina se llevan a cabo labores de esmerilado para suavizar los contornos y conseguir las dimensiones definitivas de las superficies aerodinámicas; para ello suelen utilizarse pequeños esmeriladores manuales. Cuando el esmerilado se realiza en aleaciones de cromo, níquel o cobalto, es preciso disponer de un sistema local de ventilación: mesas de aspiración invertida y dispositivos de esmerilado auto-ventilados. La dermatitis y los efectos del ruido son otros riesgos asociados al mecanizado convencional. La piel de los trabajadores entra en contacto, en varios niveles, con los refrigerantes y con los fluidos de corte durante los trabajos de reparación, inspección y retirada de piezas. En algunos casos, si el contacto cutáneo se repite origina diversas formas de dermatitis, que por lo general se reducirán al utilizar guantes, cremas protectoras y al mantener unos hábitos higiénicos adecuados. A menudo también hay unos niveles de ruido elevados durante los trabajos de mecanizado aleaciones de paredes delgadas y alta resistencia, debido al rechinado de las herramientas y a las vibraciones de las piezas. Todo ello puede controlarse hasta cierto punto empleando herramientas de mayor rigidez, insonorizando los materiales, modificando los parámetros de las máquinas y manteniendo a punto las herramientas. De lo contrario, será preciso el empleo de equipos de protección personal (p. ej.: auriculares, tapones para los oídos).

Los riesgos para la seguridad asociados a los trabajos de mecanizado convencional comportan posibles lesiones físicas debidas a los movimientos realizados en el punto de actividad, el ajuste y la transmisión motriz. El control se consigue por métodos como las defensas fijas, dispositivos de enclavamiento con mecanismos de cierre en las puertas de acceso, las cortinas de luz, las alfombrillas de contacto y mediante la formación y sensibilización del personal. Cuando se realicen operaciones de mecanización, la protección ocular deberá ser permanente para evitar las posibles lesiones producidas por partículas y esquirlas proyectadas al aire, así como por posibles salpicaduras de fluidos refrigerantes y disolventes.

Los trabajos de acabado metálico, el fresado químico y la galvanización suponen la exposición a concentraciones de ácidos, bases y electrolitos de los depósitos al aire libre. La mayoría de los baños contienen elevadas concentraciones de metales disueltos. Aunque la composición y las condiciones operativas de los baños (concentración, temperatura, agitación, dimensiones) son diferentes, casi todos ellos necesitarán algún tipo de ventilación local para controlar los niveles de emanaciones, gases y vapores en suspensión en la atmósfera. A efectos de control, se utilizan diversos modelos de cubiertas laterales de tipo ranurado. Las organizaciones de carácter técnico, como la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) y el American National Standards Institute (ANSI), disponen de diseños de ventilación y pautas de funcionamiento para los diferentes tipos de baño. La naturaleza corrosiva de estos baños obliga a utilizar protecciones tanto para la piel como para los ojos (gafas contra salpicaduras, pantallas faciales, guantes, mandiles, etc.) durante la realización de trabajos en las proximidades de esos depósitos. También deben estar disponibles en todo momento para emergencias las duchas y los dispositivos para lavados oculares.

La soldadura mediante haz de electrones y el taladrado mediante láser también suponen un riesgo por radiación para los trabajadores. La soldadura mediante haz de electrones genera una radiación secundaria por rayos X (efecto *bremsstrahlung*). Las cámaras de soldadura son, en cierto modo, un tubo de rayos X inútil. Es decisivo que la cámara, o el material en el que está construida, contenga algún tipo de protección que reduzca la radiación a los niveles más bajos posibles. Suele hacerse con protecciones de plomo. Han de realizarse periódicamente estudios sobre la radiación. Los rayos láser entrañan riesgos (térmicos) para la piel y los ojos; también existe riesgo potencial por exposición a emanaciones metálicas producidas por la evaporación de los metales base. Los trabajos con láser que entrañan riesgo de radiación deben aislarse y confinarse, en la medida de lo posible, a cámaras con dispositivos de enclavamiento. Debe seguirse con todo rigor un programa completo. La ventilación local es imprescindible siempre que se generen emanaciones metálicas.

Los principales riesgos relacionados con la construcción de piezas plásticas fabricadas a base de materiales compuestos, se deben a la exposición química a componentes de resinas sin reaccionar y a disolventes, durante la extensión de capas en mojado. Un motivo de especial preocupación es la utilización de aminas aromáticas como reactivos en las resinas poliimídicas y como endurecedores en sistemas a base de resinas epoxídicas. Se sabe, o se sospecha, que la gran mayoría de algunos de estos compuestos son cancerígenos para el ser humano y de otros se tiene la sospecha. Tienen también otra serie de efectos tóxicos. La naturaleza sumamente reactiva de estos sistemas de resinas, sobre todo las epoxídicas, aumenta las sensibilidades cutánea y respiratoria. El control de los riesgos durante las operaciones de extendido de capas en mojado deberá contemplar la ventilación local y la utilización generalizada de equipos protección personal para evitar el contacto con la piel. Los trabajos de extendido de capas en los que se empleen láminas previamente impregnadas no suelen entrañar ningún riesgo de exposición a partículas en la atmósfera, pero debe protegerse la piel. Una vez curadas, estas piezas son relativamente inertes, y no entrañan los riesgos de sus reactivos. El mecanizado convencional de piezas, no obstante, puede provocar molestias e irritaciones debidas al polvo y a los materiales compuestos utilizados como refuerzo (grafito, fibra de vidrio, etc.). A menudo resulta necesaria la ventilación local de los trabajos de mecanizado.

