



Certificación ISO 9001:2000 ‡

INNOVACIONES EN LA TECNOLOGÍA AEROPORTUARIA

Alfonso Herrera García

**Publicación Técnica No. 317
Sanfandila, Qro, 2008**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Innovaciones en la tecnología aeroportuaria

Publicación Técnica No. 317
Sanfandila, Qro, 2008

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por el investigador Alfonso Herrera García. Se agradecen los comentarios y sugerencias del encargado de la Coordinación de Integración del Transporte, Dr. Carlos Daniel Martner Peyrelongue.

Índice

Índice	III
Índice de figuras	VII
Resumen	XI
Abstract	XIII
Resumen ejecutivo	XV
1. Introducción	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Metodología	2
1.4 Alcances	2
2. Generalidades	3
2.1 Introducción	3
2.2 Aplicaciones y tecnologías consideradas	4
2.3 Aspectos generales	5
3. Procesamiento de pasajeros	7
3.1 Documentación (<i>check-in</i>) mediante kioscos de autoservicio	7
3.1.1 Aplicación de los kioscos de autoservicio	8
3.1.1.2 Aeropuerto de <i>Seattle-Tacoma</i>	9
3.1.1.3 Aeropuerto de Amman	10
3.1.1.4 Aeropuerto de Copenhagen	10
3.1.1.5 Aeropuerto de <i>Billund</i>	11
3.2 Equipaje	12
3.2.1 Tecnología mediante vehículos de destino codificado (DCV)	14
3.2.1.1 El caso del aeropuerto de Toulouse	16
3.2.1.2 El caso del aeropuerto de Dubai	17
3.2.1.3 Ventajas	18
3.2.2 Identificación por radiofrecuencia (RFID)	18
3.2.2.1 Generalidades de la identificación por radiofrecuencia	21
3.3 Sistemas automatizados de inmigración	23
3.3.1 Riesgos e inconvenientes	25
3.3.2 Pruebas	26
4. Servicios a los pasajeros	29
4.1 Sistemas de información	29
4.1.1 Sistemas de información de vuelos	29
4.1.2 Sistemas avanzados de información para estacionamientos	32
4.1.2.1 Antecedentes	33
4.1.2.2 Tipos de sistemas	34
4.1.2.3 Componentes básicos	35
4.1.2.4 Tecnologías potenciales para la difusión de la información de los sistemas inteligentes de transporte	36
4.1.2.5 Lineamientos para la implementación de un sistema avanzado de información de estacionamientos	38
4.1.2.6 Aplicación de un sistema avanzado de información de	

estacionamientos	40
4.2 Cabinas para fumadores	41
4.2.1 Introducción	41
4.2.2 Cabinas	42
4.3 Sistemas de transporte rápido	44
4.3.1 Generalidades del sistema de transporte rápido	45
4.3.2 Comodidad para los pasajeros	47
4.3.3 Aplicación en el aeropuerto de <i>Heathrow</i>	48
5. Seguridad operacional (<i>safety</i>)	51
5.1 Detección de incursiones no autorizadas, piedras y otros objetos en pistas, mediante rayos láser	51
5.1.1 Ventajas del sistema	52
5.1.2 El problema de las incursiones en pistas	52
5.2 Tecnologías para la reducción del peligro de las aves en pistas	53
5.2.1 Estadísticas de colisiones de aeronaves con aves	55
5.2.2 Alternativas para ahuyentar a las aves de los aeropuertos y sus alrededores	57
5.2.3 Desarrollos tecnológicos recientes	57
5.3 Tratamiento antipatinaje en pistas	59
5.4 Sistema para detener aeronaves fuera de control, en la cabecera de las pistas	61
5.4.1 Aplicación del desarrollo de EMAS	64
5.4.2 Sistemas instalados y en operación	65
5.5 Estructuras frangibles	67
5.5.1 Aplicación de estructuras frangibles y de masa mínima	68
5.6 Nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos	71
5.7 Sistema de administración de los vórtices de aeronaves	73
5.7.1 Sistema para la detección de estelas de vórtices	74
6. Seguridad contra actos ilícitos (<i>security</i>)	79
6.1 Tecnologías biométricas	79
6.1.1 El programa viajero registrado	79
6.1.2 Importancia de la calidad de las imágenes	81
6.1.3 Aplicación de la tecnología biométrica para el acceso controlado de empleados aeroportuarios	82
6.2 Detección de armas y sustancias químicas peligrosas	84
6.2.1 Introducción	84
6.2.2 Kioscos avanzados de seguridad para viajeros registrados	85
6.2.3 Detector portátil de materiales peligrosos	85
6.2.4 Equipo de resonancia cuadrupolar para la detección de sustancias peligrosas	88
6.2.5 Portal para la detección de explosivos y narcóticos	89
6.2.6 Detector de líquidos peligrosos	90
6.2.7 Cámara para la detección de objetos ocultos sin la utilización de rayos X	92
6.3 Cámaras de imagen térmica	94
6.3.1 El caso del aeropuerto de Copenhague	95

7. Mejor aprovechamiento de la energía y protección del ambiente	99
7.1 Introducción	99
7.2 Uso de energía solar	107
7.2.1 Uso de la energía solar en los aeropuertos	109
7.2.2 Utilización de <i>LEDs</i> en sistemas de energía solar	112
7.3. Recintos para pruebas de motores de aeronaves	115
7.3.1 Desarrollos recientes de recintos para pruebas de motores	117
7.4 Combustibles alternos para la aviación	120
8. Servicios para aeronaves	123
8.1 Sistema de túneles con tomas retráctiles para plataformas	123
8.1.1 Aplicación del sistema de túneles en aeropuertos	126
8.2 Sistemas de recuperación de aeronaves	127
8.2.1 Equipos para la recuperación de aeronaves	131
9. Conclusiones	137
10. Referencias bibliográficas	143

Índice de figuras

Figura 3.1 Kiosco de autoservicio, modelo IER 918	11
Figura 3.2 Vehículos de destino codificado (DCV)	16
Figura 3.3 Vías para vehículos de destino codificado	17
Figura 3.4 Control del equipaje mediante código de barras y RFID en el aeropuerto de <i>Hong Kong</i>	20
Figura 3.5 Lectores de RFID	21
Figura 3.6 Sistema de automatizado de inmigración en la terminal 2F del aeropuerto <i>Charles de Gaulle</i> , en París, Francia	26
Figura 4.1 Sistemas de despliegue de información de vuelo multiusuario con monitores de cristal líquido, en configuración vertical y horizontal	30
Figura 4.2 Sistema de despliegue de información de vuelo (FIDS)	32
Figura 4.3 Despliegue de información de un sistema avanzado en un edificio de varios niveles	35
Figura 4.4 Sistema de mensajes variables de un sistema avanzado de información de estacionamientos	37
Figura 4.5 Cabinas para fumadores	43
Figura 4.6 Cabina para 6-7 fumadores (izquierda), y 12-14 fumadores (derecha)	43
Figura 4.7 Vehículos del sistema de transporte rápido en una pista de pruebas	44
Figura 4.8 Características de los vehículos para el sistema de transporte rápido	46
Figura 4.9 Interior del vehículo	48
Figura 4.10 Ruta propuesta para el sistema de transporte rápido en el aeropuerto de <i>Heathrow</i>	49
Figura 5.1 Álabes de entrada de un motor turboreactor JT8-D, dañados por el impacto con un ave	54
Figura 5.2 Operación riesgosa de aeronaves por la presencia de aves	56
Figura 5.3 Equipo bioacústico para la dispersión de aves	58
Figura 5.4 Sistema disuasivo mediante rayo láser	59
Figura 5.5 Pista del nuevo Aeropuerto Internacional de Atenas con tratamiento antipatinaje	60
Figura 5.6 Sistema <i>TrackJet</i> . Módulo frontal, unidad de alta presión y carro tanque con agua	61
Figura 5.7 Prueba de ESCO y la FAA para la detención de una aeronave Boeing 727	62
Figura 5.8 Acercamiento del EMAS en una aeronave detenida	62
Figura 5.9 Aeronave entrando en el estrato colapsable	63
Figura 5.10 Tren de aterrizaje en el estrato colapsable	64
Figura 5.11 Vista en planta típica del EMAS	64
Figura 5.12 Elevación típica del EMAS	65
Figura 5.13 Sección típica del EMAS	65
Figura 5.14 A la izquierda, aeropuerto <i>Greater Binghamton</i> ; y a la derecha, Aeropuerto Internacional de <i>Rochester</i> , con la instalación del EMAS	65

Figura 5.15 Aeronave SAAB 340 detenida por el EMAS	66
Figura 5.16 Retención de una aeronave de carga MD-11 en el estrato colapsable	66
Figura 5.17 Retención de una aeronave Boeing 747 en el estrato colapsable	67
Figura 5.18 Torres para sistemas de aterrizaje por instrumentos y soportes localizadores	69
Figura 5.19 Mástiles estructurales para sistemas de luces de aproximación	69
Figura 5.20 Mástiles estructurales para conos de viento y anemómetros	70
Figura 5.21 Cercado perimetral	70
Figura 5.22 Arquitectura del sistema de amplificación con base en tierra (GBAS)	72
Figura 5.23 Vórtice en la punta del ala de una aeronave, visible mediante humo de color	73
Figura 5.24 Arreglo del sistema SOCRATES, instalado en el Aeropuerto Internacional de Denver, Estados Unidos	76
Figura 6.1 Tarjeta inteligente del programa viajero registrado	80
Figura 6.2 Explorador de iris	80
Figura 6.3 Vista lateral de un equipo de reconocimiento facial suizo. Observe sus luces infrarrojas, invisibles al ojo humano, pero adecuadas para este sistema	82
Figura 6.4 Empleado utilizando el sistema RAIC; a la derecha detalle del lector de huellas dactilares	82
Figura 6.5 Detector portátil de materiales peligrosos, mediante espectroscopio de luz infrarroja (HazMatID)	87
Figura 6.6 Portal para la detección de explosivos y narcóticos (<i>EntryScan</i>)	90
Figura 6.7 <i>OptoScreener</i>	91
Figura 6.8 Pantalla sensible al tacto del <i>OptoScreener</i>	92
Figura 6.9 Forma en que trabaja la tecnología de los rayos T (se ilustra el equipo T4000)	93
Figura 6.10 Instalación típica de un equipo T4000	94
Figura 6.11 Ejemplos de imágenes térmicas	95
Figura 6.12 Cámara para imágenes térmicas SR-100	97
Figura 6.13 Rango de desempeño del sistema SR-100, con lente de 100 mm	97
Figura 7.1 Unidad de ventilación natural (<i>Windcatcher</i>)	99
Figura 7.2 Domo de policarbonato en forma de diamante, con protección de rayos ultravioleta (<i>Sunpipe</i>)	100
Figura 7.3 Turbina de aire	101
Figura 7.4 A la izquierda banda de reclamo de equipaje, y a la derecha interior de la Terminal 3 del aeropuerto de Singapur	107
Figura 7.5 Los colores indican la radiación solar promedio (entre 1991 y 1993) calculada sobre la base de 24 horas por día y considerando la nubosidad observada mediante satélites	108
Figura 7.6 Paneles solares de un sistema de generación de energía eléctrica	109

Figura 7.7 Sistema integrado de energía solar (izquierda), y su aplicación a un sistema de iluminación (derecha)	109
Figura 7.8 Luces de umbral de pista activadas por energía solar	110
Figura 7.9 Luces en las calles de rodaje del aeropuerto <i>Truckee Tahoe</i> , Estados Unidos. Más de 561 luces fueron instaladas	110
Figura 7.10 Iluminación de un cono de viento mediante energía solar; este equipo utiliza diodos de emisión de luz (<i>Light Emitting Diodes</i> ; LEDs). Con lo que se obtiene un equipo de larga vida que no requiere cambio de focos	111
Figura 7.11 Luces LED instaladas en una torre de comunicaciones en el Aeropuerto Internacional de Barcelona, España	111
Figura 7.12 Luces con lentes rojas instaladas en una cerca perimetral, para delimitar el área de seguridad en la base de la Fuerza Aérea “El Centro”, en California, Estados Unidos	112
Figura 7.13 Diodo de emisión de luz (LED)	113
Figura 7.14 Ejemplo de distintas configuraciones de recintos para pruebas de motores	116
Figura 7.15 Recinto para prueba de motores; observe la ubicación de la terminal aérea atrás	117
Figura 7.16 Vista aérea del recinto para la prueba de motores del <i>Airbus A380</i> , en el aeropuerto de <i>Toulouse</i> . Diámetro 140 m; altura 20 m; superficie 15,394 m ²	118
Figura 7.17 Prueba de motores del <i>Airbus A380</i> dentro del recinto; las aeronaves pueden posicionarse en dos direcciones opuestas	118
Figura 7.18 La instalación consiste de un deflector de gases de escape (que puede moverse en un ángulo de 330°), una pared semicircular fija, y dos puertas de configuración circular	119
Figura 8.1 Equipos retráctiles para el servicio de aeronaves en plataforma	124
Figura 8.2 El sistema de túnel está diseñado para dar servicio a todo tipo de aeronaves, incluso al <i>Airbus A380</i>	125
Figura 8.3 Detalles de un equipo retráctil	126
Figura 8.4 Equipo retráctil para servicio en hangares	126
Figura 8.5 Sistema de túnel instalado en el Aeropuerto Internacional de <i>Dortmund</i>	127
Figura 8.6 Accidente de un <i>Boeing 777</i> de <i>British Airways</i> , en el aeropuerto de <i>Heathrow</i> en Londres (Inglaterra), ocurrido el 17 de enero de 2008	128
Figura 8.7 Sistema de bolsas de aire	132
Figura 8.8 Sistema de viga de levantamiento utilizado en una aeronave <i>Boeing 747</i>	133
Figura 8.9 Cubiertas para caminos temporales	134
Figura 8.10 Cubiertas para caminos temporales	134
Figura 8.11 Sistema de transporte de aeronaves	135

Resumen

En este trabajo se abordaron diversas innovaciones tecnológicas que pueden aplicarse en seis campos de la actividad aeroportuaria, algunas de las cuales son tan recientes que apenas se están implementando, o incluso siguen en su fase de prueba o desarrollo; sin embargo, debido a sus características es muy probable que en el futuro cercano se implementen en la mayoría de los aeropuertos, y se conviertan en parte cotidiana de su operación. Las innovaciones tecnológicas abordadas en este trabajo son las relacionadas con:

El procesamiento de pasajeros. En esta sección se cubren tecnologías para incrementar la eficiencia en el procesamiento de los pasajeros y en el manejo de su equipaje. También se abordan los sistemas automatizados de inmigración.

Los servicios a los pasajeros. Además del procesamiento de los pasajeros existen servicios adicionales o complementarios; por ejemplo, los sistemas de información de vuelos; los sistemas avanzados de información para estacionamientos; las cabinas para fumadores; y los sistemas de transporte rápido entre terminales.

Seguridad operacional. En este rubro se han desarrollado tecnologías para prevenir las incursiones no autorizadas en pistas, o incluso la detección de piedras y otros objetos pequeños en las mismas, mediante tecnologías de rayo láser; también se incluyen las tecnologías para ahuyentar a las aves de los aeropuertos, mediante técnicas sonoras y de rayos láser; tratamientos antipatinaje de las pistas; sistemas para detener en las cabeceras de las pistas a aeronaves fuera de control; la implementación de estructuras frangibles dentro del aeropuerto, y en su periferia; nuevos sistemas de aterrizajes por instrumentos; y sistemas para la administración y detección de los vórtices generados por las aeronaves.

En cuanto a la seguridad contra actos ilícitos, se señala el desarrollo de las tecnologías biométricas para propósitos de identificación de los pasajeros y del personal del aeropuerto; y nuevos y mejores equipos para la detección de armas, sustancias químicas peligrosas, y narcóticos.

En el trabajo se abordan a la vez las tecnologías para el mejor aprovechamiento de la energía y la protección del ambiente. Se consideran las aplicaciones de energía eólica y solar; de nuevos combustibles alternos en aeropuertos y aeronaves; y para efectos de reducir el nivel de ruido en tierra de las aeronaves, los recintos para pruebas de sus motores.

Finalmente, en cuanto a servicios para aeronaves, se señalan nuevos desarrollos de sistemas de túneles con tomas retráctiles para plataformas, y los equipos para recuperación de aeronaves.

Abstract

In this paper several technological innovations were considered, they could be applied in six fields of the airport activity, some of them are so new that they are in the installation process, under testing or development phase; however, it is likely that in the near future all they will be implemented in many airports and will become a component of the routine operation. The technological innovations considered in this paper were the related to:

Passenger processing. In this chapter are considered technologies for increasing efficiency of passenger processing and baggage management. Also the automated immigration systems are considered.

Passenger services. In addition to passenger processing there are complementary services, for instance, flight information systems; advanced parking information systems; smoke cabins; and personal rapid transport systems.

Safety. In this matter several technologies have been developed. For example, the use of laser beam technology in order to avoid runway incursions or for detection of foreign objects and debris on the surface of runways; also scare of birds through scarecrow bio-acoustic or laser beam; antiskid surface treatment on runways; engineered material arresting system for runways; implementation of frangible structures; new instrument landing system; and an aircraft wake safety management system are included.

About security, the development of biometric technologies in order to identify passengers and airport personal; and new and better technologies for detection of hazardous materials, weapons and narcotics are pointed out.

In this paper some technologies for better use of energy and environment protection are included. The application of wind and sun energy; new alternate fuels for airports and aircrafts; and ground run-up enclosures are considered.

Finally, about aircraft services, new developments of ground support systems through tunnels underneath the parking surface with pop-up supply and new aircraft recovery equipments are pointed out.

Resumen ejecutivo

Introducción

Justificación

En la misión del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), se considera el apoyo coordinado con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) al desarrollo integral del Sector Transporte mediante trabajos de investigación que contribuyan a mejorar la seguridad, calidad, modernidad, confiabilidad y eficiencia de la infraestructura y de los servicios que preste. Uno de los temas de interés es el de la tecnología aeroportuaria, sobre la cual existe muy poco material bibliográfico, especialmente en español, que permita la actualización y que sirva como material de referencia para el personal técnico que labora dentro de la Secretaría.

Este trabajo servirá como referencia o documento de consulta para el personal técnico de la SCT, del IMT, y de las empresas de transporte y consultoría involucrados en la realización de modificaciones, y/o mejoras a la infraestructura aeroportuaria o en el desarrollo de nuevos aeropuertos.

Objetivo

Identificar y describir los avances más recientes sobre tecnología aeroportuaria en el ámbito mundial, y su aplicabilidad a México.

Alcances

El estudio consigna los desarrollos más recientes en tecnología aeroportuaria en el ámbito mundial y que podrían aplicarse en México.

Los elementos tecnológicos detectados abarcan seis áreas de la actividad aeroportuaria:

1. Procesamiento de pasajeros (documentación, sistemas automatizados de inmigración y manejo de equipaje);
2. Servicios a los pasajeros (sistemas de información de vuelos y estacionamientos; cabinas para fumadores; y sistemas de transporte rápido);
3. Seguridad operacional (detección de incursiones en pistas; reducción del peligro de las aves; tratamiento antipatinaje en pistas; sistemas de detención de aeronaves; estructuras frangibles; nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos; y sistema de administración de los vórtices de las aeronaves);
4. Seguridad contra actos ilícitos (aplicada a los pasajeros, equipajes y a los empleados del aeropuerto);
5. Mejor aprovechamiento de la energía y protección del ambiente (aplicación de energías renovables, combustibles alternos, y protección contra el ruido);
6. Servicios para aeronaves (túneles con tomas retráctiles para plataformas y sistemas de recuperación de aeronaves).

Generalidades

Muchos profesionales en la aviación tienen alguna idea de lo que ofrecerán los aeropuertos en el futuro. La mayoría comparte una visión utópica de diseños de la era espacial, alta tecnología, pocas colas, y una experiencia placentera para la gran mayoría de los usuarios.

Dichas aspiraciones están dentro de lo alcanzable en muchos de los aeropuertos actuales. Los diseños de los aeropuertos contemporáneos están logrando una gran semejanza con los diseños futurísticos. Al aplicar una correcta combinación de las tecnologías disponibles, los aeropuertos pueden alcanzar este modelo ideal en el futuro. Si los procesos son simples, eficientes y cómodos, a tal grado que los pasajeros pueden predecir pequeños tiempos de tránsito entre la entrada al aeropuerto y la puerta de abordaje de su avión, los viajes aéreos tendrán mayor demanda.

Procesamiento de pasajeros

Documentación mediante kioscos de autoservicio

La implementación de los kioscos de autoservicio con bajos volúmenes de pasajeros es difícilmente justificable; sin embargo, se obtienen buenos resultados cuando su uso se incorpora en el marco de la planeación aeroportuaria, y se utilizan como el elemento principal para la documentación de los pasajeros. Un factor importante para que los kioscos se mantengan operativos, es el impulso de las aerolíneas participantes.

El procesamiento electrónico acelera el procesamiento de los pasajeros, con lo cual se reduce la demanda de las instalaciones. La desconcentración de los puntos de documentación hace posible que muchos pasajeros eviten las salas de documentación congestionadas. El resultado neto será el cambio de los flujos de pasajeros y la reducción del número de instalaciones de documentación por pasajero.

Equipaje

Los avances y mejoras en la calidad de las tecnologías modernas para el manejo de equipaje ofrecen mayores niveles de confiabilidad. En la actualidad existen dos tecnologías nuevas que pueden brindar mejoras significativas; la primera, se relaciona con el procesamiento del equipaje mediante vehículos de destino codificado (DCV); y la segunda con la identificación más ágil y precisa del equipaje mediante radiofrecuencia (RFID).

Tecnología mediante vehículos de destino codificado

Los sistemas de manejo de equipaje mediante DCV han sido diseñados como una alternativa de los sistemas convencionales, dado que son capaces de recolectar los equipajes directamente desde las áreas de documentación, clasificarlos, almacenarlos y conducirlos por todo el sistema.

Cada vehículo tiene a bordo su propio sistema de control para realizar todos sus movimientos con base en “*misiones*” específicas, que son establecidas desde el

sistema de control centralizado. Para impulsar a estos vehículos se utilizan motores de inducción lineal, con los cuales se asegura una operación muy confiable y silenciosa (los motores no tienen partes móviles). Además, debido a que los vehículos sólo se mueven cuando se necesita el traslado del equipaje, se logra un consumo bajo de energía.

Identificación por radiofrecuencia

Durante años, el procedimiento común para el manejo del equipaje ha sido a través de códigos de barras. Aunque esta tecnología trabaja bien cuando opera en forma cercana a los lectores, su corto alcance genera algunos problemas. La industria de la aviación ha pensando en un modelo híbrido que combina los códigos de barras y los dispositivos de identificación por radiofrecuencia, para mejorar el seguimiento de los pasajeros y su equipaje.

De acuerdo con estudios y pruebas realizados por la IATA, mientras que con el código de barras, aplicado al manejo de equipaje, se logra una eficiencia de 80-90%, con el sistema RFID se obtiene una eficiencia del 95-99%.

Sistemas automatizados de inmigración

Las instalaciones para la validación de la identidad de los pasajeros, mediante sistemas parcial o totalmente automatizados, serán una característica que se incorporará en los diseños de los aeropuertos futuros. Dichos sistemas permitirán que la gran mayoría de los pasajeros sean procesados automáticamente y en poco tiempo; mientras que el procesamiento manual será reservado para casos excepcionales. Actualmente, una cantidad enorme de trabajo se ha realizado en el campo de la biometría, lo cual condujo al desarrollo de varios procesos de seguridad automatizados para identificar pasajeros.

Servicios a los pasajeros

Sistemas de información de vuelos

Los actuales sistemas de despliegue de información de vuelo realizan automáticamente muchas funciones que anteriormente se ejecutaban manualmente. De esta forma, sus administradores poseen herramientas de fácil manejo para crear, visualizar previamente, y archivar diversos tipos de mensajes; dando gran flexibilidad a las configuraciones de despliegue, y ofreciendo a los usuarios opciones múltiples para obtener información de los vuelos.

Sistemas avanzados de información para estacionamientos

Como resultado de los incrementos en los volúmenes de tránsito aéreo, y del alto grado de dependencia de los automóviles como modo dominante para el acceso terrestre hacia y desde los aeropuertos, los accesos terrestres y los estacionamientos de los mismos sufren demandas significativas.

Los sistemas avanzados de información de estacionamientos, buscan reducir algunos de los problemas asociados con la búsqueda de espacios disponibles, mediante la tecnología de sistemas inteligentes de transporte; primero, para dirigir

a los usuarios hacia estacionamientos con espacios disponibles, y después para especificarles la ubicación de dichos lugares dentro de los mismos.

Cabinas para fumadores

Se asume que existe el deseo de que la gente que acude a los aeropuertos tenga una estancia agradable, en la medida de lo posible; por otro lado, los administradores aeroportuarios deben proteger la salud de su personal y de los viajeros. Sin embargo, la tarea no es siempre fácil debido a que los viajeros, visitantes y personal del aeropuerto difieren en sus demandas; e incluso en algunos casos éstas son conflictivas, como es el caso de fumadores y no fumadores.

Afortunadamente, en la actualidad es factible establecer un ambiente adecuado para los fumadores. Esto se ha logrado en algunos aeropuertos mediante cabinas para fumadores dentro de las terminales de pasajeros, en las salas de espera para ejecutivos, y en las áreas del personal aeroportuario. Las cabinas para fumadores tienen un diseño modular; se pueden instalar en cualquier lugar, sin necesidad de cambiar los sistemas existentes de tratamiento de aire. Además, son de fácil acceso, aún con sillas de ruedas y/o equipajes. Por otro lado, estos equipos operan automáticamente con objeto de ahorrar energía; el sistema de limpieza de aire funciona sólo cuando alguien se encuentre dentro de la cabina.

Sistemas de transporte rápido

Con objeto de transportar a los pasajeros dentro de las terminales aeroportuarias se han implementado diversos sistemas; el de transporte rápido personal, es uno de los más recientes y novedosos.

Este sistema se diseñó para cumplir con las expectativas de los pasajeros, dado que es práctico, poco costoso, confiable, seguro y fácil de usar. Por otro lado, desde el punto de vista ambiental, no es contaminante y consume poca energía. Los vehículos se controlan autónomamente; una vez que han recibido sus instrucciones del control central, éstos continuarán hasta su destino sin necesidad de instrucciones adicionales.

Seguridad operacional (safety)

Detección de incursiones y objetos riesgosos en pistas, mediante rayos láser

Una nueva tecnología que utiliza rayos láser diseñada para prevenir incursiones no autorizadas y detectar elementos extraños en las pistas, ya es disponible. Si el sistema detecta alguna anomalía, la información es transmitida directamente a la aeronave, al control de tránsito aéreo, y al personal en tierra antes de que la aeronave despegue o aterrice, con objeto de aplicar la acción correctiva necesaria.

Tecnologías para la reducción del peligro de las aves en pistas

El costo de las consecuencias de los daños a las aeronaves por colisiones con aves, puede ser de varios millones de dólares al año; además, dichos impactos

ponen en riesgo la seguridad de los pasajeros y de su tripulación. Dentro de los desarrollos tecnológicos para evitar este peligro, se tiene a un nuevo sistema bioacústico de dispersión de aves. Otra tecnología reciente utiliza un sistema de rayo láser; que “barre” las pistas del aeropuerto, ahuyentando a las aves.

Tratamiento antipatinaje en pistas

Mediante los procesos y materiales comunes para la construcción de pistas, generalmente no puede cumplirse con las especificaciones de fricción establecidas en pistas nuevas. Los valores de fricción, gradualmente se incrementan con el tiempo y con la exposición de las pistas a la operación de las aeronaves; por lo anterior es una práctica operacional común establecer que los niveles de fricción requeridos se alcancen un año después de que la pista ha estado en operación. Recientemente se ha desarrollado un método que permite obtener los niveles requeridos de fricción, inmediatamente después de la construcción de las pistas, mediante la aplicación en su superficie de agua con ultra alta presión.

Sistema para detener aeronaves fuera de control, en la cabecera de las pistas

Mediante esta tecnología se puede detener el movimiento de las aeronaves, y absorber su energía cuando éstas no pueden frenar en forma normal durante su operación. Su aplicación ha permitido salvar vidas humanas y preservar la integridad de los equipos y del ambiente, aun bajo condiciones ambientales adversas. Para ello utiliza un estrato con cemento celular diseñado para colapsarse bajo el peso de una aeronave, brindando una desaceleración controlada y predecible. Su diseño depende de la longitud, profundidad y resistencia de la pista, y del tipo de aeronaves que operan en ella.

Estructuras frangibles

Con objeto de mantener una operación segura de diversas estructuras aeroportuarias y en cumplimiento con los requerimientos de frangibilidad de la OACI, se han desarrollado diseños con materiales compuestos, los cuales brindan las ventajas siguientes: masa reducida, transparencia para las señales electromagnéticas, y mantenimiento mínimo.

Nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos

Su operación se basa en la corrección diferencial, en tiempo real, de la señal de un sistema de posicionamiento global. El proceso se realiza mediante receptores locales que envían la información a una ubicación central dentro del aeropuerto; la información se utiliza para generar un mensaje con las correcciones, las cuales se transmiten a los usuarios. Un receptor en la aeronave utiliza la información para corregir las señales del sistema de posicionamiento global.

Sistema de administración de los vórtices de aeronaves

Las alas de las aeronaves generan estelas de vórtices, similares a tornados horizontales; su tamaño depende del peso de la aeronave y de su envergadura. Para garantizar una operación segura de las aeronaves se han establecido

estándares de separación. Los estándares actuales funcionan como una medida preventiva, aunque representan un costo enorme, debido a que reducen la capacidad del espacio aéreo de los aeropuertos. Actualmente se está desarrollando un sistema para la detección y predicción de las estelas de vórtices. La base del desarrollo de dicho sistema se fundamenta en la predicción y confirmación del comportamiento de los vórtices, y en la verificación de que la trayectoria de cada aeronave vulnerable está libre de los mismos.

Seguridad contra actos ilícitos (security)

Después de los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 en los Estados Unidos, las medidas de seguridad de los principales aeropuertos en todo el mundo se han incrementado significativamente.

Una de las tecnologías de seguridad se ha enfocado a la identificación de los pasajeros, con objeto de detectar a aquellos con antecedentes criminales, o que se consideran peligrosos; para ello se han desarrollado sistemas que combinan tarjetas de identificación y reconocimiento biométrico. También se han diseñado sistemas similares, pero aplicados a los empujados aeroportuarios.

Otra modalidad reciente son los kioscos de seguridad para viajeros, en una versión avanzada, con los que será innecesario que los pasajeros se quiten sus zapatos, en los puntos de inspección.

Cuando se detectan sustancias sospechosas en un aeropuerto, los responsables de la seguridad frecuentemente carecen de las instalaciones adecuadas para los análisis químicos requeridos. Sin embargo, los sistemas portátiles modernos mediante espectroscopios de luz infrarroja pueden realizar esta tarea fácilmente. Estos equipos pueden realizar un análisis completo en unos cuantos segundos. El espectroscopio funciona al colocar una gota, o unos cuantos gramos de la sustancia desconocida, sobre un pequeño sensor de diamante.

En años recientes, un grupo de científicos argentinos ha estado trabajando en el desarrollo de un equipo de resonancia cuadrupolar para la detección remota de sustancias peligrosas. El proyecto se basa en una técnica que produce una señal de resonancia cuadrupolar que es única e inconfundible para cada sustancia. Esta tecnología se considera una de las más adecuadas para la detección de explosivos; complementa a los equipos de rayos X, y tiene la ventaja de que es completamente inofensiva.

Otro desarrollo que sirve como punto de inspección de seguridad, es el portal para la detección de explosivos y narcóticos. El fundamento para identificar a las sustancias se deriva del tiempo que requieren las distintas moléculas ionizadas, para pasar a través de un campo eléctrico. Mediante este equipo es factible detectar e identificar trazas microscópicas de explosivos. Además, puede detectar la presencia de narcóticos de una forma no intrusiva.

Mediante un desarrollo reciente que utiliza una tecnología poderosa de reconocimiento óptico y que analiza las señales de rayos X, después de que estos han atravesado los líquidos bajo inspección, es posible identificar cualquier sustancia peligrosa. Su utilización permitirá regresar a los procedimientos normales para los viajeros, en donde se permite que lleven dentro de su equipaje líquidos no peligrosos.

Otro desarrollo revolucionario reciente es la tecnología que permite detectar bajo la ropa objetos metálicos y no metálicos, como explosivos, líquidos, drogas, armas, plásticos y cerámicas. La detección puede realizarse a distancias de hasta 25 metros, en personas quietas o en movimiento, sin necesidad de someterlas a radiaciones peligrosas y sin revelar detalles anatómicos de las mismas. Este equipo capta pasivamente los rayos T (que son una forma de energía de bajo nivel que emiten naturalmente todos los materiales, incluyendo rocas, plantas, animales y humanos), y los procesa para formar imágenes que revelan objetos ocultos bajo las ropas.

Aunque las imágenes térmicas han sido ampliamente utilizadas por los gobiernos y la industria de la defensa, son hasta ahora una opción de uso comercial, debido a que anteriormente sus costos eran muy altos. Con la amenaza potencial de intrusos o de ataques terroristas, los aeropuertos deben mantener todas sus áreas seguras. Una imagen térmica se genera mediante la detección de diferencias de temperatura extremadamente pequeñas, las cuales posteriormente son convertidas, en tiempo real, en imágenes de video.

Mejor aprovechamiento de la energía y protección del ambiente

Aunque la aviación contribuye con sólo una pequeña parte de la contaminación ambiental en el ámbito mundial, muchos aeropuertos están tomando medidas para mejorar el aprovechamiento de la energía y para proteger el ambiente.

Por ejemplo, mediante sistemas de iluminación y ventilación naturales; generación de energía eléctrica a través de turbinas de aire; utilización de biocombustibles (los cuales tienen un papel fundamental en la reducción drástica de las emisiones de dióxido de carbono), gas natural, gas licuado de petróleo, y celdas de combustible de hidrógeno; e instalación de termo-laberintos, para acondicionar la temperatura de los edificios del aeropuerto.

En particular, la energía solar en los aeropuertos tiene un campo extenso de aplicación, ya sea generando electricidad, para el calentamiento de agua y como sistema de iluminación natural. De acuerdo con estudios de especialistas, para el año 2100, el 70% de la energía consumida en el mundo será de origen solar. Afortunadamente para México, su ubicación geográfica le permite disponer de cantidades significativas de esa energía.

Otra área de desarrollo ambiental se relaciona con instalaciones que sirven para atenuar el ruido de los motores de las aeronaves cuando están bajo prueba. El mantenimiento de las aeronaves requiere a menudo que se prueben sus motores

a potencia máxima; durante estas pruebas los motores generan tanto ruido como en un despegue, sin embargo, tienen una duración mayor. Es común que las pruebas se realicen durante la noche, cuando las comunidades cercanas al aeropuerto son particularmente sensibles al ruido. El ruido puede atenuarse gracias al desarrollo de recintos sofisticados para pruebas de motores. Los componentes básicos de dicha tecnología son unas paredes atenuadoras de ruido combinadas con deflectores de gases de escape.

En la actualidad, en varios países se desarrollan proyectos que buscan determinar la viabilidad de combustibles alternos para la aviación comercial. En particular, hacia el año 2025 serán evaluados para su aplicación en combustibles de aviación, los aceites de pizarra bituminosa, y mezclas de etanol; y en el largo plazo se evaluará la aplicación del hidrógeno para su uso en los motores turborreactores de las aeronaves. Por otro lado, también se está guiando la forma en que se realizan las mejoras en el diseño, construcción y prueba de tubos y ductos; y de sistemas nuevos y más seguros de distribución de hidrógeno, incluyendo sistemas de almacenamiento a alta presión, contruidos de materiales compuestos

Servicios para aeronaves

Sistema de túneles con tomas retráctiles para plataformas

Es común que el diseño y arreglo del área de plataformas en los aeropuertos sea muy rígido, en contraste con otras áreas del mismo. Sin embargo, con los avances de la tecnología aeroportuaria y con el crecimiento constante de las dimensiones de las aeronaves, es necesario disponer de sistemas flexibles. Para resolver el problema creciente de la saturación en las plataformas se ha desarrollado una tecnología revolucionaria de pozos subterráneos, que suministra servicios utilitarios a las aeronaves mediante equipos retráctiles. Después de proporcionar servicio, estos equipos se retractan, ocultándose totalmente al quedar al nivel de la plataforma, quedando libre de obstáculos para la circulación de las aeronaves.

Los principales servicios que puede suministrar este sistema son: aire acondicionado; recolección de aguas residuales de los sanitarios; servicio de agua limpia; energía eléctrica; y otros servicios auxiliares.

Sistemas de recuperación de aeronaves

El número creciente de operaciones aéreas ha conducido a un incremento de los incidentes aéreos, en donde como consecuencia las aeronaves resultan dañadas. Además, los diseños recientes de aeronaves más grandes y pesadas, hacen que su proceso de recuperación sea una tarea difícil y costosa, tanto para el aeropuerto como para su operador.

Aunque no hay estadísticas oficiales acerca del número y tipo de recuperaciones de aeronaves dañadas, algunas investigaciones señalan que en promedio en todo el mundo este tipo de incidentes se presenta con una frecuencia de una vez por semana. Aún percances pequeños producen retos enormes cuando una aeronave está involucrada; en muchos casos la operación del aeropuerto se detiene

prácticamente. Sin importar la complejidad de cada situación, las pérdidas financieras de un aeropuerto pueden rápidamente ser del orden de millones de dólares, por lo que el tiempo de remoción de la aeronave dañada y el reestablecimiento de las condiciones operativas seguras, se vuelven esenciales.

Los retos para la recuperación de las grandes aeronaves modernas han forzado a muchas organizaciones a revisar en detalle sus procedimientos actuales y, las herramientas requeridas. Dentro de los nuevos equipos para la recuperación de aeronaves se tienen: sistemas de bolsas de aire; sistemas de levantamiento de fuselajes; cubiertas para caminos temporales; y sistemas de transporte de aeronaves.

Conclusiones

Sin duda, una forma de mejorar los sistemas de transporte es mediante la aplicación de innovaciones tecnológicas.

Un área importante de innovaciones tecnológicas se ha enfocado al procesamiento de pasajeros. Mediante los kioscos de autoservicio se podrá tener una mayor cobertura para su procesamiento. Por otro lado, el manejo de equipaje será más eficiente y rápido mediante el empleo de vehículos de destino codificado, y con la aplicación de las tecnologías de identificación por radiofrecuencia. Los sistemas automatizados de inmigración permitirán que la mayoría de los pasajeros sean procesados en poco tiempo.

Adicionalmente al procesamiento de pasajeros, existen nuevas tecnologías enfocadas en ofrecer servicios complementarios a los pasajeros, dentro de las cuales destacan los nuevos sistemas de información de vuelo, que a diferencia de los actuales, ofrecen variantes con mayor flexibilidad; el desarrollo de sistemas avanzados de información para estacionamientos; cabinas especiales para fumadores; y nuevas formas de transporte dentro del aeropuerto (que brindan mayor comodidad, rapidez y ahorro de energía).

En el campo de la seguridad operacional, las innovaciones tecnológicas brindarán mayor apoyo; por ejemplo, mediante la detección de incursiones no autorizadas y de objetos peligrosos en las pistas; aplicaciones sonoras o de rayo láser para reducir o eliminar el peligro que representan las aves en o cerca de los aeropuertos; sistemas para detener a las aeronaves fuera de control en las pistas, y los tratamientos antipatinaje; utilización de estructuras frangibles y masa mínima dentro de las instalaciones aeroportuarias; nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos; y los sistemas de administración de las estelas de aeronaves.

La seguridad contra actos ilícitos es otra aérea que se beneficiará con la aplicación de innovaciones en la tecnología; en particular las tecnologías biométricas de iris, huella dactilar, y reconocimiento facial ayudarán a mejorar el acceso controlado de los empleados aeroportuarios. Equipos nuevos realizarán de una forma más eficiente la detección de armas, sustancias peligrosas y narcóticos.

Además, el empleo de cámaras de imagen térmica brindará mayor seguridad a la vigilancia nocturna de la infraestructura aeroportuaria.

Los aspectos ambientales, y el mejor aprovechamiento de la energía son desde luego áreas importantes en donde las tecnologías nuevas tendrán un impacto significativo; desde la utilización de energía solar, hasta la energía eólica, que ya se aplica en algunas terminales aeroportuarias nuevas. En cuanto al ruido se han desarrollado recintos para pruebas de motores, los cuales prometen eliminar el problema para las aeronaves en tierra. En cuanto a la reducción de emisiones contaminantes, se ha estado extendiendo el uso en las instalaciones aeroportuarias y en los vehículos de soporte en tierra, de biocombustibles, celdas de hidrógeno, gas licuado de petróleo, y gas natural.

Otro de los rubros importantes en donde la tecnología ha desarrollado nuevas alternativas es en relación con los servicios que el aeropuerto brinda a las aeronaves, en este caso hay dos importantes innovaciones; la primera, es el sistema de túneles con tomas retráctiles en las plataformas, para el servicio de aire acondicionado, agua y recolección de aguas residuales de los sanitarios. El otro desarrollo es el de los sistemas de recuperación de aeronaves, que a menudo es dejado dentro de los últimos servicios ofrecidos, pero que puede ser crítico para la operación de un aeropuerto.

1 Introducción

1.1 Justificación

En la misión del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), se considera el apoyo coordinado con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) al desarrollo integral del Sector Transporte mediante trabajos de investigación que contribuyan a mejorar la seguridad, calidad, modernidad, confiabilidad y eficiencia de la infraestructura y de los servicios que preste.

Por otro lado, dentro de las estrategias del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012 de la SCT, se ha establecido la necesidad de mejorar la calidad de la infraestructura aeroportuaria (estrategia 4.2.1), incrementar su competitividad (estrategia 4.2.2), y facilitar su interconexión con la de otros modos (estrategia 4.2.3); además, de acuerdo con la estrategia 10.2.1, el IMT debe realizar labores de investigación aplicada, o adaptación de tecnologías que produzcan resultados útiles en el sector, contribuir a la formación y actualización de recursos humanos de alto nivel para encauzar el desarrollo, asimilación y aplicación de tecnologías en materia de transporte (estrategia 10.2.2), y actualizar y difundir las tecnologías y conocimientos relacionados con el transporte (estrategia 10.2.4).