Entre los riesgos para la salud que entrañan los trabajos de prueba están las radiaciones (rayos X o rayos gamma) producidas en las inspecciones radiográficas y los ruidos generados en las pruebas finales de productos. Los trabajos radiográficos deberán incluir rigurosos programas de seguridad contra las radiaciones, junto con la correspondiente formación, control de las etiquetas de identificación y análisis periódicos. Las cámaras de inspección radiográfica deben construirse con puertas dotadas de dispositivos de enclavamiento, con luces de aviso de funcionamiento, dispositivos de corte de emergencia y barreras apropiadas. Las celdas o zonas destinadas a la realización de pruebas de productos terminados, sobre todo en el caso de los motores de turbina, deberían acondicionarse acústicamente. Los niveles de ruido detectados en las consolas de control deben controlarse para que no superen los 85 dBA. También deberán adoptarse las medidas oportunas para evitar cualquier acumulación de gases de escape y de vapores de combustibles o disolventes en la zona de pruebas.

Además de los riesgos mencionados para actividades concretas, existen otros, como la exposición a disolventes de limpieza, pinturas, plomo y las actividades relacionadas con la soldadura. Los disolventes para limpieza están presentes en todas las actividades de construcción. Hoy día los disolventes a

base de cloro y flúor se están sustituyendo por otros a base de aguarrás, alcohol o hidrocarburos de una fracción del petróleo, debido a la toxicidad de aquéllos y a sus efectos reductores de la capa de ozono. Aunque el último goza de mayor aceptación desde el punto de vista ambiental, es también peligroso por su inflamabilidad. Deberá limitarse la cantidad presente en el lugar de trabajo de cualquier disolvente inflamable o combustible y utilizar siempre las contenidas en recipientes homologados que cuenten con medidas adecuadas de protección y extinción de fuegos. A veces se utiliza plomo como lubricante de troqueles para los trabajos de forjado de las superficies aerodinámicas. En tal caso, y debido a su toxicidad, deberá efectuarse un programa de monitorización y control exhaustivo del plomo. Son numerosos los tipos de soldadura convencional que se emplean en los trabajos de construcción, en los que siempre es preciso evaluar las emanaciones metálicas, la radiación ultravioleta y la exposición al ozono. La necesidad de este tipo de controles dependerá de los parámetros concretos de cada actividad y de los metales que se utilicen.

● CONTROLES Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

Denis Bourcier

Cada vez es mayor la demanda en el mercado para que la industria aeroespacial reduzca el tiempo del flujo de desarrollo de productos, aunque al mismo tiempo se impone la utilización de materiales que cumplan criterios de rendimiento cada vez más limitados y en ocasiones contradictorios. Es posible que la aceleración en la producción y en las pruebas de los productos terminados haga que el desarrollo de procesos y de materiales desplace el desarrollo paralelo de tecnologías de salud ambiental. A lo que puede legarse es a contar con una serie de productos probados y homologados, pero cuyos efectos sobre la salud y su impacto ambiental son conocidos insuficientemente. Normativas como la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA) de los Estados Unidos requiere: *a)* la comprobación de los nuevos materiales; *b)* el desarrollo de análisis de laboratorio prudentes para pruebas de investigación y desarrollo; *c)* la limitación de importaciones y exportaciones de ciertas sustancias químicas, y *d)* el control de los estudios sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente, así como los archivos de las propias empresas sobre cualquier efecto de importancia sobre la salud debidos a exposición a sustancias químicas.

El aumento de la utilización de fichas técnicas de seguridad (FTS) ha facilitado a los profesionales de la salud la información necesaria para controlar las exposiciones a las sustancias químicas. Con todo, sólo existen fichas con datos toxicológicos completos para unos pocos centenares de los miles de materiales en uso, con el consiguiente reto para los toxicólogos y los higienistas industriales. Debe emplearse en la medida de lo posible una ventilación aspirante localizada y otros controles técnicos para poder controlar la exposición, sobre todo cuando se trate con productos químicos poco conocidos o con índices de contaminación inadecuadamente determinados en su generación. Los aparatos de respiración pueden pasar a un segundo plano si se respaldan con un programa de gestión de la protección respiratoria bien planificado y rigurosamente observado. Deben elegirse aparatos de respiración y otros equipos de protección personal que ofrezcan una adecuada y total protección, sin que su utilización resulte incómoda para los trabajadores.

Ha de informarse de manera eficaz a todos los trabajadores sobre los riesgos y su control antes de introducir cualquier

producto nuevo en la zona de trabajo. Puede hacerse mediante presentaciones verbales, boletines, vídeos u otros medios de comunicación. El método es importante para lograr el éxito al introducir un producto químico nuevo en la zona de trabajo. En las áreas dedicadas a la construcción aeroespacial es frecuente la rotación de los trabajadores, de los materiales y de los procesos de trabajo. La información sobre los riesgos debe entenderse, por tanto, como un proceso continuo. Las comunicaciones por escrito han demostrado su escasa eficacia en este sector si no se cuenta con medios más dinámicos, como pueden ser las reuniones por equipos o las presentaciones en vídeo.

Siempre se ha de estar preparado para responder a las preguntas que puedan plantear los trabajadores. Los ambientes muy complejos desde el punto de vista químico son característicos de las plantas de construcción aeronáutica, especialmente las zonas de montaje. Se requieren esfuerzos intensos, entusiastas y bien planificados en materia de higiene industrial para reconocer y caracterizar los riesgos asociados a la presencia simultánea o correlativa de gran número de productos químicos, muchos de los cuales no han sido sometidos a las pruebas adecuadas para determinar si tienen efectos nocivos para la salud. Los higienistas deben prestar atención a los contaminantes liberados en forma física sobre los cuales no advierte el proveedor y que, por tanto, no figuran en las FTS. Por ejemplo, la aplicación y retirada constante de bandas de materiales compuestos parcialmente curados puede liberar mezclas de resina y disolvente en forma de aerosol que no se medirán eficazmente con métodos de control de vapores.

La concentración y las combinaciones de sustancias químicas son también complejas y muy variables. En los trabajos atrasados que se realizan fuera de la secuencia normal pueden utilizarse materiales peligrosos y no contar con los necesarios controles técnicos o con las medidas personales de protección adecuadas. Las variaciones en las prácticas laborales de cada persona y el tamaño y la configuración de las diferentes estructuras de avión puede repercutir notablemente en la exposición a situaciones de riesgo. Las variaciones en las exposiciones a disolventes entre los trabajadores que efectúan tareas de limpieza en los depósitos alares de combustible de un avión, han sobrepasado dos órdenes de magnitud, debido en parte a los efectos del tamaño corporal en el flujo del aire de dilución en espacios extremadamente reducidos.

Las situaciones de riesgo potencial deben ser identificadas y caracterizadas, y antes de que los materiales o los procesos entren en la zona de trabajo o lleguen a ponerse en práctica deben aplicarse los controles necesarios. Antes de empezar el trabajo hay que elaborar, establecer y documentar unas normas de obligado cumplimiento sobre utilización segura. Cuando la información resulte incompleta, se asumirá el riesgo razonable más alto y se tomarán las medidas de protección oportunas. Deben realizarse con cierta frecuencia y regularidad estudios de higiene industrial para garantizar que los controles son los adecuados y que funcionan correctamente.

La dificultad para caracterizar los riesgos de exposición en los puestos de trabajo de la industria de construcción aeroespacial requiere una estrecha cooperación entre higienistas, expertos clínicos, toxicólogos y epidemiólogos (véase la Tabla 90.2). Es esencial que trabajadores y directivos estén bien informados. Debe alentarse a los trabajadores para que informen de cualquier síntoma, y formarse a los supervisores para que estén atentos a cualquier señal o síntoma de exposición. El control biológico de las exposiciones puede ser de gran ayuda para el control del aire donde las exposiciones son muy variables o donde la exposición cutánea es notable. El seguimiento biológico puede utilizarse también para determinar si los controles son efectivos en la reducción de la absorción de contaminantes a

Tabla 90.2 • Requisitos de desarrollo tecnológico en materia de sanidad, seguridad y control ambiental para nuevos procesos y materiales.

Parámetro	Requisitos tecnológicos
Niveles de contaminantes suspendidos en el aire	Métodos analíticos para la cuantificación de productos químicos Técnicas de control del aire
Posible repercusión sobre la salud	Estudios sobre toxicología crónica y aguda
Repercusión en el medio ambiente	Estudios sobre bioacumulación y biodegradación
Caracterización de los residuos	Ensayos de compatibilidad química Bioensayos

través de la piel por parte de los trabajadores. Deberá efectuarse de manera rutinaria un análisis de los datos médicos por si revelaran algún patrón de síntomas y molestias.

Pintar hangares, fuselajes y depósitos de combustible puede suponer el concurso intensivo de numerosos sistemas generadores de altos volúmenes de gases de escape, durante los trabajos intensivos de pintura, sellado y limpieza. La exposición a sustancias residuales y la incapacidad de estos sistemas para alejar de los trabajadores los flujos de aire requieren por lo común el empleo de aparatos adicionales de respiración. La ventilación aspirante localizada es necesaria en los trabajos de pintura pequeños, el tratamiento de metales y la limpieza con disolventes, en los trabajos químicos en el laboratorio y la aplicación de capas de algunos plásticos. La ventilación por dilución sólo es adecuada en las zonas en las que el empleo de sustancias químicas sea mínimo, o como una ayuda a la ventilación aspirante localizada. Un intercambio de aire significativo durante el invierno puede dar lugar a una excesiva sequedad en el aire interior. Los sistemas de aspiración mal diseñados y que dirigen un flujo excesivo de aire frío hacia las manos o la espalda de los trabajadores (en áreas dedicadas al montaje de pequeñas piezas) pueden empeorar los problemas de brazos, cuello y manos. En las grandes y complejas zonas dedicadas a la construcción aeronáutica debe prestarse atención a la correcta ubicación de las entradas y salidas del sistema de ventilación para evitar que arrastren contaminantes.