Uno de los temas de interés es el de la tecnología aeroportuaria, sobre la cual existe muy poco material bibliográfico, especialmente en español, que permita la actualización y que sirva como material de referencia para el personal técnico que labora dentro de la Secretaría.

La mayor parte del reducido material bibliográfico sobre tecnología aeroportuaria se presenta en otros idiomas, mientras que el disponible en español es generalmente obsoleto, tanto en sus elementos tecnológicos, como en su aplicación actual.

Dado que el problema se presenta para los profesionales del transporte, tanto de la SCT, como de empresas de consultoría, así como para estudiantes de licenciatura y posgrado en transporte, este documento pretende cubrir dicha carencia.

Este trabajo servirá como referencia o documento de consulta para el personal técnico de la SCT, del IMT, y de las empresas de transporte y consultoría involucrados en la realización de modificaciones, y/o mejoras a la infraestructura aeroportuaria o en el desarrollo de nuevos aeropuertos. Adicionalmente, podrá emplearse como documento de referencia en los programas de licenciatura y maestría en transporte.

1.2 Objetivo

Identificar y describir los avances más recientes sobre tecnología aeroportuaria en el ámbito mundial y su aplicabilidad en México.

1.3 Metodología

Identificación de información relacionada con innovaciones tecnológicas aeroportuarias en el ámbito mundial. La información identificada se sistematizará y analizará, explicando el contexto en cada caso, y documentando los resultados. Finalmente, se sintetizarán los hallazgos y se establecerán conclusiones y recomendaciones, teniendo en mente el interés de la SCT para la mejora de los aeropuertos o para la construcción de nuevos, como el que sustituirá al actual Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM).

1.4 Alcances

El estudio consigna los desarrollos más recientes en tecnología aeroportuaria en el ámbito mundial, y que podrían aplicarse en México.

Los elementos tecnológicos detectados incluyen seis áreas de la actividad aeroportuaria:

- a) **Procesamiento de pasajeros.** Documentación, sistemas automatizados de inmigración y manejo de equipaje.
- b) **Servicios a los pasajeros.** Sistemas de información de vuelos y estacionamientos; cabinas para fumadores; y sistemas de transporte rápido.
- c) **Seguridad operacional (*safety*).** Aplicada principalmente en pistas y calles de rodaje (detección de incursiones en pistas; reducción del peligro de las aves; tratamiento antipatinaje en pistas; sistemas de detención de aeronaves); o para otras aéreas del aeropuerto (estructuras frangibles; nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos; y sistema de administración de los vórtices de las aeronaves).
- d) **Seguridad contra actos ilícitos (*security*).** Aplicada a los pasajeros, equipajes y a los empleados del aeropuerto.
- e) **Mejor aprovechamiento de la energía, y protección del ambiente.** Aplicación de energías renovables, combustibles alternos y protección contra el ruido.
- f) **Servicios para aeronaves.** Túneles con tomas retráctiles para plataformas, y sistemas de recuperación de aeronaves.

Lo anterior se llevará a cabo a partir de la identificación y revisión bibliográfica en materia de aeropuertos, de libros, publicaciones especializadas, revistas y sitios de Internet, tanto del ámbito académico como profesional y empresarial.

2 Generalidades

2.1 Introducción

En este documento se exploran diversas innovaciones tecnológicas, aplicadas en el ámbito mundial, que podrían ser utilizadas en los aeropuertos mexicanos. En general, se abordan tecnologías relacionadas con el procesamiento más eficiente de los pasajeros y de su equipaje, incluyendo también la automatización de los trámites de inmigración; además se considerarán tecnologías que prestan servicios adicionales a los pasajeros, como son información de vuelos y estacionamientos, cabinas para fumadores, y sistemas de transporte rápido.

Otra área importante de desarrollos tecnológicos es la relacionada con innovaciones para mejorar la seguridad operacional en los aeropuertos (*safety*). Aquí se incluyen tecnologías para detectar la incursión de aeronaves y para reducir el peligro de aves en las pistas; tratamientos antipatinaje de las mismas; sistemas de detención de aeronaves fuera de control; una nueva tecnología de aterrizaje por instrumentos; y sistemas para la administración de los vórtices de aeronaves (con lo que además de mejorar la seguridad, se reduce la congestión en las pistas).

Derivado de los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 en los Estados Unidos, se ha incrementado el número de innovaciones tecnológicas que tienen como objeto mejorar la seguridad contra actos ilícitos (*security*). Para ello, han evolucionado tecnologías especializadas en la detección de armas y sustancias químicas peligrosas, y adicionalmente para la detección de narcóticos; a la vez, se han desarrollado las tecnologías biométricas aplicadas a los pasajeros y al personal del aeropuerto.

El tema ambiental que ha generado recientemente gran preocupación, también ha tenido su repercusión en los aeropuertos. Muchas de las nuevas tecnologías se relacionan directamente con el mejor aprovechamiento de la energía y con fuentes alternas (por ejemplo, luces de menor consumo, y el uso de la energía solar). Otras tecnologías se relacionan con la disminución del ruido que se genera en los aeropuertos.

En una última serie de innovaciones tecnológicas, se revisan aquellas desarrolladas para dar servicio a las aeronaves dentro del aeropuerto. Como por ejemplo, sistemas de túneles con tomas retráctiles de energía eléctrica, aire a presión y agua; y sistemas de recuperación de aeronaves.

Aunque se encontraron otras innovaciones tecnológicas, algunas se descartaron para este trabajo, dado que tendrían poca aplicación en los aeropuertos mexicanos, en general se trata de tecnologías relacionadas con el deshielo de aeronaves mediante rayos infrarrojos; sistemas de recuperación de líquidos

deshielantes de aeronaves; y equipos para remover nieve de pistas y calles de rodaje. Estas tecnologías tienen mayor aplicación en países situados lejos de los trópicos.

2.2 Aplicaciones y tecnologías consideradas

A continuación se señalan las diversas aplicaciones y tecnologías que se abordan en este trabajo, y el capítulo en donde se detallan sus características.

Procesamiento de pasajeros (Capítulo 3).

- 3.1 Documentación (*check-in*): kioscos de autoservicio.
- 3.2 Equipaje: Identificación por radiofrecuencia.
- 3.3 Sistemas de inmigración: Automatización.

Servicios a los pasajeros (Capítulo 4).

- 4.1.1 Sistemas de Información de vuelo para pasajeros (FIDS).
- 4.1.2 Sistemas avanzados de información para estacionamientos.
- 4.2 Cabinas para fumadores.
- 4.3 Sistemas de transporte rápido.

Seguridad operacional (Capítulo 5).

- 5.1 Detección de incursiones no autorizadas, piedras y otros objetos en pistas, mediante rayos láser.
- 5.2 Reducción del peligro de aves en pistas: aplicaciones de rayo láser y acústicas.
- 5.3 Tratamiento antipatinaje en pistas.
- 5.4 Sistemas para detener aeronaves después de la cabecera de la pista.
- 5.5 Estructuras frangibles.
- 5.6 Nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos (GBAS).
- 5.7 Sistema de administración de los vórtices de aeronaves.

Seguridad contra actos ilícitos (Capítulo 6).

- 6.1 Tecnologías biométricas.
- 6.2 Detección de armas, sustancias químicas peligrosas, y narcóticos.
- 6.3 Cámaras de imagen térmica.

Mejor aprovechamiento de la energía (Capítulo 7).

- 7.2 Uso de energía solar en equipos (iluminación, cámaras inalámbricas, sensores de movimientos, y sistemas de monitoreo perimetral).
- 7.3 Recintos para pruebas de motores de aeronaves.
- 7.4 Combustibles alternos para la aviación.

Servicios a las aeronaves (Capítulo 8).

- 8.1 Sistema de túneles con tomas retráctiles (energía eléctrica, aire a presión y agua).
- 8.2 Sistemas de recuperación de aeronaves.

2.3 Aspectos generales

Muchos profesionales en aviación tienen alguna idea de lo que ofrecerán los aeropuertos en el futuro. La mayoría comparte una visión utópica de diseños de la era espacial, alta tecnología, pocas colas, y una experiencia placentera para la gran mayoría de los usuarios.

Estas aspiraciones se encuentran dentro de lo alcanzable en muchos de los aeropuertos actuales. Los diseños de los aeropuertos contemporáneos están logrando una gran semejanza con los diseños futurísticos, lo que forma una parte esencial de esa visión. Al aplicar una correcta combinación de las tecnologías disponibles, los aeropuertos pueden alcanzar el modelo ideal en el futuro.

Uno de los retos consiste en mejorar la penetración de las innovaciones tecnológicas en los aeropuertos, sin importar su tamaño, es decir, no se trata de un problema únicamente de los aeropuertos concentradores y distribuidores (*hubs*) y de los internacionales. Por ejemplo, en aeropuertos regionales en donde han empezado a operar nuevas aerolíneas de bajo costo (ABC), se está atrayendo a nuevos pasajeros en una proporción mayor a la que pueden manejar dichas instalaciones. Estos incrementos en el crecimiento de los tránsitos han ocasionado que muchas instalaciones perciban la necesidad de ser más eficientes en sus espacios, o de ampliar sus terminales.

Actualmente, muchos de los procesos cruciales podrían ser simplificados mediante una mejor colaboración de los diversos subsistemas aeroportuarios. Los sistemas de la tecnología de la información (TI) deben ofrecer interconexiones simples mediante las cuales puedan integrarse con cualquier aerolínea, sin importar su tamaño, incluyendo a las aerolíneas no regulares y a las regionales.

Si los procesos son simples, eficientes y cómodos, a tal grado que los pasajeros pueden predecir pequeños tiempos de tránsito entre la entrada al aeropuerto y la puerta de abordaje de su avión, los viajes aéreos serán más atractivos de lo que son actualmente. Muchos vuelos regionales son lo suficientemente baratos como para competir con otros modos de transporte (autotransporte o ferrocarril). Sin embargo, el principal problema es el tiempo de procesamiento en el aeropuerto. Aunque los tiempos de los viajes cortos son atractivos, los tiempos altamente variables de documentación, seguridad y abordaje no lo son tanto.

Los administradores aeroportuarios deben ser osados, y empezar a utilizar las nuevas tecnologías para moldear la forma en que ofrecen sus servicios y de esta manera, convertirse en los “aeropuertos del futuro” en las mentes de los usuarios.

3 Procesamiento de pasajeros

3.1 Documentación (*check-in*) mediante kioscos de autoservicio

Los aeropuertos del futuro tendrán kioscos de autoservicio para la documentación de los pasajeros. Muchos usuarios en realidad ya han utilizado los kioscos, con ciertas aerolíneas, sin embargo, éstas son generalmente troncales grandes, o aerolíneas de bajo costo enormes que pueden disponer de los recursos financieros para comprar dichos equipos. Los kioscos de autoservicio de uso común, por sus siglas en inglés (*Common Use Self Service, CUSS*), no han tenido gran éxito debido a que su implementación es costosa y compleja. Su certificación es sumamente elaborada, y su tecnología básica, CORBA¹, es anticuada.

Sin embargo, en el caso de negocios mediante kioscos compartidos puede ser viable en gran escala, en particular si es parte de un modelo de negocios de un aeropuerto o de una aerolínea.

Su implementación con bajos volúmenes de pasajeros es difícilmente justificable. No obstante, se obtienen buenos resultados cuando el uso de los kioscos se incorpora a la planeación aeroportuaria, y se piensa utilizar como el elemento principal para la documentación de los pasajeros. Un factor importante para que los kioscos se mantengan operativos es el impulso de las aerolíneas participantes².

Para apreciar el efecto del procesamiento electrónico de los pasajeros mediante los kioscos de autoservicio, en el diseño de los edificios terminales es necesario conocer el proceso de documentación tradicional, el cual implica el procesamiento manual de la información. Estas funciones requieren que el personal de los mostradores lea los boletos; busque los archivos de los pasajeros; verifique los documentos; capture la nueva información; asigne los asientos; y emita los pases de abordaje.

El procesamiento electrónico de los pasajeros acelera estas operaciones, realizándolas en microsegundos, mientras que tradicionalmente este proceso duraba un minuto por persona. Esta tecnología, junto con las comunicaciones de alta velocidad, hace posible la documentación de los usuarios en forma remota, en varios lugares dentro o fuera del aeropuerto. Los pasajeros pueden

¹ CORBA (por sus siglas en inglés, *Common Object Request Broker Architecture*) es una arquitectura estándar que establece una plataforma de desarrollo de sistemas distribuidos, facilitando la invocación de métodos remotos, bajo un paradigma orientado a objetos. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/CORBA>.

² Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 2, March 2007, UK, p. 33.

autoidentificarse mediante tarjetas o claves en las computadoras de los kioscos de autoservicio con los agentes de seguridad, o en cualquier lugar que sea necesario. Diversas aerolíneas han demostrado el éxito de esta tecnología desde el año 2000.

El procesamiento electrónico acelera el procesamiento de los pasajeros, con lo cual se reduce la demanda de las instalaciones. La desconcentración de los puntos de documentación hace posible que muchos viajeros eviten las salas de documentación congestionadas. El resultado neto será el cambio de los flujos de pasajeros y la reducción del número de instalaciones de documentación por usuario³.

La clave para maximizar el procesamiento de los pasajeros a través del área de documentación consiste en compartir los equipos (*hardware*) en donde “corren” los diversos programas (*software*). Aunque los sistemas exclusivos continuarán existiendo, la capacidad total del proceso de documentación por aerolínea puede incrementarse si se comparten ya sea los escritorios de atención o los kioscos de autoservicio, o ambos.

Las aerolíneas, generalmente son renuentes a la utilización de sistemas comunes debido principalmente a dos razones: las elevadas tarifas de la tecnología de la información; y por los requerimientos de certificación de las plataformas. Mientras que la validez de estas preocupaciones es muy variable, la capacidad de manejar muchos más pasajeros dentro de un mismo o menor espacio, es un beneficio que pesa más que estas inquietudes⁴.

3.1.1 Aplicación de los kioscos de autoservicio

El número de pasajeros aéreos continuará creciendo. Para reducir los tiempos del proceso de abordaje y establecer una solución segura y a un costo accesible se han desarrollado diversos kioscos de autoservicio, en general se trata de dispositivos ergonómicos de abordaje automático que permiten un servicio rápido y seguro. Los diseños actuales permiten el proceso del equipaje, y son fáciles de usar

Con el incremento de los tránsitos aéreos, pronosticados para los siguientes años, y con el incremento del uso del boleto electrónico, estos equipos innovadores contribuyen a ayudar a los aeropuertos a alcanzar sus objetivos, es decir:

- Hacer que los pasajeros se sientan cómodos y relajados.
- Acelerar el proceso de documentación.
- Optimizar la administración del personal en las salas de abordaje.

³ Fuente: *De Neufville y Odoni*, 2003, pp. 21 y 22.

⁴ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 2, March 2007, UK, p. 33.

Teniendo en mente estos objetivos y otros más, diversos aeropuertos han implementado o están implementando nuevas tecnologías. En los incisos siguientes se señalan aplicaciones de los kioscos de autoservicio en diversas terminales del mundo.

3.1.1.2 Aeropuerto de *Seattle-Tacoma*

Como un ejemplo de la aplicación de esta tecnología, se tiene al aeropuerto de *Seattle-Tacoma*, en los Estados Unidos. La administración de la terminal ha reconocido los beneficios de la tecnología de los kioscos de documentación. Esto se debe a que los pasajeros pueden reducir sus tiempos de espera en los mostradores de documentación, y el aeropuerto puede optimizar el espacio finito de la terminal.

Además, estos kioscos tienen otra ventaja significativa ya que los costos de mano de obra del procesamiento pueden reducirse hasta un 30%.

Alineada con su planeación estratégica, y con el respaldo de las aerolíneas el aeropuerto de *Seattle-Tacoma* desarrolló (en 2006) un proyecto piloto⁵ para establecer 15 kioscos de autoservicio, con una inversión de 600 mil dólares. El propósito del proyecto piloto fue validar a futuro la implementación, a una escala mucho mayor, de este tipo de kioscos en dicho aeropuerto y en otros lugares fuera de éste.

El proyecto incluyó la instalación en cada kiosk de una pantalla sensible al tacto; una impresora del pase de abordaje; un lector de tarjetas de crédito; y un teclado, entre otros dispositivos. También incluyó la instalación de los programas requeridos para su operación; conexión inalámbrica a los servidores electrónicos de las aerolíneas; conexiones eléctricas; y un programa de monitoreo.

Este proyecto requirió que las aerolíneas desarrollaran y mantuvieran un programa de enlace con el sistema de la computadora central del kiosk.

El costo total del proyecto fue de 600 mil dólares. De este total, los programas y equipos de cómputo (*hardware* y *software*) representaron el 54.3%; los servicios profesionales externos, el 8.3%; los impuestos, el 4.8%; y otros gastos (administrativos y de integración), el 32.6%.

La recuperación de la inversión se estableció mediante la renta de los kioscos a las aerolíneas. Por otro lado, se estimó que el ahorro para las aerolíneas sería del orden de 450 mil dólares anuales. Además mediante los kioscos, se estima que el tiempo de documentación por pasajero se reduzca hasta en un 50%.

⁵ *Port of Seattle Memorandum No 8a. August 8, 2006.*

Fuente: http://www.portseattle.org/downloads/about/commission/20060808_8a_MEM.pdf

3.1.1.3 Aeropuerto de Amman

Jordania es el primer país del Medio Oriente en tener un sistema operable de kioscos de autoservicio. Un total de 15 kioscos (IER 978) han sido suministrados para el Aeropuerto Internacional de Amman (la terminal aérea en la ciudad del mismo nombre), y para el Aeropuerto de Akaba (al sur de este país).

Royal Jordanian Airlines inició este proyecto en cooperación con la IATA (*International Air Transport Association*), la cual seleccionó al aeropuerto de Amman para implementar el primer programa de kioscos de autoservicio en la región.

Además de los kioscos de autoservicio, la empresa IER⁶ suministró a la aerolínea *Royal Jordanian* los programas necesarios para los kioscos, la interconexión para diversas aerolíneas y el sistema de monitoreo; mediante el cual se realiza la supervisión remota en tiempo real de la operación del sistema.

Se estima que pronto habrá aplicaciones de este desarrollo en otros aeropuertos de la región⁷.

3.1.1.4 Aeropuerto de Copenhague

El aeropuerto de Copenhague (en Dinamarca) aplica los avances tecnológicos más recientes para asegurar su posición como una de las terminales más eficientes en Europa. Las instalaciones nuevas, abiertas al público a finales de 2007, son las más avanzadas en Europa y han duplicado su capacidad anterior. En el lugar se han instalado más kioscos de autoservicio (CUSS) y equipos lectores modernos de código de barras 2D⁸.

El objetivo de tales equipos es asegurar que el aeropuerto cumpla con las expectativas de satisfacción y calidad al cliente, el cual consiste en que la gran mayoría de los pasajeros pasen a través de las instalaciones en menos de 5 minutos. Este es el único aeropuerto que ha sido calificado como el más eficiente en Europa por tres años consecutivos. Con objeto de mantenerse en esa posición, ha decidido estar en el primer lugar en cuanto a la introducción y utilización de

⁶ IER es uno de los fabricantes líderes de plataformas completas de kioscos de autoservicio en Europa. Durante muchos años, IER ha trabajado con la IATA para establecer los estándares de los kioscos de autoservicio; derivado de ello, ha obtenido una vasta experiencia en este campo que ha tenido como resultado el desarrollo de numerosas aplicaciones. Fuente: <http://www.ier.fr>

⁷ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 3, April 2007, UK, pp. 12-13.

⁸ La principal característica de los códigos de barras de dos dimensiones, 2D (o códigos Bidi), es que pueden “guardar” más información que la que contienen los códigos de una dimensión 1D. Dependiendo del tipo de código, se pueden “guardar” hasta casi 7,000 caracteres.

nuevas tecnologías, lo cual le ayuda a optimizar los procesos de documentación y seguridad⁹.

3.1.1.5 Aeropuerto de *Billund*

El aeropuerto de *Billund*, al oeste de Dinamarca, seleccionó una nueva generación de kioscos (modelo IER 918) para ofrecer el autoservicio de documentación a sus pasajeros. Esta nueva generación de kioscos se diseñó para cumplir con los nuevos retos de los usuarios, dado que tienen la capacidad para leer los pasaportes electrónicos y realizar la documentación de los viajeros con o sin equipaje. Por otro lado, también se busca tomar ventaja de nuevas tecnologías, tales como el boleto electrónico y los pases de abordaje de código de barras 2D.

Estos kioscos entraron en operación a finales de marzo de 2008; dichos equipos se emplean para realizar las operaciones de documentación de pasajeros que vuelen por *Atlantic Airways*; *Cimber Air*; *British Airways*; *KLM*; y *Sterling*. La enorme pantalla de alta resolución de los kioscos y su diseño compacto ayudan a que los grupos de usuarios realicen una autodocumentación fluida.



Figura 3.1

Kiosco de autoservicio, modelo IER 918.

Fuente: http://www.ier.fr/uk/market/air-transportation/~uk/press_release

Adicionalmente a los kioscos, el aeropuerto de *Billund* ha seleccionado el sistema de monitoreo de IER (IMS) para supervisar la operación de los mismos; el cual es un dispositivo de supervisión poderoso, que en tiempo real provee un resumen del estado de la operación del sistema de kioscos instalados. En la pantalla de

⁹ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 9, November/December 2007, UK, p. 8.

supervisión se muestra una estructura de árbol, en donde se listan los dispositivos que han fallado (mediante códigos de colores e íconos), permitiendo al administrador estar informado oportunamente acerca de incidentes.

Mediante estos nuevos kioscos, el aeropuerto de *Billund* da el primer paso con el que busca manejar en un 100% el pase de abordaje de código de barras¹⁰.

3.2 Equipaje

Una de las principales razones por las que los edificios terminales son multinivel, es para poder tratar con la complejidad del movimiento del equipaje; éste es cargado dentro de las aeronaves, al nivel de la plataforma, mientras que los pasajeros abordan las aeronaves a aproximadamente 4 metros arriba de la plataforma.

La diferencia de altura entre la puerta de abordaje de pasajeros y la del equipaje en las aeronaves requiere que se separen ambos flujos después de su documentación. El como y cuando ocurre esta segregación varía de acuerdo con el arreglo de cada terminal; el tránsito de pasajeros esperados; el balance entre vuelos nacionales e internacionales; y la forma en la que los viajeros llegan a la terminal (por aire, tren, autobús, automóvil, etcétera).

El manejo del equipaje es muy complejo y en términos de la percepción de los pasajeros, es el factor más crítico para el éxito de una terminal aérea. Por otro lado, es una parte integral de la operación de la terminal de pasajeros, aunque raramente es visto por los usuarios; el movimiento del equipaje es uno de los procesos que establecen el arreglo de los espacios interiores y la distribución de los distintos niveles en una instalación aeroportuaria.

Existen diferentes sistemas de manejo de equipaje, desde los totalmente automatizados, controlados por computadora que utilizan vehículos “inteligentes”, hasta los más simples, que utilizan las tradicionales bandas transportadoras.

Sin embargo, hay ciertos principios que sirven como guía para cualquier sistema:

- Minimizar el número de operaciones de manejo.
- Asegurar que el sistema es consistente con el tipo de pasajeros, tamaños de aeronaves y con las frecuencias de vuelo.
- Evitar cambios de dirección y de nivel.
- Asegurar que las pendientes de los movimientos del equipaje no excedan los 15°.
- Evitar que los flujos del equipaje crucen a los de pasajeros, aeronaves o de carga aérea.

¹⁰ Fuente: http://www.ier.fr/uk/market/air-transportation/~uk/press_release/ier-selected-to-equip-billund-airport-with-ier-918-cuss-check-in-kiosks/.

- Establecer las áreas de clasificación de equipaje, adyacentes a las plataformas.

Los flujos del equipaje, a diferencia de los de pasajeros, deben ser tan rápidos, directos y simples como sea posible.

Debido a que algunos pasajeros realizan una transferencia de una aeronave a otra en el aeropuerto, el sistema de equipaje debe ser flexible y confiable para asegurar que los viajeros y los equipajes lleguen a su destino al mismo tiempo.

El movimiento del equipaje es un proceso de dos sentidos. Mientras que para los pasajeros que salen existe un período relativamente largo (de aproximadamente dos horas) entre su documentación y la partida de su vuelo; sin embargo, para los pasajeros que llegan, el tiempo esperado para recoger su equipaje es de sólo unos minutos. Por ejemplo, de 14 minutos en el aeropuerto de Manchester, de acuerdo con su esquema de aseguramiento de la calidad¹¹.

El incremento del número de pasajeros en los aeropuertos ha reducido su eficiencia al saturar su capacidad; aunque esto afecta a varios de sus subsistemas, en particular en el de manejo de equipaje, ha ocasionado un incremento en la pérdida de los mismos. Este es un problema mundial que va adquiriendo proporciones alarmantes.

Por ejemplo, en el Reino Unido, se reportó en 2007, que 5.6 millones de equipajes fueron perdidos por las aerolíneas troncales, y que en el 85% de los casos se requirió de hasta 48 horas para regresarlos a sus dueños.

Aunque el problema es complejo, los responsables del manejo del equipaje, muchas veces han tomado decisiones equivocadas mediante soluciones de bajo costo y calidad baja. También existe el caso de aeropuertos pequeños que no se tomaron el tiempo o no lo tuvieron para revisar sus necesidades y evaluar todas las alternativas. En este caso se tiende a adquirir la solución más barata, que se ajusta a su presupuesto inmediato, sin considerar las consecuencias.

Los avances y mejoras en la calidad de las tecnologías modernas para el manejo de equipaje ofrecen mayores niveles de confiabilidad que generan ventajas enormes en los sistemas, sin embargo, esto es ignorado por algunos administradores que seleccionan simplemente las soluciones más baratas¹².

En particular, en esta sección se abordan dos nuevas tecnologías que pueden generar una mejora significativa, en comparación con los actuales sistemas de manejo de equipaje; la primera se relaciona con el procesamiento del equipaje

¹¹ Fuente: *Edwards*, 2005, pp. 109-110.

¹² Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 4, May/June 2007, UK, p. 30.

mediante vehículos de destino codificado (*Destination Coded Vehicles*, DCV); y la segunda se relaciona con la identificación más ágil y precisa del equipaje mediante radiofrecuencia (RFID). Cabe señalar que los aspectos de seguridad, relacionados con el equipaje, se abordaran en detalle en el capítulo 6 (seguridad contra actos ilícitos).

3.2.1 Tecnología mediante vehículos de destino codificado (DCV)

Debido al rápido crecimiento de los volúmenes de pasajeros y a la necesidad constante para una mayor seguridad, los administradores aeroportuarios regularmente confrontan el reto de ampliar y/o actualizar sus sistemas de manejo de equipaje, manteniendo una operación continua.

Tradicionalmente, se han desarrollado sistemas de bandas para el manejo del equipaje en los aeropuertos; sin embargo, con la continua evolución de estos sistemas, originada por la necesidad de una mayor flexibilidad. Además, también hay un requerimiento constante para reducir los tiempos de procesamiento y los costos de operación, dando lugar a la integración de nuevas tecnologías que son aplicadas en lo que se conoce como vehículos de destino codificado, o DCV, por sus siglas en inglés (*Destination Coded Vehicles*).

Los sistemas de manejo de equipaje mediante DCV se han diseñado como una alternativa de los sistemas convencionales, dado que son capaces de recolectar los equipajes directamente desde las áreas de documentación, clasificarlos, almacenarlos, y conducirlos por todo el sistema.

Cada vehículo tiene a bordo su propio sistema de control para realizar todos sus movimientos, con base en “*misiones*” específicas, que son establecidas desde el sistema de control centralizado.

Cada unidad tiene una banda transportadora instalada perpendicularmente a su dirección de viaje, con objeto de cargar y descargar los equipajes de una manera suave y confiable. Mediante esta banda se asegura que el equipaje se mantiene centrado¹³ en el vehículo, durante todo su tránsito a través del sistema.

La más moderna tecnología de comunicaciones *Wi-Fi*¹⁴ es utilizada para asegurar que los vehículos permanecen en contacto constante con el sistema de control

¹³ Para ello, esta banda se acopla con sensores en el vehículo.

¹⁴ *Wi-Fi* (por sus siglas en inglés *Wireless-Fidelity*) es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en la especificación IEEE 802.11. Fue creado para emplearse en redes locales inalámbricas, sin embargo, en la actualidad también es frecuente que se utilice para acceder a Internet. El *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) es una asociación técnico-profesional mundial dedicada entre otras cosas a la estandarización. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por ingenieros eléctricos, electrónicos, informáticos y en telecomunicaciones. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>.

centralizado, de tal suerte que nuevas misiones puedan ser realizadas, y para que las que están en proceso actualicen y reporten su estado.

Para impulsar a estos vehículos se recurre a motores de inducción lineal, con los cuales se asegura una operación muy confiable (se trata de una tecnología de impulso sin contacto) y silenciosa (estos motores en sí, no tienen partes móviles). Además, debido a que los vehículos sólo se mueven cuando se necesita el traslado del equipaje se logra un consumo bajo de energía; a diferencia de las bandas tradicionales en donde todo el sistema de bandas debe estar en movimiento, aunque sólo se mueva una maleta.

Cada vehículo tiene instalados en su parte delantera sensores de proximidad con los que puede determinar la existencia y posición de cualquier vehículo u obstáculo en su trayectoria. Mediante estos sensores se evitan colisiones y se tiene un buen control de sus movimientos.

La capacidad para realizar la inspección de las maletas (mediante rayos-X o técnicas similares) es muy simple, puesto que los vehículos descargan las maletas en las bandas de las máquinas de inspección, y posteriormente (después de que han pasado la inspección) el mismo vehículo las recoge.

Para asegurar una máxima operación continua, en el caso de falla de un vehículo, la vía está equipada con secciones especiales que permiten la remoción de dicha unidad, de tal forma que la operación normal pueda continuar. Estas secciones removibles se diseñan en función del arreglo en particular de cada sistema.

La falla de los vehículos en operación es muy poco probable, puesto que el sistema establece un programa de mantenimiento rutinario para los mismos. Cuando una actividad de mantenimiento es requerida para una unidad en particular, automáticamente se le establece una misión para ir al área de mantenimiento. De esta forma se asegura que el programa de mantenimiento se cumple. Mediante este procedimiento de mantenimiento todas las herramientas e instalaciones se concentran en un área, y los vehículos van a dicha lugar, obteniéndose un mantenimiento más eficiente¹⁵.

El aeropuerto de Toulouse, en Francia y el de Dubai, en los Emiratos Árabes, han sido las primeras terminales aéreas que se han beneficiado con las ventajas de la tecnología de DCV (Figura 3.2); aunque muchas otras están considerando seriamente una solución con base en los DCV, para el futuro desarrollo de sus sistemas de manejo de equipaje¹⁶.

¹⁵ Fuente: <http://www.loganteleflex.com>.

¹⁶ Fuente: *Airports International*, Volume 39, No 7, October 2006, UK, p. 29.



Figura 3.2

Vehículos de destino codificado (DCV)

Fuente: http://www.alstef.com/UserFiles/Image/AIRPORT/TOULOUSE_dcv1.jpg

3.2.11 El caso del aeropuerto de Toulouse

En este aeropuerto la instalación del sistema, a cargo de la Compañía Alstef¹⁷, fue establecida para manejar 1,600 maletas por hora¹⁸. El sistema único se extiende a través de sus tres terminales, y en el futuro tendrá una capacidad total para manejar 2 400 maletas por hora.

Los vehículos de destino codificado de las terminales B y C transportan las maletas de los pasajeros, desde 40 kioscos de autoservicio para documentación, hacia dos máquinas del sistema de detección de explosivos (*Explosives Detection System*, EDS). Si es necesario, las unidades también trasladan las maletas sospechosas hacia un tomógrafo de barrido para su posterior revisión, antes de ser trasladadas (después de que son “liberadas”) hacia las salas de clasificación.

En el futuro, los vehículos de destino codificado de la terminal D (que está en construcción) agruparán las maletas desde 24 nuevos kioscos de autoservicio, y las trasladarán hacia dos máquinas adicionales del sistema de detección de explosivos. Las maletas sospechosas serán conducidas hacia la sala C para su inspección mediante tomógrafo. Para maximizar la flexibilidad, las maletas podrán ser después clasificadas en cualquiera de las tres terminales.

¹⁷ Es una empresa francesa fundada en 1961. Durante los últimos 10 años ha estado involucrada en el desarrollo de sistemas de clasificación, e inspección de equipajes. Fuente: <http://www.alstef.com>.

¹⁸ La velocidad de los DCV depende del diseño del fabricante, por ejemplo, para los diseños de *Logan Teleflex*, las velocidades máximas son de 5 metros/segundo; en cambio para *Alstef* se tienen valores máximos de 10 metros/segundo. Fuentes: <http://www.loganteleflex.com> y <http://www.alstef.com>.

Cuando el proceso de integración esté terminado, en el año 2009, el sistema final tendrá 64 kioscos de autoservicio; alrededor de 120 vehículos de destino codificado; 1,600 metros de vía (Figura 3.3);y 63 posiciones de clasificación. Con ello se podrán manejar 8.5 millones de pasajeros anualmente en este aeropuerto.



Figura 3.3

Vías para vehículos de destino codificado

Fuente: http://www.alstef.com/UserFiles/Image/AIRPORT/toulouse_dcv2.jpg

3.2.1.2 El caso del aeropuerto de Dubai

La compañía *Emirates Airlines* solicitó a la empresa Alstef un sistema de manejo de equipaje para el aeropuerto de Dubai. Cuando esté operando a su máxima capacidad, el sistema podrá manejar aproximadamente 40 vuelos por hora (equivalente al manejo de un máximo de 1,280 maletas por hora, tanto de llegadas como de salidas). El contrato para este proyecto establece que los equipos del sistema deben ser altamente eficientes y confiables para cumplir con la demanda de los usuarios, de un servicio de alta calidad.

La solución diseñada por Alstef considera la utilización de vehículos de destino codificado, con lo cual se incorpora un proceso de documentación adecuado y cómodo. El sistema de manejo de equipaje se instaló a lo largo de cuatro pisos. En el caso de las operaciones de salida, inicia en los kioscos de autoservicio; desde donde las maletas son movidas hacia el sótano mediante cuatro elevadores continuos, y después de pasar por la inspección de seguridad se dirigen hacia uno de los 20 canales de clasificación, desde donde se transportan en un vehículo hacia las aeronaves.

El proceso de clasificación se realiza por el sistema de vehículos de destino codificado, instalado arriba del piso principal. En este lugar, 31 vehículos que corren por una vía de 620 metros de longitud, entregan las maletas con un tiempo

máximo de tránsito menor a 4 minutos. Las maletas que se consideran “sospechosas”, después de haber pasado por la inspección de seguridad en el segundo piso, se dirigen a un canal especializado para su posterior inspección mediante un tomógrafo de barrido.

En el caso de las operaciones de llegada, el sistema consiste de dos líneas ubicadas en el sótano. Las maletas son conducidas y clasificadas al piso de arriba hacia cuatro carruseles de reclamo de equipaje.

Todo el sistema es monitoreado y controlado mediante un Sistema de Control y Operación para el Equipaje (*Baggage Operating and Control System*, BOCS).

3.2.1.3 Ventajas

Los administradores de los aeropuertos en donde se ha aplicado la tecnología de los vehículos de destino codificado, afirman que ésta ofrece mayores ventajas en comparación con los equipos de manejo de equipaje convencionales.

Señalan, por ejemplo, que mediante la tecnología DCV es posible utilizar los equipos del sistema de detección de explosivos con un efecto óptimo, lo cual significa que se requiere una menor cantidad de equipos.

En general los principales beneficios de este sistema abarcan cinco áreas:

1. Su desempeño. Debido a que se reducen los tiempos de tránsito del equipaje.
2. Su disponibilidad. La falla de un vehículo no afectará el desempeño del sistema debido a que es 100% redundante.
3. Seguridad. El seguimiento es muy confiable, ya que existe una asociación única entre una maleta y un vehículo.
4. Adaptabilidad. Es posible incorporar unidades adicionales para incrementar la capacidad del sistema; además, la trayectoria de la vía puede ser modificada fácilmente, al igual que su longitud.
5. Bajo costo operativo. Debido a que la vía tiene un diseño totalmente pasivo; además los costos de mantenimiento son bajos, y el consumo de energía es mínimo¹⁹.

3.2.2 Identificación por radiofrecuencia (RFID)

El aumento de la competencia y la presión para ahorrar dinero obligan a los aeropuertos y a las aerolíneas a hacer más eficientes sus operaciones. Algo tan simple como reducir tres segundos el tiempo que requiere cada pasajero para abordar una aeronave, pueden disminuir 25 minutos el tiempo de procesamiento de cada vuelo, lo cual representa ahorros significativos. Sin embargo, considerando el incremento del número de pasajeros, cumplir con este reto no es una tarea fácil.

¹⁹ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 4, May/June 2007, UK, pp. 28 y 29.

Durante años, el procedimiento común para el manejo del equipaje ha sido mediante códigos de barras. Aunque esta tecnología trabaja bien cuando opera en forma cercana a los lectores, su corto alcance genera algunos problemas. Por ejemplo, si algún equipaje necesita ser removido de una aeronave debido a que su dueño no la abordó, la única forma de encontrar su maleta es mediante una búsqueda manual, lo cual es un proceso que demanda una gran cantidad de mano de obra y tiempo; esta actividad demora los vuelos y genera la posibilidad de que el equipaje se pierda.

De acuerdo con las estadísticas de SITA²⁰, durante 2006 hubo un manejo inadecuado de 34.4 millones de maletas, lo cual implicó un costo de 3,800 millones de dólares. Esto hace evidente la necesidad de un nuevo enfoque para ayudar a los aeropuertos y a las aerolíneas a reducir sus costos, y para mejorar el seguimiento y eficiencia del manejo de equipaje.

La industria de la aviación está pensando en un modelo híbrido que combina los códigos de barras y los dispositivos de identificación por radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification Devices*, RFID), para mejorar el seguimiento de los pasajeros y su equipaje.

Las tarjetas activas de RFID, continuamente emiten señales de radiofrecuencia (detectables desde largas distancias), lo cual permite el seguimiento del equipaje en su recorrido. Cuando se utilizan en forma conjunta con los códigos de barras, los dispositivos de identificación por radiofrecuencia ofrecen la capacidad de manejar rápidamente el equipaje por todo el aeropuerto.

Actualmente, hay varias aplicaciones que recurren a esta tecnología híbrida para el seguimiento rápido del equipaje, desde la predocumentación hasta la salida. Ahora los pasajeros pueden imprimir sus boletos electrónicos y pases de abordaje de códigos de barras en sus casas, e incluso algunas aerolíneas envían los pases de abordaje con código de barras 2D, mediante mensajes de texto a los teléfonos celulares de sus clientes.

La combinación de los dispositivos de identificación por radiofrecuencia y los códigos de barras aseguran que las maletas lleguen a su vuelo correcto. Además, los pases de abordaje con dispositivos de identificación por radiofrecuencia, permiten al administrador aeroportuario identificar la posición de los pasajeros y acelerar su movimiento hacia las salas de espera. En la misma forma los RFID en el equipaje, permiten el seguimiento de las maletas en tiempo real desde que se documentan.

²⁰ Acrónimo de *Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques*, consultora suiza de tecnologías aplicadas en la industria de transporte aéreo.

Considerando que una simple demora de 5 minutos en la sala de última espera tiene un costo para el aeropuerto de aproximadamente 10 mil dólares o más, la capacidad para localizar pasajeros y/o equipajes extraviados es crucial.

Los aeropuertos de *Hong Kong* y Las Vegas son líderes en la adopción de este modelo híbrido que utiliza el código de barras y RFID. Además de ahorrar dinero y tiempo, a pesar de las actuales necesidades de los procesos de seguridad adicionales, incrementa la satisfacción de los usuarios. Los procesos más fluidos hacen que el viaje sea más placentero, reteniendo así a sus clientes actuales, y motivando a viajeros nuevos a utilizar estos aeropuertos²¹.



Figura 3.4

Control del equipaje mediante código de barras y RFID en el aeropuerto de *Hong Kong*. El círculo rojo señala la etiqueta de RFID; el rectángulo azul, la etiqueta de código de barras.

Fuente: Shiaung-Lung y Wen-Hsien (2007).

En particular, en el aeropuerto de *Hong Kong* se han realizado estudios para medir la efectividad de la tecnología RFID en el manejo de equipaje mediante métodos estadísticos²². Los resultados señalan que después de su introducción hubo una mejora significativa, dado que antes se presentaban demoras o pérdidas del equipaje con un índice de 0.0020 por pasajero, es decir, un promedio de dos maletas perdidas o con demoras por cada mil pasajeros; el índice se redujo a 0.0015 por pasajero, es decir un promedio de 1.5 maletas extraviadas o con demoras por cada mil viajeros.

²¹ *Fuente: Airports International, Volume 40, No 7, September 2007, UK, p. 25.*

²² *Fuente: Shiaung-Lung y Wen-Hsien (2007).*

3.2.2.1 Generalidades de la identificación por radiofrecuencia

La identificación por radiofrecuencia utiliza un sistema de almacenamiento y recuperación remota de datos. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto mediante ondas de radio; esta tecnología se agrupa dentro de lo que se conoce como identificación automática.

Una etiqueta RFID es un dispositivo pequeño, que puede ser adherida o incorporada a un producto, animal o persona. Contiene antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Las etiquetas pasivas no necesitan alimentación eléctrica interna; mientras que las activas sí lo requieren. Una de las ventajas del uso de radiofrecuencia (en lugar, por ejemplo, de los códigos de barras) es que no se requiere visión directa entre emisor y receptor.