La construcción de precisión característica de los productos de la industria aeroespacial requiere entornos de trabajo despejados, organizados y bien controlados. Los contenedores, los bidones y los depósitos que contienen sustancias químicas deben llevar etiquetas que avisen de la peligrosidad potencial de sus contenidos. La información relativa a primeros auxilios estará disponible en todo momento y lugar. En las FTS o en cualquier otro tipo de ficha similar deberá figurar también información sobre respuestas antes emergencias y control de vertidos. Las áreas donde los trabajos sean potencialmente peligrosos deberán estar bien anunciadas mediante carteles y el acceso a las mismas controlado y comprobado.

Efectos de los materiales compuestos sobre la salud

Los fabricantes aeronáuticos de los sectores civil y militar cada vez dependen más de los materiales compuestos para la construcción de componentes tanto internos como estructurales. Las generaciones de materiales compuestos han ido integrándose progresivamente en los procesos de construcción de todos los sectores, sobre todo en el de la defensa, donde son especialmente valorados por sus cualidades de escasa detectabilidad por parte

de los radares. Este medio de fabricación que ha avanzado tan rápidamente es representativo del problema del desplazamiento de los esfuerzos en materia de salud pública por parte de la tecnología de diseño. Los riesgos específicos e inherentes a los componentes de lona o resina de los materiales compuestos antes de su combinación y del curado de las resinas difieren de los riesgos derivados de los materiales ya curados. Además, los materiales parcialmente curados (preimpregnados) pueden conservar las características peligrosas de los componentes de la resina durante los diversos pasos que lleva la fabricación de una pieza de material compuesto (AIA 1995). Las consideraciones toxicológicas de las principales categorías de resinas se recogen en la Tabla 90.3.

El tipo y el grado de riesgo que suponen los materiales compuestos depende básicamente del trabajo específico y del grado de curado de la resina a medida que el material pasa de ser una lona o resina húmeda a ser una pieza seca. La liberación de componentes volátiles de la resina puede ser significativa antes de (y durante) la reacción inicial de la resina y del agente de curado, aunque también puede darse durante el procesado de los materiales que pasen por más de un nivel de curado. La liberación de estos componentes es mayor en condiciones de temperatura elevada o en zonas de trabajo con ventilación deficiente, y sus niveles abarcan desde meros indicios hasta moderados. La exposición de la piel a los componentes de la resina en el estado previo al curado suele ser un factor importante en el riesgo total, por lo que debe tenerse en consideración.

Las emanaciones procedentes de productos de degradación de las resinas puede tener lugar durante diversas operaciones de mecanizado en las que se genera calor en las superficies del material curado. Los productos de degradación aún no están plenamente caracterizados, aunque tienden a variar su estructura química en función de la temperatura y del tipo de resina. Pueden generarse partículas al mecanizar materiales

Tabla 90.3 • Consideraciones toxicológicas de los principales componentes de las resinas utilizadas en los materiales compuestos para aplicaciones aeroespaciales.¹

Tipo de resina	Componentes ²	Consideraciones toxicológicas
Epoxi	Agentes de curado con aminas, epicloridrina	Sensibilizador, presunto cancerígeno
Poliimida	Monómero aldehído, fenol	Sensibilizador, presunto cancerígeno, sistémico ³
Fenólico	Monómero aldehído, fenol	Sensibilizador, presunto cancerígeno, sistémico ³
Poliéster	Estireno, dimetilnilina	Narcosis, depresión del sistema nervioso central, cianosis
Silicona	Siloxano orgánico, peróxidos	Sensibilizador, irritante
Termoplásticos ⁴	Poliestireno, sulfuro de polifenileno	Sistémico, ³ irritante

¹ Se ofrecen ejemplos de componentes típicos de resinas no curadas. Pueden estar presentes otros productos químicos de diversa naturaleza toxicológica en forma de agentes para curado, disolventes y aditivos.

² Se aplica sobre todo a los componentes de resinas húmedas previas a la reacción. En las resinas parcialmente curadas se encuentran diversas cantidades de estas sustancias, y en los materiales curados se han detectados indicios de ellas.

³ Toxicidad sistémica, indicadora de los efectos producidos sobre varios tejidos.

⁴ Se incluyen los termoplásticos como categoría independiente, en dicha separación los productos relacionados se crean durante los trabajos de moldeo al calentarse la sustancia inicial polimerizada.

Tabla 90.4 • Riesgos derivados de la utilización de productos químicos en la industria aeroespacial.