En la actualidad, la tecnología más extendida para la identificación de objetos es la de los códigos de barras. Sin embargo, presentan algunas desventajas, como son la escasa cantidad de datos que pueden almacenar, y la imposibilidad de ser modificados (reprogramados). La mejora que se ideó y que constituye el origen de la tecnología RFID, consiste en usar chips de silicio que pueden transferir los datos al lector sin contacto físico.

El modo de funcionamiento de los sistemas RFID es simple. La etiqueta RFID, que contiene los datos de identificación del objeto al que se encuentra adherido, genera una señal de radiofrecuencia con dichos datos. La señal puede ser captada por un lector (Figura 3.5), el cual se encarga de leer la información y de transformarla a formato digital.

Las etiquetas RFID pueden ser activas, semipasivas (o semiactivas, también conocidas como asistidas por batería), o pasivas. Las etiquetas pasivas no requieren ninguna fuente de alimentación interna, y son en efecto dispositivos puramente pasivos (sólo se activan cuando un lector se encuentra cerca para suministrarles la energía necesaria). Los otros dos tipos necesitan alimentación; comúnmente, una pila pequeña.



Figura 3.5
Lectores de RFID

Fuente: <http://www.rfidsupplychain.com>

En las etiquetas pasivas, la señal que les llega de los lectores induce una corriente eléctrica mínima que basta para generar y transmitir una respuesta. Su antena se diseñó para obtener la energía necesaria para funcionar, a la vez que para transmitir la respuesta.

Las etiquetas pasivas suelen tener distancias de uso práctico, comprendidas entre 10 centímetros y hasta 6 metros, según la frecuencia de funcionamiento, diseño y tamaño de la antena; y de la potencia en la que opera el lector. Por su sencillez conceptual son obtenibles mediante un proceso de impresión; como carecen de autonomía energética, el dispositivo puede resultar muy pequeño; mucho más delgados que una hoja de papel.

A diferencia de las etiquetas pasivas, las activas poseen su propia fuente autónoma de energía, que utilizan para suministrar corriente a sus circuitos integrados y propagar su señal al lector. Estas etiquetas son mucho más confiables que las pasivas. Debido a su fuente de energía son capaces de transmitir señales más potentes que las pasivas, por lo que resultan más eficientes en entornos problemáticos para la radiofrecuencia, como el agua (incluyendo humanos y ganado, formados en su mayoría por agua), y el metal (contenedores, vehículos). También son efectivas a distancias mayores, pudiendo generar respuestas claras a partir de recepciones débiles (lo contrario que las etiquetas pasivas). Sin embargo, suelen ser mayores y más caras, y su vida útil es en general mucho más corta.

Muchas etiquetas activas tienen alcances efectivos de cientos de metros y una vida útil de sus baterías de hasta 10 años. Actualmente, las etiquetas activas más pequeñas son del tamaño aproximado de una moneda.

Las etiquetas semipasivas son similares a las activas, dado que poseen una fuente de alimentación propia; aunque en este caso, se utilizan principalmente para alimentar su circuito y no para transmitir la señal. La energía generada por los lectores es la que activa su señal de respuesta, como en las etiquetas pasivas.

La batería puede permitir al circuito integrado de la etiqueta estar constantemente alimentado; y así se elimina la necesidad de diseñar una antena para recoger potencia de una señal entrante. Este tipo de etiquetas tiene una confiabilidad comparable a la de las etiquetas activas, a la vez que mantiene el rango operativo de una pasiva; también suelen durar más que los etiquetas activas.

El tipo de antena utilizado en las etiquetas depende de la aplicación y de la frecuencia de operación. Las etiquetas de frecuencia baja (LF, 125 a 134 kHz; y 140 a 148.5 kHz), normalmente se sirven de la inducción electromagnética. En frecuencia alta (HF, 13.56 MHz), se utiliza una espiral plana y un factor de forma parecido al de una tarjeta de crédito para lograr alcances de decenas de centímetros. Estas antenas son más baratas que las LF, ya que pueden producirse por medio de litografía en lugar de embobinado; aunque son necesarias dos superficies de metal, y un aislante para realizar la conexión

cruzada del nivel exterior al interior de la espiral, donde se encuentran el condensador de resonancia y el circuito integrado.

Las etiquetas pasivas de frecuencia ultra-alta (UHF, 868-956 MHz) y de microondas (de 2.45 GHz), suelen acoplarse por radio a la antena del lector y utilizar antenas clásicas de dipolo. Sólo es necesaria una capa de metal, lo que reduce su costo. Las antenas de dipolo, no obstante, no se ajustan muy bien a las características de los circuitos integrados comunes. Por lo que se pueden utilizar dipolos plegados o bucles cortos, como estructuras inductivas complementarias para mejorar la alimentación.

Dependiendo de las frecuencias utilizadas en los sistemas RFID, su costo, alcance, y aplicaciones son diferentes. Los sistemas que emplean frecuencias bajas tienen igualmente costos bajos, pero también alcances cortos. Los que emplean frecuencias más altas proporcionan distancias mayores de lectura, y velocidades de lectura más rápidas.

Por ejemplo, las de baja frecuencia se utilizan comúnmente para la identificación de animales, o como llave de automóviles con sistema antirrobo. Las etiquetas RFID de alta frecuencia se emplean en bibliotecas; control de acceso en edificios; seguimiento de equipaje en aerolíneas; seguimiento de artículos de ropa; y recientemente en pacientes de hospitales, para hacer un seguimiento de su historial clínico²³.

De acuerdo con estudios y pruebas realizados por la IATA, mientras que con el código de barras, aplicado al manejo de equipaje, se logra una eficiencia de 80-90%, con el sistema RFID se obtiene una eficiencia del 95-99%²⁴.

Sin embargo, la tecnología de RFID presenta el inconveniente de que las etiquetas son más caras que los códigos de barras. El costo de cada código de barras es de aproximadamente 0.1 centavos de dólar, mientras que el de una etiqueta RFID es de alrededor de 12 centavos de dólar. Los analistas de las compañías independientes de investigación, han establecido que un nivel de precio viable debe ser menor a 10 centavos de dólar, lo cual se puede lograr en el mejor de los casos en seis u ocho años²⁵.

3.3 Sistemas automatizados de inmigración

Las instalaciones para la validación de la identidad de los pasajeros, mediante sistemas parcial o totalmente automatizados, serán una característica que se incorporará en los diseños de los aeropuertos futuros. Aunque los procedimientos

²³ Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>.

²⁴ Ver *Fact Sheet* en <http://www.iata.org>.

²⁵ Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>.

de verificación de pasaportes varían de un país a otro, la tecnología ayudará en este proceso. Dichos sistemas permitirán que la gran mayoría de los pasajeros se procesen automáticamente y en poco tiempo, mientras que el procesamiento manual será reservado para casos excepcionales²⁶.

Actualmente, bajo una revisión como nunca antes se había tenido de los procesos de inspección aeroportuaria, es quizá inevitable que muy pronto aparezcan más tecnologías confiables para reducir las colas de espera en estos procesos. Obviamente, una cantidad enorme de trabajo ya ha sido realizada en el campo de la biometría²⁷, lo cual ha conducido al desarrollo de varios procesos de seguridad automatizados para identificar a los pasajeros.

Pero, ¿qué tan lejos puede llegar esa tecnología? Algunas empresas de seguridad especializadas en biometría y en sus equipos²⁸, actualmente trabajan en los aspectos prácticos de la automatización para el control de los cruces fronterizos, mediante el reemplazo del control tradicional (el pasaporte), por el de una solución biométrica automatizada.

Las instalaciones para el control automático de las fronteras, sólo serán abiertas para los viajeros registrados previamente; puesto que dicho sistema operará con base en los principios biométricos, no será posible tener los datos biométricos de toda la población del mundo (no por ahora).

Parte de la solución bajo desarrollo, consiste en la implementación de un pasillo con paredes de vidrio; dentro del cual se instalan dispositivos biométricos de verificación de identidad. Cualquiera que desee pasar por éste, debe haberse registrado previamente con las autoridades respectivas, para clasificarlo como un viajero "conocido".

Cuando un usuario se acerque a la entrada del pasillo, sus puertas se abrirán, ya sea mediante una tarjeta de identidad, pasaporte electrónico o por algún medio de detección de presencia. El pasajero, simplemente caminará dentro del pasillo y sus puertas se cerrarán automáticamente. Después se requerirá que el pasajero

²⁶ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 2, March 2007, UK, p. 34.

²⁷ La biometría es el estudio de métodos automáticos para el reconocimiento único de humanos, con base en uno o más rasgos conductuales o físicos intrínsecos. El término se deriva de las palabras griegas "bios" (vida) y "metron" (medida). Las huellas dactilares, la retina, el iris, los patrones faciales y la geometría de la palma de la mano, representan ejemplos de características físicas (estáticas); mientras que un ejemplo de característica del comportamiento es la firma. La voz se considera una mezcla de características físicas y del comportamiento. Fuente: <http://es.wikipedia.org>. En la actualidad se han desarrollado extensamente para el control de accesos, las tecnologías que utilizan las huellas dactilares y el iris, más que el reconocimiento facial; por lo que las dos primeras son por ahora las que mantiene los costos más bajos en su equipamiento. Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 2, March 2007, p. 34.

²⁸ Por ejemplo, la empresa francesa *Sagem Défense & Sécurité*.

muestre alguna característica biométrica, ya sea su huella dactilar, o se realizará un “*barrido*” de su iris o rostro, lo que sea establecido por la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI). El patrón de comparación debió haberse proporcionado en un registro previo

Se requiere de algunos segundos para comparar los detalles de la información biométrica detectada en el pasillo, contra los de la base de datos o incluso con la tarjeta de identificación o pasaporte. Suponiendo que la comparación resulte satisfactoria, las puertas de salida del pasillo se abrirán para permitir al usuario seguir su camino. Si la comparación no resulta positiva, las puertas de entrada y salida permanecerán cerradas, hasta que la computadora del sistema “*llame*” a un funcionario para atender dicho pasillo en particular.

3.3.1 Riesgos e inconvenientes

Aunque el proceso anterior se realiza bajo la observación de los tradicionales circuitos cerrados de televisión de las terminales aeroportuarias, existen peligros potenciales obvios, relacionados con viajeros que tratan de ingresar ilegalmente a un país. El reto más grande consiste en evitar que más de una persona entre a los pasillos de verificación. Por ejemplo, hay la posibilidad de que un pasajero registrado legalmente (pero que sirve de cómplice), mediante su identificación abra la puerta de entrada al pasillo y que al entrar sea seguido muy de cerca por otra persona que desea entrar ilegalmente.

Ya se ha trabajado bastante en el desarrollo de formas para detectar la presencia de una segunda persona en los pasillos de verificación, mediante la combinación de diferentes tecnologías avanzadas, como por ejemplo, cámaras de procesamiento de imágenes. Los diseñadores de los sistemas de detección de “*sólo una persona*”, creen que sus propuestas son lo suficientemente buenas para detectar a cualquiera que trate de engañar al sistema.

Los pasajeros que viajen con niños muy pequeños y que no puedan utilizar este sistema automatizado por sí mismos, tendrán que recurrir a los procesos tradicionales de inmigración, cuando menos en el futuro previsible.

Todos los tipos de sistema biométricos sugeridos por la OACI tienen sus propios retos a vencer. Por ejemplo, a todos los pasajeros que usen el sistema de huellas dactilares, se les debe enseñar previamente como colocar correctamente sus dedos arriba de los lectores, con objeto de que el proceso de identificación sea rápido. En este caso, el obstáculo potencial para una rápida identificación es que el usuario tuviera alguna herida en su dedo registrado, o que su huella dactilar estuviera oscurecida por exceso de humedad o suciedad.

En el caso del reconocimiento del iris, es muy difícil lograr que los niños pequeños comprendan que deben mirar hacia el fondo del dispositivo lector y permanecer quietos mientras se realiza el “*barrido*”. Así que tan sólo el intento del registro previo puede ser problemático. Los pasajeros que utilicen el método de

reconocimiento de iris necesitan ser entrenados, para aprender como deben mirar dentro de la cámara de *barrido*.

3.3.2 Pruebas

Ya se han realizado pruebas de estos sistemas, por ejemplo, durante 2007 se estableció un sistema automatizado de control para la aerolínea *Air France*, en la terminal 2F del aeropuerto *Charles de Gaulle*, en París, Francia.

Este sistema automatizado mediante tecnología biométrica reduce considerablemente los tiempos de espera para los pasajeros de “*bajo riesgo*”, en vuelos internacionales, tanto en llegadas como en salidas. Los usuarios deben utilizar tarjetas especiales (*inteligentes*), o pasaportes electrónicos.

En lugar de formarse en largas filas para la revisión de su pasaporte, por el oficial de inmigración, los pasajeros pasan a través de un pasillo controlado, en donde son identificados biométricamente (ya sea mediante sus huellas dactilares o iris). El tiempo promedio de procesamiento por pasajero es de 20 segundos, lo cual es mucho menor al tiempo promedio requerido por los lugares de verificación manual (quince minutos²⁹).



Figura 3.6

Sistema automatizado de inmigración en la terminal 2F del aeropuerto *Charles de Gaulle*, en París, Francia (al fondo a la derecha)

Fuente: <http://www.sagem-securite.com>

Por otro lado, en el Reino Unido existe un programa de investigación del servicio de inmigración para la utilización de un sistema automatizado mediante reconocimiento de iris, que está operando en cuatro de las terminales del

²⁹ Fuente: <http://www.sagem-securite.com>.

aeropuerto de *Heathrow*, y también en los aeropuertos de *Gatwick*, *Birmingham* y *Manchester*.

En Sydney, el servicio de inmigración de Australia espera la instalación de accesos operacionales automatizados (mediante pasaportes electrónicos recientemente introducidos) en ocho de sus aeropuertos internacionales, dependiendo de los resultados que se obtengan de un programa piloto, que funciona con base en el reconocimiento facial de los usuarios.

Debido a que la operación de las tecnologías biométricas ha sido bastante exitosa, es probable que en el futuro cercano el control automatizado de inmigración sea la norma para pasajeros frecuentes³⁰.

³⁰ Fuente: *Airports International*, Volume 39, No 7, October 2006, UK, pp. 22 y 23.

4 Servicios a los pasajeros

4.1 Sistemas de información

En esta primera sección se abordan dos distintos sistemas que proporcionan información a los pasajeros y usuarios del aeropuerto. El primero se relaciona con la información requerida por los usuarios respecto a los vuelos que llegan y salen del aeropuerto (salas de espera, retrasos, cancelaciones o confirmación de llegadas). El segundo tiene que ver con el acceso de los usuarios al aeropuerto, y en particular con la información de disponibilidad de lugares en los estacionamientos del mismo.

4.1.1 Sistemas de información de vuelos

Los actuales sistemas de despliegue de información de vuelo (*Flight Information Display Systems*, FIDS) realizan automáticamente muchas funciones que anteriormente se ejecutaban manualmente. De esta forma, sus administradores poseen herramientas de fácil manejo para crear, visualizar previamente, y archivar diversos tipos de mensajes; dando gran flexibilidad a las configuraciones de despliegue, y ofreciendo a los pasajeros opciones múltiples para obtener información de los vuelos, lo que constituye la función primordial de estos sistemas.

Anteriormente, las aerolíneas introducían manualmente la información en los sistemas (los cuales eran comúnmente propiedad de ellas), muchas veces sin una regularidad adecuada; los sistemas de despliegue modernos (propiedad de los aeropuertos, en donde es común que haya varios usuarios) obtienen la información de los vuelos, directa y automáticamente de los servidores de las aerolíneas (Figura 4.1).

En el Aeropuerto Internacional de Orlando, Florida, en los Estados Unidos, se terminó la instalación de un nuevo sistema de despliegue de información de vuelo, a finales de 2007. El sistema está conformado por alrededor de 600 pantallas de despliegue; la información de llegada de vuelos es muy precisa dado que se obtiene en tiempo real, directamente del radar de vigilancia del aeropuerto. Lo anterior muestra la gran flexibilidad de estos nuevos sistemas para acoplarse con cualquier fuente de donde provenga la información.

Los nuevos FIDS pueden trabajar con información de otros sistemas, por ejemplo, con los sistemas de administración de salas de espera (*Gate Management Systems*, GMS); si uno de ellos establece un cambio, este puede automáticamente actualizar la información en los sistemas de despliegue de información. Por ejemplo, supongamos que el sistema de administración de salas de espera de un aeropuerto, por alguna razón establece que un vuelo de Aeroméxico debe cambiarse de la sala 15 a la 20, con dicha información un aviso

automático por audio se voceará con el siguiente mensaje “El vuelo 123 de Aeroméxico fue cambiado de la sala 15 a la sala 20”. Además, dicho mensaje será desplegado, con letras grandes, en las pantallas del sistema. Este es un ejemplo de un cambio en el sistema, que automáticamente activa otros cambios, sin la interacción humana.



Figura 4.1

Sistemas de despliegue de información de vuelo multiusuario (*Multi-User Flight Information Display System, MUFIDS*) con monitores de cristal líquido, en configuración vertical y horizontal

Fuente: http://www.forms-surfaces.com/products/signage/profileone_fids.htm

En el Aeropuerto Internacional de *Greater Rochester*, en el estado de Nueva York, Estados Unidos, derivado de su proyecto de renovación de la terminal (en 2007) y debido a que tiene una gran comunidad con problemas de sordera, todos los mensajes de audio aparecen automáticamente en texto también.

Los sistemas de despliegue de información de vuelo modernos pueden programarse para que muestren los mensajes, y/o se reproduzcan en altavoces, como sea requerido, lo cual puede realizarse en forma automática mediante programas especializados.

Existen muchos tipos de mensajes que pueden activarse automáticamente, por ejemplo, asumamos que llega a una terminal un vuelo en particular, en este caso se aplica una regla preestablecida para que 5 minutos después aparezca un mensaje en el área de reclamo de equipaje, dándole la bienvenida a los pasajeros de dicho vuelo, y notificándoles “favor de recoger su equipaje en la banda cuatro”. Al mismo tiempo, mediante un sistema interactivo de respuesta a través de voz (*Interactive Voice Response, IVR*), se notifica la confirmación de la llegada de dicho vuelo a todos aquellos números registrados que hayan solicitado dicho servicio.

Con la evolución de la tecnología de reconocimiento de voz, y con base en programas avanzados de respuesta parlante, los sistemas de despliegue de

información han ampliado su utilidad. Por ejemplo, los sistemas interactivos de respuesta mediante voz permiten que usuarios, fuera del aeropuerto marquen por teléfono al sistema de despliegue y pregunten por información de vuelo a través de un comando de voz, a lo cual el sistema responde.

Otra alternativa consiste en que los usuarios registren sus números telefónicos en el sistema, para solicitar que se les informe de la llegada específica de algún vuelo. Una vez que la aeronave específica de dicho vuelo aterriza, el FIDS automáticamente realiza una llamada en donde notifica: “*Este es el sistema automático de información de vuelo del aeropuerto X, el vuelo Z ha aterrizado*”.

Existen algunos programas de cómputo que pueden convertir la información de vuelo en voz, para transmitir la información mediante emisoras de radio de amplitud modulada (AM). Estos programas, periódicamente solicitan información al FIDS y la convierten en voz. Por ejemplo, el Aeropuerto Internacional de *Columbus*, en Ohio, Estados Unidos, tiene una licencia para una estación de AM que transmite dentro de un radio de 8 kilómetros alrededor del mismo, proporcionando información de los vuelos, precios del estacionamiento, promociones de restaurantes, etcétera.

También un portal de Internet (*website*) puede ser alimentado con la información de los vuelos mediante un FIDS. Los portales de Internet de algunos aeropuertos ofrecen el servicio de “notificación de llegada de vuelo”. Los usuarios, simplemente registran la aerolínea, número de vuelo, fecha y su correo electrónico; y el FIDS le envía automáticamente al solicitante, mediante correo electrónico, cualquier cambio en el estado de dicho vuelo. Otra opción es que todas las actualizaciones se le envíen mediante mensajes de texto a su teléfono celular³¹.

Los recientes FIDS permiten a los administradores del sistema programar anuncios u otros mensajes, tales como videos o transparencias (Figura 4.2), ya sea en los monitores del FIDS o en pantallas especiales para ello. Esta opción permite a los aeropuertos generar ingresos por la publicidad, tal y como sucede con los sistemas tradicionales. El administrador del sistema puede configurar fácilmente cuándo, dónde y con que frecuencia aparecerán dichos mensajes.

El mantenimiento remoto de estos sistemas modernos es otra de sus ventajas. Los proveedores de servicios pueden en forma remota revisar y diagnosticar las fallas, aislando el origen del problema (equipos o programas), y repararlo.

En resumen, la principal ventaja de esos sistemas nuevos es su flexibilidad, dado que logran una mejor comunicación para los usuarios de la terminal aérea³².

³¹ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No 2, March 2008, UK, p. 23.

³² Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 3, April 2007, UK, pp. 20 y 21.

Arrivals				Departures			
Arriving From	Flight	Status	Claim Time	Arriving From	Flight	Status	Gate Time
Cleveland,OH	CO 3238	ON TIME	12:20	Cleveland,OH	CO 3238	ON TIME	C15 12:20 P
Cincinnati,OH	DL 5326	ON TIME	1	Chicago-Midway	TZ 3221	ON TIME	C3 12:25 P
Chicago-Midway	TZ 3221	ON TIME	12:25	Cincinnati,OH	DL 5446	ON TIME	B2 12:45 P
St. Louis,MO	DH 7610	ON TIME	4	St. Louis,MO	DH 7619	ON TIME	B16 1:00 PM
Cincinnati,OH	DL 5446	ON TIME	12:45	Salt Lake City	DL 104	ON TIME	B2 1:00 PM
Chicago O Hare	UA 1186	ON TIME	4	Detroit,MI	NW 1714	ON TIME	B11 1:25 PM
Detroit,MI	NW 1155	ON TIME	4	Pittsburgh,PA	US 4078	ON TIME	C16 1:28 PM
Pittsburgh,PA	US 4122	ON TIME	2	Chicago O Hare	UA 1260	ON TIME	B15 1:30 PM
St. Louis,MO	DH 7619	ON TIME	1:00	Cincinnati,OH	DL 1111	ON TIME	C3 1:30 PM
Cincinnati,OH	DL 1111	ON TIME	1:00	Chicago O Hare	AA 4186	ON TIME	B17 1:53 PM
Salt Lake City	DL 104	ON TIME	1:00	Salt Lake City	OO 4572	ON TIME	B2 2:00 PM
Chicago O Hare	AA 4186	ON TIME	4	Atlanta,GA	FL 283	ON TIME	C22 2:15 PM
Detroit,MI	NW 1714	ON TIME	1:25	Toronto	AC 1963	ON TIME	B15 2:25 PM
Pittsburgh,PA	US 4078	ON TIME	1:26	Minneapolis,MN	DL 5448	ON TIME	B2 2:45 PM
Chicago O Hare	UA 1260	ON TIME	4	Philadelphia,PA	US 5880	ON TIME	C16 3:00 PM
Cincinnati,OH	DL 1111	ON TIME	1:30	Salt Lake City	DL 105	ON TIME	B2 3:00 PM
Atlanta,GA	FL 282	ON TIME	3	New York-LGA	DL 6234	ON TIME	B2 3:10 PM

Figura 4.2

Sistema de despliegue de información de vuelo (FIDS)

Fuente: <http://www.comnet-fids.com/eclipsx.asp>

4.1.2 Sistemas avanzados de información para estacionamientos

Como resultado de los incrementos en los volúmenes de tránsito aéreo y del alto grado de dependencia de los automóviles, como modo dominante para el acceso terrestre hacia y desde los aeropuertos, los accesos terrestres y los estacionamientos de los mismos sufren demandas significativas.

Por otro lado, cuando la capacidad de los estacionamientos está cerca de su valor máximo, se presentan problemas de circulación en sus cercanía; en particular, cuando los viajeros desconocen si hay o no disponibilidad de espacios en los mismos. Aunque todos los aeropuertos tienen sistemas de señales estáticas, los sistemas avanzados de información de estacionamientos³³ (*Advanced Parking Information Systems*, APIS) intentan reducir algunos de los problemas asociados con la búsqueda de espacios disponibles, mediante la tecnología de sistemas inteligentes de transporte (*Intelligent Transportation Systems*, ITS); en primer lugar, para dirigir a los usuarios hacia estacionamientos con espacios disponibles; y después, para especificarles la ubicación de dichos lugares dentro de los estacionamientos.

Estos sistemas tienen el potencial de beneficiar la operación general de los estacionamientos y de sus accesos, mejorando el nivel de servicio de los usuarios

³³ También se les conoce como sistemas de información guía para estacionamientos (*Parking Guidance Information Systems*, PGIS).

del aeropuerto, y también brindan la oportunidad de incrementar los ingresos económicos del aeropuerto.

4.1.2.1 Antecedentes

La promulgación del decreto de Eficiencia del Transporte Intermodal de Superficie de 1991, en los Estados Unidos, propició el desarrollo y utilización de tecnologías para ayudar a administrar los sistemas de transporte urbano. Como consecuencia de esta legislación surgieron avances en la tecnología de los sistemas inteligentes de transporte (ITS) para brindar mejoras a la movilidad, seguridad y requerimientos de los usuarios.

Los sistemas avanzados de información al viajero (*Advanced Traveler Information Systems*, ATIS) forman parte de los sistemas inteligentes de transporte, que proporcionan información estática y dinámica, antes y durante los viajes³⁴. Un ejemplo de información estática son las tarifas; la información dinámica incluye condiciones del tránsito, en tiempo real; notificación de accidentes, demoras y disponibilidad de espacios para estacionamiento; y guía en ruta, entre otras.

Los pasajeros aéreos están predominantemente interesados en llegar a su aeropuerto a tiempo, mediante el modo más rápido, conveniente y confiable. El tiempo requerido para un viaje aéreo puede dividirse en tres intervalos: el tiempo en tierra hacia y desde el aeropuerto; el tiempo en el aeropuerto; y el tiempo en vuelo. Algunos estudios, mediante encuestas, revelan que alrededor del 75% de los usuarios reportan más demoras en los accesos y caminos de circulación del aeropuerto, que dentro del mismo.

Dado que el proceso de búsqueda de un lugar disponible para estacionarse conforma una gran parte del tiempo de acceso terrestre, la utilización de sistemas avanzados de información de estacionamientos provee a los pasajeros de información accesible y precisa de la disponibilidad de estos espacios, y de su ruta de acceso en puntos de decisión críticos, lo que puede resultar en una reducción del tiempo total de viaje.

Sin embargo, para establecer los lineamientos de aplicación de los sistemas avanzados de información de estacionamientos en aeropuertos, se debe indagar sobre el tipo específico de información requerida por los viajeros. Además, la localización óptima y el método preferible de difusión también necesitan ser identificados para ayudar a los viajeros en la toma de sus decisiones, tanto antes como durante sus viajes³⁵.

³⁴ Fuente: *Polydoropoulou and Ben-Akiva*, 1998.

³⁵ Fuente: *Burdette Debra A.*, 1999.

4.1.2.2 Tipos de sistemas

Existen diversas alternativas y estrategias para el guiado mediante sistemas avanzados de información de estacionamientos. Para mostrar el estado en que se hayan o el número de espacios libres dentro de ellos, se utilizan tanto señales estáticas como dinámicas, de tal forma que los conductores pueden tomar decisiones más efectivas y además ser guiados eficientemente dentro de estas instalaciones para encontrar un espacio libre.

Se tienen en forma genérica tres distintos tipos de sistemas avanzados de información de estacionamientos, dependiendo de como se realiza el guiado de los conductores.

Guía de disponibilidad de espacios. Estos sistemas son comúnmente utilizados en universidades e instalaciones médicas, entre otros. Proporcionan información de un sólo estacionamiento. En un sistema de guiado de disponibilidad de espacios, el número de vehículos que entran y salen de la instalación se registra continuamente, para determinar el número actual de espacios disponibles; este valor se muestra mediante un mensaje variable, justamente afuera de la entrada del estacionamiento. No provee sugerencias de estacionamientos alternos, sólo informa a sus clientes el estado de espacios disponibles antes de que entren en él. Aunque ofrece una orientación limitada, es el menos costoso en su implementación.

Guía de área específica. Estos sistemas funcionan en forma similar a los de guía de disponibilidad de espacios, dado que también detectan a todos los vehículos que entran y salen del estacionamiento. Sin embargo, en este sistema, la totalidad del estacionamiento es subdividida en áreas específicas (por ejemplo, niveles o cuadrantes de superficie); el movimiento de vehículos también se detecta en cada área. Como resultado se tiene información, en tiempo real, de cada área y de la totalidad del estacionamiento. Esto permite que el sistema sea más específico en el guiado de los conductores, dado que los dirige directamente hacia las áreas donde hay espacios libres, reduciendo así los tiempos de búsqueda.

La guía de área específica es particularmente benéfica en estacionamientos de varios niveles, comunes en los centros de las grandes ciudades y en los aeropuertos. En este diseño, los usuarios conducirán sus vehículos hasta que lleguen a la primera sección con espacios disponibles, de acuerdo con las indicaciones del sistema, sin estar buscando en cada nivel. Por otro lado, en el caso de estacionamientos de un sólo nivel, pero de gran extensión, el sistema puede funcionar al clasificar espacialmente sus áreas.

Guía de cajón de estacionamiento. En este sistema, se instalan equipos de detección en cada cajón del estacionamiento. Por ello, en este caso los conductores además de ser guiados hacia un área de estacionamiento, son dirigidos hacia un cajón vacío, con base en la información de lugares desocupados. Generalmente, los clientes son guiados mediante señales, y/o

semáforos. Este sistema es extremadamente costoso, tanto en su implementación como en su mantenimiento, debido a que requiere la instalación de detectores en cada cajón³⁶.



Figura 4.3

Despliegue de información de un sistema avanzado en un edificio de varios niveles

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_Guidance_and_Information

4.1.2.3 Componentes básicos

Los sistemas avanzados de información de estacionamientos consisten generalmente de cuatro componentes básicos.

- Detectores de vehículos;
- Centro de control del estacionamiento;
- Dispositivos para el despliegue de la información; y
- Red de telecomunicaciones.

Detectores de vehículos. Los sistemas avanzados de información deben contar con un medio para obtener la información de espacios disponibles en el estacionamiento. La información conforma los datos de entrada para el sistema de guiado. El método de registro de entrada y salida vehicular tiene una influencia significativa para el éxito del sistema. Si la información es imprecisa, el cálculo del número total de espacios disponibles (al restar el número de los que entran, y sumar el de los que salen) será erróneo. Como resultado, los usuarios perderán la confianza en el sistema.

Los métodos para recolectar la información de los flujos que entran y salen de los estacionamientos incluyen un gran rango de tecnologías, desde las barreras de contacto, hasta las de bobinas de inducción, ultrasonido, rayos infrarrojos, microondas, rayos láser, efecto piezoeléctrico y los sensores de visión.

³⁶ Fuente: *Burdette Debra A.*, 1999.

Centro de control del estacionamiento. Su principal función es recibir y publicar los mensajes de disponibilidad de espacios. La información de disponibilidad se recolecta de las instalaciones del estacionamiento, para después transmitirla mediante señales de mensajes variables u otros medios de difusión hacia los usuarios. Generalmente, un programa de cómputo genera automáticamente los mensajes que señalan la condición en tiempo real del estacionamiento.

Dispositivos para el despliegue de la información. Son un componente crítico para el éxito del sistema. Generalmente, se conforman por una combinación de señales estáticas y dinámicas, que proveen a los conductores la información de disponibilidad de espacios, y la guía para su acceso. Sin embargo, existen diversas tecnologías que pueden proveer esta información, como por ejemplo, señales de mensajes variables; transmisiones mediante ondas de radio, Internet, teléfono, televisión comercial y sistemas de navegación de vehículos.

Red de telecomunicaciones. Se utiliza para enlazar al sistema; es decir, permitir la transmisión de información entre las instalaciones del estacionamiento, el centro de control y los dispositivos de despliegue de información. Comúnmente, para el intercambio de información existen dos tipos de redes de comunicación. La primera opción consiste en una red dedicada, la cual consiste en un “tendido” especial de cables e infraestructura, es la opción más costosa. La otra alternativa estriba en utilizar una red pública, por ejemplo, la red telefónica; sin embargo, en este caso se limita el número de canales disponibles, o la calidad de la señal transmitida³⁷.

4.1.2.4 Tecnologías potenciales para la difusión de la información de los sistemas inteligentes de transporte

Los sistemas inteligentes de transporte tienen el potencial de mejorar en gran medida la operación de los sistemas de transporte terrestre, a través de la difusión de información precisa en tiempo real. Diversas tecnologías han sido identificadas como posibles medios para la difusión de la disponibilidad de espacios en los estacionamientos, y para su acceso. Estas tecnologías son las siguientes:

- Señales de mensajes variables;
- Señales estáticas;
- Transmisiones de radio;
- Servicio de Internet;
- Sistema de información telefónica; y
- Sistema de navegación de vehículos.

Señales de mensajes variables. Esta tecnología ha tenido una gran aplicación en dispositivos de control de tránsito en carreteras y accesos urbanos, suministrando información a los conductores en relación con caminos cerrados; cambios en las condiciones del tránsito; cierre de carriles; etcétera. Su función primaria es alertar

³⁷ Fuente: *Burdette Debra A.*, 1999.

a los conductores de eventos fortuitos para evitar accidentes y congestión, brindando información de caminos alternos.

Señales estáticas. Comúnmente se implementan para proporcionar información de orientación y seguridad a los conductores.

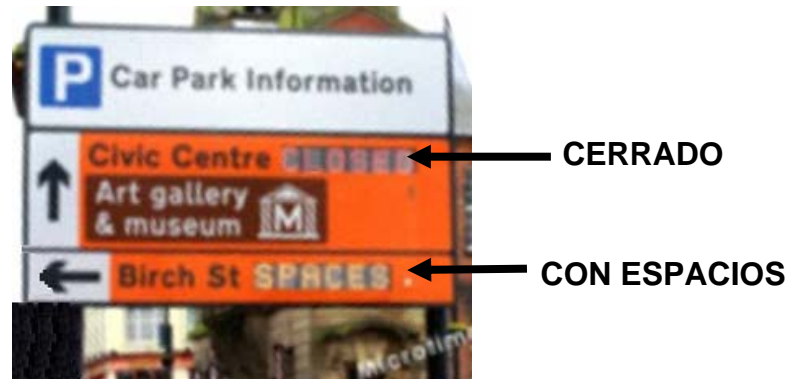


Figura 4.4

Sistema de mensajes variables de un sistema avanzado de información de estacionamientos

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_Guidance_and_Information

Transmisiones de radio. Es un medio para difundir la información a los viajeros en las carreteras mediante transmisiones de baja potencia, en amplitud modulada (AM). Los mensajes son transmitidos por el personal en campo, mediante antenas fijas o portátiles hacia las estaciones de radio de AM, desde donde son retransmitidos. La información puede ser escuchada por cualquiera que tenga un equipo de radio (AM) y esté dentro del alcance de la frecuencia de transmisión. A lo largo de las carreteras con ese servicio hay señales estáticas o de mensajes variables, en donde se indica la frecuencia de transmisión de la estación de radio. Mediante luces destellantes, montadas sobre estas señales, se llama la atención de los conductores cuando se transmite un mensaje.

Comúnmente se emplea para difundir información en relación con las condiciones de tránsito; obras de construcción en el camino; incidentes; y disponibilidad en estacionamientos de aeropuertos; también se puede utilizar para transmitir restricciones; información de eventos; instrucciones; e información de seguridad.

Servicio de Internet. Es un medio ideal para brindar información en tiempo real a los viajeros, en cualquier momento y a un costo bajo. Los usuarios requieren sólo una computadora y conexión a Internet.

Sistema de información telefónica. Estos sistemas ya han sido utilizados desde hace varios años para proporcionar información a los viajeros. Generalmente, es una alternativa poco costosa que sólo requiere un teléfono; tiene varias ventajas sobre las transmisiones de radio, puesto que los usuarios pueden obtener la información requerida al hacer una llamada, en lugar de estar esperando a que se presente la siguiente transmisión de información.

Sistema de navegación de vehículos. El sistema a bordo de los vehículos se conforma por una pequeña computadora, un programa de cómputo con mapas, y un sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*, GPS), para determinar la localización georreferenciada del vehículo. El sistema es utilizado por los conductores para obtener instrucciones de acceso, e información de puntos de interés cuando se realiza un viaje; la información puede ser visual o audible. Adicionalmente, algunos sistemas pueden recibir transmisiones de radio de frecuencia modulada (FM), para obtener información en tiempo real, del tránsito y de problemas de congestiónamiento³⁸.

4.1.2.5 Lineamientos para la implementación de un sistema avanzado de información de estacionamientos

A continuación se listan los lineamientos que deben seguir los administradores de estacionamientos en aeropuertos, cuando se implemente un sistema avanzado de información. Están diseñados para asegurar que el sistema de estacionamientos cumple adecuadamente con las necesidades de información de los usuarios, y se logre una administración eficiente de las instalaciones.

Paso 1. Determinación de los estacionamientos que conforman el sistema avanzado de información. Un sistema efectivo debe ofrecer servicio a tantos pasajeros como sea posible; sin embargo, dependiendo del empleo de los estacionamientos y de la disponibilidad de recursos, ciertas áreas podrían eliminarse del sistema o ser consideradas para fases posteriores del proyecto.

Paso 2. Establecimiento de la estrategia para el guiado de los vehículos. Existen tres opciones potenciales (señaladas en el inciso 4.1.2.2): la de disponibilidad de espacios; la de área específica; y la de cajón de estacionamiento. La opción de disponibilidad de espacios provee la información más general, y es la solución más económica; mientras que la de cajón de estacionamiento por proporcionar la información más detallada, es generalmente la más cara. La elección dependerá del presupuesto y del nivel de información deseado para los usuarios.

Paso 3. Dividir el sistema en zonas. El establecimiento de zonas en el estacionamiento facilita el movimiento de los vehículos al permitir una guía más específica, sin sobrecargar de información a los conductores. El tiempo de búsqueda se reduce al guiar a los usuarios para que pasen de largo aquellas zonas totalmente ocupadas.

Paso 4. Seleccionar la estrategia de difusión de información. Los métodos descriptivo y prescriptivo son las dos estrategias generales que se utilizan para la difusión de la información. Los sistemas de información descriptivos brindan a los conductores la mayor información posible en relación con la disponibilidad de espacios en los estacionamientos. Como resultado, el sistema incrementa las posibilidades de elección de los conductores en la toma de decisiones. En

³⁸ Fuente: *Burdette Debra A.*, 1999.

contraparte, el método prescriptivo limita las oportunidades de elección de los conductores, dejando las decisiones al sistema. Esto se realiza a limitar la información proporcionada a los usuarios, brindándoles sólo la que es necesaria para que avancen hacia el siguiente punto de decisión. El enfoque descriptivo o prescriptivo debe ser seleccionado por los administradores aeroportuarios con base en su deseo del nivel de responsabilidad en el guiado a los conductores.

Paso 5. Especificar las características del sistema. Con base en los resultados de los pasos 1 a 4, deben especificarse las tecnologías para difundir la información (inciso 4.1.2.4), y la ubicación de los lugares de difusión de la misma. Al seleccionar las tecnologías del sistema, los administradores deben elegir las alternativas que satisfagan las necesidades del aeropuerto, y que reflejen las preferencias de los usuarios.

La ubicación de los lugares para la difusión de la información depende del método de despliegue utilizado. Los administradores aeroportuarios requieren ser cuidadosos para asegurar que la información se distribuya cuando los usuarios perciben que es útil, y antes de que estos lleguen a puntos de decisión críticos; por ejemplo, lugares donde los accesos divergen hacia diferentes estacionamientos y entradas de los mismos.

Paso 6. Determinar la capacidad máxima de las instalaciones. Debido a que el éxito de la operación del sistema de información depende de que sea utilizado por los conductores que desean estacionarse, los aeropuertos necesitan ganar la aceptación de los usuarios. Dos formas rápidas para perder su confianza son: dirigirlos hacia áreas del estacionamiento totalmente ocupadas y darles instrucciones para que pasen de largo áreas donde claramente se observan lugares disponibles. Por ello, se necesita establecer un valor máximo de capacidad para que el sistema “conozca” cuándo cerrar y reabrir el estacionamiento. Debe tenerse en cuenta que en la práctica existen algunos errores al determinar el número exacto de espacios disponibles, por ejemplo, debido a vehículos mal estacionados que ocupen dos espacios, o a las áreas reservadas para personas con capacidades diferentes.

Los estacionamientos de los aeropuertos, comúnmente operan durante sus periodos “pico”, a un 85-95% de su capacidad máxima. Para propósitos del sistema de guiado, es recomendable que la capacidad máxima del estacionamiento sea igual al número total de cajones en el mismo, menos el número promedio de vehículos que se espera lleguen en el tiempo que le tomaría a un conductor llegar desde la entrada del estacionamiento hasta el cajón más distante de éste³⁹.

³⁹ Por ejemplo, para un estacionamiento con un total de 1 000 cajones, en donde el tiempo para que un conductor realice el recorrido entre la entrada y el cajón más lejano es de 15 minutos, y además se espera que cada 15 minutos entren cinco vehículos, la capacidad máxima del estacionamiento es de $1\ 000 - 995 = 995$ espacios.

Paso 7. Desarrollar y probar los programas del sistema. Los requerimientos especificados en los pasos 1 a 6 establecerán las características para el desarrollo del programa de cómputo a utilizar en el sistema. El programa utilizará la información obtenida por los equipos de detección de vehículos para formular la información de disponibilidad, la cual será transmitida hacia las herramientas tecnológicas de difusión de información. Ya que cada sistema es único, los administradores del sistema tendrán que trabajar con los diseñadores de los programas, para asegurarse de que estos reflejan los requerimientos de su sistema.

Paso 8. Implementar el sistema avanzado de información de estacionamientos. Idealmente, la implementación del sistema debe realizarse en su totalidad en una sola etapa; sin embargo, su implementación en varias etapas puede ser necesaria debido a restricciones presupuestales.

Paso 9. Evaluar el sistema. Para probar la efectividad del sistema avanzado de información, éste debe ser evaluado con objeto de determinar la utilidad para los usuarios. Los cambios en el factor de ocupación del estacionamiento, y las encuestas son dos formas de evaluar al sistema. El primer método simplemente da seguimiento a los incrementos o decrementos en la utilización del estacionamiento para inferir los efectos del sistema. Por otro lado, las encuestas obtienen información de los usuarios mediante cuestionarios. A través de ellos se sabrá cuál ha sido el efecto del sistema avanzado de información en su comportamiento para elegir un estacionamiento. Adicionalmente, las encuestas pueden emplearse para verificar qué tanto sabe el usuario sobre el sistema, e incluso se les puede preguntar sobre sugerencias de potenciales modificaciones al sistema, para su mejora⁴⁰.

4.1.2.6 Aplicación de un sistema avanzado de información de estacionamientos

Como un ejemplo de la aplicación de estos sistemas, se tiene el caso del establecido en la nueva terminal T4, del aeropuerto de Madrid-Barajas, en España. Esta obra establece un estacionamiento con capacidad para 9 000 vehículos, distribuidos en seis módulos, de cinco plantas cada uno⁴¹.

Posee uno de los más modernos sistemas de control y gestión, incluyendo de forma complementaria a los sistemas tradicionales; la lectura automática de placas; la gestión y sistema de guiado a cajones libres, con detección de ocupación en todos los espacios del estacionamiento. De cara a potenciar la seguridad de estas instalaciones, se han instalado 270 cámaras de videovigilancia.

⁴⁰ Fuente: *Burdette Debra A.*, 1999.

⁴¹ Fuente: http://www.sice.com/contenidos/referencias/aparcamientos/ref_aparcamientos_010.html.

Todos sus sistemas están integrados de tal forma que se tiene acceso a los mismos desde terminales remotas, a través de la red corporativa del aeropuerto.

Sus principales elementos son:

- Sistema de control de accesos y cobro, con seis entradas y ocho salidas.
- Sistema de lectura automática de placas, en entradas y salidas, y entre módulos.
- Sistema de gestión de espacios libres y guiado de vehículos (para 9 000 vehículos).
- Sistema de circuito cerrado de televisión (270 cámaras).
- Sistema de intercomunicación conectado a la central telefónica de Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA).

4.2 Cabinas para fumadores

4.2.1 Introducción

El tabaquismo es un problema mundial; se ha estimado que uno de cada tres adultos fuma, por lo que en el mundo existen más de mil millones de fumadores. A pesar de los esfuerzos gubernamentales para desmotivar esta adicción (prohibiciones de publicidad del producto, y advertencias de los riesgos para la salud en las cajetillas de cigarrillos), el número promedio de fumadores en la Europa Occidental permanece estable; sin embargo, en Asia y el Medio Oriente su número continúa creciendo, por lo que se espera que el número de fumadores siga incrementándose.

Las restricciones para fumar en lugares públicos cerrados ha aumentado notablemente, debido al crecimiento de la conciencia en relación con los problemas de salud de los fumadores pasivos (aquellos que inhalan el aire contaminado de los fumadores activos). El humo que respiran los fumadores pasivos contiene más de 50 agentes cancerígenos, y es responsable de muertes por cáncer de pulmón y por enfermedades coronarias. Se desconocen los niveles seguros de exposición al humo del cigarrillo para los fumadores pasivos, aunque la evidencia sugiere que aún exposiciones en el corto plazo, incrementan el riesgo de problemas de salud.

En un número cada vez mayor de países en Europa y los Estados Unidos se han establecido legislaciones para el tabaquismo. En México existe el Reglamento sobre consumo de tabaco⁴²; el Acuerdo de recomendaciones a fin de proteger la salud de los no fumadores por la exposición involuntaria al humo de tabaco⁴³; y en

⁴² Publicado en el Diario Oficial de la Federación, por la Secretaría de Salud, el 27 de julio de 2000.

⁴³ Publicado en el Diario Oficial de la Federación, por la Secretaría de Salud, el 28 de mayo de 2004.

el ámbito local la Jefatura de Gobierno del Distrito Federal, mediante decreto, reformó y adicionó la Ley de protección a la salud de los no fumadores del Distrito Federal, y la Ley para el funcionamiento de establecimientos mercantiles⁴⁴, mediante las cuales se establece como obligatoria la implementación de una separación física entre fumadores y no fumadores, en diversas instalaciones y establecimientos de uso público.

4.2.2 Cabinas

Se asume que existe el deseo de que la gente que acude a los aeropuertos tenga una estancia agradable, en la medida de lo posible; por otro lado, los administradores aeroportuarios tienen el deber de proteger la salud de su personal y de los viajeros. Sin embargo, la tarea no es siempre fácil pues los viajeros, visitantes y personal del aeropuerto difieren en sus demandas; e incluso en algunos casos éstas son conflictivas, como es el caso de los fumadores y los no fumadores.

Afortunadamente, en la actualidad es posible establecer un ambiente adecuado para los fumadores. Esto se ha logrado en algunos aeropuertos mediante la utilización de cabinas para fumadores (Figura 4.5) dentro de las terminales de pasajeros; en las salas de espera para ejecutivos (VIP); y en las áreas del personal del aeropuerto. Por ejemplo, en los aeropuertos de Munich, Alemania (*Franz Josef Strauss*); Copenhague, Dinamarca (CPH); Estambul, Turquía (*Atatürk*); y en París, Francia (*Charles de Gaulle*, y *Orly*).

La combinación de una fuerte corriente de aire limpio y un sistema de eliminación de olores, aseguran que las áreas circundantes a las cabinas permanezcan libres de humos visibles y olores desagradables.

Tienen un diseño modular, por lo que pueden instalarse en diversos tamaños (Figura 4.6) para dar servicio desde dos personas en adelante. También ofrecen la posibilidad, en caso necesario, de adaptar su configuración, o de trasladarlas fácilmente a otra parte. Por su diseño, se pueden instalar en cualquier lugar; sin necesidad de cambiar los sistemas existentes de tratamiento de aire del aeropuerto.

Además, las cabinas tienen un diseño moderno y transparente para que los fumadores no se sientan encerrados. La versión estándar de las cabinas es con paredes de vidrio transparente, sin embargo, pueden incorporarse otros colores o tipos de paredes con marcas comerciales, dibujos, etcétera.

Las cabinas son prácticamente libres de ruidos y de fácil acceso; aun con sillas de ruedas y/o equipajes convencionales. Por otro lado, estos equipos operan

⁴⁴ Referencia: Gaceta Oficial del Distrito Federal, del 4 de marzo de 2008 (<http://www.consejeria.df.gob.mx/gaceta/>). El reglamento de la Ley de Protección a la Salud de los no Fumadores del Distrito Federal, fue publicado en dicha Gaceta, el 4 de abril de 2008.

automáticamente; el sistema de limpieza de aire sólo funcione cuando alguien se encuentra dentro de la cabina, con objeto de ahorrar energía.



Figura 4.5
Cabinas para fumadores

<http://www.lucom.nl/smokengo/es/smng01.html>

En la mayoría de los aeropuertos en donde se utilizan estas cabinas, tanto sus paredes como sus techos son utilizados para propósitos publicitarios; lo cual genera ingresos adicionales a los administradores aeroportuarios.

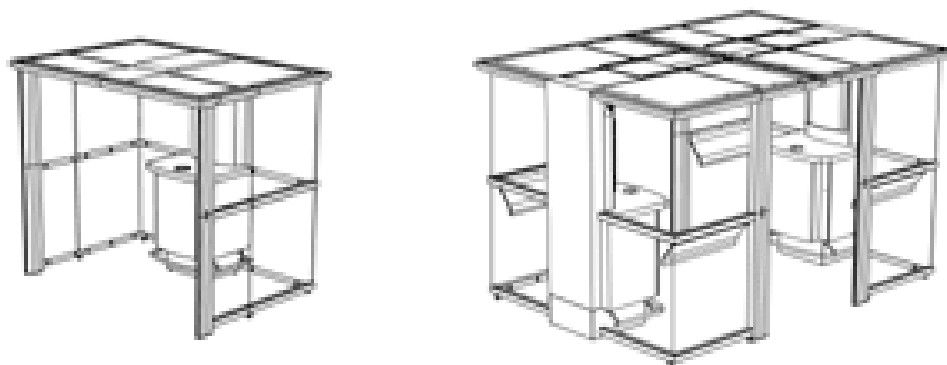


Figura 4.6
Cabina para 6-7 fumadores (izquierda), y 12-14 fumadores (derecha)

<http://www.lucom.nl/smokengo/es/smng01.html>

Recientemente y en forma opcional, se han fabricado cabinas que disponen de pantallas digitales, las cuales pueden ser utilizadas para presentar información de vuelo, y/o para propósitos publicitarios⁴⁵.

⁴⁵ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No 8, October 2007, UK, pp. 48 y 49; y *Volume 41*, No 3, April 2008, pp. 20 y 21; y <http://www.euromate.com>.

4.3 Sistemas de transporte rápido

Con el objeto de transportar a los pasajeros dentro de las terminales aeroportuarias se han implementado diversos sistemas, sin embargo, el siguiente es uno de los más recientes y novedosos; su implementación se lleva a cabo en el aeropuerto de *Heathrow* en Londres, Inglaterra.

Este sistema de transporte rápido enlazará la Terminal 5 de este aeropuerto con su estacionamiento principal, mediante un conjunto de vehículos sin conductor (Figura 4.7), que circularán a lo largo de una ruta guiada de 3.8 kilómetros.

Como parte de una inversión para modernizar las instalaciones, el aeropuerto de *Heathrow*, *British Airports Authority* (BAA) ha dado a conocer sus planes para desarrollar el primer sistema de transporte rápido personal (*Personal Rapid Transport*, PRT); este sistema fue desarrollado en asociación con la empresa *Advanced Transport Systems Ltd* (ATS)⁴⁶.



Figura 4.7

Vehículos del sistema de transporte rápido en una pista de pruebas

Fuente: <http://www.atsltd.co.uk>

El sistema consistirá de una flota de 18 vehículos sin conductor, impulsados por baterías⁴⁷ y con un bajo consumo de energía; cada vehículo podrá transportar

⁴⁶ Compañía británica, ubicada al norte de la ciudad de Bristol, en el Reino Unido. Es una empresa líder mundial en el desarrollo de vehículos de transporte rápido sin conductor. Fuente: <http://www.southwestrda.org.uk/>.

⁴⁷ La energía eléctrica es suministrada por un paquete de baterías con una potencia de 2 000 watts.

hasta cuatro pasajeros junto con su equipaje; las unidades viajarán por un camino exclusivo.

Esta nueva forma de transporte público entrará en operaciones en la primavera de 2009, aunque hay planes para que extienda su servicio a otros puntos del aeropuerto y hacia áreas urbanas cercanas⁴⁸, para lo cual utilizará una flota de 400 vehículos⁴⁹.

4.3.1 Generalidades del sistema de transporte rápido

Este sistema está diseñado para cumplir con las expectativas de los pasajeros dado que es práctico, poco costoso⁵⁰, confiable, seguro y fácil de usar.

Por otro lado, desde el punto de vista ambiental, no es contaminante y consume poca energía.

Las formas convencionales de transporte público requieren que los pasajeros se reúnan en grupos hasta que un vehículo de grandes dimensiones, en un determinado horario los transporte por una ruta predeterminada. En contraste, en este nuevo sistema personalizado, no se tienen tiempos de espera y transporta a los pasajeros a su destino sin paradas intermedias.

El sistema emplea computadoras modernas y tecnología de la información para ofrecer un enfoque nuevo de transporte.

Con objeto de reducir sus costos, también recurre a tecnología comercial, principalmente de la industria automotriz, con la que se obtienen componentes y sistemas confiables, avanzados y probados.

Características de los vehículos:

- Cuatro asientos (Figura 4.8)
- Carga a transportar 500 kilogramos
- Velocidad máxima 40 kilómetros/hora

El diseño innovador del sistema ofrece ventajas únicas:

- Puede funcionar a nivel del suelo o en forma elevada, tanto en interiores como en exteriores. Debido a su construcción ligera puede circular por el interior de construcciones convencionales sin necesidad de refuerzos.

⁴⁸ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No 2, March 2008, UK, p. 7.

⁴⁹ Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/ultra>.

⁵⁰ Los diseñadores reportan que el costo total del sistema (vehículos, infraestructura y sistemas de control) es de entre 3 y 5 millones de libras por kilómetro de camino. Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/ultra>.

- Los vehículos requieren de un pequeño radio de giro (5 metros) y pueden superar pendientes de hasta un 20%, sin embargo, en rutas operativas este valor se limita a 10% para asegurar la comodidad de los pasajeros.
- Debido a la aplicación de técnicas de construcción y de diseño modulares, se tiene un sistema adaptable en gran medida. La incorporación de infraestructura para rutas nuevas es muy sencilla.

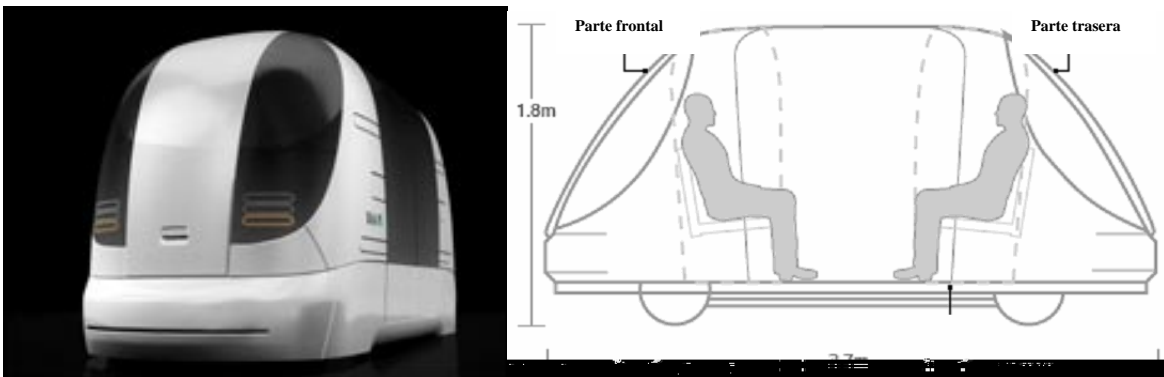


Figura 4.8

Características de los vehículos para el sistema de transporte rápido

Fuente: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/7148731.stm

Desde el punto de vista de los usuarios ofrece los siguientes beneficios:

- Servicio inmediato. Es raro que los pasajeros necesiten esperar por un vehículo, debido a que el sistema de administración de unidades vacías, asegura que un vehículo esté siempre disponible en la estación. Las simulaciones realizadas con el sistema muestran que los tiempos de espera promedio, aun en periodos pico, son de apenas 15 segundos.
- Viajes sin paradas. Debido al diseño de sus estaciones (fuera del trayecto principal), el viaje se realiza sin paradas intermedias, entre el origen y su destino, en cualquier punto dentro de la red.
- No es necesario el establecimiento de horarios, ni de transbordos entre vehículos.
- Es más rápido que otros medios de transporte urbano, comúnmente por un factor de 2 a 3. Aunque su velocidad máxima es modesta (40 kilómetros/hora), el servicio sin paradas intermedias asegura tiempos de viaje cortos.
- El viaje es más confiable, predecible y libre de congestionamientos, ofreciendo a los pasajeros mayor certeza en su viaje.

- El viaje es seguro. Tienen un nivel de seguridad alto; son aproximadamente 10 veces más seguros que los automóviles.
- Accesibilidad. El sistema se ofrece para todos, jóvenes, ancianos, y para aquellos con capacidades diferentes.

Además de los beneficios a los usuarios, el sistema ofrece beneficios para los no usuarios y para la comunidad.

- Es un sistema energéticamente eficiente. Utiliza vehículos ligeros, pequeños y eficientes, que viajan sin paradas intermedias y sólo cuando hay demanda, lo que se traduce en un ahorro significativo de energía⁵¹.
- Cumple con los requerimientos ambientales establecidos en Kyoto.
- Los vehículos son extremadamente silenciosos. Las medidas en los vehículos prototipo trasladándose a 10 metros/segundo, señalan un nivel de ruido de 45 decibeles a una distancia de 10 metros, lo que representa unos 20 decibeles menos que los automóviles.
- Requerimiento de infraestructura ultraligera. Debido a que sus vehículos son pequeños y ligeros, sus caminos guiados requieren menos terreno y materiales.
- Reducen los problemas de congestión.
- Bajo costo. Su infraestructura requiere de un tercio a un décimo de los recursos de otros medios de transporte terrestres, brindando además mayores beneficios en tiempos de construcción.

4.3.2 Comodidad para los pasajeros

Los vehículos son espaciosos, con asientos para cuatro adultos y un amplio espacio para equipaje, y/o sillas de ruedas (Figura 4.9); incluyen calefacción y aire acondicionado para climas extremos. Durante 2003, ATS realizó una serie de pruebas con pasajeros, en una pista de pruebas. De estas pruebas y de encuestas independientes, todos los usuarios calificaron el servicio como satisfactorio o muy satisfactorio. El piso de los vehículos es plano y con un alineamiento preciso con las estaciones, para permitir un acceso seguro y fácil de los pasajeros, equipaje y sillas de ruedas.

⁵¹ El sistema es energéticamente 70% más eficiente que los automóviles, y 50% más que los autobuses tradicionales. En cuanto a aspectos ambientales, también tiene la ventaja de generar 0% de gases contaminantes. Fuente: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/7148731.stm.



Figura 4.9
Interior del vehículo

Fuente: *Advanced Transport Systems Limited*

El servicio ofrecido es totalmente personalizado y seguro. Los pasajeros tienen el uso exclusivo de los vehículos y viajan sólo con los acompañantes que ellos eligen. Una vez que el vehículo ha iniciado su viaje, no se detiene en el camino a recoger más pasajeros. Cada viaje es privado, hasta que llega a su destino. Las unidades son continuamente monitoreadas por el sistema de control durante su uso. Los pasajeros pueden comunicarse con el controlador del sistema en cualquier momento que se requiera; a su vez el controlador puede comunicarse con los pasajeros, y los puede ver a través de un circuito cerrado de televisión.

Los vehículos se controlan autónomamente; una vez que han recibido sus instrucciones del control central, continuarán hasta su destino sin necesidad de instrucciones adicionales. El método de control es mediante sensores de rayo láser, instalados en los vehículos, puesto que resultaron ser la opción más confiable. La confiabilidad del sistema se ha demostrado mediante su operación continua en una pista de pruebas, en donde no se han reportado fallas del sistema durante 4 años de pruebas⁵².

4.3.3 Aplicación en el aeropuerto de *Heathrow*

Aunque estos vehículos sin conductor, con bajo consumo de energía y con un diseño futurista en forma de vaina o cápsula, parecen sacados de una película de ciencia-ficción, son una realidad en el transporte británico.

⁵² Fuente: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/7148731.stm y *Advanced Transport Systems Limited*.

De acuerdo con la compañía desarrolladora ATS, los usuarios del sistema en el aeropuerto de *Heathrow*, sólo tendrán que esperar un máximo de 12 segundos para tener acceso a ellos; además, debido a que cada unidad tiene designado su propio trayecto, no habrá congestión, ni se requerirán semáforos, por lo que no habrá paradas intermedias en el trayecto, desde el origen hasta su destino.



Figura 4.10

Ruta propuesta para el sistema de transporte rápido en el aeropuerto de *Heathrow*

Fuente: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/7148731.stm

Los pasajeros abordarán los vehículos de transporte en lugares preestablecidos, en donde las unidades estarán esperando, o en donde podrán ser solicitadas; en este caso, llegarán en cuestión de segundos.

Una vez que los usuarios se encuentren a bordo, mediante el uso de una pantalla sensible al tacto seleccionarán su destino. Un sistema de control central asignará al vehículo la trayectoria requerida, y los pasajeros serán transportados en la mejor ruta disponible⁵³.

⁵³ Fuente: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/7148731.stm.

5 Seguridad operacional (*safety*)

5.1 Detección de incursiones no autorizadas, piedras y otros objetos en pistas, mediante rayos láser

Una nueva tecnología que utiliza rayos láser diseñada para prevenir incursiones no autorizadas, y detectar elementos extraños en las pistas (*Foreign Objects and Debris*; FOD), ha recibido la patente respectiva en Estados Unidos (Patente No. 7148815). Este desarrollo proviene de la empresa *Runway Technologies*⁵⁴.

El principio de su funcionamiento consiste en la instalación de equipos de rayos láser en el perímetro de las pistas, las cuales son monitoreadas constantemente, para detectar mediante ellos aeronaves no autorizadas, piedras y otros objetos potencialmente peligrosos. Si el sistema detecta alguna anomalía, la información es transmitida directamente a la aeronave, al control de tránsito aéreo, y al personal en tierra antes de que la aeronave despegue o aterrice, brindando tiempo suficiente para aplicar acciones correctivas.

La idea se originó después del accidente del *Concorde*⁵⁵, el cual se estrelló después de despegar debido a que una pequeña pieza de metal, que se encontraba en la pista, perforó uno de sus tanques de combustible.

El sistema de *Runway Technologies* monitorea la superficie de las pistas en busca de este tipo de objetos. El rayo láser puede calibrarse para detectar objetos de diversos tamaños. Otro componente del sistema se conoce como “caracterizador de objetos”, mediante el cual se puede reconocer y analizar lo que se está “viendo”, para que a su vez se pueda reportar dicha información, con el propósito de tomar las medidas correctivas⁵⁶.

Se debe señalar que de acuerdo con estudios realizados en el IMT (Herrera, 2000), un alto porcentaje de accidentes aéreos (59%) en aeronaves comerciales con matrícula mexicana, se presentan en las pistas de los aeropuertos (durante las fases de despegue y aterrizaje); lo que en términos de tiempo de exposición representa tan sólo el 2% del tiempo total de vuelo.

⁵⁴ Empresa norteamericana, establecida en Washington, D.C.

⁵⁵ Ocurrido el 25 de julio del 2000, en una aeronave propiedad de *Air France*. Como consecuencia del accidente hubo 113 muertos. Debido a ello y a que su operación era demasiado costosa, este tipo de aeronaves dejó de prestar servicio en mayo de 2003.

⁵⁶ Fuente: <http://www.runwaytechnologies.com>, sección *Press Release*.

5.1.1 Ventajas del sistema

Costo-beneficio. Debido a que otros sistemas interrumpen el tránsito aéreo, con las consecuentes demoras, agregan un costo adicional significativo. La implementación de *Runway Technologies*, sólo afecta en una mínima parte al sistema de tránsito aéreo dado que todos sus sensores se ubican en el perímetro de la superficie de las pistas.

Detección automática de incursiones y objetos extraños. Esta tecnología permite al personal de la terminal aérea disponer de un sistema regular, confiable y automático para la detección de incursiones y objetos extraños en las pistas⁵⁷.

Los rayos láser ubicados en el perímetro de las pistas pueden detectar la presencia de aviones, vehículos, y objetos extraños dentro de un rango espacial relativo a una aeronave; así como proporcionar la información directamente a la aeronave, al control de tránsito aéreo, y/o al personal en tierra. Brindando el tiempo suficiente para la acción correctiva que despeje la pista antes del despegue o aterrizaje de la aeronave.

Capacidad de operación en condiciones ambientales extremas. Esta tecnología permite disponer de un sistema en operación aún bajo condiciones ambientales adversas. El sistema de láser óptico puede operar bajo condiciones de niebla, lluvia, hielo, nieve, viento y polvo.

Bajo condiciones extremas el sistema, puede utilizar un dispositivo calentador, para evitar su congelamiento; o desplegar una cubierta para protegerlo del viento, polvo, nieve y aguanieve; además tiene un sistema de retracción que le permite ocultarse bajo tierra en caso necesario, por ejemplo, para propósitos de remoción de nieve⁵⁸.

5.1.2 El problema de las incursiones en pistas

El problema de las incursiones en pistas se ha identificado como una amenaza seria para la seguridad aérea, por lo que la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) ha trabajado intensamente para resolver el problema. Iniciativas recientes para mejorar la seguridad en las pistas han establecido recomendaciones para reducir los accidentes e incidentes en éstas⁵⁹.

Los esfuerzos por abatir el problema se han facilitado recientemente por la adopción de una definición estándar para el término de incursión en pistas. De

⁵⁷ Incluso animales.

⁵⁸ Fuente: <http://www.runwaytechnologies.com>, sección *Features*.

⁵⁹ Por ejemplo, el Manual para Prevenir Incursiones en Pistas (Documento 9870, de la OACI). Fuente: *ICAO Journal, Volume 62, Number 2, 2007, Canada*, p. 24.

acuerdo con la definición de la OACI, ésta se define como “cualquier evento en un aeródromo que involucre la presencia incorrecta de una aeronave, vehículo o persona en un área protegida designada para el aterrizaje o despegue de aeronaves”. Bajo esta definición, las estadísticas, por ejemplo, para el caso europeo, señalan que durante 2005 se presentaron 40 incursiones por cada millón de operaciones aeroportuarias.

Además, de las numerosas recomendaciones para una mejora sistemática de la seguridad en pistas, la tecnología puede ayudar a reducir el riesgo de las colisiones en pistas. Los esfuerzos actuales se enfocan en dos áreas principales: dispositivos que alertan a los pilotos; y sistemas que alertan a los controladores de tránsito aéreo, cuando se presenta una incursión.

Las desventajas de estas tecnologías se deben a que muchas veces existe un tiempo muy limitado para el proceso de alerta y corrección. Una aeronave que circula por una calle de rodaje, puede cruzar accidentalmente una pista de aterrizaje en sólo unos segundos; durante ese breve intervalo, un accidente puede ocurrir⁶⁰.

5.2 Tecnologías para la reducción del peligro de las aves en pistas

El número de aeronaves se ha estado incrementando continuamente; al mismo tiempo su velocidad ha aumentado; por otro lado, cada vez se realiza un número mayor de vuelos a bajas altitudes, tanto en la aviación general como en la comercial, durante sus despegues y aterrizajes.

La mayoría de las aves también vuelan a menos de 300 metros sobre el terreno; por tanto, constituyen un peligro serio para las aeronaves⁶¹.

En los inicios de la aviación, la velocidad baja de las aeronaves hacía posible que las aves evitaran las colisiones; y en caso de que ocurrieran, la fuerza del impacto era pequeña.

En la mayoría de los casos, una colisión producía sólo un daño menor en el borde de las alas o en el fuselaje de la aeronave. La probabilidad de una colisión era muy pequeña, debido al número reducido de aeronaves existentes. La mayoría de las aves aprendieron rápidamente a evitar el espacio aéreo peligroso alrededor de

⁶⁰ Fuente: ICAO *Journal*, Volume 62, Number 1, 2007, pp. 9-10.

⁶¹ Entre las 36 especies más grandes de aves en América del Norte, 24 han presentado un crecimiento significativo en su población, en las pasadas tres décadas; durante el mismo periodo sólo tres de estas especies han presentado una disminución de su población. La población de gansos en Estados Unidos (cuyo peso es de entre 3 y 5 kilogramos) ha aumentado su valor en más del triple, pasando de un millón de aves, en 1990, a 3.5 millones en 2005. Fuente: ICAO *Journal*, Volume 61, Number 3, 2006, p. 21.

los aeropuertos, gracias al ruido que producían las hélices de los motores de las aeronaves.

Esta situación cambió en los años cincuenta, después de que aparecieron los primeros aviones con motor turbohélice y turborreactor, debido al incremento en su velocidad y dimensiones. Resultó más difícil para las aves evitar los impactos, y la fuerza de las colisiones se incrementó en gran medida.

El índice de colisiones con las aves también subió por efecto de succión de los nuevos motores y a sus mayores dimensiones.

Por otro lado, los motores de reacción⁶² son menos resistentes a las colisiones con aves que los de pistón; además las modernas aeronaves son más silenciosas y, por tanto, es más probable que no sean detectadas por las aves (Figura 5.1).



Figura 5.1

Álabes de entrada de un motor turborreactor JT8-D, dañados por el impacto con un ave

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Bird_strike

El costo de las consecuencias de los daños a las aeronaves por colisiones con aves puede alcanzar valores de varios millones de dólares al año⁶³. Este valor no

⁶² Mientras que el número de aves grandes se ha incrementado, es importante señalar que la mayoría de los componentes de las aeronaves, incluyendo sus motores, no han sido certificados para resistir colisiones con aves con un peso mayor a 1.8 kilogramos. De hecho, se han reportado colisiones con daños significativos (incluso daños no contenidos en el motor, con penetración de fragmentos en la cabina de la aeronave) con aves de un peso menor a 1.8 kilogramos. Fuente: *ICAO Journal, Volume 61, Number 3, 2006, p. 21.*

sólo lo conforma el costo de la reparación de la aeronave, sino también el de tenerla fuera de servicio. Además, dichos impactos pueden poner en riesgo la seguridad de los pasajeros y de su tripulación⁶⁴. En contraparte, puede haber gastos significativos por parte de los aeropuertos, que tienen como objeto prevenir las colisiones entre aves y aeronaves. Por ejemplo, el aeropuerto *John F. Kennedy* de Nueva York, gasta para ello más de medio millón de dólares al año; lo que equivale aproximadamente, al precio de reparación de dos motores de un avión Boeing 747.

La magnitud del problema de las colisiones ave-aeronave es diferente en cada terminal aeroportuaria. Con objeto de prevenir dichas colisiones en forma efectiva se necesita una comprensión en profundidad de los hábitos y comportamiento de las aves. Por tanto, es importante para los administradores aeroportuarios consultar a los ornitólogos⁶⁵.

5.2.1 Estadísticas de colisiones de aeronaves con aves

En noviembre de 1979, la OACI, solicitó a todos sus miembros que reportaran todas las colisiones entre aves y aeronaves. Para ello, estableció un sistema internacional de recolección y evaluación de datos de este tipo de colisiones (*ICAO Bird Strike Information System; IBIS*).

Con objeto de dar continuidad a dichos datos, este sistema sigue en operación. Posteriormente, un cuestionario suplementario fue preparado para que las aerolíneas reportaran los costos asociados con las colisiones, y la información detallada de los daños en los motores de los aviones. Algunos de los resultados del análisis de aproximadamente 35 mil colisiones reportadas señalan lo siguiente:

- El número de eventos con daños significativos para las aeronaves representó aproximadamente el 5% del total de los impactos con aves.

⁶³ Durante 2005, en los Estados Unidos, se reportaron 7 100 colisiones de aeronaves civiles con alguna forma de vida salvaje (en comparación, en 1990 esta cifra fue de 1,719 impactos). Aproximadamente, en el 98% de todas estas colisiones, estuvieron involucradas aves; lo que representó un costo para la aviación civil de los Estados Unidos, de alrededor de 500 millones de dólares por año, entre 1990 y 2004. Algunas investigaciones han estimado que el costo de las colisiones de las aves con las aeronaves comerciales, en todo el mundo, fue de 1 200 millones de dólares durante 1999-2000. Fuente: *ICAO Journal, Volume 61, Number 3, 2006, Canada*, p. 21. En el caso de México, una de las principales especies involucradas en incidentes y accidentes aéreos, es el zopilote de cabeza negra. Fuente: Niño, 2008.

⁶⁴ Al menos 195 personas han muerto, y 168 aeronaves han sido destruidas como consecuencia de impactos de aves o de otras formas de vida salvaje, en contra de aeronaves civiles y militares, entre 1988 y 2005. Fuente: *ICAO Journal, Volume 61, Number 3, 2006*, p. 21.

⁶⁵ Fuente: *Kazda y Caves, 2000; pp. 339-340.*

- El 69% de las colisiones se produjeron durante el día; 15% durante la noche; el remante durante el amanecer y el anocheecer.
- El 29% de las colisiones se presentaron durante la aproximación final de las aeronaves a las pistas, y un 25% en los despegues.
- El 51% de los choques se presentaron abajo de los 30 metros sobre el nivel del terreno.
- En el 91% de los casos, los pilotos de las aeronaves no fueron advertidos sobre la presencia de aves.

La obtención de información estadística de colisiones con aves, por parte de la OACI, es tan sólo una parte de los datos necesarios para el funcionamiento de un sistema eficiente de administración del riesgo de las aves en los aeropuertos.

Además, es necesario complementar los datos con observaciones en tierra de la presencia de aves, reportes de mantenimiento, observaciones de los pilotos, de los controladores de tránsito aéreo, y de ornitólogos en el aeropuerto y en su área circundante.



Figura 5.2
Operación riesgosa de aeronaves por la presencia de aves.

Fuente: Cuadrado, 2008.

Los reportes del aeropuerto no sólo se deben enfocar en eventos de impactos de aves con aeronaves, sino también en la ubicación de las aves en los alrededores de la terminal aérea.

Sólo después de que todos estos se han procesado y evaluado es factible identificar el alcance del problema, y el establecimiento de un sistema de administración⁶⁶.

⁶⁶ Fuente: Kazda y Caves, 2000; pp. 340-341.

5.2.2 Alternativas para ahuyentar a las aves de los aeropuertos y sus alrededores

Existe la posibilidad en cualquier momento, de que una bandada vuele hacia un aeropuerto y se pare en sus pistas. Cualquier aparición esporádica de aves en los aeropuertos debe ser ahuyentada, como una forma de control de seguridad. Las parvadas deben ahuyentarse y dispersarse tan rápido como sea posible, debido a que una agrupación de aves en el suelo, atrae a más del mismo tipo, y la parvada puede hacerse más grande.

También, es más fácil dispersar a un conjunto de aves pequeño que a uno grande. La forma más fácil es ahuyentar a las aves antes de que se posen en el aeropuerto.

La efectividad del método para ahuyentar a las aves depende de cada situación; algunas técnicas sólo pueden aplicarse ocasionalmente, debido a que las aves se acostumbran a ellas.

Las aves reaccionan inmediatamente a algunos métodos dispersándose; sin embargo, en ocasiones reaccionan con algún defasamiento. Las distintas especies reaccionan en forma diferente, dependiendo de la técnica aplicada.

Las técnicas para ahuyentar a las aves se pueden dividir en seis tipos:

- Acústicas (bioacústicas, pirotecnia y pistolas de gas).
- Visuales (por ejemplo, luces).
- Mecánicas (redes y alambres).
- Captura y reubicación (método muy especializado y laborioso).
- Cetrería (aunque existe el riesgo de que las aves entrenadas para la caza de aves en el aeropuerto, colisionen con una aeronave; además no puede usarse esta técnica bajo condiciones climáticas adversas, y no es efectiva para todas las especies).
- Químicos (en muchos países está prohibido estrictamente el empleo de productos químicos; generalmente se usan para reducir la población de insectos y roedores, los cuales sirven de alimento a las aves⁶⁷).

5.2.3 Desarrollos tecnológicos recientes

Dentro de los nuevos sistemas bioacústicos de dispersión de aves, con aplicación de las tecnologías más recientes, se ha desarrollado uno, muy confiable, por una empresa británica⁶⁸.

⁶⁷ Fuente: *Kazda y Caves*, 2000; pp. 344-348.

⁶⁸ La empresa *Scarecrow Bio-acoustic Systems Ltd* ha sido proveedora por alrededor de 20 años de los sistemas más innovadores para ahuyentar aves en aeropuertos con gran actividad, en Europa, Australia, Canadá, India y los Emiratos Árabes Unidos. Su sistema desarrollado más

Este desarrollo, con la última generación de tecnologías para la dispersión de aves, incluye: un programa para que el sistema “aprenda” de la experiencia (asociando, por ejemplo, la ubicación de las aves y su tipo, con el nivel de ruido efectivo para ahuyentarlas); funciones para la formulación de reportes, y bitácora automática; sistema de GPS (para el registro preciso de la ubicación de las aves); herramientas de análisis (que exceden los requerimientos reglamentarios actuales, mostrando, por ejemplo, las tendencias de la población de aves, y su comportamiento estacional); pantalla de 21 centímetros, con funciones al tacto (*touch screen*), y está disponible en formatos para varios idiomas⁶⁹.



Figura 5.3
Equipo bioacústico para la dispersión de aves

Fuente: <http://www.scarecrowbio-acoustic.co.uk/ultima.htm>

Otro desarrollo tecnológico implementado recientemente por los franceses⁷⁰, utiliza un sistema de rayo láser⁷¹ (Figura 5.4).

recientemente, es conocido como *Ultima*. Fuente: *Airports International*, Volume 40, No. 4, May/June, UK, 2007.

⁶⁹ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No. 4, May/June 2007, UK; Volume 40, No. 1, January/February 2007; y Volume 40, No. 8, October 2007

⁷⁰ Por la empresa *Lord Ingenierie*. El desarrollo original proviene de la Autoridad de la Aviación Civil Francesa. El nombre comercial del desarrollo es Tom 500. Fuente: <http://www.tom500.eu/tom500gb.html>.

⁷¹ Estudios detallados sobre las aves conducidos por ornitólogos especializados de la Autoridad de la Aviación Civil Francesa, demostraron que los ojos de las aves son más sensibles al color verde. Fuente: <http://www.tom500.eu/tom500gb.html>



Figura 5.4

Sistema disuasivo mediante rayo láser

Fuente: <http://www.tom500.eu/tom500gb.html>

Este es un sistema automático que “barre” las pistas del aeropuerto con un rayo láser verde, ahuyentando a las aves al producirles una percepción (por el rayo láser) de que una vara va hacia ellas.

Las especificaciones del rayo garantizan una seguridad ocular total, tanto para el personal en tierra, como para el de las aeronaves; tampoco produce un obstáculo visual para los pilotos, ni durante el día o la noche.

El sistema permite establecer hasta cuatro trayectorias distintas para el rayo láser, las cuales pueden ser ejecutadas en forma continua, secuencial, o aleatoria.

Esta tecnología ha sido probada durante varios años en aeropuertos civiles y militares; además, no se ha detectado que las aves se acostumbren a su operación.

Durante un periodo de dos años, este sistema se ha probado en el aeropuerto de *Montpellier*, en Francia; durante su operación, no se ha reportado ninguna colisión de aves con aeronaves⁷².

5.3 Tratamiento antipatinaje en pistas

Como ya fue señalado, de acuerdo con estudios realizados del IMT (Herrera, 2000), un alto porcentaje (59%) de los accidentes de las aeronaves comerciales con matrícula mexicana, se presentan en las pistas de los aeropuertos.

En ocasiones, estos accidentes se presentan en pistas mojadas y resbalosas; en particular, bajo condiciones ambientales adversas. La OACI al identificar este problema, ha establecido valores específicos de fricción para las pistas de los aeropuertos.

⁷² Fuente: <http://www.tom500.eu/tom500gb.html>.

Para cumplir con estos requerimientos, en algunos aeropuertos se ha recurrido a la aplicación de tratamientos superficiales a base de una mezcla especial de adhesivo epóxico flexible y fragmentos de basalto, cuidadosamente graduados entre 1.5 y 3.5 milímetros⁷³.

Esos tratamientos se han utilizado en más de 70 aeropuertos civiles y militares durante más de 50 años; con lo que se han obtenido altos valores de fricción en pistas húmedas (coeficientes de fricción mayores a 0.75), reduciendo el peligro del acuaplaneo⁷⁴.



Figura 5.5
Pista del nuevo Aeropuerto Internacional de Atenas con tratamiento antipatinaje

Fuente: http://www.possehl-spezialbau.de/uk/uk/aircraft-use_pavements

Recientemente, la empresa alemana *Weigel Hochdrucktechnik GmbH & Co. KG*, ha demostrado un método mediante el cual es posible mejorar los niveles de fricción en las pistas de los aeropuertos mediante su sistema *TrackJet*.

⁷³ Fuente: www.possehl-spezialbau.com.

⁷⁴ Condición bajo la cual las ranuras de las llantas no pueden drenar toda el agua presente, y se forma una capa entre la superficie plana de la misma y la pista, con la consecuente reducción de la fricción superficial. El peligro del acuaplaneo se reduce con el tratamiento antipatinaje, debido a que se mejora el drenado del agua bajo las llantas, como consecuencia de la significativa macrotextura del recubrimiento. Fuente: <http://www.possehl-spezialbau.de/uk>.



Figura 5.6

Sistema *TrackJet*. Módulo frontal, unidad de alta presión y carro tanque con agua

Fuente: <http://www.trackjet.de/englisch/index.html>

Actualmente, las pistas de los aeropuertos se construyen utilizando adhesivos bituminosos, los cuales dejan una película aceitosa sobre su superficie. La película cubre la microtextura del agregado, y reduce significativamente la fricción superficial alcanzable, al grado de que las especificaciones de la OACI y de otras organizaciones de la aviación civil, no pueden cumplirse en pistas nuevas. Los valores de fricción, gradualmente se incrementan con el tiempo y con la exposición de las pistas a la operación de las aeronaves; por lo anterior, es una práctica operacional común establecer que los niveles de fricción requeridos se alcancen un año después de que la pista ha estado en operación.

La empresa alemana señala que ahora es factible alcanzar los niveles requeridos de fricción, inmediatamente después de la construcción de las pistas, mediante la aplicación en su superficie de agua con ultra alta presión (*Ultra High Water Pressure*, UHWP). Sostienen que la aplicación de UHWP y *TrackJet* es una tecnología probada, con alto costo-beneficio, ambientalmente amigable, y significativamente no erosiva, que incrementa los niveles de fricción significativamente.

Hace poco realizaron pruebas en una pista construida recientemente en la Península Arábiga. Los resultados mostraron como los valores de fricción pueden incrementarse. La compañía sostiene que las pistas construidas y tratadas de esa manera pueden conservar los niveles de fricción adecuados, por al menos 10 años, requiriendo de tan sólo mantenimiento rutinario durante dicho periodo⁷⁵.

5.4 Sistema para detener aeronaves fuera de control, en la cabecera de las pistas

La empresa estadounidense ESCO (*Engineered Arresting Systems Corporation*) diseñó una tecnología que permite detener el movimiento y absorber la energía de las aeronaves en las pistas, cuando no se pueden detener en forma normal durante su operación. Mediante dicha tecnología se han podido salvar vidas

⁷⁵ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 1, January/February 2008; UK, p.41.

humanas, y a la vez preservar la integridad de los equipos y del ambiente, aun bajo condicione ambientales adversas.