Agente químico	Fuentes	Enfermedad potencial
Metales		
Polvo de berilio	Mecanizado de aleaciones de berilio	Lesiones cutáneas, enfermedades pulmonares agudas o crónicas
Polvo y vapor de cadmio	Soldadura, quemado, pinturas pulverizadas	Con el tiempo, edema pulmonar agudo, lesiones renales
Polvo	Vapor y humos de cromo	Pulverización y lijado de pinturas de imprimación, soldadura
Níquel	Soldadura, lijado	Cáncer de vías respiratorias
Mercurio	Laboratorios, ensayos mecánicos	Lesiones en el sistema nervioso central
Gases		
Cianuro de hidrógeno	Recubrimiento electrolítico	Asfixia química, efectos crónicos
Monóxido de carbono	Tratamientos térmicos, trabajos en motores	Asfixia química, efectos crónicos
Oxidos de nitrógeno	Soldadura, recubrimiento electrolítico, decapado de metales	Con el tiempo, edema pulmonar agudo, posibles lesiones pulmonares permanentes
Fosgeno	Soldadura, descomposición de vapores de disolventes	
Ozono	Soldadura, vuelos a gran altitud	Lesiones pulmonares crónicas y agudas, cáncer de vías respiratorias
Compuestos orgánicos		
Alifáticos	Lubricantes para máquinas, combustibles, fluidos de corte	Dermatitis folicular
Aromáticos, nitroaromáticos y aminas aromáticas	Cauchos, plásticos, pinturas, tintes	Anemia, cáncer, sensibilización de la piel
Otros compuestos aromáticos	Disolventes	Narcosis, lesiones hepáticas, dermatitis
Halogenados	Decapantes de pintura, desengrasantes	Narcosis, anemia, lesiones hepáticas
Plásticos		
Fenólicos	Componentes internos, conducciones	Sensibilización alérgica, posible cáncer
Epoxi (aminas endurecedoras)	Trabajos de revestimiento	Dermatitis, sensibilización alérgica, cáncer
Poliuretano	Pinturas, componentes internos	Sensibilización alérgica, posible cáncer
Poliimidas	Componentes estructurales	Sensibilización alérgica, posible cáncer
Polvos fibrogénicos		
Asbesto	Aviones antiguos y aeronaves militares	Cáncer, asbestosis
Sílice	Granallado con abrasivos, rellenos	Silicosis
Carburo de tungsteno	Rectificado de herramientas de precisión	Neumoconiosis
Grafito, Kevlar	Mecanizado de materiales compuestos	Neumoconiosis
Polvos posiblemente benignos		
Fibra de vidrio	Tejidos aislantes, componentes internos	Irritación cutánea y de las vías respiratorias, posibles lesiones crónicas
Madera	Construcción de modelos y de maquetas de aviones	Sensibilización alérgica, cáncer de vías respiratorias

endurecidos o al cortar materiales preimpregnados que contengan restos de materiales de resinas liberados al mover los materiales. Cuando la ventilación aspirante del autoclave no es capaz de eliminar del entorno de trabajo los gases producidos por el secado en hornos, porque el diseño o el funcionamiento son inadecuados, se produce un riesgo por exposición a esos gases.

No debe olvidarse que los polvos procedentes de nuevos materiales textiles que contienen fibra de vidrio, Kevlar, grafito o revestimientos de boro/óxidos metálicos, se consideran unánimemente capaces de producir reacciones fibrogénicas de nivel ligero a moderado; hasta la fecha no ha podido caracterizarse su potencia relativa. Además, la información sobre la contribución relativa de polvos fibrogénicos de varias operaciones de mecanización aún sigue investigándose. Las diversas actividades con materiales compuestos y los riesgos asociados han sido caracterizados (AIA 1995) y se recogen en la Tabla 90.4.

CUESTIONES AMBIENTALES Y DE SALUD PÚBLICA

Steve Mason

Las industrias aeroespaciales se han visto notablemente afectadas por el enorme incremento de las normativas en materia de medio ambiente y de ruidos, que empezaron inicialmente a aplicarse en Estados Unidos y en Europa a partir del decenio de 1970. La Ley de Limpieza de las Aguas, la Ley de Limpieza del Aire y la Ley de Recuperación y Conservación de los Recursos, en Estados Unidos, y las Directivas correspondientes de la Unión Europea han originado voluminosas normativas locales para cumplir con los objetivos marcados en materia de calidad ambiental. Por lo general, estas normativas fomentan la utilización de la mejor tecnología existente, ya se trate de materiales o procesos nuevos, o de equipos de control de los aviones en vuelo más bajo próximos a aeropuertos. Además, hay asuntos de carácter universal, como el calentamiento del planeta y la destrucción de la capa de ozono, que están obligando a que se introduzcan cambios en las actividades tradicionales: por ejemplo, la prohibición del uso de productos químicos como los clorofluorocarburos, salvo en casos excepcionales. La antigua legislación apenas afectó a la industria aeroespacial hasta el decenio de 1980. El crecimiento constante del sector y la concentración de actividades en las proximidades de los aeropuertos y las áreas industrializadas hizo necesaria su regulación. El sector experimentó una revolución en cuanto a programas para el seguimiento y la gestión de emisiones tóxicas lanzadas al medio ambiente en un intento de garantizar la seguridad. El tratamiento de las aguas residuales procedentes de los trabajos de acabado de metales y de mantenimiento de aeronaves se convirtió en algo habitual en las grandes plantas. La segregación de residuos peligrosos, así como su clasificación, declaración y su posterior tratamiento antes de ser desechados se instituyeron como prácticas habituales en sustitución de los rudimentarios programas existentes. Los programas para la limpieza de vertederos se convirtieron en asuntos económicos de primer orden para muchas empresas ya que los costes aumentaron a muchos millones en cada caso. A finales del decenio de 1980 y principios del de 1990, las emisiones contaminantes a la atmósfera, que constituían más del 80 % de las emisiones totales procedentes de las empresas que construyen y operan con aviones, se convirtieron en el centro de la atención legislativa. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estableció normas relativas a las emisiones de los motores en 1981 (OACI 1981).

Tabla 90.5 • Resumen de las Emisiones para Contaminantes Atmosféricos Peligrosos (NESHAP) de Estados Unidos en las instalaciones de construcción y reprocesado.

Proceso	Requisitos ¹
Limpieza manual de componentes aeroespaciales	Máxima presión de los materiales compuestos de 45 mm Hg a 20 °C o utilización de limpiadores específicos Exenciones para espacios reducidos, trabajos en las proximidades de sistemas eléctricos, etc. Aislamiento inmediato de los recogedores que contengan mayores niveles de evaporación
Limpieza mediante lavados de materiales que contengan compuestos orgánicos volátiles (COV) ² o contaminantes atmosféricos peligrosos (CAP) ³	Recogida y contención de líquidos
Aplicación de imprimaciones y recubrimientos	Utilización de equipos ⁴ de gran eficacia de transferencia
CPA para imprimación con menor contenido de agua	350 g/l de imprimador en aplicaciones promedio ⁵
CPA para recubrimientos con un contenido de agua de	420 g/l de recubrimiento en aplicaciones promedio ⁵
Decapado de superficies exteriores	Productos químicos carentes de CPA, granallado mecánico, luz de gran intensidad ⁶ Máximo permitido de hasta 6 aviones montados a decapar por planta y año con productos químicos con CPA
Recubrimientos con CPA inorgánicos	Control de alta eficacia de emisión de partículas
Máscara de fresado químico CPA con menor contenido de agua	160 g/l de producto según la aplicación
Pulverización superficial en trabajos de recubrimiento con CPA	Filtro de partículas de etapas múltiples
Equipos de control de la contaminación del aire	Seguimiento y valores mínimos aceptables de eficacia
Limpieza mediante pistola pulverizadora	Disolvente de limpieza no atomizado, medidas para la recolección de residuos

¹ No se recogen aquí la inspección, el mantenimiento de registros ni otros requisitos.

² Compuestos orgánicos volátiles. Han demostrado ser fotoquímicamente reactivos y precursores de la formación de ozono a nivel del suelo.

³ Contaminantes Peligrosos del Aire. Son 189 compuestos calificados como tóxicos por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos.

⁴ Entre los equipos recogidos se encuentran las pistolas pulverizadoras electrostáticas de baja presión o gran volumen.

⁵ Se excluyen los recubrimientos especiales y otros procesos con bajos niveles de emisión.

⁶ Se permiten los retoques efectuados utilizando un máximo anual por avión de 26 galones de disolvente comercial con disolvente a base de CPA, o 50 galones al año en el caso de aviones militares.

Las normativas sobre emisiones químicas afectan esencialmente a todos los procesos químicos, a los motores y a las unidades de potencia auxiliares, a las actividades de los vehículos utilizados para el repostaje y el servicio de rampa. Por ejemplo, en Los Angeles, para conseguir la reducción de los

Tabla 90.6 • Riesgos químicos característicos de los procesos de fabricación.

Procesos típicos	Tipo de emisión	Riesgos o productos químicos
Recubrimientos, incluidos recubrimientos protectores temporales, pinturas y máscaras	Pulverización superficial de sólidos y evaporación de disolventes	Compuestos orgánicos volátiles (COV) incluidos metiletilcetona, tolueno, silenos Compuestos destructores del ozono (CDO) (clorofluorocarburos, tricloroetano y otros) Toxinas orgánicas Toxinas inorgánicas COV o las toxinas antes mencionadas
Limpieza de disolventes	Residuos sólidos, (p. ej., recogedores) Evaporación de disolventes Residuos sólidos (recogedores) Residuos líquidos	COV, destructores de ozono o toxinas COV o toxinas Restos de disolventes (COV) y/o agua contaminada
Decapado	Evaporación o transporte de disolventes Residuos líquidos corrosivos Polvo, calor, luz	COV tales como sileno, tolueno, metiletilcetona Toxinas orgánicas (cloruro de metileno) Metales pesados (cromados) Cáusticos y ácidos incluido ácido fórmico Polvo tóxico (granallado), calor (decapado térmico) y luz
Anodización de aluminio	Escapes de ventilación	Emanaciones ácidas
Revestimiento con metales duros	Residuos líquidos Escape de ventilación	Ácidos concentrados Metales pesados, ácidos, cianuros complejos
Fresado químico	Aguas de enjuague Residuos líquidos	Cáusticos y metales pesados, otros metales
Sellado	Disolvente evaporado Residuos sólidos	COV Metales pesados, indicios de sustancias orgánicas tóxicas
Antióxidos (recubrimientos de conversión)	Residuos líquidos	Cromados, cianuro posiblemente complejo
Compuestos anticorrosivos	Residuos sólidos Partículas, residuos sólidos	Cromados, oxidantes Ceras, metales pesados y sustancias orgánicas tóxicas
Fabricación de materiales compuestos	Residuos sólidos	Sustancias volátiles sin curar
Desengrasado de vapores	Vapores liberados	Tricloroetano, tricloroetileno, percloroetileno
Desengrasado acuoso	Residuos líquidos	COV, silicatos, indicios de metales

Tabla 90.7 • Prácticas características relativas al control de emisiones.