Aunque ESCO ha estado desarrollando y probando sistemas de detención para aplicaciones militares por alrededor de 50 años, no fue sino hasta la década de los noventas cuando la *Federal Aviation Administration* (FAA), de los Estados Unidos, se acercó a ESCO, para que la ayudara ha desarrollar un sistema de detención para los aeropuertos comerciales. Trabajando bajo un acuerdo de cooperación para el desarrollo de investigación con la FAA, ESCO desarrolló un nuevo tipo de sistema seguro, para la detención de aeronaves mediante una superficie colapsable blanda.



Figura 5.7

Prueba de ESCO y la FAA para la detención de una aeronave Boeing 727

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

Este sistema (*Engineered Material Arresting System*, EMAS) provee mayor seguridad a los aeropuertos comerciales en el caso de que una aeronave en sus pistas no pueda detener su movimiento dentro de los límites normales de operación, y esté muy cerca de salirse de la cabecera de la misma. Esta tecnología utiliza un estrato hecho a la medida, con cemento celular, diseñado para aplastarse bajo el peso de una aeronave, brindando una desaceleración controlada y predecible. Una vez detenida la aeronave, el sistema permite a los pasajeros y tripulación salir de la aeronave en forma segura; y a la aeronave ser removida con efectos mínimos. Para obtener un funcionamiento óptimo de la instalación se requiere un diseño a la medida de cada sistema, de acuerdo con la longitud, profundidad y resistencia de la pista, y el tipo de aeronaves que operan en ella.

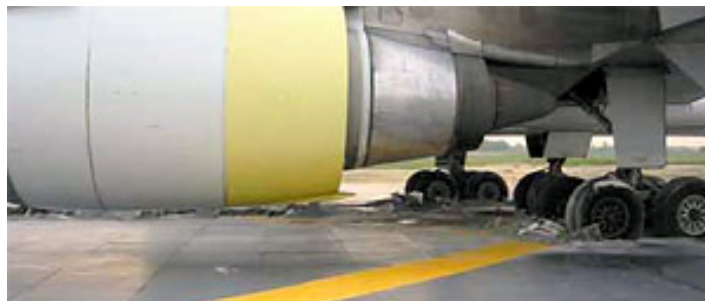


Figura 5.8

Acercamiento del EMAS en una aeronave detenida

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

EMAS fue “lanzado” comercialmente en 1996, después de numerosas pruebas con aeronaves, y cumpliendo con los requerimientos de la FAA⁷⁶.

Su diseño incluye un análisis complejo por computadora, que considera más de 100 variables por cada tipo de aeronave que opera en las pistas. De esta forma se determina la resistencia y profundidad del estrato colapsable, para brindar un desempeño óptimo.

Conforme la aeronave recorre el estrato, las ruedas aplastan el material colapsable creando una superficie de contacto entre la rueda y el material. Es mediante esta superficie de contacto, que se generan las fuerzas de resistencia para desacelerar la aeronave.

Las fuerzas se transmiten al tren de aterrizaje (Figura 5.10) y a las estructuras de soporte. El nivel de desempeño del sistema depende fundamentalmente de la resistencia del tren de aterrizaje y del área de seguridad disponible en la pista.

Desde la introducción de esta tecnología, a inicios de la década de los noventas, se ha continuado con la mejora y refinamiento de los materiales utilizados, mediante investigación especializada e iniciativas de desarrollo. Su capacidad ha sido probada tanto en aeronaves pequeñas, como en las de cabina ancha (Boeing 747⁷⁷).



Figura 5.9
Aeronave entrando en el estrato colapsable
Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

⁷⁶ Fuente: Advisory Circular AC-150/5220-22A "Engineered Materials Arresting System" for aircraft overruns.

⁷⁷ Fuente: <http://www.esco.zodiac.com>.



Figura 5.10

Tren de aterrizaje en el estrato colapsable

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

5.4.1 Aplicación del desarrollo de EMAS

Este sistema, comúnmente ocupa el mismo ancho que tiene una pista, y el estrato de detención para las aeronaves se instala en el extremo de la misma. En su parte delantera se incluye una rampa de transición entre la aeronave y el material del estrato (Figura 5.11). Más allá del ancho de la pista, a sus lados, el sistema tiene escalones para brindar acceso a los vehículos de emergencia, y una salida para los pasajeros. En pistas cortas, las áreas de seguridad, comúnmente se extienden hasta la longitud del espacio disponible. En pistas largas, el área de seguridad del estrato colapsable, se incrementa para tener un desempeño óptimo⁷⁸.

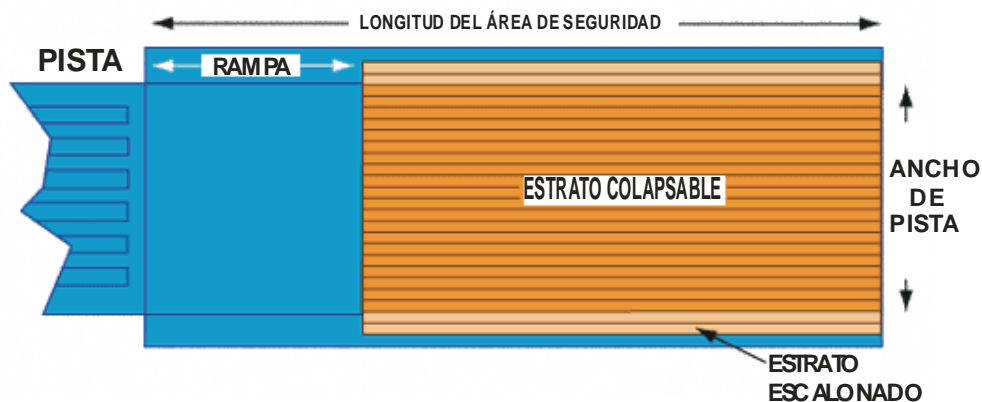


Figura 5.11

Vista en planta típica del EMAS

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

⁷⁸ *Ibíd.*

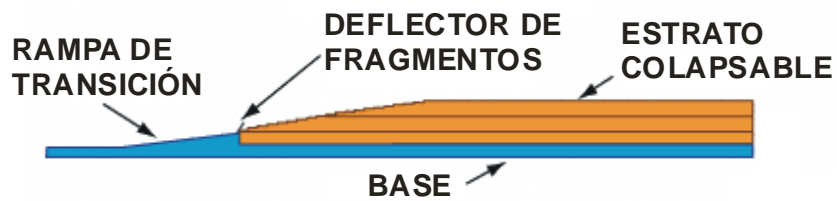


Figura 5.12
Elevación típica del EMAS

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

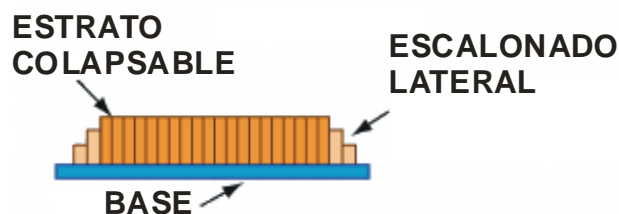


Figura 5.13
Sección típica del EMAS

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

5.4.2 Sistemas instalados y en operación

Existen 34 sistemas instalados y en operación (30 en los Estados Unidos). Algunos de los lugares en donde se ha instalado este sistema son: Aeropuerto Internacional de Boston-Logan; Aeropuerto Internacional de La Guardia-Nueva York; aeropuerto *Greater Binghamton*-Nueva York; y el Aeropuerto Internacional de Rochester.



Figura 5.14

A la izquierda, aeropuerto *Greater Binghamton*; y a la derecha, Aeropuerto Internacional de *Rochester*, con la instalación del EMAS

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

El sistema para la detención de aeronaves (EMAS) fue diseñado para aeronaves comerciales con motor de reacción; sin embargo, su aplicación se extendió a

aeronaves de hélice más pequeñas. El 8 de mayo de 1999, una aeronave SAAB 340, durante su aterrizaje sobrepasó el límite de su pista, con una velocidad mayor a 130 km/h (70 nudos).

La aeronave fue detenida con seguridad por el EMAS (Figura 5.15), protegiendo a los pasajeros y a la tripulación. Posteriormente (cuatro horas después), fue sacada del estrato colapsable, al remover el material aplastado y jalándola hacia atrás con un remolque, que la sujetaba de cada uno de sus dos trenes de aterrizaje. Después de ello, la pista fue inmediatamente reabierto. La reparación del estrato colapsable requirió de 12 días para terminarse.



Figura 5.15

Aeronave SAAB 340 detenida por el EMAS

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

El 30 de mayo de 2003, un aeronave carguera MD-11, al aterrizar sobrepasó el límite de su pista. Nuevamente, la aeronave fue detenida con seguridad por el sistema EMAS, sin lesiones para su tripulación y sin daños mayores para el avión (Figura 5.16).

Después de unas cuantas horas de ocurrido el incidente, la aeronave se removió del estrato de retención, permitiendo que la pista entrara en operación nuevamente.



Figura 5.16

Retención de una aeronave de carga MD-11 en el estrato colapsable

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

El 24 de enero de 2005, el sistema de detención mediante material colapsable pasó por uno de sus mayores retos, cuando un *Boeing 747* (con un peso de 272.7 toneladas) al aterrizar se siguió de largo hasta llegar al final de su pista, en donde se ubicaba el sistema de retención EMAS (Figura 5.17).

Como estaba planeado, el sistema pudo detener en forma segura a la aeronave, sin lesiones para la tripulación y con daños mínimos para la aeronave, que se limitaron al reemplazo de nueve neumáticos estropeados. El avión regresó a servicio después de algunos días de ocurrido el incidente⁷⁹.



Figura 5.17

Retención de una aeronave Boeing 747 en el estrato colapsable

Fuente: <http://www.esco.zodiac.com/index.cfm/navid-4>

5.5 Estructuras frangibles

En 1995, la OACI estableció en el Anexo 14 (Volumen 1), los criterios de diseño para estructuras frangibles, utilizadas en soportes y luces de aproximación de los aeropuertos. En la edición 2006 de dicho anexo, se amplió el alcance de las instalaciones que deben cumplir con el requerimiento de frangibilidad.

El diseño e instalación adecuados de las ayudas visuales y no visuales (por ejemplo, luces, equipo meteorológico y radioayudas para la navegación), son un prerequisite para la seguridad de la aviación civil. En los aeropuertos, varias de estas ayudas están ubicadas cerca de las pistas, calles de rodaje y plataformas, en donde pueden constituir un peligro para las aeronaves, en el caso de que se produzca accidentalmente un impacto durante el aterrizaje, despegue o en las maniobras en tierra. Por ello, tales equipos y sus soportes deben ser frangibles y estar instalados tan bajo como sea posible, para asegurar que cualquier impacto no resulte en una pérdida del control de la aeronave involucrada.

Se ha establecido que cualquier estructura requerida para las luces de aproximación del aeropuerto sea frangible, lo que implica: que esté diseñada para soportar cargas estáticas y operacionales, con un factor de seguridad adecuado; pero que deba romperse, deformarse o ceder fácilmente, cuando sea sujeta a una colisión súbita con una aeronave de 3,000 kilogramos, y que esté viajando a una velocidad de 140 km/h. Además, después de la colisión, la estructura no debe atorarse con la aeronave, permitiendo que ésta manobre con seguridad ya sea en el aire o en tierra.

⁷⁹ Fuente: <http://www.esco.zodiac.com>.

Los obstáculos se definen como: todos los objetos fijos, localizados en el área destinada para el movimiento superficial de las aeronaves, o que se extienden arriba de la superficie destinada para el vuelo seguro de las mismas. Es evidente que ciertos elementos de las instalaciones y equipos aeroportuarios deben localizarse en un área operacional⁸⁰. Todos estos, así como sus soportes deben tener una masa mínima y ser frangibles, para asegurar que un impacto con ellos no resulte en la pérdida del control de las aeronaves.

Todas las estructuras dentro de una distancia de 300 metros, después del umbral de la pista deben cumplir con el requerimiento de frangibilidad (por ejemplo, las antenas de localización del sistema de aterrizaje por instrumentos, ILS).

Los nuevos requerimientos de frangibilidad⁸¹ señalan que es obligatoria la utilización de cercas u otras barreras adecuadas, para impedir que gente no autorizada entre en áreas restringidas del aeropuerto. También se ha establecido como obligatorio proporcionar un medio de protección para instalaciones en tierra que son esenciales en la operación y seguridad de las aeronaves civiles.

Sin embargo, las cercas perimetrales y sus accesos necesitan ser lo suficientemente estables para servir a su propósito, por lo que no pueden ser frangibles dado que afectarían la función para la que se instalan. No obstante, se ha establecido que la estructura de dichas cercas esté conformada por segmentos, y que se diseñe para que su modo de falla sea por cizallamiento, en caso de que una aeronave impacte contra ellas⁸².

5.5.1 Aplicación de estructuras frangibles y de masa mínima

Con objeto de mantener una operación segura de diversas estructuras aeroportuarias, y en cumplimiento con los requerimientos de frangibilidad⁸³ se han desarrollado diseños con materiales compuestos, los cuales brindan las ventajas siguientes: masa reducida, transparencia para las señales electromagnéticas, y mantenimiento mínimo.

Algunas estructuras en donde se aplican estos materiales son:

Torres para sistemas de aterrizaje por instrumentos y soportes localizadores. Estas estructuras deben cumplir con el requerimiento de frangibilidad cuando se ubican dentro de una distancia de 300 metros de la cabecera de la pista. Las

⁸⁰ Debido a sus funciones, por ejemplo, mástiles, conos de viento, anemómetros y transmisores.

⁸¹ Establecidos en la última revisión del Anexo 14 de la OACI, del 23 de noviembre de 2006.

⁸² Fuente: *Airports International, Volume 41, No. 1, January/February 2008; UK*, pp. 22-23.

⁸³ Señalados en el Anexo 14 de la OACI.

torres se componen por segmentos de 5 metros de alto, y se arman comúnmente con alturas de 10 ó 15 metros.



Figura 5.18

Torres para sistemas de aterrizaje por instrumentos y soportes localizadores

Fuente: <http://www.exelcomposites.net>

Mástiles estructurales para sistemas de luces de aproximación. Estos mástiles deben pasar por pruebas para verificar los requerimientos especificados en el Anexo 14 de la OACI. Se deben fragmentar en varias partes cuando son golpeadas por una aeronave, sin causar riesgos secundarios para la misma.

La OACI recomienda pruebas dinámicas para verificar la frangibilidad de las ayudas a la navegación que tienen una altura mayor a 1.2 metros, y que se ubican en posiciones donde podrían golpear a una aeronave. Se pueden construir mástiles de hasta 35 metros de altura.



Figura 5.19

Mástiles estructurales para sistemas de luces de aproximación

Fuente: <http://www.exelcomposites.net>

Mástiles estructurales para conos de viento y anemómetros. Estas estructuras también deben ser probadas por frangibilidad. Su altura estándar es de 10 metros.



Figura 5.20

Mástiles estructurales para conos de viento y anemómetros

Fuente: <http://www.exelcomposites.net>

Cercado perimetral. Además de evitar que personal no autorizado entre en áreas restringidas, también evita el acceso de animales que pudieran poner en peligro la operación de las aeronaves. Adicionalmente, los cercados deben ser transparentes a las señales electromagnéticas, sin interferir, por ejemplo, con los sistemas de aterrizaje por instrumentos. Comúnmente, tienen alturas de 2 ó 2.5 metros y su diseño dificulta que alguien pueda subir por el mismo, debido a que carece de estructuras horizontales en sus paneles⁸⁴.



Figura 5.21

Cercado perimetral

Fuente: <http://www.exelcomposites.net>

Aunque la cerca ilustrada, a base de paneles y postes (construida con materiales compuestos) es muy estable, en caso de que una aeronave chocara contra ésta, fallaría por cizallamiento⁸⁵.

⁸⁴ Fuente: <http://www.exelcomposites.net>.

⁸⁵ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 1, January/February 2008; UK, p. 23.

5.6 Nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos

El sistema de amplificación con base en tierra (*Ground Based Augmentation System*; GBAS) es el nombre asignado por la OACI, de un nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos que está siendo probado en algunos aeropuertos del mundo.

La FAA (*Federal Aviation Administration*) de los Estados Unidos lo ha denominado como sistema de amplificación de área local (*Local Area Augmentation System*, LAAS).

Este sistema se basa en la corrección diferencial, en tiempo real, de la señal de un sistema de posicionamiento global (GPS).

Este proceso se realiza mediante receptores locales que envían la información a una ubicación central dentro del aeropuerto; la información se utiliza para generar un mensaje con las correcciones, las cuales se transmiten a los usuarios mediante señales de muy alta frecuencia (VHF). Un receptor en la aeronave emplea la información para corregir las señales del sistema de posicionamiento global, y el resultado se presenta en una carátula del tipo tradicional del sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS), para poder realizar aproximaciones de precisión.

El GBAS se ha diseñado para corregir algunos problemas relacionados con el GPS. Por ejemplo, la falta de un sistema de monitoreo de respuesta rápida. Los sistemas de ILS tienen integrado un sistema de monitoreo que cierra el sistema si se detecta alguna falla. Los GPS no tienen este sistema de alerta rápida; por ejemplo, si el reloj de un satélite presenta algún problema, no hay una advertencia rápida para que los usuarios dejen de usarlo, por lo que el GBAS corrige este problema.

Otro problema proviene de la precisión de la posición indicada por el GPS; un error en la señal del reloj del satélite originado por la ionosfera, puede introducir un error en la posición de la aeronave de varios metros. Estos errores deben corregirse en tiempo real para una aproximación de precisión, en donde la visibilidad es mínima o nula.

Durante 2001, el GBAS pudo alcanzar la categoría I del ILS, con una precisión de 16 metros lateralmente y 4 metros verticalmente. La meta del programa es alcanzar la categoría III del ILS actual⁸⁶.

⁸⁶ La categoría III se subdivide en tres subcategorías; en la subcategoría A se requiere una visibilidad mínima en pista de 200 metros; para la B, de entre 50 y 200 metros; y para la C, no hay limitaciones de visibilidad; es decir, se puede lograr una aproximación y aterrizaje con cero visibilidad.

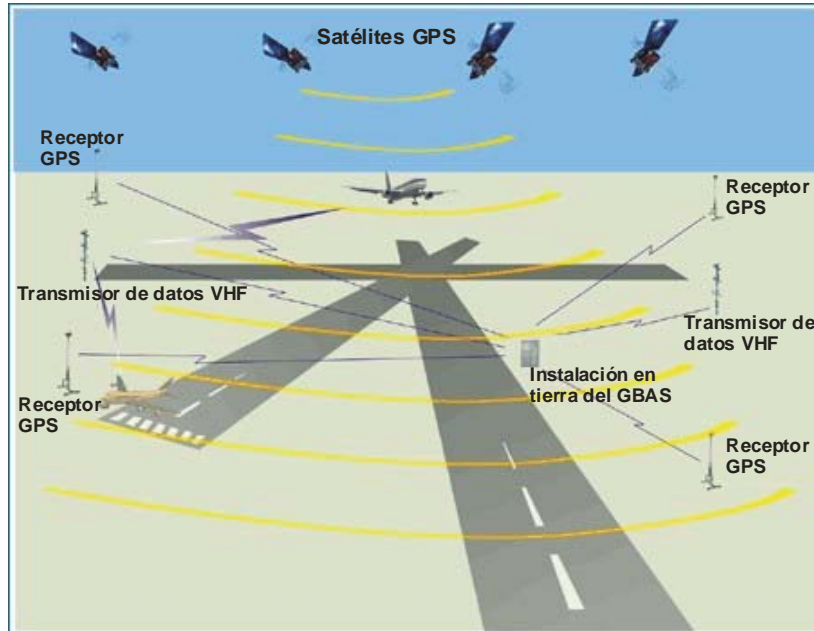


Figura 5.22

Arquitectura del sistema de amplificación con base en tierra (GBAS)

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Local_Area_Augmentation_System

El beneficio de este nuevo sistema es que una sola instalación en un aeropuerto puede ser utilizada para múltiples aproximaciones de precisión dentro del mismo. Por ejemplo, en una terminal aérea con cuatro pistas, en donde cada una está equipada con su propio sistema de ILS, podrían ser reemplazados sus cuatro sistemas por uno sólo del tipo GBAS, lo cual representa ahorros significativos en mantenimiento y operación.

Otro beneficio es que existe la posibilidad de que las aproximaciones no sean en línea recta, dado que se puede guiar a la aeronave con el perfil necesario para evitar los obstáculos, o para disminuir los niveles de ruido en áreas habitadas que circundan al aeropuerto.

Uno de los principales inconvenientes del GBAS es que si el GPS es interferido, se producen serios problemas, a menos que exista otro sistema alternativo de respaldo. La interferencia suele presentarse bajo ciertas condiciones climáticas, por la actividad solar o por sabotaje.

Por ello, existe la posibilidad que las autoridades establezcan como requerimiento que se conserven los actuales equipos de ILS como respaldo para el caso de una falla en el GBAS, originado por interferencia en la señal del GPS. Sin embargo, este respaldo quitaría las ventajas del GBAS, puesto que el sistema completo sería más costoso que el actual. Eso también dificultaría la administración de las frecuencias de radio, debido a que ambos sistemas emplean las mismas⁸⁷.

⁸⁷ Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Local_Area_Augmentation_System.

5.7 Sistema de administración de los vórtices de aeronaves

El 30 de mayo de 1972, el piloto de una aeronave de *Delta Airlines* reportó: “se detecta una ligera turbulencia aquí”. Su aeronave, un DC-9, volaba a 30.4 metros sobre el nivel del terreno en su aproximación final a la pista de aterrizaje, en el Aeropuerto Internacional *Greater Southwest*, en *Fort Worth*, Texas, Estados Unidos.

El avión estaba volando dentro de la estela de vórtice, generada por las puntas de las alas de un DC-10, de *American Airlines*. Once segundos después, la aeronave DC-9 golpeó violentamente en contra de la pista, muriendo las cuatro personas que iban a bordo.



Figura 5.23

Vórtice en la punta del ala de una aeronave, visible mediante humo de color

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Wingtip_vortices

Aunque dos años antes de este accidente ya se habían establecido los estándares de separación de estelas para mantener a las aeronaves fuera de estos vórtices. Los procedimientos en ese tiempo establecían como requerimiento mínimo una separación de cuatro millas náuticas para operar atrás de una aeronave pesada (como lo es un DC-10).

Sin embargo, el reporte del *National Transportation Safety Board* (NTSB) de los Estados Unidos, señaló que el DC-9 balanceó excesivamente, en su aproximación final, 2.23 millas náuticas atrás del DC-10. El vuelo descendente del DC-9 atravesó el vórtice del ala izquierda del DC-10, el cual levantó su ala derecha empujando a la aeronave hasta que se estrelló finalmente en la pista.

Las alas de las aeronaves generan estelas de vórtices que se extienden hacia atrás; son similares a tornados horizontales. Su tamaño está en función del peso de la aeronave y de la envergadura de sus alas; en general, mientras mayor sea la aeronave, mayores serán sus vórtices⁸⁸.

Después del accidente del DC-9 señalado antes, la FAA incrementó la separación de las aeronaves a 5 millas náuticas, para establecer una operación segura. Desde entonces ha modificado estos estándares varias veces⁸⁹; en la modificación más reciente estableció una clasificación adicional (superpesada) asignada al nuevo *Airbus A380*⁹⁰.

5.7.1 Sistema para la detección de estelas de vórtices

Los estándares actuales de separación de aeronaves funcionan bien como una medida preventiva; aunque representan un costo enorme, debido a que reducen la capacidad del espacio aéreo de los aeropuertos. Análisis financieros realizados por la empresa *Flight Safety Technologies*⁹¹ (FST) señalan que los costos de las

⁸⁸ Por ejemplo, los vórtices de una aeronave DC-10, cuyo peso es de 136 mil kilogramos, tienen un diámetro de aproximadamente 3 metros y producen velocidades máximas del orden de 173 km/h; los cuales son lo suficientemente violentos como para ocasionar que una aeronave pierda el control.

⁸⁹ Existen tres clasificaciones principales de aeronaves, a las que aplican los estándares de separación por estelas, más dos clases especiales. La primera es la clase de pesadas; son aeronaves cuya masa mínima de despegue es de 136 mil kilogramos o mayor; la siguiente es la clase de grandes; aquellas que tienen una masa mayor a 7 mil kilogramos, pero menor a la clase de pesadas; y la clase de ligeras, aquellas cuya masa es menor a la clase de grandes. Las otras dos clases especiales son la del *Boeing 757*, debido a estudios realizados después de varios accidentes relacionados con las estelas de vórtices; y la más reciente es la del *Airbus A380*, que es la única aeronave hasta ahora, con la clasificación de superpesada. La separación normal por radar de las aeronaves en el espacio aéreo terminal, bajo las reglas de vuelo por instrumentos (*Instrument Flight Rules*, IFR) es de 3 millas náuticas; aunque hay ciertas excepciones. Los estándares de separación IFR debido a los vórtices de las aeronaves se incrementan a 4 millas náuticas para una aeronave pesada que se ubique atrás de otra pesada; es de 5 millas náuticas para una aeronave grande o ligera atrás de una grande; de 6 millas náuticas para una ligera atrás de una pesada; y se establecen distancias especiales para las aeronaves *Boeing 757*. Además, las operaciones simultáneas de aeronaves de distintas clases, están prohibidas en pistas paralelas con una separación menor a 762 metros, lo cual afecta a muchos de los aeropuertos más grandes de Estados Unidos, como por ejemplo, a los de San Francisco, *Philadelphia*, *St. Louis*, Los Ángeles, *Anchorage*, Atlanta, Las Vegas y *Seattle*. Esta restricción también afecta al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

⁹⁰ La OACI ha establecido lineamientos provisionales para esta aeronave nueva, fijando una separación de 10 millas náuticas para el espacio aéreo terminal del aeropuerto y de 15 millas náuticas de separación en ruta.

⁹¹ *Flight Safety Technologies, Inc.* es una empresa estadounidense fundada en 1997, con la misión de mejorar la seguridad y la eficiencia de los viajes aéreos en el mundo. En sus inicios, la compañía se centró en los avances tecnológicos para detectar y monitorear las estelas turbulentas generadas por las aeronaves durante los despegues y aterrizajes. Recientemente, ha ampliado sus alcances para incluir otras tecnologías que puedan mejorar al servicio aéreo. Fuente: http://www.flysafetech.com/company_profile.

demoras originadas por la separación de las aeronaves para evitar las estelas de vórtices, en 19 aeropuertos de los Estados Unidos, es de varios cientos de millones de dólares anualmente.

La empresa FST desarrolla un método para la detección y predicción de las estelas de vórtices, denominado como sistema administrador de seguridad de las estelas de las aeronaves (*Aircraft Wake Safety Management, AWSM*), el cual promete reducir esta carga para los aeropuertos. El incremento de los volúmenes de tránsito aéreo requiere un replanteamiento de los estándares actuales de separación de aeronaves, debido a que se consideran como muy conservadores.

En condiciones de calma las estelas de vórtices, generalmente se debilitan y disipan en un lapso de uno a tres minutos. Sin embargo, las condiciones del estado del tiempo en las distintas alturas, y los vientos cruzados sobre las pistas pueden perturbar este comportamiento.

Existe una paradoja en los estándares de separación de aeronaves, debido a que a menudo las estelas de los vórtices no se disipan en el tiempo que toma al avión volar la distancia de separación aplicada.

La razón por la que afortunadamente no ha habido más encuentros de esos vórtices con las aeronaves, se debe a que estos se han desplazado fuera del trayecto del avión que vuela atrás. La base del desarrollo del sistema AWSM se fundamenta en la predicción y confirmación del comportamiento normal de los vórtices, y en la verificación de que la trayectoria de cada aeronave vulnerable está libre de los mismos.

La compañía FST ha desarrollado durante los últimos 10 años un sistema de sensores (SOCRATES), con base en tierra, que monitorean en tiempo real el movimiento de los vórtices generados por los aviones durante su aproximación final. La información está siendo utilizada para validar continuamente las predicciones del comportamiento de las estelas de vórtices en el espacio aéreo terminal, mediante el sistema AWSM, el cual recurre a equipos de vigilancia a bordo de las aeronaves, información meteorológica, y algoritmos de predicción.

Aunque existen diferentes criterios para aminorar los requerimientos de separación en las aeronaves que aterrizan y despegan, el sistema AWSM señala que si estos estándares de separación van a ser cambiados; los vórtices deben ser monitoreados para validar las predicciones de su comportamiento, con base en mediciones de la velocidad del viento.

El sistema SOCRATES está constituido por un conjunto de transmisores y reflectores de rayos láser, con una separación de 50 metros, que se ubican cerca de una prolongación de la línea central de las pistas. El sistema “escucha” los

vórtices (a menudo audibles por el oído humano) al medir cómo su sonido perturba los rayos láser⁹².

Este sistema se ha estado probando en el Aeropuerto Internacional *John F. Kennedy*, en la base de la Fuerza Aérea de *Langley*, y más recientemente en el Aeropuerto Internacional de *Denver*, en los Estados Unidos.



Figura 5.24

Arreglo del sistema SOCRATES, instalado en el Aeropuerto Internacional de Denver, Estados Unidos

Fuente: *Flight Safety Technologies*. (2004). *SOCRATES Wake Vortex Detection and Tracking: A Technical Status Report*. USA.

Otro de los elementos, con base en tierra, del sistema AWSM es el radar láser, o LIDAR (*Light Detection and Ranging*); que mide los vórtices cercanos al área donde las aeronaves tocan la pista; mientras que el sistema SOCRATES trabaja mejor a una distancia mayor antes de este punto. Las dos herramientas se complementan entre sí, y ambas sirven de soporte al componente de predicción del AWSM.

FST asume que la mejor forma de obtener la información del estado del tiempo que necesita el sistema, es de las mismas aeronaves y propone obtener la información de los vientos y de la turbulencia, a través de un enlace con el sistema de guía inercial de las aeronaves.

Otro requerimiento clave para el sistema AWSM, es la rápida actualización del reporte de la ubicación de las aeronaves. La rapidez de actualización de su posición mediante el radar de vigilancia del aeropuerto es muy lenta, sin embargo, hay dos tecnologías que pueden servir para este propósito.

⁹² Se ha estimado que un sólo rayo láser tiene la capacidad de detección equivalente a 100 micrófonos convencionales.

La primera proviene de la transmisión de vigilancia de dependencia automática⁹³ (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*), y del equipo transpondedor⁹⁴ de la aeronave. La otra es la multilateralización, que es otra tecnología de ubicación de las aeronaves, mediante ésta se calcula su posición con base en los tiempos de respuesta entre el transpondedor de la aeronave y un conjunto de emisores-receptores en tierra alrededor del aeropuerto. Ambos sistemas brindan tiempos de actualización del orden de un segundo.

Finalmente, el sistema AWSM monitorea el espacio aéreo del área terminal del aeropuerto, y conforme predice el movimiento de los vórtices fuera del trayecto de los aviones, establece una condición de “luz verde”, bajo la cual los controladores de vuelo separan a las aeronaves de acuerdo con los estándares mínimos de radar.

Pero, si el sistema AWSM señala una condición de “luz roja”, los controladores aplican los estándares de separación por estelas de vórtices.

Mediante este sistema se busca reducir la congestión aeroportuaria al incrementar la utilización de las pistas y además mejorar la seguridad de las operaciones en las terminales aéreas⁹⁵.

⁹³ Que es un sistema de posicionamiento de aeronaves de alta precisión, con base en un sistema de posicionamiento global satelital (GPS).

⁹⁴ Emisor-receptor automático de identificación. Es un equipo que al recibir una señal radioeléctrica de interrogación, transmite automáticamente una señal de identificación de la aeronave (señal de respuesta). El término proviene de las palabras TRANSmisor-resPONDEDOR.

⁹⁵ FST busca patrocinadores en aeropuertos internacionales para desarrollar la fase siguiente de su sistema AWSM, en la cual no sólo se incluye al aeropuerto, sino también a toda su área terminal. Fuentes: *Airports International*, Volume 39, No. 7, October 2006, UK, pp. 39-40.; y www.flysafatech.com.

6 Seguridad contra actos ilícitos (*security*)

Después de los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001, en los Estados Unidos, las medidas de seguridad en los aeropuertos de ese país y en general de los principales en todo el mundo, se han incrementado significativamente. De hecho, se estima que antes de dichos eventos, la seguridad aeroportuaria contra actos ilícitos representaba el 5% de los gastos de las terminales aéreas y en la actualidad dicho valor es del orden del 35%.

Una de las tecnologías de seguridad se ha enfocado a la identificación plena de los pasajeros, con objeto de detectar a aquellos con antecedentes criminales, o que se consideran peligrosos.

Por otro lado, se tiene un conjunto de tecnologías para la detección de armas y sustancias químicas peligrosas (por ejemplo, explosivos). Para ello, se han desarrollado dispositivos que funcionan con base en radiaciones, magnetismo y resonancia, o mediante espectrómetros e imágenes térmicas, entre otros.

6.1 Tecnologías biométricas

6.1.1 El programa viajero registrado

Después de varios años de pruebas, el programa viajero registrado (*Registered Traveler*, RT) ha iniciado oficialmente sus operaciones, brindando un servicio más rápido que el de los puntos de revisión de seguridad tradicionales. Actualmente, 16 aeropuertos ofrecen este servicio, y otro tanto se encuentra en proceso de implementación, o interesado en él.

El programa busca identificar a aquellos pasajeros que representan un riesgo mínimo de seguridad. Los que voluntariamente pagan por recibir este servicio, deben presentar su historial y registrar sus huellas dactilares y opcionalmente el iris de sus ojos. Una vez que la información de los candidatos se verifica, son clasificados como viajeros registrados. En este caso, se les emite una tarjeta “*inteligente*” para que tengan derecho a utilizar los puntos de inspección de seguridad en los aeropuertos que participan en el programa. Estos lugares brindan un servicio más rápido que el de los tradicionales, debido a sus equipos especializados, diseñados para la detección de explosivos, sin que los viajeros tengan que quitarse los zapatos o su ropa exterior; son más rápidos y cómodos⁹⁶.

⁹⁶ Con objeto de evitar que terroristas sin antecedentes criminales afecten la seguridad, los usuarios del programa viajero registrado, deben pasar por los detectores de metales y su equipaje por los sistemas de rayos X. Además, no están exentos de pasar por una revisión aleatoria de seguridad más minuciosa.



Figura 6.1
Tarjeta inteligente del programa viajero registrado

Fuente: <http://www.flyclear.com>

Las críticas al programa se derivan de la posibilidad de que la información obtenida de los usuarios pueda ser utilizada para otros fines; sin embargo, dicho problema se considera como menor, dado que el registro es voluntario.

En cuanto a su efectividad se argumenta que cualquier programa diseñado para excluir a ciertos pasajeros de una inspección de seguridad, establece una puerta abierta para terroristas potenciales, ya que éstos probablemente buscarán obtener su estatus de viajero registrado, para realizar sus atentados.

Finalmente, en cuanto a equidad, sus críticos señalan que este programa es un procedimiento para que los viajeros frecuentes obtengan un servicio más rápido, a cambio de una cuota anual, en comparación con los viajeros poco frecuentes, que deben esperar en largas filas⁹⁷.



Figura 6.2
Explorador de iris

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Iris_recognition

⁹⁷ Fuentes: http://en.wikipedia.org/wiki/Registered_Traveler; <http://www.tsa.gov/approach/rt/index.shtm>; y *Airports International*, Volume 40, No. 3, April 2007, UK, p. 28.

6.1.2 Importancia de la calidad de las imágenes

La evolución de las tecnologías biométricas se ha adaptado a los cambios radicales del concepto de seguridad de identificación, para asegurar la integridad de los documentos relacionados. Visto de esta forma, la seguridad es un sistema que no sólo incluye a los documentos de identificación, sino también al proceso y procedimientos involucrados en su emisión y autenticidad.

Las agencias interesadas en adaptar sistemas de seguridad, mediante tecnologías biométricas, pueden hacerlo a través de un enfoque que empiece por obtener imágenes que se acoplen con dicha tecnología. Sin imágenes de calidad que sirvan como insumo para dichos sistemas, la eficacia del desempeño total será significativamente baja.

En el caso de la identificación mediante huella dactilar, los sistemas de identificación automáticos (*Automated Fingerprint Identification Systems*; AFIS) producen excelentes resultados debido a que sus lectores y exploradores capturan imágenes de alta calidad.

Una atención similar se debe dar a las imágenes empleadas para el reconocimiento facial⁹⁸. En el caso de que se utilicen imágenes borrosas, sobrepuestas y en general de baja calidad, se producirán comparaciones de identidad imprecisas, aunque se procesen con los algoritmos más avanzados. Los algoritmos de vanguardia para el reconocimiento facial, que combinan microcaracterísticas de la piel junto con la geometría de la cara, pueden tener rendimientos comparables con los obtenidos por las huellas dactilares.

Por consiguiente, el problema real en términos de desempeño para el reconocimiento facial no consiste en usar algoritmos más complejos y poderosos, sino en imágenes de alta calidad, que aportan mayor información al sistema y aseguran un análisis preciso⁹⁹.

⁹⁸ Estos sistemas son una aplicación automática de identificación o verificación de una persona a través de su imagen digital o de un cuadro de video. Una forma de hacer esto es mediante la comparación de determinadas características de la imagen de la cara contra una base de datos faciales. Es utilizada comúnmente en sistemas de seguridad, y puede ser comparada con otras técnicas biométricas, como las de reconocimiento mediante huellas dactilares, o de iris. Los algoritmos comunes de reconocimiento facial son: *eigenface*, *fisherface*, modelo de *Markov* oculto y comparación dinámica neuronal. Recientemente, apareció una nueva tendencia de gran precisión mediante reconocimiento en tres dimensiones. Otras tendencias emergentes emplean detalles visuales de la piel. En el caso del reconocimiento facial en tres dimensiones, la empresa tecnológica sueca *Polar Rose* afirmó que su sistema es capaz de reconocer una cara entre la multitud; pretenden liberar al público su producto durante 2008. Esta tecnología crea una imagen virtual de una persona en tres dimensiones, considerando la iluminación y otros factores que pueden afectar su reconocimiento. Posteriormente, esta imagen en tercera dimensión es utilizada para realizar comparaciones e identificar a una persona específica. Fuentes: http://en.wikipedia.org/wiki/Facial_recognition_system y <http://www.techcrunch.com/2006/12/19/polar-rose>.

⁹⁹ Fuente: *ICAO Journal*, Volume 59, Number 7, 2004, Canada, pp. 15 y 16.



Figura 6.3

Vista lateral de un equipo suizo de reconocimiento facial. Observe sus luces infrarrojas, invisibles al ojo humano, pero adecuadas para este sistema.

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Facial_recognition_system

6.1.3 Aplicación de la tecnología biométrica para el acceso controlado de empleados aeroportuarios

A principios de 2007, un nuevo y poderoso sistema de seguridad, designado como tarjeta de identificación para áreas restringidas (*Restricted Area Identification Card*, RAIC), fue declarado totalmente operacional en los 29 principales aeropuertos canadienses. Las tarjetas de seguridad biométricas emitidas para 100 mil empleados, son las primeras en el mundo que incluyen dos referencias biométricas, huellas dactilares y registro del iris.



Figura 6.4

Empleado utilizando el sistema RAIC; a la derecha detalle del lector de huellas dactilares

Fuente: <http://www.lgiris.com/ps/inaction/raic.htm> y <http://www.digitalpersona.com>

Este sistema fue desarrollado mediante la cooperación de tres entidades: *Transport Canada* (que estableció la nueva normativa); *Canadian Air Transport Security Authority* (CATSA, quien desarrolló e implementó el programa) y los aeropuertos canadienses (los usuarios del sistema).

La Autoridad del Aeropuerto de *Winnipeg*, con aproximadamente 5 mil empleados que utilizan el sistema, fue uno de los primeros en implementar el sistema RAIC. Desde el punto de vista de los aeropuertos, mediante el nuevo sistema se ofrece

un mejor servicio al cliente, puesto que su personal tiene la capacidad de moverse fácilmente entre áreas restringidas, con un alto nivel de seguridad.

Con este sistema, los empleados se acercan a los lectores, presentan sus tarjetas y mediante sus dedos u ojos brindan una lectura de sus huellas o iris; posteriormente las computadoras realizan las verificaciones y en 3 segundos, abren la puerta requerida. Sólo en algunos casos, todavía se requieren guardias de seguridad para evitar accesos furtivos. El aeropuerto de *Winnipeg* ha removido a estos guardias mediante la instalación de lo que ha denominado como portales de acceso unipersonal, para asegurar que sólo una persona por autorización cruce por la puerta controlada.

El sistema RAIC realiza la identificación al comparar la información biométrica almacenada en cada tarjeta, con la exploración de la huella o iris de los empleados en cada lector, en lugar de una búsqueda en una base de datos biométrica de referencia. Esto elimina virtualmente los errores de identificación, y hace que el proceso sea más rápido.

La utilización de tarjetas de identificación y el reconocimiento mediante técnicas biométricas le da al sistema RAIC un nivel de redundancia que se conoce como factor dual (en donde la redundancia no se obtiene por los dos registros biométricos, sino más bien por la tarjeta y los registros biométricos).

Las tarjetas no son transferibles, debido a que sus dueños requieren identificarse con sus propias huellas o iris. Si las lecturas biométricas de un usuario no coinciden con los registros de su tarjeta, éste no podrá entrar al área de acceso solicitada. Las tarjetas perdidas o robadas son absolutamente inservibles para cualquier otra persona, que no sea la dueña de la misma.