Procesos	Emisiones al aire	Emisiones al agua	Emisiones al terreno
Recubrimiento: pulverización superficial	Equipo de control de emisiones ¹ para pulverizaciones superficiales (COV y partículas sólidas)	Tratamiento previo y seguimiento in situ	Tratar y arrojar al vertedero ³ los residuos de las cabinas de pintura. Incinerar los productos inflamables y arrojar al vertedero las cenizas. Reciclar los disolventes siempre que sea posible.
Limpieza de disolventes con COV	Controles de emisiones ² y/o sustitución de materiales	Tratamiento previo y seguimiento in situ	Incinerar y arrojar al vertedero los recogedores usados
Limpieza de disolventes con compuestos destructores del ozono (CDO)	Sustitución debida a la interrupción de la producción de CDO	Ninguno	Ninguno
Limpieza de disolventes con toxinas	Sustitución	Tratamiento previo y seguimiento in situ	Tratar para reducir la toxicidad ⁴ y arrojar al vertedero
Decapado	Controles de emisiones o sustitución por métodos mecánicos o que no utilicen CPA	Tratamiento previo y seguimiento in situ	Fangos de tratamiento estabilizados y arrojados al vertedero
Anodización de aluminio, recubrimiento metales duros, fresado químico e inmersión en solución de recubrimiento de conversión (producto antioxidante)	Control de emisiones (depuradores) y/o sustitución en algunos casos	Tratamiento previo in situ de aguas de enjuague. Concentrados ácidos y cáusticos tratados in situ o exteriormente	Fangos de tratamiento estabilizados y arrojados al vertedero. Otros residuos sólidos tratados y arrojados al vertedero
Sellado	Por lo general innecesario	Por lo general innecesario	Incinerar y arrojar al vertedero los recogedores usados
Compuestos inhibidores de la corrosión	Filtrados en ventilación	Por lo general innecesario	Filtros para recogedores, compuestos residuales y cabinas de pintura ⁵ tratados y arrojados al vertedero
Desengrasado al vapor	Cristalizadores para volver a condensar los vapores Sistemas cerrados, o recogida mediante carbón activo	Separación de los disolventes utilizados para el desengrasado de aguas residuales	Disolvente tóxico de desengrasado reciclado
Desengrasado acuoso	Por lo general innecesario	Tratamiento previo y seguimiento in situ	Fangos de tratamiento previo manejados como residuos peligrosos

¹ La mayoría de las instalaciones aeroespaciales disponen de una planta propia de tratamiento previo de aguas residuales. Algunas incluso realizan el tratamiento total de las mismas.

² La eficacia de los controles debe ser generalmente superior al 95 % en cuanto a retirada/destrucción de concentraciones de entrada. Por lo general suele lograrse un 98 %, o más, mediante la utilización de unidades de carbón activo o de oxidación térmica.

³ Existen normativas rigurosas en materia de vertidos que especifican el tratamiento y la construcción de vertederos y su seguimiento.

⁴ Los niveles de toxicidad se miden por medio de ensayos biológicos y/o de pruebas de lixiviación diseñados para predecir los resultados de los vertederos de residuos sólidos.

⁵ Las cabinas de pintura suelen disponer habitualmente de filtros. Los trabajos realizados fuera de la secuencia habitual (de retocado, etc.) quedan generalmente exentos por razones prácticas.

niveles de ozono y de monóxido de carbono a nivel del suelo que establecen las normas de la Ley de Limpieza del Aire, sería necesario reducir a la mitad las operaciones de vuelo del aeropuerto internacional de Los Angeles para el año 2005 (Donoghue 1994). Las emisiones allí generadas serán controladas a diario para mantener los límites de las emisiones totales de compuestos orgánicos volátiles y de monóxido de carbono por debajo de los valores totales permitidos. En Suecia se ha gravado con un nuevo impuesto a todos los aviones que emitan dióxido de carbono, debido a su incidencia potencial sobre el calentamiento del planeta. En otros lugares, este tipo de normas han originado la práctica eliminación total del desengrasado a vapor por medio de disolventes clorados, como el tricloroetano, por sus elevadas emisiones procedentes del desengrasado destilado en abierto, por su potencial destructor de la capa de ozono y por la toxicidad del 1,1,1-tricloroetano.