Algunas puertas de estos aeropuertos se han equipado con lectores de huellas, y otros con lectores de iris, por varias razones; sin embargo, su elección no fue arbitraria, sino más bien de acuerdo con una consulta a los aeropuertos y determinando sus necesidades. Por ejemplo, existen áreas en donde a menudo los empleados tienen las manos sucias, lo cual afecta a los lectores de huellas, o en donde éstos continuamente usan guantes, por lo que en tales casos se han solicitado lectores de iris. Sin embargo, muchas veces las preferencias van más allá de las necesidades exclusivamente prácticas. Por ejemplo, a algunas personas no les gusta el contacto físico con los lectores de huellas, por lo que prefieren los lectores de iris; sin embargo, para otros con un concepto erróneo de los lectores de iris, externan el temor de que estos les dañen sus ojos¹⁰⁰.

Un sistema similar se utiliza en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM). A diferencia del sistema canadiense, el mexicano sólo utiliza un parámetro

¹⁰⁰ Fuentes: *Airports International*, Volume 40, No. 2, March 2007, UK, pp. 23-24; y <http://www.catsa-acsta.gc.ca/english/media>.

biométrico, las huellas dactilares. Se aplica en áreas restringidas y operacionales críticas, ofreciendo un alto nivel de seguridad; para lo cual se han instalado 60 lectores biométricos. Este sistema de seguridad permite el acceso controlado de aproximadamente 20 mil usuarios, en donde se incluye a los empleados del aeropuerto, de las líneas aéreas y de otras compañías que operan en el mismo¹⁰¹.

6.2 Detección de armas y sustancias químicas peligrosas

6.2.1 Introducción

La aplicación de la tecnología para la detección de objetos peligrosos facilita las inspecciones realizadas en los aeropuertos, haciéndolas más rápidas y al mismo tiempo disminuyendo las posibilidades de errores humanos. La selección del tipo de tecnología a utilizar, depende del tamaño de la terminal, del número de pasajeros que se procesan en las horas pico, de las características de los pasajeros y de los costos de los equipos a utilizar.

Una alta calidad de los equipos de detección disminuye las probabilidades de que los saboteadores puedan introducir explosivos o armas a bordo de las aeronaves, por los medios tradicionales. Sin embargo, esto no significa que ellos renunciarán a sus actividades ilícitas; por el contrario, es factible que busquen otras formas para alcanzar sus objetivos. Por tanto, debe asegurarse que todos los accesos hacia las aeronaves están protegidos. Además, es importante que el personal de seguridad sea lo suficientemente entrenado y motivado. En general, los equipos e instalaciones con tecnologías nuevas para la seguridad son de gran ayuda; no obstante, no debe pasarse por alto que éstos sólo pueden ser efectivos cuando se encuentran totalmente integrados en un único sistema de seguridad

Los dispositivos para la detección de explosivos, armas y otros objetos inadmisibles necesitan cumplir con muchos requisitos. Su sensibilidad no debe ser afectada por la ubicación de tales objetos, o por la forma en que están contenidos, además deben funcionar con un mínimo de criterios subjetivos. Su precio y capacidad máxima de procesamiento también son importantes. Varios equipos se han desarrollado para cumplir tales criterios; los más tradicionales son los detectores de metales y las unidades de rayos X; sin embargo, otras tecnologías más recientes o que incluso están en proceso de desarrollo pueden servir para esos fines, y son los que se presentarán en los incisos siguientes.

Los procesos de documentación están siendo revolucionados por la tecnología de los kioscos de autoservicio; en contraparte, la percepción y la realidad es que los requerimientos de seguridad son cada vez mayores. Los procesos de inspección,

¹⁰¹ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No. 5, July 2007, UK, p. 34.

en donde los pasajeros tienen que quitarse sus cinturones o cualquier accesorio metálico, y desempacar sus computadoras portátiles, son un proceso incómodo y que consume tiempo tanto para los pasajeros, como para los empleados del aeropuerto. Debido a que es improbable que se reduzcan los niveles de amenaza para los viajes aéreos en el futuro cercano, se han buscado avances tecnológicos para hacer más cómodo el proceso de cruce por los puntos de revisión de seguridad. En estos lugares se tiene como objetivo la revisión de los usuarios y la inspección de sus equipajes.

6.2.2 Kioscos avanzados de seguridad para viajeros registrados

Aunque ya existían los kioscos de seguridad para los viajeros registrados (*Secure Registered Traveler Kiosk*, SRTK), recientemente se desarrollaron en su versión avanzada (ASRTK). Como una visión de lo que serán los puntos de inspección en el futuro. Estos integran identificación biométrica, detección de rastros de explosivos, y tecnología de resonancia cuádruple en una sola unidad.

Los kioscos nuevos brindan la posibilidad a los usuarios de elegir la opción biométrica de su preferencia, ya sea huellas dactilares o iris. Sin embargo, su característica más importante es que introducen una tecnología para la inspección de zapatos. En los Estados Unidos, el requerimiento para los viajeros frecuentes de remover sus zapatos y chamarras, en los puntos de revisión de seguridad, es el factor que ha generado el mayor número de quejas. Mediante estos kioscos ya no es necesario este requerimiento.

Una revisión de seguridad en el kiosco requiere de aproximadamente 15 segundos (usando un reconocimiento de huellas dactilares). Sin embargo, en caso de que se utilizara un lector de iris, sería un lapso mayor, debido a que los viajeros requieren más tiempo para alinear sus ojos con el lector. Esta es una de las razones por las que se prefiere la opción de huellas en estos sistemas.

Actualmente, el desarrollador¹⁰² de este sistema trabaja con varios aeropuertos y agencias de seguridad, en espera de que eventualmente sea implementado el kiosco, con lo que sería innecesario que los pasajeros se quiten sus zapatos; los dispositivos de detección de explosivos y de resonancia cuádruple están en espera de su aprobación por las autoridades de seguridad. Se estima que en pocos años los kioscos avanzados se encuentren operando en Europa¹⁰³.

6.2.3 Detector portátil de materiales peligrosos

Las terminales aéreas han sido un blanco para los ataques terroristas, no sólo mediante explosivos industriales, sino también con sustancias químicas

¹⁰² *General Electric Security.*

¹⁰³ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No. 9, November/December 2007, UK, p. 23; y <http://biz.yahoo.com/iw/071008/0312214.html>.

peligrosas, y materiales biológicos. En la mayoría de los casos estas sustancias son difíciles de identificar por procedimientos comunes, o requieren análisis extensos en laboratorios especializados que se ubican generalmente fuera de las instalaciones aeroportuarias. Una cantidad masiva de pasajeros y carga son transportados hacia y desde los centros de distribución y concentración aeroportuarios (*hubs*). Sin embargo, la conveniencia y flexibilidad de las instalaciones, también implica riesgos; los cuales deben ser anticipados, confrontados y solucionados antes de que generen daños al hombre y/o al ambiente. Las situaciones peligrosas sólo pueden ser evitadas, si son tomadas a tiempo las medidas necesarias. Puede ser cuestión de tan sólo unos minutos solucionar una amenaza, para después continuar con las operaciones aeroportuarias normales, ahorrando tiempo y dinero para todos los involucrados.

Los incidentes con materiales peligrosos pueden ocurrir, bajo una amplia variedad de condiciones. Aquellos que involucran al transporte de carga aérea, son un buen ejemplo. La gravedad de una amenaza individual y el proceso requerido para solucionarla dependen de la naturaleza de la respectiva sustancia, de su toxicidad o explosividad, en combinación con la cantidad encontrada, su ubicación respecto a la gente y a las instalaciones, y las condiciones ambientales. Desafortunadamente, la identificación precisa de estas sustancias permanece sin identificación durante largos periodos.

Cuando se analiza una sustancia sospechosa en el aeropuerto, los primeros respondientes deben asegurarse de que la interrupción de las operaciones aeroportuarias sea mínima. En el caso de que éstas se suspendan, después de que una sustancia desconocida y potencialmente peligrosa fue detectada, su análisis debe realizarse rápidamente y en forma confiable. Esto puede hacerse sin consumir tiempo en un laboratorio externo a la terminal aérea, ya que es esencial identificarla en un periodo corto. La detección de un polvo blanco, encontrado en un contenedor de carga aérea es un posible escenario que debe confrontar el primer respondiente de la seguridad del área de carga aérea.

Frecuentemente, las instalaciones típicas de análisis químicos, para los primeros respondientes del aeropuerto son insuficientes para confrontar esta tarea. Sin embargo, los sistemas portátiles modernos mediante espectroscopios de luz infrarroja pueden realizar la tarea fácilmente. Esta tecnología ha cambiado la forma en la que los primeros respondientes abordan problemas de derrames accidentales de líquidos o de detección repentina de polvos blancos en el sector de carga. El manejo de estos incidentes suele efectuarse fácilmente mediante este tipo de detectores, dado que las muestras a utilizar no requieren de una preparación específica; para identificarla, simplemente se tiene que tocar la sustancia con el sensor de diamante del equipo.

Dado que cada sustancia química puede ser identificada confiablemente por su espectro infrarrojo específico, estos equipos comparan el espectro de la sustancia encontrada contra el de otros, almacenados en una base de datos del mismo equipo. Dichos espectros son de productos químicos industriales, explosivos,

agentes que atacan al sistema nervioso o cutáneo, narcóticos, y precursores de armas de destrucción masiva. Simultáneamente, alerta sobre la presencia de rastros biológicos, por ejemplo, en polvos blancos podría implicar la sospecha de ántrax o algo similar.

Estos espectrómetros utilizan la capacidad de absorción de la luz infrarroja por las sustancias químicas. Los niveles respectivos de absorción de radiación dependen de la longitud de onda y de las características de la sustancia involucrada. Un programa dentro del equipo del espectrómetro realiza un análisis completo en unos cuantos segundos. Sin necesidad de preparar la muestra, el sistema funciona al colocar una gota o unos cuantos gramos sobre un pequeño sensor de diamante.

Mediante este detector portátil de materiales peligrosos, contenido en una caja pequeña, sus usuarios pueden tener acceso a más de 25 mil espectros de diferentes sustancias químicas en un lapso de tan sólo 20 segundos.



Figura 6.5

Detector portátil de materiales peligrosos, mediante espectroscopio de luz infrarroja (HazMatID).

http://www.smithsdetection.com/eng/1025_1073.php

Este equipo también es capaz de descomponer virtualmente las sustancias mezcladas en sus distintos componentes. Además, para aquellos casos en que el espectro específico no puede ser encontrado en la base de datos del equipo, el fabricante¹⁰⁴ ofrece un servicio de laboratorio (las 24 horas del día, los siete días de la semana), con personal químico experto, al cual los usuarios pueden enviar el espectro para su análisis. Actualmente, existen alrededor de dos mil de estos equipos en todo el mundo¹⁰⁵.

¹⁰⁴ *Smiths Detection*. Esta empresa es líder mundial en sistemas de seguridad para el transporte. El equipo tiene el nombre comercial de HazMatID. Fuente: <http://www.smithsdetection.com>.

¹⁰⁵ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No. 3, April 2007, UK, pp. 30-31.

6.2.4 Equipo de resonancia cuadrupolar para la detección de sustancias peligrosas

En años recientes, un grupo de científicos argentinos ha estado trabajando en el desarrollo de un equipo de resonancia cuadrupolar (*quadrupole resonance*) para la detección remota de sustancias peligrosas.

El proyecto se basa en una técnica que produce una señal de resonancia cuadrupolar que es única e inconfundible para cada sustancia. La señal aparece cuando la muestra se sujeta a un campo adecuado de radiación que provoca una respuesta cuadrupolar en su frecuencia de resonancia. Cuando la sustancia regresa a su estado de equilibrio, libera energía que puede ser medida para identificarla.

Esta tecnología, que ya se aplica en otros campos, es considerada una de las más adecuadas para detectar explosivos. Complementa a los equipos de rayos X, y tiene la ventaja de que es completamente inofensiva para los objetos que examina, para los operadores, y el ambiente. Además de incrementar la capacidad operacional y mejorar la seguridad en los aeropuertos.

Pruebas realizadas en Argentina demostraron su confiabilidad para detectar diversos tipos de explosivos, tales como ciclo-trimetileno-etritramina (RDX), y trinitrotolueno (TNT) en cantidades extremadamente pequeñas. El equipo es capaz de detectar e identificar explosivos empacados dentro de equipajes especialmente preparados, sin importar su forma, posición, orientación, o configuración, y sin causar daño o alteración a los equipajes y a sus contenidos.

De acuerdo con pruebas preliminares, el sistema puede inspeccionar en promedio 600 equipajes por hora. Es fácil de utilizar, y requiere poco mantenimiento; además es altamente confiable y no requiere entrenamiento especial para su operación, ya que un programa incorporado realiza los diagnósticos automáticamente. Por otro lado, el personal especializado que se requiere para calibrar y mantener el equipo, sólo necesita poco entrenamiento.

Estos equipos pueden operar con 110 ó 220 volts y con frecuencias de 60 ó 50 hertz de corriente alterna, bajo las condiciones comunes de humedad, luz y ruido de los aeropuertos.

Las características físicas externas de estos equipos son muy similares a las de los equipos actuales de rayos X. Su instalación y operación no requiere estructuras separadas, o de modificaciones de los puntos de inspección actuales.

Un mensaje en el monitor del equipo identifica cualquier explosivo detectado, o señala que ninguna sustancia peligrosa está presente. Las alarmas son visuales y audibles; también existe la opción de que se imprima una descripción de cualquier reporte de alarma.

Toda la documentación para el aseguramiento de la calidad, tanto de los componentes del equipo como de sus programas, está en constante actualización.

El proyecto de desarrollo del equipo, incluye un programa de certificación en donde se estipula que los estándares argentinos deben ser totalmente consistentes con los estándares y regulaciones de la Administración de Seguridad del Transporte (*Transportation Security Administration*, TSA), de los Estados Unidos¹⁰⁶.

6.2.5 Portal para la detección de explosivos y narcóticos

Este es un desarrollo que sirve como punto de inspección de seguridad. Para realizar una detección rápida, tanto de explosivos como de narcóticos, los pasajeros únicamente tienen que pasar caminando a través del portal. Mediante este equipo pueden ser detectadas e identificadas trazas microscópicas de explosivos.

Además, puede detectar la presencia de narcóticos de una forma no intrusiva. Esta tecnología patentada¹⁰⁷ es una forma de detección eficiente y precisa de las sustancias más peligrosas, o de uso prohibido.

El tiempo nominal de análisis y de presentación de resultados mediante este equipo es de 13 segundos. Su diseño reduce los montos de inversión, ya que en un mismo equipo se ofrece la detección de explosivos y de narcóticos.

Su tamaño (102 cm de largo; 259 cm de alto; y 122 cm de ancho); peso (287 kg), y requerimientos de energía, reducen sus costos de instalación y operación.

El principio de detección para explosivos es mediante iones negativos; y para narcóticos, mediante iones positivos. Su pantalla, que es sensible al tacto, utiliza menús y gráficas que son fáciles de aprender y operara; también tiene una impresora incorporada. Sus programas, que incluyen algoritmos avanzados para incrementar la selectividad y minimizan los errores de detección, son fáciles de actualizar e instalar; además, se tiene la opción para seleccionar el idioma que elija el usuario.

¹⁰⁶ Fuente: ICAO *Journal*, Volume 59, Number 2, 2004, Canada, pp. 20-21.

¹⁰⁷ Producida por *General Electric Security*; el nombre comercial del producto es *EntryScan*, y la tecnología utilizada se denomina ITMS (*Ion Trap Mobility Spectrometry*). Mediante esta tecnología se separan los vapores ionizados de la sustancia a analizar, y después se mide la movilidad de los iones en un campo eléctrico. Las muestras gaseosas entran en una cámara de ionización, en donde la fuente ionizante emite partículas beta de baja energía, lo que genera iones en fase gaseosa. La identificación de las sustancias se realiza con base en el tiempo que requieren las moléculas ionizadas, para pasar a través de un campo eléctrico. Este tiempo (de tránsito) es después comparado contra una base de datos, que tiene registrados los tiempos de tránsito de sustancias conocidas, logrando con esto distinguir al material desconocido (explosivo o narcótico). Fuente: <http://www.gesecurity.com>.



Figura 6.6
Portal para la detección de explosivos y narcóticos (EntryScan)

Fuente: <http://www.gesecurity.com>

Estos equipos han sido aprobados por la *Transportation Security Administration* (TSA), de los Estados Unidos.

6.2.6 Detector de líquidos peligrosos

Desde que fue revelada en agosto de 2006 una conspiración para introducir explosivos en una aeronave que volaría desde Londres, los puntos de inspección de los equipajes de mano han tenido la tarea de adivinar el tipo de líquidos almacenados en frascos y botellas. Esto se realiza mediante los tradicionales equipos de rayos X, que esencialmente no dicen nada de la naturaleza de los líquidos que detectan.

Sin embargo, esta situación está cambiando radicalmente con la invención desarrollada por *Optosecurity*¹⁰⁸, una empresa con base en Québec, Canadá. Esta compañía acaba de iniciar la comercialización (en 2007) de un equipo denominado *OptoScreener*, que utiliza una tecnología poderosa de reconocimiento óptico (desarrollada por el *National Optics Institute*, de Canadá¹⁰⁹), analiza las señales de rayos X después de que estos han atravesado los líquidos bajo inspección, con objeto de identificar cualquier sustancia peligrosa.

El *OptoScreener* es la primera actualización de los sistemas de rayos X utilizados en los puntos de inspección de los aeropuertos para detectar automáticamente objetos y líquidos potencialmente peligrosos.

¹⁰⁸ Esta empresa, que fue fundada en 2003, desarrolla importantes avances en productos de seguridad para el transporte. Actualmente conduce pruebas de campo con diversas agencias gubernamentales de los Estados Unidos, Canadá y Europa. Además, son socios de fabricantes, líderes en sistemas de seguridad de rayos X, con objeto de desarrollar la integración de productos. Fuente: <http://www.optosecurity.com/en/optoscreener.php>.

¹⁰⁹ Es el mayor centro de investigación y desarrollo de Canadá en la aplicación de óptica, rayos láser y fotónica, para la detección de armas y sus componentes dentro de los equipajes.

Este producto utiliza el mismo punto de inspección, máquina y proceso; para ello se sujeta sobre los actuales equipos de rayos X¹¹⁰, y mediante los puertos existentes se realizan las conexiones entre los equipos.

Su instalación y calibración se realiza en aproximadamente 25 minutos; y debido a que este proceso es no intrusivo (sin tornillos, soldaduras o remoción de recubrimientos de los cables), las garantías de los equipos de rayos X no son afectadas.

Los nuevos equipos procesan las señales de rayos X, una vez que han atravesado los líquidos para identificar su estructura molecular; esto se logra al detectar el nivel de ruido en las señales.

La primera demostración del *OptoScreener* se realizó en Québec, Canadá, en el otoño de 2007.



Figura 6.7
OptoScreener

Fuente: <http://www.optosecurity.com/en/optoscreener.php>

El *OptoScreener* procesa las señales de rayos X que han pasado a través de los líquidos, y muestra una imagen de los equipajes y sus contenidos en la pantalla de un monitor (de 17 pulgadas), montado sobre la parte superior de la máquina de rayos X. Cualquier recipiente sospechoso aparecerá en la pantalla en color rojo, por lo que inmediatamente se verá cualquier líquido considerado como peligroso.

¹¹⁰ Por ejemplo, *Smith Detection*, *Rapiscan* y *Gilardoni*.

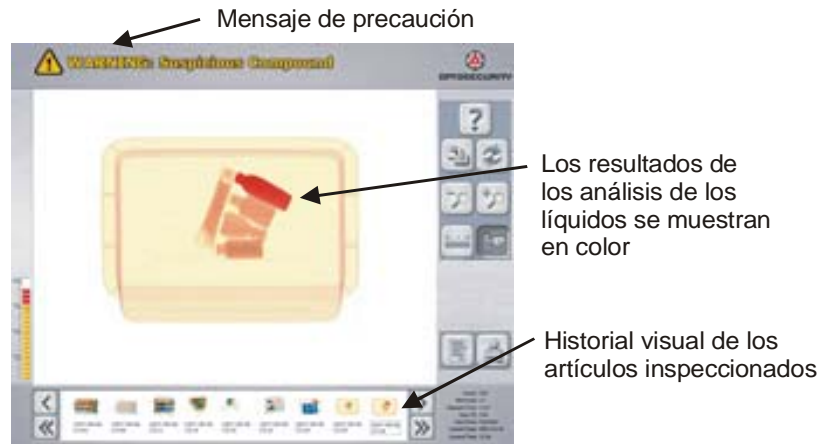


Figura 6.8

Pantalla sensible al tacto del *OptoScreeener*

Fuente: <http://www.optosecurity.com/en/optoscreener.php>

Mediante esta tecnología nueva, se podrá regresar a los procedimientos normales para los viajeros, en donde se permitía llevar dentro de su equipaje líquidos no peligrosos (geles, *shampoos*, pastas de dientes, etcétera). Cabe señalar que en Inglaterra y otros países, se ha observado un incremento en la oposición de los pasajeros en contra de los reglamentos que prohíben la introducción de líquidos en sus equipajes, dado que consideran esta medida como irracional, inconsistente y confusa¹¹¹.

6.2.7 Cámara para la detección de objetos ocultos sin la utilización de rayos X

La compañía británica *ThruVision* dio a conocer públicamente (marzo de 2008) su desarrollo tecnológico más reciente, mediante el cual se detectan bajo la ropa objetos metálicos y no metálicos, como: explosivos, líquidos, drogas, armas, plásticos y cerámicas. El aparato, denominado T5000, tiene un alcance de hasta 25 metros, para realizar inspecciones.

ThruVison es una empresa líder en el mundo, que desarrolla e implementa productos con base en la tecnología de imágenes pasivas, provenientes de ondas emitidas naturalmente por las personas y objetos. Estos equipos se emplean para ver las imágenes de objetos peligrosos, ocultos por personas quietas o en movimiento, sin necesidad de someterlas a radiaciones y sin revelar detalles anatómicos de las mismas.

Dicha tecnología es una adaptación de la desarrollada originalmente para aplicaciones espaciales¹¹² por el Laboratorio *Rutherford Appleton* (RAL), del Reino

¹¹¹ Fuentes: *Airports International*, Volume 40, No. 7, September 2007, UK, pp. 26-27; y <http://www.optosecurity.com/en/optoscreener.php>.

¹¹² Los astrónomos han utilizado las cámaras de rayos T para ver más allá del polvo y nubes estelares. El desarrollo de *ThruVision* las usa para ver armas ocultas en la ropa. Este es un

Unido. En una colaboración de esfuerzos de ingeniería con la Agencia Espacial Europea (ESA), la tecnología de imágenes espaciales fue adaptada, para aplicaciones terrestres. Por ello, *ThruVision* mantiene estrechos lazos de comunicación con RAL y ESA en el desarrollo de su nueva generación de productos.

El diseño del nuevo equipo es compacto, robusto, portátil, fácil de usar y completamente seguro; y puede utilizarse tanto en interiores como en exteriores. Opera más allá del rango de los tradicionales sistemas de rayos X y detectores de metales, sin originar daños a los humanos o al ambiente. De esta forma, el personal de seguridad tiene disponible una herramienta poderosa, que se puede utilizar en aeropuertos; instalaciones de transporte público; puntos de inspección de control; y otros lugares donde se requiera una alta seguridad. Además, permite que las personas bajo escrutinio estén en movimiento, reduciendo con ello el problema frecuente de los “cuellos de botella”, de los puntos de inspección tradicionales.

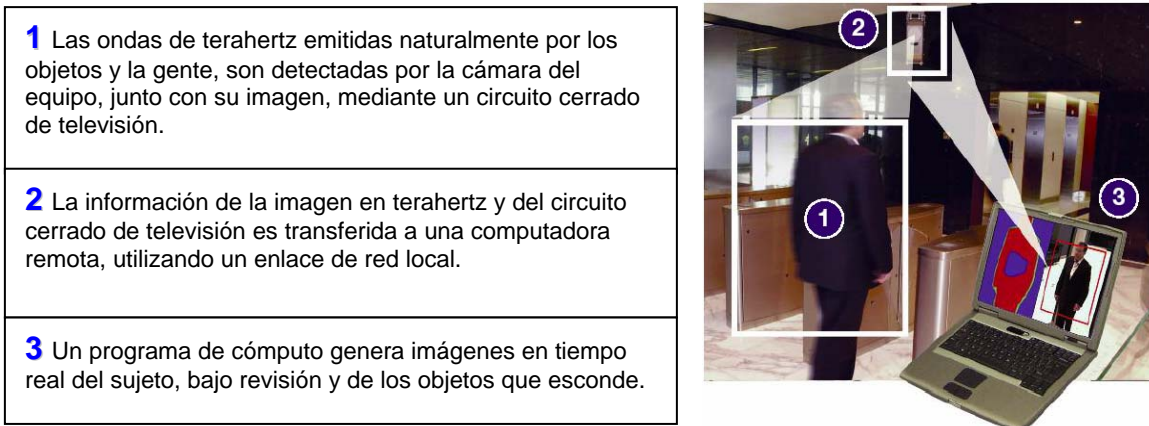


Figura 6.9

Forma en que trabaja la tecnología de los rayos T (se ilustra el equipo T4000)

Fuente: <http://www.thruvision.com/>

El T5000 opera en la región de terahertz del espectro electromagnético; frecuentemente, esta región se conoce como de rayos Terahertz, o rayos T. Son una forma de energía de bajo nivel que se emite naturalmente por todos los materiales, incluyendo rocas, plantas, animales y humanos. Los rayos T pueden pasar a través del humo o las nubes, y de muchos materiales sólidos, como es la ropa y en algunos casos pueden atravesar aún las paredes. El nuevo equipo desarrollado, recolecta pasivamente estos rayos T y los procesa para formar imágenes que revelan objetos ocultos bajo las ropas de las personas, sin mostrar detalles físicos de sus cuerpos, y sin sujetarlas a radiaciones dañinas, como los

ejemplo de cómo la investigación científica espacial puede ser aplicada para el beneficio de toda la sociedad; era difícil imaginar como la investigación realizada por investigadores espaciales que estudian las estrellas, podría resultar en algo que protege a la sociedad de los terroristas. Fuente: Comunicado de prensa de *ThruVision*, del 7 de marzo de 2008.

rayos X. Mediante esta tecnología se puede realizar una inspección discreta a distancia sin perturbar los flujos de los pasajeros y/o usuarios de las instalaciones¹¹³.



Figura 6.10
Instalación típica de un equipo T4000
Fuente: <http://www.thruvision.com/>

6.3 Cámaras de imagen térmica

Los atentados terroristas en los aeropuertos de *Glasgow* (Escocia) y Londres (Inglaterra), durante el verano de 2007, enfatizaron nuevamente la necesidad de una vigilancia constante; y para los equipos de seguridad y los encargados de hacer cumplir la ley, la de estar equipados con las últimas herramientas tecnológicas. Las imágenes térmicas¹¹⁴ son una tecnología que ha extendido su aplicación para proteger las vidas y los bienes materiales.

Aunque las imágenes térmicas han sido ampliamente utilizadas por los gobiernos y la industria de la defensa, es hasta ahora una opción de uso comercial, debido a que anteriormente sus costos eran muy altos. Por ello, ha habido un impulso en el crecimiento de lo que se conoce como sistemas FLIR (*Forward Looking Infra-red*). Ante la demanda mundial de estos productos, sus fabricantes los han comercializado efectivamente; y uno de sus beneficiarios principales ha sido la industria de la seguridad.

¹¹³ Fuente: <http://www.thruvision.com/>.

¹¹⁴ Una imagen térmica se genera mediante la detección de diferencias de temperatura extremadamente pequeñas; posteriormente, estas diferencias son convertidas, en tiempo real, en imágenes de video. A diferencia de otros sistemas de visión nocturna, que requieren pequeñas cantidades de luz para generar la imagen, una imagen térmica no requiere de luz en absoluto. Esta característica la convierte en una herramienta perfecta para poder ver en la oscuridad total. Fuente: <http://www.eurasia.flir.com/security/products/srseries.cfm>.

Con la amenaza potencial de intrusos, o peor aún de ataques terroristas, las terminales aéreas deben mantener todas sus áreas seguras, en donde circulen o permanezcan pasajeros, usuarios y empleados; además, deben protegerse todas sus instalaciones y equipos valiosos. La ubicación de muchos aeropuertos puede exponer varios kilómetros de cerca perimetral en terrenos de propiedad pública o privada, por lo que existe la posibilidad del ingreso no autorizado al aeropuerto.

La seguridad aeroportuaria se puede beneficiar enormemente de las imágenes térmicas, ya que resuelve varios problemas que no habían sido solucionados por métodos tradicionales. Los sistemas FLIR de imágenes térmicas, integrados con sistemas de circuito cerrado de televisión se han implementado en varios aeropuertos internacionales, como *Dallas/Fort Worth*, en los Estados Unidos; *Prestwick*, en Escocia; y Turín, en Italia. El último que ha adoptado esta tecnología, es el aeropuerto de Copenhague, en Dinamarca.



Figura 6.11

Ejemplos de imágenes térmicas

Fuente: <http://www.eurasia.flir.com/security/products/srseries.cfm>

6.3.1 El caso del aeropuerto de Copenhague

Esta instalación, fundada en 1925, fue uno de los primeros aeropuertos civiles del mundo. Durante 2006 movilizó a aproximadamente 21 millones de pasajeros. Cubre un área de 12.4 km² y tiene una cerca perimetral de 30 km. La organización de una vigilancia adecuada para una extensión de dichas dimensiones, es una tarea enorme. Adicionalmente, a la vigilancia con cámaras de video, el aeropuerto está monitoreado por patrullas a pie y motorizadas. Para la seguridad del aeropuerto se tiene una plantilla de más de 700 personas, conformada por especialistas, policías y personal adicional.

Su Centro de Operaciones de Seguridad monitorea la totalidad del aeropuerto; sin embargo, se concentran particularmente en lo que denominan las áreas restringidas de seguridad crítica (*Critical Security Restricted Area, CSRA*); mismas que abarcan todos los edificios a los que tienen acceso los pasajeros, las plataformas de abordaje y las áreas destinadas al estacionamiento de las aeronaves. Dado que el aeropuerto posee 108 plataformas, se tiene un área enorme de vigilancia. Se requiere una verificación de seguridad antes de que

cualquier persona ingrese a esta área restringida; nadie puede entrar o salir sin que el Centro de Operaciones de Seguridad se entere.

Para ello, monitorean la totalidad de las entradas y salidas de las CSRA mediante diferentes tipos de sensores, y con un radar en tierra. Además, el personal de la terminal aérea y todas las aeronaves que entran o salen de estas áreas deben notificarlo al Centro de Operaciones. Aunque el radar en tierra y los sensores, alertan al Centro de Operaciones cuando algo o alguien ingresa a las áreas restringidas, éste no puede ver de qué o quién(es) se trata. Por tanto, cualquier persona o vehículo que ingresa o abandona las áreas restringidas, es vigilado por las videocámaras para saber que está ocurriendo.

El monitoreo y seguimiento de todos estos objetos y personas con una cámara es fácil durante el día. Sin embargo, en la noche se puede ver muy poco con las cámaras normales. Es imposible iluminar la totalidad de las CSRA, puesto que no es factible instalar postes con lámparas en todo el aeropuerto (esto obstruiría el movimiento de las aeronaves, hacia y desde las pistas). Sin embargo, si una alarma se activa, se requiere saber cuál fue la causa antes de enviar a los guardias de seguridad para verificar la situación; para resolver ese problema, la tecnología de imágenes térmicas se aplica en este aeropuerto.

Para el Centro de Operaciones de Seguridad fue claro durante la primera demostración del sistema con cámaras de imágenes térmicas, que con éstas se tenía una ventaja enorme para su infraestructura de seguridad. Pudieron observar como se obtenían imágenes claras aun en las noches más oscuras; incluso en las áreas sin iluminación se podía dar seguimiento fácilmente al movimiento de objetos. La posibilidad de ver en la total oscuridad es muy importante en la seguridad del aeropuerto, en donde en particular durante el invierno, hay poca luz, incluso durante el día.

Después de cuidadosas consideraciones, la administración de la terminal de Copenhague eligió instalar un sistema FLIR SR-100, con cámaras de imágenes térmicas equipadas con lentes de 100 mm; con este sistema es fácil detectar la presencia de un hombre a una distancia de aproximadamente 1.6 kilómetros; las cámaras cuentan además, con un mecanismo direccional. Uno de los elementos clave del sistema, fue su integración con la red de seguridad existente. El aeropuerto tenía una red de más de 200 cámaras de circuito cerrado de televisión, y fue necesario instalar las cámaras de imagen térmica en la misma red.

Una vez que las cámaras nuevas se instalaron, éstas ayudaron más de lo planeado inicialmente. Con los equipos nuevos, también se pueden ver las áreas bien iluminadas, pero las cámaras de imágenes térmicas no son “cegadas” por las luces de las lámparas, bajo cualquier condición, mostrando imágenes hasta con los más mínimos detalles. Además, son de gran utilidad en condiciones climáticas adversas, por ejemplo, bajo neblina, en donde mediante las cámaras normales no se puede ver nada.



Figura 6.12

Cámara para imágenes térmicas SR-100

Fuente: <http://www.eurasia.flir.com/security/products/srseries.cfm>

Las imágenes térmicas, algunas veces proporcionan más información, por ejemplo, al observar a un automóvil con ellas se puede determinar de inmediato si éste ha estado en dicho lugar por un largo periodo o acaba de llegar¹¹⁵ (un vehículo con el motor caliente, genera una imagen totalmente diferente a la de uno con motor frío).

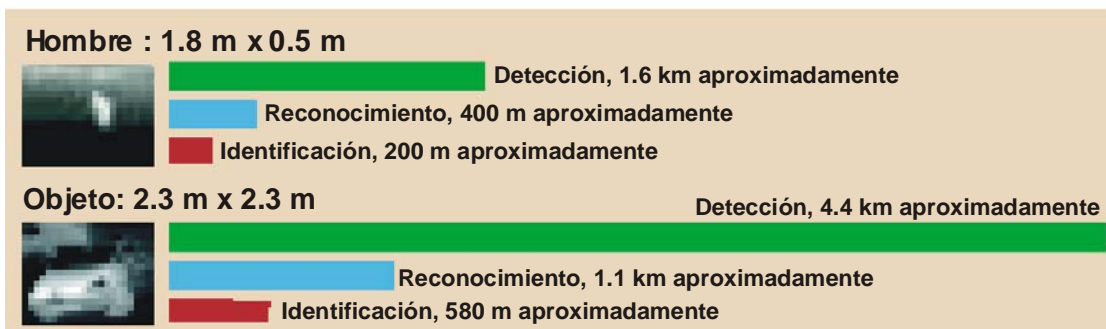


Figura 6.13

Rango de desempeño del sistema SR-100, con lente de 100 mm

Fuente: <http://www.eurasia.flir.com/security/products/srseries.cfm>

¹¹⁵ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 2, March 2008, UK, pp. 28-31.

7 Mejor aprovechamiento de la energía y protección del ambiente

7.1 Introducción

Aunque la aviación contribuye con sólo una pequeña parte de la contaminación ambiental en el ámbito mundial, muchos aeropuertos están tomando medidas para mejorar el aprovechamiento de la energía y proteger el ambiente.

Europa

El aeropuerto de *East Midlands* (EMA), en el Reino Unido, es un buen ejemplo de cómo las medidas ambientales pueden implementarse. En su plan maestro de 2006 se estableció un programa que busca la introducción de tecnologías alternas y de esquemas para el ahorro de energía. EMA es el primer aeropuerto del Reino Unido en adoptar sistemas de iluminación¹¹⁶ y ventilación naturales¹¹⁷. La ventilación natural es una alternativa que elimina las unidades de aire acondicionado tradicionales. Funciona con aire fresco (impulsado por las corrientes de viento) que es introducido a los edificios a través de persianas externas; la cantidad de flujo se controla mediante un sistema de amortiguamiento. Conforme el aire caliente y viciado dentro de los edificios se eleva, es extraído por las mismas unidades de ventilación.



Figura 7.1
Unidad de ventilación natural (*Windcatcher*)

Fuente: <http://www.monodraught.com/>

¹¹⁶ Durante el día.

¹¹⁷ Estos equipos fueron fabricados por la empresa *Monodraught*. A las unidades de ventilación se les conoce como *Windcatcher*, y a las de iluminación *SunPipe*. Fuente: <http://www.monodraught.com/>.

La implementación de los equipos de ventilación requirió una evaluación previa de la velocidad promedio del viento en el lugar de instalación; la determinación de la cantidad de calor que debía ser disipada en cada edificio; y el cálculo de los requerimientos de ventilación para cada una de las tres áreas involucradas, con objeto de conocer las demandas de intercambio de flujo aire por unidad de tiempo. De lo anterior se determinó la necesidad de instalar 18 unidades de ventilación, montadas en los techos. Adicionalmente, se instalaron estratégicamente, sensores de temperatura para proporcionar información al panel de control, el cual se encarga de abrir y cerrar los amortiguadores de las unidades; distintos programas de control pueden seleccionarse, para las distintas estaciones del año.

Con objeto de eliminar la necesidad de energía eléctrica en la iluminación durante el día, se instalaron en los techos del aeropuerto domos de policarbonato con forma de diamante que capturan la luz natural, la cual después se intensifica y se refleja al interior mediante un tubo de aluminio con acabado de espejo. En el interior del edificio, un techo prismático difunde la luz uniformemente. Este sistema, que es de bajo mantenimiento, trabaja bien tanto en días nublados como soleados. En el largo plazo generará ahorros, por la disminución de los gastos de energía eléctrica.

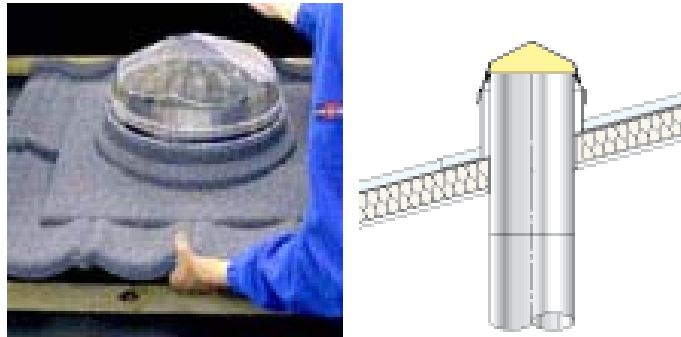


Figura 7.2

Domo de policarbonato en forma de diamante, con protección de rayos ultravioleta (*Sunpipe*)

Fuente: <http://www.monodraught.com/>

Las unidades de aire acondicionado y de iluminación natural se instalaron dentro de aberturas preformadas y aisladas, en los techos del aeropuerto.

El administrador del aeropuerto de *East Midlands* no sólo piensa ahorrar energía, sino también generarla; para ello tiene un plan, con objeto de iniciar la producción de energía eléctrica que cubrirá el 10% de sus requerimientos, mediante turbinas de aire¹¹⁸. Están tomando como ejemplo el aeropuerto de *Liverpool, John Lennon*, el cual ya instaló sus propias turbinas de aire. Este fue el primer aeropuerto comercial del Reino Unido en hacerlo. Para ello, construyó dos torres de 15 metros de alto. Mediante estas turbinas se generan 6 kW de energía eléctrica; estos equipos se encuentran bajo prueba, para determinar si ejercen algún efecto

¹¹⁸ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 1, January/February 2008, UK, pp. 36-39.

en los sistemas de control de tránsito aéreo. Si no se detectan problemas, los administradores del aeropuerto esperan instalar más turbinas, y con ello reducir las emisiones contaminantes de CO₂.



Figura 7.3
Turbina de aire

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine

Un proyecto importante en el Reino Unido será la construcción de una terminal nueva en las instalaciones de *Heathrow*, que aunque no incrementará su capacidad, remplazará las terminales 1 y 2. En su primera fase, la terminal deberá operar para 2012. El plan forma parte de un programa de inversión a 10 años por un monto de 12,200 millones de dólares. Esta terminal, *Heathrow East*, establecerá una nueva referencia ambientalista para la construcción de infraestructura aeroportuaria; reducirá las emisiones de dióxido de carbono en aproximadamente un 40%, comparadas con las de los edificios que sustituirá. Esto se alcanzará mediante un diseño que requiere menor cantidad de energía; genera energía en forma descentralizada y utiliza energías renovables, tales como la gasificación de la biomasa y paneles solares fotovoltaicos. *British Airports Authority* (BAA), mediante una evaluación de los resultados, determinará su utilización potencial para desarrollos aeroportuarios futuros¹¹⁹.

En la Europa continental, el aeropuerto de Estocolmo-*Arlanda* (Suecia), tiene varias iniciativas en distintos campos dirigidas a la protección ambiental. Al respecto, se incluyen medidas para reducir las emisiones de dióxido de carbono y los niveles de ruido; proteger sus áreas circundantes de tierra y agua; y disminuir su consumo general de energía eléctrica comercial. Este aeropuerto tiene su propia compañía (*Arlanda Energi*), que es la encargada de diversas tareas encaminadas a ahorrar energía, y en consecuencia dinero. En la actualidad, el edificio del aeropuerto está casi totalmente calentado por un sistema de

¹¹⁹ Fuente: *Airports International*, Volume 40, No. 5, July 2007, UK, p. 4.

biocombustible¹²⁰, el cual tiene un papel fundamental en la reducción drástica (92%) de las emisiones netas de dióxido de carbono. El nivel de los desperdicios domésticos e industriales de la terminal aérea, que son enviados para su reciclaje o para la generación de energía, ha alcanzado el 98%.

En 2004 se diseñó una nueva terminal para dar servicio a 35 millones de pasajeros por año en el aeropuerto de Zurich, Suiza. En su construcción se implementó un diseño con técnicas de ingeniería, para minimizar la cantidad de energía que se requiere en su interior. Como resultado se maximizaron los recursos naturales para su calefacción, iluminación y ventilación. Mediante pantallas controladas por la radiación solar, se incrementan o disminuyen los niveles de luz natural, según sea requerido. El calor generado dentro de la terminal, por ejemplo, en el área de tiendas comerciales, se reutiliza en los lugares donde sea necesario.

El aeropuerto de Hamburgo (Alemania) tiene el compromiso de mejorar la protección contra el ruido que genera. En 2001 fue la primera terminal en el mundo en establecer un hangar con protección contra el ruido, el cual permite pruebas estáticas de cualquier tipo de aeronave actual; su intención es asegurar que los niveles de ruido en su exterior, que afectan a sus vecinos más cercanos, no excedan un máximo de 65 decibeles. Por otro lado, la terminal ha estructurado sus tarifas aéreas de acuerdo con el peso de las aeronaves y con el ruido que generan, para algunos tipos (los más ruidosos), las tarifas pueden ser hasta 10 veces más caras que para los más silenciosos.

El programa ambiental 2002-2005 del aeropuerto de Hamburgo contribuyó a proteger su ambiente circundante con la introducción de medidas ecológicas en sus edificios, y en el manejo de sus sistemas. Por ejemplo, la instalación de un “termo-laberinto” para acondicionar la temperatura de sus edificios ha disminuido significativamente las emisiones de CO₂. El consumo de agua ha bajado mediante la construcción de una instalación para aprovechar el agua de lluvia y con la instalación de llaves especiales (ahorradoras) en varios de sus edificios.

Durante el periodo 2009-2011, el aeropuerto de Hamburgo se ha comprometido a reducir aún más su consumo de energía y combustible, y los niveles de gases contaminantes. Su plan considera mejorar durante dicho periodo la eficiencia del

¹²⁰ El biocombustible es el término con el cual se denomina cualquier tipo de combustible que se derive de la biomasa (organismos recientemente vivos, o sus desechos metabólicos). Estos combustibles pueden sustituir parte del consumo de los combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo y el carbón. Los biocombustibles más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiesel. El biocombustible ofrece la posibilidad de producir energía sin incrementar la cantidad neta de carbón en la atmósfera, debido a que las plantas para producirlo obtienen el CO₂ de la misma atmósfera, a diferencia de los combustibles fósiles, que regresan a la atmósfera el carbón que había estado almacenado, bajo la superficie terrestre durante varios millones de años. Por tanto, los biocombustibles no tienden a acumular la cantidad de CO₂ en la atmósfera. Fuentes: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible> y <http://en.wikipedia.org/wiki/Biofuel>.

manejo de energía en sus instalaciones, entre un 15 y 20%, mediante una revisión de sus oportunidades de mejora en cuanto a sus requerimientos de aire acondicionado, e incorporando sensores de movimiento.

Este aeropuerto utiliza cada vez más fuentes de energía alterna; en noviembre de 2006, incrementó su flota de vehículos con combustible limpio; en particular, incorporó dos remolques para aeronaves, que utilizan celdas de combustible de hidrógeno. Además, fue el primero en el mundo en recurrir al gas natural como combustible para sus equipos terrestres.

Hamburgo no es el único aeropuerto alemán que ha considerado combustibles alternos. El de Munich, recientemente anunció que una parte significativa de su flota de servicios en tierra utilizará biocombustible. Con el lanzamiento de este nuevo proyecto, el operador del aeropuerto busca incrementar significativamente la utilización de fuentes de energía renovables en esta instalación. Por ejemplo, desde hace algunos años estableció una estación de abastecimiento de hidrógeno; y en 2003 terminaron el sistema de generación fotoeléctrica más grande del mundo, construido en el techo de una terminal aeroportuaria. Se ha estimado que esta instalación, con un costo de 4.1 millones de dólares, durante su periodo de vida (30 años) reducirá las emisiones de CO₂ en aproximadamente 12 mil toneladas. Esta terminal aérea se ha posicionado como pionera en la prueba y utilización de tecnologías de energía renovable.

El operador de ese aeropuerto también ha trabajado en gran medida para convertir la mayor parte de su flota vehicular de apoyo terrestre, de combustible diesel a biocombustible; el cual es un tercio más barato que el diesel convencional, por lo que ayudará a ahorrar anualmente alrededor de 1.55 millones de dólares.

El aeropuerto de Munich emplea actualmente alrededor de 6 millones de litros de combustible diesel por año. Su plan consiste en sustituir hasta un tercio de este combustible con aceite de canola. En 2007 este aeropuerto utilizó un total de 1.2 millones de litros de aceite de canola; se espera que para finales de 2008 lo incremente a 2 millones de litros.

A finales de 2007, el 35.7% de la flota en operación del aeropuerto (500 vehículos) ya había sido modificada para utilizar como combustible al biodiesel. Las investigaciones han mostrado que no hay ningún un impacto negativo en la operación de los motores diesel que consumen biocombustible; además, los aceites vegetales naturales, tales como los de canola, están libres de compuestos de azufre y no son tóxicos.

Los equipos programados para cambio de tipo de combustible son todas las unidades móviles que abastecen de energía eléctrica en tierra a las aeronaves. También, son candidatos para su conversión todos los autobuses de pasajeros de la terminal aérea y todos los vehículos que ofrecen servicio a las aeronaves. Las modificaciones técnicas a los motores y a los tanques de combustible, permitirán que mediante un interruptor se pueda intercambiar su operación entre diesel y

biocombustible, mientras están en operación, o incluso que se pueda emplear una mezcla de ambos combustibles.

En el aeropuerto de Frankfurt (Alemania), mediante un programa de prueba a largo plazo cofinanciado por la Unión Europea, se ha introducido la operación de dos vehículos¹²¹ con celdas de combustible de hidrógeno. Ambos estarán operando en pruebas prácticas dentro y fuera del aeropuerto hasta finales de 2009; el objetivo es evaluar su conveniencia para extender su utilización. Una empresa cercana al aeropuerto, que genera hidrógeno como subproducto, es la encargada de suministrar este combustible¹²².

Norteamérica

La terminal A del aeropuerto de Boston, en Estados Unidos, fue la primera en Norteamérica en obtener una certificación por la aplicación de tecnología ecológica. Esta terminal inició sus operaciones en marzo de 2005, y desde entonces se ha estimado que genera ahorros del orden de 300 mil dólares en electricidad y 6.43 millones de litros de agua, por año. Sus ventanas se diseñaron para reflejar el calor hacia su interior, y mantener su temperatura cuando hay frío en el exterior, y viceversa durante el verano, para mantener el calor afuera; de ese modo, se reduce el consumo de energía adicional. Su iluminación interna se atenúa cuando la luz natural se incrementa; e incluso sus tasas de baño y mingitorios emplean agua de lluvia, contribuyendo en algo a la protección del ambiente.

EL aeropuerto de Vancouver, en la costa oeste de Canadá, tiene una historia similar, dado que también le fueron incorporadas mejoras tecnológicas después de su diseño original para obtener mayores ahorros de energía. En 2003 su administración instaló un sistema enorme para calentamiento de agua mediante energía solar. Los paneles solares en el techo de su terminal doméstica ayudan a calentar 3 639 litros de agua por hora, lo cual según estimaciones ahorra alrededor de 90 mil dólares al año.

El Aeropuerto Internacional de *Seattle-Tacoma*, en los Estados Unidos, tiene varios programas para reducir el monóxido de carbono, los NO_x, y el carbón orgánico volátil generado por los vehículos terrestres que brindan servicios en el aeropuerto. Uno de estos programas se enfoca en cambiar el combustible de esas unidades por gas natural comprimido (GNC)¹²³.

¹²¹ Fabricados por *DaimlerChrysler*.

¹²² Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 5, July 2008, UK, pp. 31-33.

¹²³ También conocido como CNG por sus siglas en inglés (*Compressed Natural Gas*), es un sustituto de la gasolina, el diesel y el propano. Se considera ambientalmente como una opción limpia de los anteriores combustibles y es mucho más seguro que otros; en caso de fuga o derrame, el gas natural es más ligero que el aire, por lo que se dispersa rápidamente. Se obtiene al comprimir gas natural (que está compuesto principalmente de metano, CH₄) a menos del 1% del volumen que tiene a la presión de una atmósfera estándar. Es almacenado y distribuido en

Dentro de su programa de Taxis Ambientalmente Limpios, se ha establecido que todas las unidades con licencia para transportar pasajeros desde este aeropuerto, utilicen gas natural comprimido. En 2006, todos los vehículos (166) de la Asociación de Taxis del Aeropuerto de *Seattle-Tacoma*, habían hecho la conversión para emplear gas natural comprimido como combustible. Por otro lado, la flota de transporte del aeropuerto (aproximadamente 37 camionetas) funciona también con GNC, mediante lo cual se logra una reducción de 70 toneladas por año de gases contaminantes.

Esta terminal aérea abrió en 2002 una estación de suministro de gas natural, la cual despacha el equivalente a 4.73 millones de litros de gasolina por año.

La fuente principal en tierra de emisiones de CO₂, en el lado aéreo del aeropuerto, proviene de los equipos de soporte para las aeronaves (42,708 toneladas/año); y de las aeronaves en las calles de rodaje y plataformas (durante su movimiento normal y por demoras¹²⁴; 168,812 toneladas/año). Algunas aerolíneas, como *Horizon Air*, han convertido sus remolques de aeronaves y sus equipos de suministro de energía eléctrica, a sistemas diesel o eléctricos.

En este aeropuerto está prohibido que los aviones utilicen el sistema de reversas de sus motores para salir de sus plataformas, debido a que ese procedimiento genera una cantidad significativa de emisiones de NO_x. Además, todas las posiciones de contacto tienen suministro de energía eléctrica, por lo que no es necesario que las aeronaves enciendan sus unidades de potencia auxiliar (pequeñas turbinas dentro de la aeronave) para generar electricidad¹²⁵.

El gas licuado de petróleo¹²⁶ (GLP) ha tenido un papel importante en el desarrollo de las comunidades, fábricas y granjas de los Estados Unidos, al suministrar una fuente de energía abundante, limpia y multifuncional. Con el paso del tiempo, el GLP se ha convertido en un combustible alternativo y confiable para el sector

tanques cilíndricos o esféricos, a una presión de 200 a 220 bar (2 900 a 3 200 libras/pulgada²). El gas natural comprimido puede emplearse en motores modificados que operan con ciclo Otto o Diesel. La proporción en la que el metano se encuentra en el gas natural, es del 75 al 95% del volumen total de la mezcla. El resto de los componentes son etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón. Antes de emplear el gas natural como combustible se extraen los componentes más pesados, como por ejemplo, el propano y butano. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_natural_gas.

¹²⁴ En este aeropuerto, mediante la instalación de una torre de control se han logrado reducir en un 5%, los tiempos de recorrido, y permanencia de las aeronaves en las calles de rodaje.

¹²⁵ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 5, July 2008, UK, pp. 34-35.

¹²⁶ Es una mezcla de gases condensables presentes en el gas natural, o disueltos en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, fácilmente se pueden condensar. En la práctica, se puede decir que el GLP es una mezcla de propano y butano. En los Estados Unidos también se le conoce como *autogas*. Fuentes: http://es.wikipedia.org/wiki/Gas_licuado_del_petróleo y <http://en.wikipedia.org/wiki/Autogas>.

transporte, debido a que genera una contaminación significativamente menor que la gasolina o el diesel. Entre los grandes mercados en donde el GLP no había sido utilizado, se tiene el caso de los aeropuertos, los cuales son cada vez más presionados para reducir las emisiones contaminantes, particularmente los ubicados en grandes áreas metropolitanas, en las que las contingencias ambientales son un problema.

Los vehículos que ofrecen servicio en tierra a las aeronaves, en las terminales aéreas de los Estados Unidos, consumen aproximadamente 435.2 millones de litros de combustible al año (principalmente gasolina y diesel); y los autobuses que dan servicio a esas instalaciones queman adicionalmente 397.4 millones de litros anualmente.

Miles de estos vehículos se programan actualmente para ser modificados y utilicen GLP, con el propósito de ayudar a reducir la contaminación del aire. Esas unidades son una aplicación ideal para emplear el GLP, debido a que operan en rutas fijas y/o cortas, cercanas al aeropuerto.

Los vehículos candidatos para la conversión incluyen a los que transportan gente hacia y desde el aeropuerto o sus alrededores; por ejemplo, autobuses, taxis y limusinas. Adicionalmente, existen miles de unidades de soporte en tierra, tales como los vehículos que dan servicio a las pistas, remolques para las aeronaves y los correspondientes al transporte de equipaje.

Mediante un programa de la *Federal Aviation Administration*, para la reducción de emisiones contaminantes en los aeropuertos comerciales de los Estados Unidos, los participantes pueden obtener fondos para ayudar a pagar unidades con baja emisión contaminante y las estaciones de suministro de combustible¹²⁷.

Asia-Pacífico

El aeropuerto de Sydney, en Australia, está a la mitad de su programa ambiental de cinco años, el cual incluye 11 planes de acción, con objetivos muy amplios que cubren diversos aspectos, desde la calidad del aire hasta la administración de desperdicios. Algunos de los planes relevantes son: la reducción en el número y volumen de los incidentes de fugas y derrames; disminución a cero la pérdida de vida salvaje en el hábitat alrededor del aeropuerto; y baja de la cantidad de energía destinada a sus instalaciones.

El 9 de enero de 2008, el aeropuerto de Singapur abrió su nueva terminal ecológica (T3), la cual posee 28 aeropasillos (ocho con capacidad para los nuevos *Airbus A380*), con lo que se incrementa su capacidad en 22 millones de pasajeros por año. Esta terminal, que tuvo un costo de 1,220 millones de dólares, además de incorporar un jardín de mariposas y una vasta selección de follaje por sus amplios

¹²⁷ Fuente: *Autogas Updates. Global Autogas Industry Network. No. 29 Summer 2008. France*, pp. 1 y 10.

espacios abiertos, cuenta con un sistema de ahorro de energía en su iluminación y unidades de aire acondicionado con consumo bajo de energía, que ayudan a mantener una atmósfera confortable en este país tropical¹²⁸.

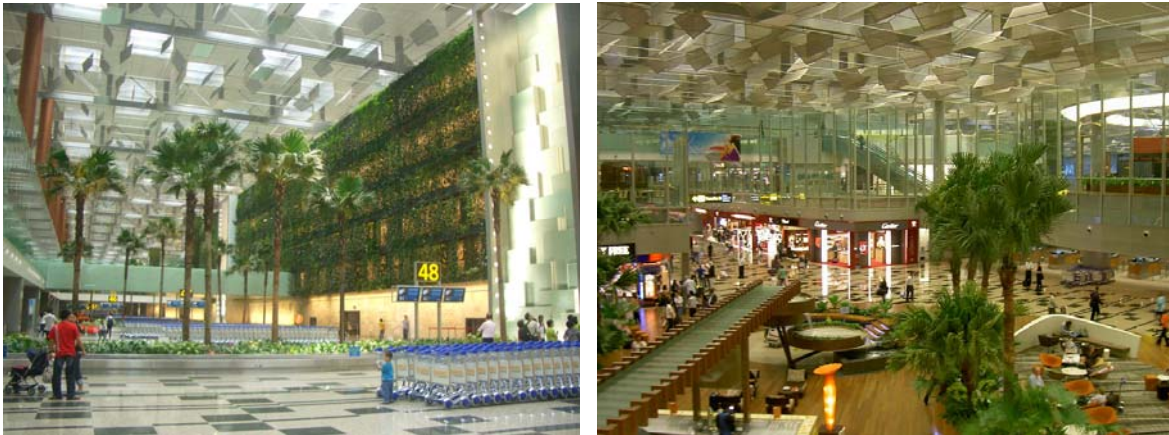


Figura 7.4

A la izquierda banda de reclamo de equipaje, y a la derecha interior de la Terminal 3 del aeropuerto de Singapur

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Singapore_Airport

7.2 Uso de energía solar

Mediante la generación de electricidad a partir de la energía solar se puede tener disponibilidad de energía eléctrica, prácticamente en cualquier lugar de un aeropuerto con la ventaja de que no se requieren conexiones con la red de suministro comercial.

La energía generada puede ocuparse para el funcionamiento de una gran variedad de dispositivos y equipos utilizados en los aeropuertos: luces para las calles de rodaje; cámaras de seguridad inalámbricas; sensores de movimiento; sistemas de monitoreo perimetral; luces perimetrales; etcétera.

Los actuales sistemas de energía solar son fáciles de instalar, confiables y económicos. Debido a la ubicación geográfica de México, se dispone de cantidades significativas de radiación solar susceptibles de convertirse en energía eléctrica (Figura 7.5).

La energía solar puede ser transformada directamente en energía eléctrica mediante paneles solares, también conocidos como fotovoltaicos. Son conjuntos de celdas, conectadas eléctricamente y montadas en un sólo marco.

¹²⁸ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 3, April 2008, UK, pp. 34-35.

Las celdas están fabricadas de materiales semiconductores, siendo el silicio uno de los más comunes. Estas celdas generan electricidad con base en el efecto fotovoltaico.

El rendimiento típico de una célula fotovoltaica de silicio policristalino es de alrededor del 10%. En un día soleado, el sol irradia alrededor de 1 kW/m^2 a la superficie de la Tierra, considerando una eficiencia promedio del 10%; esto supondría una producción de aproximadamente, 100 W/m^2 . Sin embargo, no todos los días son soleados, por lo que el aprovechamiento efectivo es menor. Numerosas empresas e instituciones trabajan para aumentar la eficiencia de los paneles, principalmente compañías privadas.

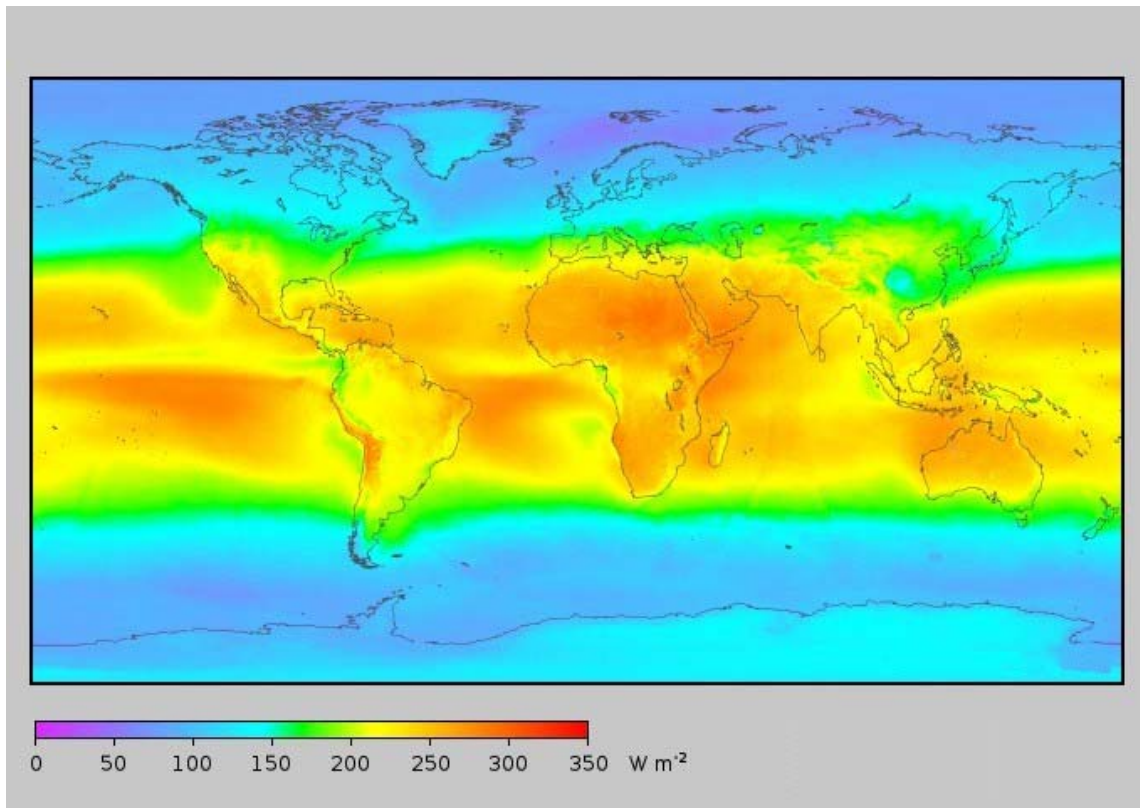


Figura 7.5

Los colores indican la radiación solar promedio (entre 1991 y 1993) calculada sobre la base de 24 horas por día y considerando la nubosidad observada mediante satélites.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar

De acuerdo con un estudio del *World Energy Council*, para el año 2100, el 70% de la energía consumida en el mundo será de origen solar¹²⁹.

¹²⁹ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar.

7.2.1 Uso de la energía solar en los aeropuertos

En el aeropuerto de Munich se han instalado paneles solares para la generación de electricidad, en su Terminal 2. Comúnmente, los paneles solares se montan en los techos de edificios.



Figura 7.6

Paneles solares de un sistema de generación de energía eléctrica

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>

Otra aplicación son los sistemas integrados de energía, en donde en una sola unidad están contenidos todos sus componentes (módulo solar, baterías recargables, sensores y circuitos), integrados en un poste de montaje durable y compacto. Son adecuados para una gran variedad de componentes que requieran una alimentación de corriente directa de 12 *Volts*, por ejemplo, sistemas de iluminación, cámaras de seguridad, sensores remotos, y equipos de comunicación.



Figura 7.7

Sistema integrado de energía solar (izquierda), y su aplicación a un sistema de iluminación (derecha)

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>

Estos equipos se pueden instalar rápida y fácilmente, dado que no requieren zanjas ni cables. Mediante un montaje ajustable es factible inclinar y rotar el panel solar durante su instalación para una óptima orientación, de acuerdo con la latitud

del lugar. Su diseño permite muchos años de servicio ininterrumpido y libre de mantenimiento. Además, opera confiablemente en climas extremos, ya que sus componentes delicados están protegidos dentro de una cubierta resistente de aluminio. En las ilustraciones siguientes se muestran otras aplicaciones de la energía solar: en luces de umbral de pista, calles de rodaje, conos de viento, torres y cercas perimetrales¹³⁰.



Figura 7.8

Luces de umbral de pista activadas por energía solar

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>



Figura 7.9

Luces en las calles de rodaje del aeropuerto *Truckee Tahoe*, Estados Unidos. Más de 561 luces fueron instaladas.

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>

¹³⁰ En todos estos casos, los equipos mostrados son del fabricante canadiense *Carmanah Technologies Corporation* (empresa fundada en 1996), que es un proveedor mundial de tecnologías de energías eficientes y renovables. Fuente: <http://www.solarairportlights.com>.



Figura 7.10

Iluminación de un cono de viento mediante energía solar; este equipo utiliza diodos de emisión de luz (*Light Emitting Diodes*; LEDs). Con lo que se obtiene un equipo de larga vida que no requiere cambio de focos.

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>



Figura 7.11

Luces LED instaladas en una torre de comunicaciones en el Aeropuerto Internacional de Barcelona, España.

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>



Figura 7.12

Luces con lentes rojos instaladas en una cerca perimetral, para delimitar el área de seguridad en la base de la Fuerza Aérea “El Centro”, en California, Estados Unidos.

Fuente: <http://www.solarairportlights.com>

7.2.2 Utilización de *LEDs* en sistemas de energía solar

Muchos de los productos de iluminación mediante energía solar utilizan diodos de emisión de luz (*LEDs*), en lugar de los tradicionales focos incandescentes o de las lámparas fluorescentes.

Los focos incandescentes son una tecnología de iluminación ineficiente que genera luz al hacer pasar una gran cantidad de corriente eléctrica a través de un filamento metálico. El filamento se pone incandescente e irradia energía en todas direcciones. De esta forma, sólo el 15% de la energía se transforma en luz visible, y el 85% restante se transforma y disipa en forma de calor.

Las lámparas fluorescentes se desarrollaron como una alternativa relativamente eficiente, en comparación con los focos incandescentes. Esta tecnología utiliza un tubo delgado de vidrio lleno de argón y vapor de mercurio. En cada extremo del tubo se instalan electrodos metálicos recubiertos con un óxido alcalinotérreo¹³¹, que cede electrones fácilmente. Cuando una corriente eléctrica pasa a través del gas ionizado entre los electrodos, la lámpara fluorescente emite radiación ultravioleta. La superficie interior del tubo fluorescente está recubierta con fósforo y otros compuestos. El fósforo absorbe la radiación ultravioleta e irradia energía en forma de luz visible. Una lámpara fluorescente será funcional hasta que se agote el óxido alcalinotérreo de sus electrodos.

Desventajas de las lámparas fluorescentes:

¹³¹ Metales del grupo del calcio (calcio, estroncio, bario y radio).

- a) Generan luz desenfocada. En forma similar a los focos incandescentes, por lo que requieren de reflectores para redistribuir la luz, lo que agrega complejidad y costos adicionales al sistema.
- b) Alto consumo de energía durante el arranque. Lo que implica mayores requerimientos en las baterías de almacenaje.
- c) Vida operacional corta. La vida promedio típica de una lámpara fluorescente es de un año.
- d) Degradación por la temperatura. Las estimaciones de la vida promedio de estas lámparas asumen condiciones de operación ideales; sin embargo, muchas de las aplicaciones en las instalaciones aeroportuarias son al aire libre, en donde se tienen temperaturas extremas, y bajo las cuales los productos se degradan significativamente.
- e) Fragilidad. Estas lámparas están hechas de tubos de vidrio frágiles. Si los alojamientos de las lámparas son golpeados, los tubos se romperán fácilmente dejando de funcionar. Además, los fragmentos resultantes son peligrosos.
- f) Están construidas con materiales peligrosos. En muchos países, el desecho de estas lámparas está regulado debido a que contiene elementos altamente tóxicos (como el mercurio).

Por otra parte, los LEDs constituyen una tecnología de iluminación altamente eficiente. El elemento fundamental de los diodos de emisión de luz es un pequeño fragmento de silicón, del tamaño de un grano de sal, fabricado con una mezcla especial de cristales. Cuando una corriente eléctrica pequeña pasa a través de él, se genera luz.

El color de la luz emitida (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo, y puede variar desde el ultravioleta, pasando por la luz visible hasta el infrarrojo.

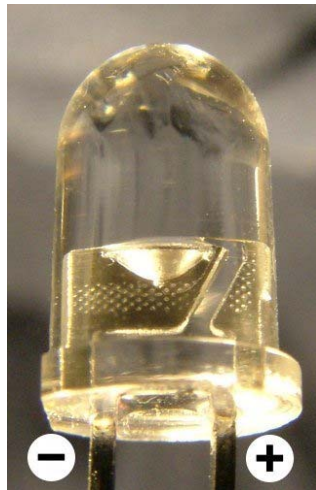


Figura 7.13

Diodo de emisión de luz (LED)

Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/LED>

El uso de diodos emisores de luz en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización del tránsito) es moderado, aunque es previsible que se incremente en el futuro, ya que sus prestaciones son superiores a las de las lámparas incandescentes y fluorescentes.

La iluminación con LEDs presenta indudables ventajas: confiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones e impactos, menor disipación de energía, menor riesgo para el ambiente, capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, y mayor ciclo de vida¹³². Así mismo, con los LEDs se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado; a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que requieren filtros para lograr un efecto similar (lo que disminuye su eficiencia energética). Por otro lado, la forma en que se construyen permite que su luz se enfoque directamente, sin necesidad de componentes ópticos adicionales¹³³.

Investigaciones y desarrollos recientes han logrado la producción de los primeros componentes de una nueva generación de sistemas de iluminación, con base en los LEDs. Diversos líderes en la fabricación de estos sistemas ya han introducido esta tecnología en las calles de rodaje de los aeropuertos; el siguiente paso es su aplicación en las luces de las pistas.

Al mismo tiempo que se realiza más investigación, algunos fabricantes ya aplican pruebas de evaluación de luces de línea central de pista, con diodos de emisión de luz, en varias instalaciones aeroportuarias. Posteriormente, tienen planeadas pruebas en las pistas con sistemas de iluminación mediante LEDs, en los puntos de contacto de las aeronaves. Dirigidas a evaluar la funcionalidad de las luces, conexiones, cableado y aditamentos relacionados. Posteriormente, vendrá un periodo de pruebas, por parte de los usuarios, antes de que las luces entren en servicio.

La meta final de la aplicación de la tecnología de los LEDs, es reducir los requerimientos de energía y minimizar el mantenimiento, lo cual en la práctica puede significar una diferencia de 60 mil horas o más entre el cambio de LEDs, comparado con tan sólo 1,000 horas que se requiere para el cambio de las luces tradicionales. Lo que les atrae en particular a los administradores aeroportuarios son los ahorros considerables en consumo de energía, y los costos bajos del mantenimiento del equipo¹³⁴.

¹³² El tiempo promedio de vida de un LED es de 100 mil horas (11.4 años, asumiendo que está funcionando continuamente durante las 24 horas del día), lo cual representa 20 veces más que los mejores focos incandescentes, y el doble que las mejores lámparas incandescentes.

¹³³ Fuentes: <http://es.wikipedia.org/wiki/LED> y <http://www.solarairportlights.com>.

¹³⁴ Fuente: *Airports International*, Volume 41, No. 1, January/February 2008, UK, p. 20.

7.3 Recintos para pruebas de motores de aeronaves

El mantenimiento de las aeronaves requiere a menudo que se prueben sus motores a potencia máxima; durante estas pruebas, los motores generan tanto ruido como en un despegue; sin embargo, tienen una duración mayor. Es común que esas pruebas se realicen durante la noche, cuando las comunidades cercanas al aeropuerto son particularmente sensibles al ruido. Conforme estas comunidades aledañas crecen, se hacen más sensibles al ruido del aeropuerto; una de las fuentes principales de quejas proviene de las pruebas de motores en tierra¹³⁵.

Afortunadamente, el ruido de las pruebas de los motores en tierra puede controlarse significativamente, a diferencia del ruido generado por las aeronaves durante su despegue o aterrizaje. Este ruido puede atenuarse gracias al desarrollo de recintos sofisticados para las pruebas de motores (*Ground Run-Up Enclosure*, GRE).

Estos recintos permiten a los aeropuertos, aerolíneas y a las compañías que ofrecen servicios de mantenimiento de aeronaves, disminuir en gran medida los niveles de ruido que perciben las comunidades locales, sin comprometer la

¹³⁵ El ruido origina fatiga, disminuye el apetito, y produce dolor de cabeza. Psicológicamente genera efectos adversos en la productividad de los trabajadores; disminuye su eficiencia y aumenta la posibilidad de cometer errores. En particular, el ruido de alta intensidad tiene un efecto acumulativo adverso sobre el mecanismo de audición humano, que puede llegar a producir sordera temporal o permanente. La exposición a ruidos excesivos produce un deterioro gradual en la agudeza auditiva; la posibilidad de daño permanente está en función del tiempo de exposición, los niveles de ruido, y la frecuencia. Fuente: Bautista, 2008. Una investigación llevada a cabo en Europa encontró que el ruido de los aviones eleva la presión arterial, aún cuando la gente duerme. Los investigadores del *Imperial College* de Londres y otras instituciones europeas, monitorearon los patrones de sueño de 140 voluntarios, que vivían cerca del aeropuerto de *Heathrow*, en Londres; y de otros tres aeropuertos europeos grandes. Los científicos midieron en forma remota la presión arterial de los voluntarios cada 15 minutos. Descubrieron que su presión arterial aumentaba después de la exposición a un ruido superior a 35 decibeles. El estudio, publicado en la *Revista Europea del Corazón*, afirma que el efecto se observó incluso cuando los voluntarios seguían dormidos y no resultaron conscientemente perturbados. Según los investigadores, el ruido de los aviones causa un aumento promedio en la presión sistólica y diastólica de 6.2 y 7.4 mm de mercurio, respectivamente. Mientras más fuerte es el ruido, mayor es el aumento en la presión arterial. Los investigadores afirman que por cada incremento en 5 decibeles, en el nivel de ruido de las aeronaves se produce un aumento de 0.66 mm de mercurio en la presión arterial sistólica. Según el estudio, por cada incremento de 10 decibeles en el nivel de ruido, el riesgo de hipertensión aumenta 14%. Esto quiere decir que vivir cerca o en la trayectoria de vuelo de un aeropuerto puede casi duplicar el riesgo de hipertensión. Todavía no se conocen con precisión los mecanismos por los cuales el ruido de los aviones actúa sobre la presión arterial. Pero los investigadores proyectan estudiar una teoría, que asume que el cerebro reacciona al ruido; provocando el aumento en los niveles de cortisol, la hormona del estrés. Se sabe que el estrés provoca vasoconstricción en las arterias; y esto contribuye a elevar la presión arterial. Sin embargo, los expertos afirman que el ruido de los aviones es sólo de uno de los muchos factores que se deben tener en cuenta para prevenir la hipertensión.

Fuente: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_7242000/7242624.stm

integridad de las pruebas de motores, y sin incurrir en demoras en los programas de mantenimiento.

Los componentes básicos de este desarrollo tecnológico¹³⁶ son unas paredes atenuadoras de ruido, combinadas con deflectores de gases de escape.

Los deflectores se ubican inmediatamente atrás de las aeronaves para redireccionar con seguridad los flujos de gases de escape hacia arriba, con un ángulo de 40° a 70°, lo cual permite la instalación de las paredes atenuadoras de ruido, directamente atrás de los deflectores.

Las paredes atenuadoras de ruido deben instalarse tan cerca como sea posible de la fuente del mismo (los motores), con objeto de alcanzar los mejores resultados. La altura de estas paredes depende de la magnitud del nivel de reducción de ruido requerido; se han instalado paredes de hasta 20 metros de alto.

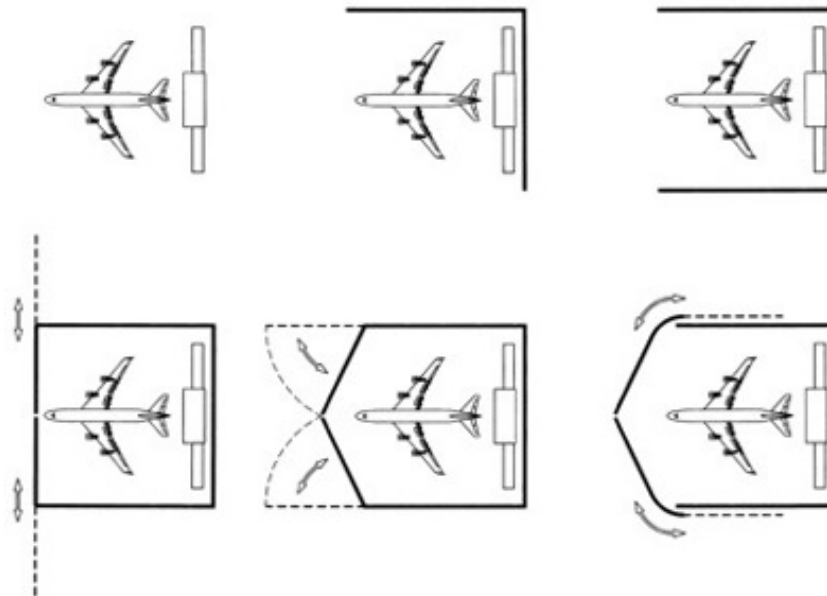


Figura 7.14

Ejemplo de distintas configuraciones de recintos para pruebas de motores

Fuente: <http://www.apsgermany.de/>

Los recintos para la prueba de motores pueden ser de un sólo sector para proteger un área limitada, o ser instalaciones circulares complejas que proveen protección de ruido en un área mucho más extensa.

¹³⁶ Como los implementados por la empresa alemana *Airport Protection Systems*. Esta es una compañía líder en el desarrollo de recintos para la prueba de motores y deflectores de gases de escape, con más de 30 años de experiencia. Poseen un profundo conocimiento de los aspectos científicos de estos desarrollos, y además una vasta experiencia. Fuente: <http://www.apsgermany.de/>.

La configuración de cada proyecto depende de los factores siguientes:

- Requerimiento acústico de atenuación
- Frecuencia de uso
- Disponibilidad de espacio, y cercanía de otras instalaciones
- Presupuesto para el proyecto
- Tipos de aeronaves



Figura 7.15

Recinto para prueba de motores; observe la ubicación de la terminal aérea atrás

Fuente: <http://www.apsgermany.de/>

7.3.1 Desarrollos recientes de recintos para pruebas de motores

Uno de los proyectos terminados recientemente, fue la implementación del primer recinto para la prueba de motores de aeronaves *Airbus A380*, en el aeropuerto de *Toulouse*, Francia. Esta instalación, denominada como *Aire de Point Fixe*, por la empresa *Airbus Industrie*, también puede utilizarse por otras aeronaves de cabina ancha.

Las pruebas de motores en tierra, a potencia máxima, son un requisito previo a los vuelos de prueba, y para la aceptación por parte de sus clientes. Son sumamente ruidosas; por ello, se requirió una solución que permitiera gran frecuencia de uso, y un desempeño acústico excelente.

La instalación tiene una forma circular, debido a que las dos direcciones de viento prevaecientes en el aeropuerto de *Toulouse*, son diametralmente opuestas. Idealmente se requiere que durante las pruebas, las aeronaves estén dirigidas en

contra del viento; por ello, la instalación debe permitir el posicionamiento de las aeronaves en dos orientaciones diferentes.

En esta instalación, las paredes acústicas y el deflector de gases de escape están instalados sobre un sistema de vías, lo cual permite que su configuración se ajuste de acuerdo con la dirección del viento.



Figura 7.16

Vista aérea del recinto para la prueba de motores del *Airbus A380*, en el aeropuerto de *Toulouse*. Diámetro 140 m; altura 20 m; superficie 15,394 m²

Fuente: <http://www.apsgermany.de/>



Figura 7.17

Prueba de motores del *Airbus A380* dentro del recinto; las aeronaves pueden posicionarse en dos direcciones opuestas.

Fuente: <http://www.apsgermany.de/>

El concepto del diseño circular fue originalmente desarrollado¹³⁷ para un proyecto en *Dortmund*, Alemania. En la actualidad, el recinto para la prueba de motores de aeronaves *Airbus A380*, es la instalación más grande del mundo en este tipo¹³⁸.

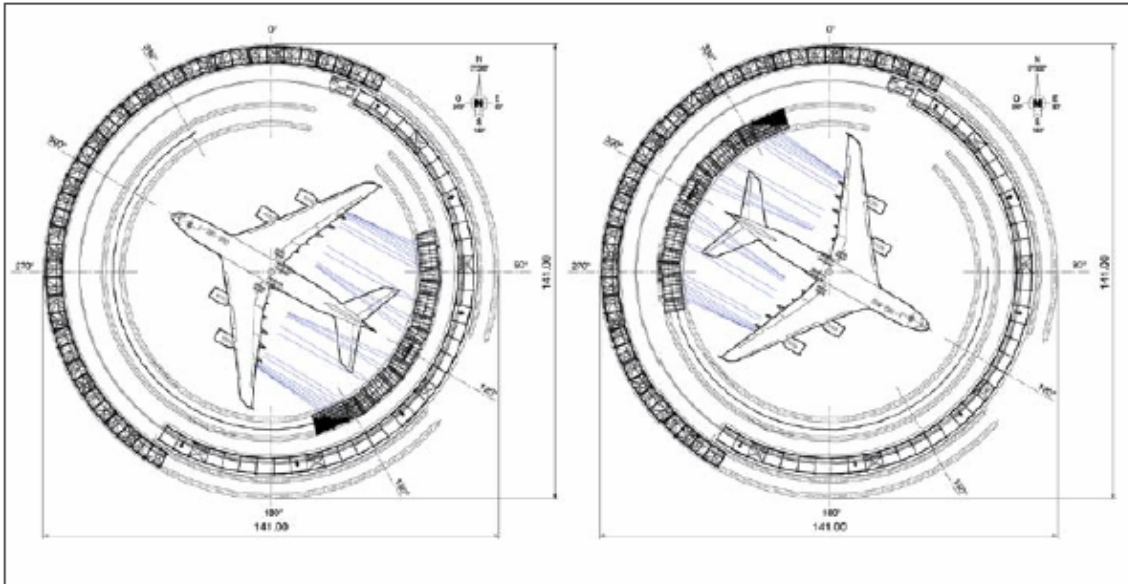


Figura 7.18

La instalación consiste de un deflector de gases de escape (que puede moverse en un ángulo de 330°), una pared semicircular fija, y dos puertas de configuración circular.

Fuente: Airports International, Volume 39, No. 6, August/September 2006, UK, p. 4.

Un usuario futuro de este tipo de recintos es *Air France Industrie*; que los utilizará para las pruebas de motores después de su mantenimiento.

Uno de los rasgos principales de esos recintos es su sistema móvil de deflectores de gases de escape, el cual dependiendo de la posición de la aeronave, siempre se ubicará detrás de ésta. Conforme el inmenso volumen de gases de escape pasa por el sistema de deflectores, los gases se desvían hacia arriba con objeto de que las paredes situadas atrás no se expongan directamente a la presión y elevada temperatura de los gases de escape de los motores. Las superficies interiores de las paredes y puertas de acceso están equipadas con un sistema de alto grado de absorción de ruido, el cual asegura una protección óptima contra las emisiones de ruido para las áreas residenciales adyacentes.

Las puertas circulares y el sistema de deflectores se activan por motores eléctricos; en caso de falla de la energía eléctrica, pueden remolcarse por los tractores de arrastre que utilizan las aeronaves.

¹³⁷ Por la empresa *Airport Protection Systems*.

¹³⁸ Fuente: <http://www.apsgermany.de/>.

Adicionalmente a los requerimientos acústicos, los usuarios de dichos recintos, solicitaron una gran frecuencia de uso de las instalaciones; en otras palabras, que se pudieran utilizar durante la mayor parte del año, independientemente de las condiciones climatológicas. Eso condujo a la aplicación de un diseño circular. Mediante pruebas en túnel de viento, realizadas en las instalaciones de *Rheinisch Westfälische Technische Hochschule* (RWTH), en *Aachen* (Alemania), se determinó para este recinto una capacidad de uso del 90%¹³⁹.

7.4 Combustibles alternos para la aviación

El Departamento del Transporte (DOT), de los Estados Unidos, estableció una iniciativa para el desarrollo de un plan que determine la viabilidad de combustibles alternos en la aviación comercial (*Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative*, CAAFI). Esta iniciativa congrega a fabricantes, aerolíneas, aeropuertos, a los Departamentos de Energía y Defensa y a la Agencia de Protección Ambiental, de Estados Unidos.