Quizá la normativa de más amplia implantación hasta la fecha es la Norma Aeroespacial Nacional sobre Emisiones para Contaminantes Atmosféricos Peligrosos (NESHAP) de 1995, promulgada por la Agencia Norteamericana de Protección del Medio Ambiente, en el ámbito de las Enmiendas a la Ley de Limpieza del Aire de 1990. Según la norma, toda actividad aeroespacial debe cumplir con la media alcanzada por las 12 mejores de cada 100 prácticas actuales de control vigentes en los Estados Unidos, para así reducir la emisión de contaminantes generada en los procesos con mayores índices de emisión. La fecha límite de esta norma es septiembre de 1998. Los procesos y materiales más afectados son la recogida manual y la limpieza mediante lavado, los imprimadores y las capas superficiales, el decapado de pinturas y los agentes enmascaradores de fresado químico. La normativa permite la modificación o el control de los procesos y obliga a las autoridades locales al

cumplimiento de sus requisitos en cuanto a material, equipos, prácticas y registros. La importancia de estas normas consiste en la imposición de las mejores prácticas posibles sin apenas tener en cuenta los costes para cada constructor aeroespacial. Como se muestra en la Tabla 90.5, imponen un cambio total: utilización de materiales de limpieza con disolventes con baja presión de vapor, revestimientos que contengan pocos disolventes y tecnología de equipos de aplicación. Se exceptúan los casos en que la seguridad del personal o de los productos (por riesgo de incendios, etc.) podría verse amenazada. En las Tablas 90.6 y 90.7, respectivamente, aparecen resúmenes de las prácticas más habituales en materia de riesgos químicos y de control de emisiones, consecuencia de las normativas ambientales sobre las actividades de construcción y de mantenimiento en los Estados Unidos. En su mayor parte, las normativas europeas no se ocupan del tema de las emisiones atmosféricas tóxicas, aunque sí de la eliminación de toxinas, como el cadmio, contenidas en algunos productos, y de la gradual eliminación de los compuestos destructores de la capa de ozono. En los Países Bajos, por ejemplo, los operadores están obligados a justificar el empleo de cadmio como elemento esencial para la seguridad en vuelo.

Las normativas en materia de ruido han seguido caminos parecidos. La Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos y la Organización de Aviación Civil Internacional han fijado una serie de objetivos estrictos para lograr mejoras en la reducción de los niveles de ruido generados por los motores de aviación (p. ej.: la Ley sobre Capacidad y Ruido en los Aeropuertos Norteamericanos de 1990). Las compañías aéreas tienen la alternativa de sustituir los aparatos más antiguos, como los Boeing 727 o los McDonnell Douglas DC-9 (aparatos de la Etapa 2, según las definiciones de la OACI) por aparatos de

la nueva generación, o remotorizar y modernizar estos aviones dotándoles de "silenciadores". La retirada del servicio de los ruidosos aviones de la Etapa 2 será obligatoria en los Estados Unidos el 31 de diciembre de 1999, fecha de entrada en vigor de las normativas de la Etapa 3.

Otro riesgo de las actividades aeroespaciales es la amenaza de caída de objetos, como residuos, piezas de aviones y satélites. La frecuencia con que se producen estas caídas es variable, pero la más habitual es el denominado "hielo azul", originado por fugas en los sistemas de drenaje de los lavabos de los aviones, permitiendo el escape de residuos que se congelan en el exterior del avión y terminan por desprenderse y caer. Las autoridades aeronáuticas están considerando la implantación de normativas que exijan inspecciones adicionales para corregir las fugas existentes en los citados sistemas de drenaje. Otros riesgos, como los producidos por los restos de satélites en vuelo, pueden resultar peligrosos en determinados casos (p. ej.: cuando se trate de instrumentos radiactivos o de fuentes de alimentación), aunque el riesgo que suponen para la población en general es extremadamente bajo.

Muchas compañías han constituido organizaciones para abordar la cuestión de la reducción de emisiones. Ya se han establecido los correspondientes objetivos en materia ambiental y se han puesto en vigor las políticas oportunas. La gestión de las autorizaciones, el transporte y manejo seguro de los materiales, su desecho y tratamiento requieren el concurso de ingenieros, técnicos y administradores.

Ingenieros especialistas en medio ambiente, ingenieros químicos y demás técnicos trabajan como administradores e investigadores. Además, el objeto de los programas no es otro que ayudar a la eliminación de las fuentes de emisiones químicas y de ruido en las fases de diseño o de proceso.

Referencias

- Aerospace Industries Association (AIA). 1995. *Advanced Composite Material Manufacturing Operations, Safety and Health Practice Observations and Recommendations*, dirigido por G. Rountree. Richmond, BC:AIA.
- Donoghue, JA. 1994. Smog Alert. *Air Transport World* 31(9):18.

- Dunphy, BE, WS George. 1983. Aviación y aeroespacio, industria. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). 1981. *International Standards and Recommended Practices: Environmental Protection*. Anexo 16 de la Convención sobre Aviación Civil Internacional, vol. II. Montreal: OACI.

Otras lecturas recomendadas

- Bourcier, DR. 1989. Exposure evaluation of composite materials with emphasis on cured composite dust. *Applied Industrial Hygiene* (Diciembre):40-46.
- Suppliers of Advanced Composite Materials Association (SACMA). 1991. *Safe Handling of Advanced Composite Materials*, 2ª edición. Arlington, Virginia: SACMA.