Dos estudios principales se encuentran en desarrollo. El primero, busca determinar la factibilidad, costos, problemas técnicos y otros obstáculos asociados con la transición hacia combustibles alternos para la aviación; esto servirá para dar respuesta a preguntas clave que deben conocerse antes de tomar decisiones trascendentales. El segundo estudio, explora los impactos ambientales; sin esta cuantificación es difícil establecer metas y programas útiles.

La Fuerza Aérea de los Estados Unidos, está comprometida a certificar la totalidad de su flota aérea para que vuele con combustibles sintéticos para el 2011.

Alrededor del 2025, los aceites de pizarra bituminosa y mezclas de etanol serán evaluados para su aplicación en combustibles de aviación.

En el largo plazo, se evaluará la aplicación del hidrógeno para su uso en los motores turborreactores de las aeronaves¹⁴⁰.

¹³⁹ Fuente: *Airports International*, Volume 39, No. 6, August/September 2006, UK, pp. 1-4.

¹⁴⁰ El uso del hidrógeno como combustible para las aeronaves generaría menos gases contaminantes, en comparación con los producidos por la turbosina; en teoría como resultado de su combustión se genera sólo vapor de agua, por lo que desde el punto de vista ambiental es mejor. De acuerdo con investigaciones de la Universidad del Estado de Pensilvania, en 2006, la construcción de aeronaves comerciales grandes, que utilicen como combustible hidrógeno, se prevé para el 2020; aunque su entrada en servicio será hasta cerca del 2040. La Unión Europea ha desarrollado un proyecto de investigación en cooperación con *Airbus Industrie* y otras compañías, para desarrollar una aeronave impulsada por hidrógeno, denominada CRYOPLANE. De acuerdo con valoraciones técnicas del proyecto, sus motores serán tan eficientes como los que utilizan la turbosina; sin embargo, los problemas relacionados con el almacenamiento y el peso del hidrógeno en la aeronave, aún no han sido resueltos. Aeronaves no tripuladas ya han sido probadas, y recientemente, en febrero de 2008, *Boeing* voló una pequeña aeronave tripulada, impulsada por una celda de combustible de hidrógeno. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_planes.

Mediante esta iniciativa se están guiando los esfuerzos para desarrollar combustibles alternos con objeto de garantizar un suministro estable y accesible.

El DOT juega un papel vital en cuanto al desarrollo del hidrógeno como combustible para los sistemas de transporte. Para ello se desarrollan regulaciones que ayuden a garantizar el diseño y operación seguros de los vehículos e infraestructura que lo utilicen. Por otro lado, también se está guiando la forma en que se realizan las mejoras en el diseño, construcción y prueba de tubos y ductos; y de sistemas nuevos y más seguros de distribución, incluyendo sistemas de almacenamiento a alta presión, contruidos de materiales compuestos¹⁴¹.

¹⁴¹ Fuente: U.S. Department of Transportation. (2008). *Transportation Vision for 2030*. U.S.A. P. 28.

8 Servicios para aeronaves

8.1 Sistema de túneles con tomas retráctiles para plataformas

En la actualidad es común que el diseño y arreglo del área de plataformas en los aeropuertos sea muy rígido, en contraste con otras áreas del mismo. La tradicional forma de pensar restringe la mejora de los sistemas vitales de suministro para las aeronaves, por lo que a menudo éstas permanecen inalteradas por décadas.

Sin embargo, con los avances de la tecnología aeroportuaria y con el crecimiento constante de las dimensiones de los aviones, es necesario disponer de sistemas flexibles. Por ejemplo, con la entrada en operación de aeronaves nuevas, como el *Airbus A380*, algunos de los actuales sistemas de suministro ya no pueden realizar su trabajo, por lo que los equipos y procedimientos en uso deben adaptarse para vencer este reto.

En el ejemplo anterior, los sistemas tradicionales de suministro necesitarían duplicarse, lo que en consecuencia crearía más problemas en términos de espacio, costo y eficiencia.

Para suministrar a las aeronaves combustible, energía eléctrica, agua y aire acondicionado en tierra, comúnmente se utilizan camiones cisterna enormes, generadores diesel pesados, y cables y mangueras que cubren la mayor parte de la plataforma alrededor de las aeronaves.

Un problema adicional se presenta en terminales aéreas con temperaturas muy altas, dado que en ese caso el servicio de aire acondicionado debe tener un aislamiento y protección considerables, para evitar condensaciones y pérdida de eficiencia.

Para resolver el problema creciente de la saturación en las plataformas, la empresa *Cavotec Fladung*¹⁴², ha desarrollado un sistema revolucionario de pozos subterráneos, que suministra servicios utilitarios a las aeronaves mediante equipos retráctiles en las plataformas. Después de proporcionar servicio, los equipos se retractan, ocultándose totalmente al quedar al nivel de la plataforma, por lo que ésta queda sin obstáculos para la circulación libre de las aeronaves.

Los principales servicios que puede suministrar este sistema son:

- Aire acondicionado.
- Recolección de aguas residuales de los sanitarios.

¹⁴² *Cavotec Fladung* es una compañía líder en sistemas innovadores de soporte en tierra para aeronaves, con base en Alemania.

- Servicio de agua limpia.
- Energía eléctrica, 28 Volts de corriente directa a 400 Hz.
- Otros servicios auxiliares.



Figura 8.1

Equipos retráctiles para el servicio de aeronaves en plataforma

Fuente: <http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/>

La manguera del aire acondicionado se monta directamente en el sistema de pozos. Mediante botones en la unidad retráctil se puede encender o apagar manualmente el sistema. Un circuito diseñado especialmente, asegura la activación del sistema de aire acondicionado, sólo cuando se libera un interruptor de proximidad y se encuentre totalmente extendida la unidad.

El servicio de recolección de aguas residuales, y el suministro de agua limpia se ofrece mediante mangueras enrolladas en tambores ubicados en las unidades retráctiles. Cuando se hallan totalmente extendidas, los tambores se liberan, permitiendo su conexión a las mangueras de la aeronave.

La energía eléctrica (28 vcd/400 Hz) se suministra mediante cables flexibles y conectores. Todo el sistema está diseñado para cumplir con las normas norteamericanas y europeas.

Dentro de otros servicios auxiliares, se tiene por ejemplo, aire a presión, energía eléctrica 50/60 Hz, tierra eléctrica y cables para comunicaciones, y transferencia de información.

El incremento en las dimensiones de las aeronaves requiere sistemas que permitan una completa flexibilidad para los operadores aeroportuarios. Con la introducción de aeronaves como el *Airbus A380*, los sistemas de suministro tradicionales ya no pueden ofrecer un servicio eficiente. Sin embargo, gracias a diseños innovadores como el sistema de túneles con tomas retráctiles, se puede

manejar fácilmente cualquier tipo de aeronave, sin importar su tamaño o el servicio requerido.



Figura 8.2

El sistema de túneles está diseñado para dar servicio a todo tipo de aeronaves, incluso al Airbus A380.

Fuente: <http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/>

Como una medida de seguridad de las unidades retráctiles, éstas sólo pueden ser desplegadas al levantar una manija, y retraerse después de presionar un pedal; están diseñadas para soportar una carga de 90 toneladas. El sistema tiene capacidad para proporcionar servicios diversos, y toda su instalación eléctrica se incorpora en un marco preensamblado.

También existen unidades similares para emplearse en los hangares; en este caso, sus sistemas se han diseñado para ocupar un espacio mínimo, y para suministrar los diversos servicios requeridos dentro de un hangar. Estos equipos también pueden soportar una carga de hasta 90 toneladas.

Las ventajas del sistema de túneles con tomas retráctiles son:

- El tiempo de vida de los equipos es considerablemente mayor que el de los equipos móviles.
- Los costos de mantenimiento del sistema de túnel son mucho más bajos, que los asociados con el mantenimiento de una flota de vehículos que suministra el servicio.
- Se requiere una menor cantidad de personal en la operación de los equipos.
- El servicio a las aeronaves es más rápido.
- La contaminación alrededor del aeropuerto se reduce drásticamente, puesto que ninguno de los equipos instalados en el sistema del túnel utiliza motores diesel.
- El riesgo potencial de que un vehículo dañe las aeronaves durante su servicio, es eliminado.

- El sistema puede dar servicio a cualquier tipo de aeronave sin importar sus dimensiones.



Figura 8.3

Detalles de un equipo retráctil

Fuente: <http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/>



Figura 8.4

Equipo retráctil para servicio en hangares

Fuente: <http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/>

8.1.1 Aplicación del sistema de túneles en aeropuertos

La solución tecnológica mediante un sistema de túnel, en el Aeropuerto Internacional de *Dortmund*, Alemania, ha sido bastante exitosa. En este lugar, el

túnel subterráneo en el área de plataformas tiene una longitud de 40 m, una profundidad de 2.5 m, y un ancho de 3 m.

El convertidor de frecuencia a 400 Hz se localiza en el interior del túnel, junto con los módulos de aire acondicionado. El servicio de agua limpia llega al túnel mediante un sistema de tuberías. El túnel se ilumina con lámparas fluorescentes, y tiene dos bombas de drenaje conectadas al sistema principal del aeropuerto

El aire para el sistema acondicionado pasa a través de un filtro alojado en un pozo del sistema, y también hay un sensor de temperatura, montado en la parte trasera del filtro. Existe una manguera para el suministro de agua a las aeronaves, en la parte trasera de la placa de montaje de las unidades retráctiles. Otra parte del sistema consiste en una manguera de succión para remover las aguas de desechos de los sanitarios de los aviones; esta manguera se aloja en un tambor.

Los cables de abastecimiento de energía eléctrica también van montados en el pozo del sistema. Existen hasta cuatro cables de energía eléctrica a 400 Hz y 28 Volts, en cada pozo. Los cables se conectan al convertidor de frecuencia por un lado, y por el otro tienen conectores para acoplarse a las aeronaves¹⁴³.



Figura 8.5

Sistema de túnel instalado en el Aeropuerto Internacional de Dortmund

Fuente: <http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/>

8.2 Sistemas de recuperación de aeronaves

La necesidad de recuperar aeronaves dañadas puede ocurrir en cualquier terminal aérea. Eventos, como el atascamiento de un Boeing 737 en el aeropuerto de

¹⁴³ Fuentes: <http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/> y *Airports International*, Volume 40, No. 6, August 2007, UK, pp. 36-37.

Bucarest (Rumania); la del *Airbus A-340*, que sobrepasó el límite de su pista en Quito (Ecuador); y la del *Boeing 777*, que chocó durante su aterrizaje en el aeropuerto de *Heathrow* (Inglaterra), son sólo algunos ejemplos de incidentes ocurridos en los meses pasados, y en donde las aeronaves involucradas han resultado dañadas.



Figura 8.6

Accidente de un *Boeing 777* de *British Airways*, en el aeropuerto de *Heathrow* en Londres (Inglaterra), ocurrido el 17 de enero de 2008.

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/British_Airways_Flight_38

El número creciente de operaciones aéreas ha conducido a un incremento de los incidentes aéreos, en donde como consecuencia las aeronaves resultan dañadas. Además, los diseños recientes de aviones, más grandes y pesados, hacen que su proceso de recuperación sea una tarea difícil y costosa, tanto para el aeropuerto como para el operador de la unidad.

A continuación se señalan aspectos básicos de la recuperación de aeronaves y cómo confrontar su complejidad; además, se enfatiza la necesidad de que las terminales y las aerolíneas estén mejor preparados para manejar los eventos desafortunados en donde los equipos aéreos resultan dañados.

Aunque no hay estadísticas oficiales acerca del número y tipo de recuperaciones de aviones dañados, algunas investigaciones señalan que en promedio en todo el mundo, ese tipo de incidentes se presenta con una frecuencia de una vez por semana.

Aún incidentes pequeños generan retos enormes cuando una aeronave está involucrada. En muchos casos, la operación del aeropuerto se detiene prácticamente; por ejemplo, cuando la aeronave inutilizada se ubica en o muy cerca de una pista, o cuando se localiza en un lugar en donde hay movimiento de aviones.

Sin importar la complejidad de cada situación, las pérdidas financieras de una terminal, pueden rápidamente ser del orden de millones de dólares, por lo que el tiempo de remoción de la unidad dañada y el restablecimiento de las condiciones operativas seguras, se vuelven esenciales.

Desafortunadamente, la preparación para tales eventos a menudo se ubica en los últimos lugares de la lista de prioridades de un aeropuerto; se ha estimado que alrededor del 90% de los aeropuertos y aerolíneas no están preparados adecuadamente para manejar incluso las situaciones de recuperación más simples.

Además de los problemas potenciales que pueden originarse por una aeronave de grandes dimensiones dañada (como, por ejemplo, un *Airbus A380*, o un *Boeing 747-800* ó *777*), se requerirán cambios significativos en los procedimientos de recuperación, tanto en términos de su complejidad como del equipo requerido. El mayor peso de las aeronaves, la altura y diseño moderno de las alas, y la menor capacidad de presión permitida en la superficie del fuselaje, implican la necesidad de herramientas y procedimientos nuevos.

En poco tiempo, las aerolíneas y los aeropuertos necesitarán estar preparados y equipados para manejar estos incidentes rápida y eficientemente, con objeto de evitar pérdidas de ingresos grandes.

Para ello, deben considerar lo siguiente:

- La remoción a tiempo de una aeronave dañada es responsabilidad de su aerolínea, sin embargo, ¿cómo se define “a tiempo”, cuando una pista está cerrada?
- Los conjuntos de equipos que muchos de los aeropuertos tienen, ¿son los requeridos para la recuperación de aeronaves en dicho lugar?
- Si se cierra una pista, ¿puede seguir operando el aeropuerto?
- ¿Pueden las aerolíneas del aeropuerto, desplegar sin demoras los equipos y especialistas en recuperación?
- ¿Pueden los equipos actuales, manejar las aeronaves nuevas de grandes dimensiones?
- ¿Tiene el aeropuerto un plan de recuperación incluyente, y el personal y equipo de recuperación requeridos?

Hay dos palabras clave que definen a una recuperación exitosa: seguridad y tiempo. No es suficiente con mover a una aeronave; también es importante hacerlo sin causarle daños adicionales. Aunque depende de cada situación una

recuperación segura; en muchos casos, puede requerir bastante tiempo, dado que los equipos aéreos pueden dañarse fácilmente en este proceso. Naturalmente, los operadores aeroportuarios darán prioridad para mover dichas estructuras tan rápido como sea posible, con objeto de que el aeropuerto regrese a su operación normal. Para la aerolínea y su empresa aseguradora, el principal objetivo será evitar daños secundarios a la aeronave.

Aun cuando la recuperación es un proceso “simple”, que puede consistir, por ejemplo, en desenterrar un tren de aterrizaje (lo que implica un uso intensivo de herramientas especializadas), la construcción de accesos temporales, o levantar una aeronave y moverla a una ubicación segura. Los equipos y elementos básicos necesarios en tales situaciones son: sistemas de bolsas de levantamiento, cubiertas para caminos temporales, dispositivos de sujeción con movimiento restringido y correas.

Sin embargo, los retos para la recuperación de las grandes aeronaves modernas han forzado a muchas organizaciones a revisar en detalle sus procedimientos actuales, y las herramientas requeridas.

La Parte 5, del Manual de Servicios de Aeropuertos (ASM), de la OACI, señala que el operador de la aeronave accidentada es el responsable de su remoción a tiempo; sin embargo, más adelante recomienda que el aeropuerto establezca un plan para abordar los eventos de recuperación. La recuperación de una estructura dañada no es un asunto de responsabilidad, sino de intereses compartidos. Cuando se analizan los efectos de una aeronave accidentada, se puede asegurar que tanto la aerolínea involucrada, como el administrador aeroportuario, están interesados en realizar la recuperación de la misma a tiempo y en forma segura.

Dependiendo de cada situación y de los recursos disponibles, puede tomar poco tiempo (de cuatro a ocho o horas) remover una aeronave dañada; sin embargo, en muchos casos se pueden requerir varios días o incluso semanas. Aunque es difícil calcular el costo exacto que puede perder un aeropuerto (debido a las diferentes circunstancias), el valor promedio de pérdida por minuto es de 3 mil dólares. Por ello, cuando se establecen los requerimientos de los equipos de recuperación, se debe determinar la facilidad con la que éstos pueden ser desplegados, instalados y utilizados.

Las preguntas que se deben responder son: ¿qué tan bien se está preparado?, y ¿cuánto dinero se debe invertir para tener la capacidad de recuperación de las aeronaves accidentadas? Idealmente se debería considerar inversión suficiente para confrontar cada escenario; no obstante, esto es muy costoso y difícil de alcanzar. Generalmente, los aeropuertos invierten cantidades significativas en los programas de rescate y extinción de incendios, debido a que son un requerimiento normativo. De la misma forma, se debería dar prioridad a la recuperación de las aeronaves dañadas. Se ha estimado que un aeropuerto puede prepararse adecuadamente, para la mayoría de los escenarios, con aproximadamente 3 a 4.5 millones de dólares en promedio.

Los fabricantes aeronáuticos publican en el Manual de Recuperación de Aeronaves (ARM), todos los detalles técnicos y la información de procedimientos necesarios para la recuperación de cada tipo de aeronave en particular.

La última revisión de la Parte 5, del Manual de Servicios de Aeropuertos de la OACI, ahora ofrece información valiosa para ayudar a las terminales aéreas a confrontar los incidentes de aeronaves dañadas. Algunos piensan que este documento es obligatorio legalmente, sin embargo, éste no es el caso, puesto que solamente establece recomendaciones, guías e ideas de cómo un aeropuerto puede prepararse para las operaciones de recuperación. Lo cual suele ser de gran ayuda, especialmente cuando se trata de estructuras de grandes dimensiones.

La *Aircraft Recovery Taskforce* (ARF) de la IATA, es la organización profesional más importante para la recuperación de aeronaves; está constituida por un grupo de expertos provenientes de aeropuertos, aerolíneas, fabricantes de aviones y de herramientas de equipos de recuperación, y especialistas. Su objetivo es mejorar los procedimientos de recuperación, crear una red de plataformas para compartir experiencias de incidentes, y promover el desarrollo de tecnologías nuevas de recuperación de aeronaves.

La mejor forma de preparar la recuperación de una aeronave, es mediante un equipo de planeación, definiendo los riesgos potenciales y aumentando la concientización en el nivel administrativo superior.

Mediante evidencia se debe mostrar la ventaja económica de estar preparado, equipado y entrenado adecuadamente, para esas situaciones. Se debe recordar que una pista cerrada, aun por un periodo corto, suele originar pérdidas millonarias. En muchos casos, un aeropuerto o aerolínea pueden obtener una recuperación inmediata de sus inversiones si son capaces de remover rápida y seguramente, una aeronave dañada de la pista.

Cuando se considera la compra de equipos para la recuperación de aviones, no hay regulaciones o procedimientos estándar, ni niveles o frecuencias de entrenamiento para el personal responsable de dichas operaciones. La Parte 5, del ASM de la OACI, no recomienda ningún tipo de equipo; tampoco lo hace cualquier otra organización, como la IATA. La mejor guía es el Manual de Recuperación de Aeronaves del fabricante, sin embargo, aun éste podría no reflejar los últimos desarrollos en herramientas y/o procedimientos.

8.2.1 Equipos para la recuperación de aeronaves

Sistemas de bolsas de aire

Uno de los sistemas comunes para la recuperación de aeronaves son las bolsas de aire, con capacidades desde 12 hasta 26 toneladas para el levantamiento de aeronaves con áreas reducidas de apoyo; sin embargo, las más adecuadas para la mayoría de los escenarios son de 30 a 40 toneladas. Desde luego, existen

sistemas de bolsas con otras capacidades y tamaños, fabricadas para aeronaves específicas.

Normalmente, la presión de trabajo para su operación es de 7.5 libras/pulgada². Las bolsas de aire son de neopreno tejido, recubierto con tela reforzada; su manufactura cumple con especificaciones estrictas, que mantienen la calidad y durabilidad durante su operación, junto con una elevada vida de trabajo.



Figura 8.7

Sistema de bolsas de aire

Fuente: <http://www.aircraft-recovery.co.uk/Airbags.htm>

Para levantar una aeronave se pueden requerir varios elementos individuales de bolsas de aire; regularmente, cada uno tiene una altura máxima de levantamiento de aproximadamente 20 centímetros; por tanto, para levantar una aeronave 3 metros, se requerirán 15 elementos individuales, colocados uno sobre otro. Cabe señalar que cada uno se infla individualmente, dando al operador un control completo de la altura de levantamiento y de la rigidez de los elementos.

Sistemas de levantamiento de fuselajes

Aunque pueden ocurrir incidentes mayores, tales como fallas en el tren de aterrizaje principal, estos son muy raros. Las evaluaciones de los riesgos aeroportuarios señalan que incidentes menores, por ejemplo, colapsos del tren de aterrizaje de nariz, son más frecuentes.

Una falla de tren de nariz, aunque se considera falla menor, podría tener efectos catastróficos para las operaciones aeroportuarias si se cierra la pista donde se presentó el daño. El costo de este cierre podría ser de varios millones de dólares; por lo cual es conveniente contar con los sistemas adecuados para mover estas aeronaves, sin dañarlas más y sin afectar a la infraestructura físicamente o a su operación. Desde luego, la recuperación de aviones de gran tamaño y peso es más problemática (por ejemplo, del *Airbus A380*, y otras de fuselaje ancho), sin embargo, ya existen los equipos adecuados para ello.

Un ejemplo, son los sistemas de viga de levantamiento modular, que incluyen todas las correas y grilletes necesarios para recuperar una amplia variedad de

aeronaves, con tamaños distintos de circunferencia en su fuselaje. Estos sistemas modulares son ligeros, fáciles de usar y ofrecen longitudes diferentes de viga.



Figura 8.8

Sistema de viga de levantamiento utilizado en una aeronave Boeing 747

Fuente: <http://www.aircraft-recovery.co.uk/Airbags.htm>

La longitud mínima de la viga es de 1.5 metros, con capacidad de carga de 30 toneladas; su longitud máxima es de 7 metros, también con una capacidad máxima de 30 toneladas. Dado que es un sistema modular, la longitud de la viga es ajustable (entre 1.5 y 7 metros), al insertar o remover secciones intermedias, con valores de ajuste de 0.5 metros.

Cubiertas para caminos temporales

Muchos incidentes de recuperación de aeronaves involucran situaciones fuera de las pistas, usualmente sobre terrenos blandos; por lo anterior, podría ser necesario proveer un camino temporal para el acceso de los equipos, y/o para el paso de la aeronave dañada.

Además, previo al inicio de las operaciones de recuperación de una aeronave, ésta puede requerir que sea vaciado su combustible, y que su carga sea removida, de acuerdo con lo que señala el manual de recuperación del fabricante. Sin embargo, el diseño de los vehículos requeridos para la tarea no considera que éstos podrían operar en terrenos blandos e irregulares, por lo que se requiere una superficie que los soporte firmemente durante su operación.

Existen distintos tipos de cubiertas diseñadas especialmente para usarse en superficies blandas. Por ejemplo, hay paneles fabricados de secciones interconectables entre sí, y que se aseguran mediante pernos de acero. Estas cubiertas semirrígidas permiten el movimiento de cargas, como si se estuviera sobre una superficie no fangosa. Estos paneles no requieren mantenimiento y pueden ser ensamblados *in situ*, sin necesidad de equipos y herramientas especializadas; sólo se requiere un entrenamiento mínimo para armarlos.

Los paneles pueden tener dos texturas; en un lado, una superficie áspera para ofrecer máxima tracción en vehículos pesados; y en la otra cara se tiene menos

rugosidad, para vehículos ligeros y personas. Los paneles pueden instalarse en cualquiera de estas posiciones.



Figura 8.9

Cubiertas para caminos temporales

Fuente: <http://www.aircraft-recovery.co.uk/Airbags.htm>

Algunos paneles se fabrican con materiales sintéticos y en longitudes distintas, por ejemplo, de 2 x 1 m, ó 3 x 1 m; aunque pueden ser contruidos de acuerdo con los requerimientos específicos de cada cliente. Son fáciles de ensamblar y pueden cumplir cualquier requerimiento de distancia a cubrir.



Figura 8.10

Cubiertas para caminos temporales

Fuente: <http://www.aircraft-recovery.co.uk/Airbags.htm>

Sistemas de transporte de aeronaves

Debido al incremento del número de aeronaves con falla en su tren de aterrizaje, se han desarrollado sistemas de transporte para ayudar a la remoción rápida del lugar del accidente.

Existen transportes de diversas capacidades, por ejemplo, de 40 toneladas y con un área de carga de 4.5 x 2.3 m, con el cual es factible utilizar un sistema de bolsas de aire estándar, con capacidades de 30 ó 40 toneladas, independientemente del tipo de fabricante, lo que permite una integración con cualquier sistema de recuperación en uso.

Comúnmente, los transportes empleados están diseñados para operar en pistas; no obstante, la aeronave podría llegar a una superficie no adecuada para la operación de vehículos con ruedas; por lo que en este caso se utiliza un sistema transportador tipo trineo. Una vez que la aeronave llega a una superficie firme y adecuada, ésta se retira del trineo y se instala sobre un transporte con ruedas.

Estos sistemas de transporte se han diseñado para proveer condiciones de flexibilidad y facilidad de operación, incorporando las siguientes características:

- Posibilidad de modificar la dirección de arrastre durante la operación.
- Altura de inserción baja.
- Capacidad de operación en superficies blandas o firmes.
- Compatibilidad con todo tipo de bolsas de aire estándar.
- Posibilidad de arrastre desde cualquier posición.
- Aseguramiento direccional de las ruedas para un movimiento en línea recta.
- Costos iniciales bajos, y mantenimiento mínimo¹⁴⁴.



Figura 8.11

Sistema de transporte de aeronaves

Fuente: <http://www.aircraft-recovery.co.uk/Airbags.htm>

¹⁴⁴ Fuente: <http://www.aircraft-recovery.co.uk>.

9 Conclusiones y recomendaciones

Sin duda, una forma de mejorar los sistemas de transporte es mediante la aplicación de innovaciones tecnológicas; en este documento se presenta un compendio de las principales en el ámbito mundial, que podrían aplicarse en los aeropuertos mexicanos.

Los elementos tecnológicos detectados abarcan seis áreas de la actividad aeroportuaria:

1. Procesamiento de pasajeros (documentación, sistemas automatizados de inmigración y manejo de equipaje);
2. Servicios a los pasajeros (sistemas de información de vuelos y estacionamientos; cabinas para fumadores; y sistemas de transporte rápido);
3. Seguridad operacional (detección de incursiones en pistas; reducción del peligro de las aves; tratamiento antipatinaje en pistas; sistemas de detención de aeronaves; estructuras frangibles; nuevo sistema de aterrizaje por instrumentos; y sistema de administración de los vórtices de las aeronaves);
4. Seguridad contra actos ilícitos (aplicada a los pasajeros, equipajes y a los empleados del aeropuerto);
5. Mejor aprovechamiento de la energía y protección del ambiente (aplicación de energías renovables, combustibles alternos y protección contra el ruido); y
6. Servicios para aeronaves (túneles con tomas retráctiles para plataformas y sistemas de recuperación de aeronaves).

Un área importante de innovaciones tecnológicas se ha enfocado al procesamiento de pasajeros. Mediante los kioscos de autoservicio se podrá conseguir mayor cobertura para su procesamiento, incluso, fuera del aeropuerto. Por otro lado, el manejo de equipaje será más eficiente y rápido mediante el empleo de vehículos de destino codificado, y con la aplicación de tecnologías de identificación por radiofrecuencia. Los sistemas automatizados de inmigración harán que la mayoría de los pasajeros sean procesados automáticamente y en poco tiempo, mientras que el procesamiento manual será reservado para casos excepcionales.

Si los procesos para los usuarios del aeropuerto son simples, eficientes y cómodos, a tal grado, que los pasajeros pueden predecir pequeños tiempos de tránsito entre la entrada al aeropuerto y la puerta de abordaje de su avión, los viajes aéreos tendrán mayor demanda.

Con el incremento de los tránsitos aéreos, pronosticados para los siguientes años, y con el incremento del uso del boleto electrónico, los kioscos de autoservicio ayudarán a los aeropuertos a alcanzar tres objetivos: 1) Hacer que los viajeros se sientan cómodos y relajados; 2) Acelerar el proceso de documentación; y 3) Optimizar la administración de su personal en las salas de abordaje.

En la práctica, dentro de los aeropuertos en donde se ha adoptado recientemente esta tecnología, los administradores aeroportuarios recuperan las inversiones mediante la renta de kioscos a las aerolíneas, las cuales a su vez obtienen ahorros importantes, y los pasajeros se benefician con menores tiempos de procesamiento, de hasta un 50%.

El incremento del número de pasajeros en los aeropuertos ha reducido su eficiencia al saturar su capacidad; aunque esto afecta a varios de sus subsistemas, en particular en el de manejo de equipaje, ha ocasionado un incremento en la pérdida de los mismos. Este es un problema mundial con proporciones alarmantes. Afortunadamente, existen dos tecnologías nuevas que pueden generar una mejora significativa en los sistemas de manejo de equipaje; la primera, se relaciona con el procesamiento del equipaje mediante vehículos de destino codificado (DCV); y la segunda, con la identificación más ágil y precisa del equipaje por radiofrecuencia (RFID).

En general, los beneficios principales de los vehículos de destino codificado abarcan cinco áreas: 1) Su desempeño (reducen los tiempos de tránsito del equipaje); 2) Su disponibilidad (la falla de un vehículo no afecta el desempeño del sistema); 3) Seguridad (debido a que existe una asociación única entre una maleta y un vehículo); 4) Adaptabilidad (es posible incorporar vehículos adicionales para incrementar la capacidad del sistema; además, la trayectoria de la vía puede modificarse fácilmente); 5) Bajo costo operativo (sus costos de mantenimiento son bajos, y el consumo de energía es mínimo).

Los aeropuertos líderes en la adopción del modelo híbrido que utiliza el código de barras, y la identificación por radiofrecuencia para el manejo de equipaje, además de estar ahorrando dinero y tiempo, están incrementando la satisfacción de los usuarios.

El reto más grande para los sistemas automatizados de inmigración consiste en evitar que más de una persona entre a los pasillos de verificación. Afortunadamente, ya se ha trabajado bastante para resolver el problema mediante la combinación de diferentes tecnologías avanzadas, como por ejemplo, cámaras de procesamiento de imágenes.

Debido a que la operación de las tecnologías biométricas ha sido bastante exitosa es probable que en el futuro cercano, el control automatizado de inmigración sea la norma para pasajeros frecuentes.

Adicionalmente al procesamiento de pasajeros, existe un conjunto de nuevas tecnologías enfocadas a ofrecer servicios complementarios a los pasajeros, dentro de las cuales destacan los nuevos sistemas de información de vuelo; que a diferencia de los actuales, ofrecen variantes con mayor flexibilidad. Otro servicio importante es el relacionado con el desarrollo de sistemas avanzados de información para estacionamientos, mediante los cuales los usuarios son orientados hacia instalaciones con espacios disponibles. Con las actuales

restricciones que prohíben fumar dentro de las instalaciones aeroportuarias, el desarrollo de cabinas especiales para fumadores brinda mayor comodidad y menos estrés para estos usuarios, sin afectar la salud y comodidad de los no fumadores. Nuevas formas de transporte dentro de la terminal aérea pueden brindar mayor comodidad, rapidez e incluso ahorro de energía; tal es el caso de los nuevos sistemas de transporte rápido.

Cabe señalar que en general, estos servicios además de brindar efectividad y comodidad a los usuarios, pueden incrementar los ingresos económicos del aeropuerto, ya sea mediante el pago del servicio en sí (uso de estacionamientos o de las cabinas para fumadores), o por la publicidad que pueden desplegar en pantallas y monitores (en los sistemas de información de vuelo, o en las cabinas para fumadores).

Los sistemas avanzados de información de estacionamientos, además de beneficiar a los usuarios y a la operación general de los mismos, tienen el potencial para mejorar el servicio de los accesos y la circulación alrededor del aeropuerto, lo cual implica menores tiempos de traslado para los usuarios y menor contaminación ambiental.

En el campo de la seguridad operacional, las innovaciones tecnológicas brindarán mayor apoyo; por ejemplo, mediante la detección de incursiones no autorizadas y de objetos peligrosos en las pistas, con el uso de rayos láser. También pueden incluirse aplicaciones sonoras o de rayo láser que reducirán o eliminarán el peligro que representan las aves en o cerca de los aeropuertos. Otros desarrollos importantes son los sistemas para detener a las aeronaves fuera de control en las pistas, y los tratamientos antipatinaje. De igual forma, la utilización de estructuras frangibles y masa mínima dentro de las instalaciones aeroportuarias; el desarrollo de nuevos sistemas de aterrizaje por instrumentos; y los sistemas de administración de las estelas de aeronaves, brindarán mayor seguridad.

El problema de las incursiones en pistas se ha identificado por la OACI, como una amenaza seria para la seguridad aérea, por lo que la nueva tecnología que emplea rayos láser para prevenirlas, es una alternativa que ya puede ser utilizada.

El sistema administrador de seguridad de las estelas de aeronaves (AWSM), tiene el potencial para disminuir los patrones de separación entre aeronaves; con lo cual a su vez se incrementa la capacidad de las pistas; esto es particularmente útil en terminales con gran actividad aérea; tal es el caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Como se trata de un sistema en desarrollo, sus diseñadores están buscando patrocinadores en aeropuertos internacionales para realizar la fase siguiente del sistema, en la cual no sólo se incluye al aeropuerto, sino también a toda su área terminal.

La seguridad contra actos ilícitos es otra área que se beneficiará con la aplicación de innovaciones en la tecnología; en particular las tecnologías biométricas de iris, huella dactilar y reconocimiento facial ayudarán a mejorar el acceso controlado de

los empleados aeroportuarios. Equipos nuevos llevarán a cabo de una forma más eficiente, la detección de armas, sustancias peligrosas y narcóticos; en algunos de los desarrollos nuevos, incluso sin la aplicación de radiaciones nocivas, como son los rayos X. Además, el empleo de cámaras de imagen térmica brindará mayor seguridad a la vigilancia nocturna de los espacios enormes utilizados por la infraestructura aeroportuaria.

Mediante los kioscos avanzados de seguridad y los detectores de líquidos peligrosos, los pasajeros tendrán mayor comodidad y serán revisados más rápidamente, siendo innecesario que tengan que quitarse sus zapatos, e incluso se les permitirá nuevamente transportar líquidos no peligrosos en sus equipajes de mano.

La tecnología que capta los rayos T, para detectar bajo la ropa objetos peligrosos es realmente revolucionaria, dado que tiene varias ventajas: la inspección se realiza a distancia (hasta de 25 metros); no utiliza radiaciones nocivas; no revela detalles anatómicos; puede usarse en interiores o exteriores; también en personas quietas o en movimiento; y no perturba los flujos de los pasajeros y usuarios de las instalaciones.

La aplicación de cámaras de imagen térmica es una tecnología complementaria de vigilancia; se recomienda en aquellos aeropuertos con grandes extensiones vulnerables, y que tienen poca o ninguna iluminación.

Los aspectos ambientales y el mejor aprovechamiento de la energía son desde luego áreas importantes, en donde las tecnologías nuevas tendrán un impacto significativo; desde la utilización de energía solar, hasta la energía eólica, que ya se están empleando en algunas de las terminales aeroportuarias nuevas. Además, los sistemas de iluminación modernos tendrán como características: requerimientos de energía bajos; vida de servicio elevada en sus componentes; mantenimiento fácil y poco costoso. En cuanto al ruido, que ha sido un problema asociado tradicionalmente con los aeropuertos, se han desarrollado recintos para pruebas de motores, que prometen ser una tecnología que hará desaparecer este problema, cuando menos para las aeronaves en tierra. En cuanto a la reducción de emisiones contaminantes, las terminales líderes han estado extendiendo el uso en sus instalaciones y vehículos en tierra de biocombustibles, celdas de hidrógeno, gas licuado de petróleo, y gas natural.

En relación con la energía eólica, es importante señalar que aún se está determinando su conveniencia para las instalaciones aeroportuarias; además, su potencial es muy variable, dependiendo de la ubicación de cada lugar. En cambio, la energía solar ofrece una gran potencial en todo el país, y su aplicación en los aeropuertos ya ha sido demostrada; es más no genera gases contaminantes y tiene la ventaja de producir ahorros significativos en términos económicos al reducir el consumo de energía eléctrica comercial. Su aplicación es muy versátil, ya que es una fuente de electricidad (mediante paneles solares), calor y luz.

Entre los grandes mercados en donde el gas licuado de petróleo (GLP) no había sido utilizado, se tiene el caso de los aeropuertos; los cuales son cada vez más presionados para reducir las emisiones contaminantes, particularmente aquellos ubicados en grandes áreas metropolitanas, donde las contingencias ambientales son un problema; otra alternativa es el gas natural comprimido (GNC). Una de las instalaciones en la que sin duda es recomendable su empleo, es en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

Otro de los rubros importantes en donde la tecnología ha desarrollado nuevas opciones, es en relación con los servicios que el aeropuerto brinda a las aeronaves; en este caso, hay dos importantes innovaciones; la primera, es el sistema de túneles con tomas retráctiles en las plataformas, mediante el cual se puede ofrecer servicio de aire acondicionado, agua y recolección de aguas residuales de los sanitarios, sin comprometer la seguridad de las aeronaves, dado que este sistema se puede ocultar al nivel de la plataforma cuando no esta en operación. Ese desarrollo es recomendable en particular para las nuevas aeronaves de mayores dimensiones. El otro desarrollo importante es el de los sistemas de recuperación de aeronaves, que a menudo es dejado dentro de los últimos servicios ofrecidos, pero que puede ser crítico para la operación de un aeropuerto.

10 Referencias bibliográficas

Airports International – Magazine. Varios números. *United Kingdom.*

Autogas Updates. (2008). *Global Autogas Industry Network.* No. 29 Summer 2008. *France.*

Bautista Kuri, Antonio. 2008. *Gestión del ruido.* Segundo Diplomado en Planeación Interdisciplinaria, Urbano–ambiental para Aeropuertos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Burdette, Debra A. (1999). *An Investigation of Advanced Parking Information Systems at Airports.* *Compendium: Graduate Student Papers on Advanced Surface Transportation Systems.* Southwest Region University Transportation Center. USA.

Cuadrado, José Enrique. (2008). *Presentación: Ciudad - Aeropuerto.* Segundo Diplomado Interdisciplinario Urbano-ambiental para Aeropuertos. ASA – UNAM. México.

De Neufville, Richard and Odoni, Amadeo R. (2003). *Airport Systems. Planning, Design, and Management.* McGraw-Hill. USA.

Edwards, Brian. (2005). *The Modern Airport Terminal.* *Second Edition.* Spon Press. Great Britain.

Flight Safety Technologies. (2004). SOCRATES *Wake Vortex Detection and Tracking: A Technical Status Report.* USA.

Herrera García, Alfonso. (2000). *Elementos para el análisis de la seguridad en el transporte aéreo comercial en México.* Publicación Técnica No. 152. Instituto Mexicano del Transporte. México.

ICAO Journal – Magazine. Varios números. *Canada.*

Kazda, Antonín and Caves, Robert E. (2000). *Airport Design and Operation.* Pergamon. Netherland.

Niño Sulkowska Martha. (2008). *Presentación: Aeropuertos, impactos ambientales, y espacio local.* Segundo Diplomado Internacional. ASA – UNAM. Planeación Interdisciplinaria Urbano-ambiental para Aeropuertos. México.

Polydoropoulou, A. and M. Ben-Akiva. (1998). *The Effect of Advanced Traveler Information Systems (ATIS) on Travelers Behavior.* 77th Annual Transportation Research Board Meeting. Washington, DC, USA.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2006). Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012. México.

Shiaung-Lung Yin and Wen-Hsien Lee Brian. (2007). The Effectiveness of the Radio Frequency Identification System used for Check-in Baggage at Hong Kong International Airport. Department of Air Transportation, Kainan University. Taiwan.

US Department of Transportation. (2008). Transportation Vision for 2030. USA.

<http://biz.yahoo.com/iw/071008/0312214.html>

<http://en.wikipedia.org/>

<http://es.wikipedia.org/>

<http://news.bbc.co.uk>

<http://www.aircraft-recovery.co.uk/>

<http://www.alstec.com>

<http://www.alstef.com>

<http://www.apsgermany.de/>

<http://www.arinc.com>

<http://www.atsltd.co.uk>

<http://www.catsa-acsta.gc.ca/english/media>.

<http://www.cavotec.com/corporate/flash/english/>

<http://www.comnet-fids.com/eclipsx.asp>

<http://www.consejeria.df.gob.mx/gaceta/>

<http://www.digitalpersona.com>

<http://www.esco.zodiac.com>

<http://www.eurasia.flir.com/security/products>

<http://www.euromate.com>

<http://www.exelcomposites.net>

<http://www.flyclear.com>

<http://www.forms-surfaces.com/>

<http://www.gesecurity.com>

<http://www.iata.org>

<http://www.ier.fr>

<http://www.lqiris.com/ps/inaction/raic.htm>

<http://www.loganteleflex.com>

<http://www.lucom.nl/smokengo/es/smng01.html>

<http://www.monodraught.com/>

<http://www.optosecurity.com/en/optoscreener.php>.

http://www.portseattle.org/downloads/about/commission/20060808_8a_MEM.pdf

<http://www.possehl-spezialbau.de/uk>

<http://www.rfidsupplychain.com>

<http://www.runwaytechnologies.com>

<http://www.sagem-securite.com>

<http://www.scarecrowbio-acoustic.co.uk/ultima.htm>

<http://www.sice.com/>

<http://www.smithsdetection.com>

<http://www.solarairportlights.com>

<http://www.southwestrda.org.uk/>

<http://www.techcrunch.com>

<http://www.thruvision.com/>

<http://www.tom500.eu/tom500gb.html>

<http://www.trackjet.de/englisch/index.html>

<http://www.tsa.gov/approach/rt/index.shtm>

<http://www.vanderlande.com>

www.flysafatech.com

**CIUDAD DE MÉXICO**

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx