

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN
DE UN NUEVO SISTEMA DE PUSH-BACK EN EL
AEROPUERTO DE BARAJAS**

Memoria del Trabajo Fin de Grado
Gestión Aeronáutica
Realizado por Ferran Martí Soler
Y dirigido por Mercedes E. Narciso
Sabadell, 9 de Julio de 2015

La abajo firmante, Mercedes E. Narciso
Profesora de la Escuela de Ingeniería de la UAB,

CERTIFICA:

Que el Trabajo al que corresponde esta memoria ha sido realizado
bajo su dirección por Ferran Martí Soler

Y para que conste firma la presente.

Firmado:

Sabadell, 9 de Julio de 2015

FULL DE RESUM – TREBALL FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball Fi de Grau:	
Estudi de viabilitat per la implantació d'un nou sistema de push-back a l'aeroport de Barajas.	
Estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema de push-back en el aeropuerto de Barajas.	
Study of feasibility for the implementation of a new push-back system at the airport of Barajas.	
Autor: Ferran Martí Soler	Data: 9 Julio de 2015
Tutora: Mercedes E. Narciso Farias	
Titulació: Gestió Aeronàutica	
Paraules clau (mínim 3)	
<ul style="list-style-type: none">• Català: Estudi de viabilitat, Push-back, Rodatge, Unitat Auxiliar de Potència• Castellà: Estudio de viabilidad, Push-back, Rodaje, Unidad Auxiliar de Potencia• Anglès: Study of feasibility, Push-back, Taxing, Auxiliar Power Unit	
Resum del Treball Fi de Grau (extensió màxima 100 paraules)	
<ul style="list-style-type: none">• Català: En el present treball es realitza l'estudi de viabilitat per a la implantació d'un nou sistema de push-back a l'aeroport de Barajas. Amb aquest nou sistema push-back, les aeronaus serien remolcades des de plataforma fins a peu de pista i a l'inversa durant l'horari nocturn, amb l'objectiu de disminuir costos en carburant i la reducció d'emissions contaminants. El treball presenta un anàlisi dels diferents aspectes tècnics, operacionals, legals i econòmics, amb la finalitat de determinar la viabilitat d'aquest nou sistema de rodatge.• Castellà: En el presente trabajo se realiza el estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema de push-back en el aeropuerto de Barajas. Con este nuevo sistema push-back, las aeronaves serían remolcadas desde plataforma hasta pie de pista y viceversa durante el horario nocturno, con el objetivo de disminuir costes en carburante y la reducción de emisiones contaminantes. El trabajo presenta un análisis de los diferentes aspectos técnicos, operacionales, legales y económicos, con el fin de determinar la viabilidad de este nuevo sistema de rodaje.• Anglès: In this paper performs the study of feasibility for the implementation of a new push-back system at the airport of Barajas. With this new push-back system, the aircraft would be towed from platform to the runway and back foot during the night time, with the aim of reducing fuel costs and reducing emissions. The paper introduces an analysis of the different technical, operational, legal and economic aspects, with the aim to determine the feasibility of this new taxing system.	

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS	13
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Objetivos	17
1.2. Origen y motivación	17
1.3. Contenido de la memoria.....	17
2. ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL TFG	19
2.1. Situación actual	19
2.2. Situación a desarrollar.....	19
2.3. Objetivos	20
2.4. Usuarios.....	20
2.5. Metodología de desarrollo del TFG.....	20
2.6. Recursos	22
2.7. Planificación	23
2.8. Costos	24
2.9. Riesgos.....	25
2.10. Alternativas	25
2.11. Conclusiones	26
3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE	27
3.1. Estudio del sistema de rodadura actual.....	27
3.1.1. Maniobra de push-back.....	27
3.1.2. Maniobra de rodadura	30
3.2. Estudios medioambientales del aeropuerto	32
3.2.1. Contaminación acústica	33
3.2.2. Contaminación ambiental	34
3.2.3. Proyección de futuro.....	35
3.3. Aeropuertos con el sistema de rodadura planteado actualmente en uso	36
3.4. Conclusiones del estudio del estado del arte	37
4. VIABILIDAD TÉCNICA	39
4.1. Vehículos push-back.....	40
4.1.1 Remolcadores convencionales vs towbarless	40
4.1.2. Mecánica de los vehículos TBL para el nuevo sistema de rodadura	43

4.1.3. Elección del modelo push-back para el nuevo sistema de rodadura.....	45
4.2. La Unidad Auxiliar de Potencia (APU)	50
4.2.1 La APU en los aviones.....	50
4.2.2. Fuentes de energía en tierra, las GPU.....	51
4.2.3. Fuel Cells (células de combustible)	54
4.3. Personal requerido.....	58
4.3.1. El Permiso de Conducción en Plataforma (PCP).....	58
4.4. Infraestructuras requeridas	59
4.5. Conclusiones del estudio de la viabilidad técnica.....	60
5. VIABILIDAD LEGAL	63
5.1. Procedimientos generales de rodaje	63
5.1.1 Movimiento en superficie	64
5.1.2. Puesta en marcha de motores/turbinas	67
5.2. Restricciones nocturnas por cuota de ruido	67
5.2.1. Clasificación de aeronaves por Cuota de Ruido (CR)	68
5.2.2. Excepciones	69
5.2.3. Configuraciones preferentes.....	69
5.3. Permisos para el uso de los nuevos vehículos push-back y GPU's.....	70
5.3.1. Vehículos LEKTRO.....	71
5.3.2. Uso de los Fuel Cells como GPU	72
5.4. Conclusiones del estudio de la viabilidad legal.....	73
6. VIABILIDAD OPERACIONAL.....	75
6.1. Maniobras del nuevo sistema de rodadura	75
6.1.1. Maniobra para el despegue	76
6.1.2. Maniobra para el estacionamiento	77
6.2. Instrucciones técnicas sobre protocolos y seguridad operacional	78
6.3. Rutas de rodaje	82
6.3.1. Circulando por plataforma sin remolcar aeronave	83
6.3.2. Circulando por las calles de rodaje	83
6.4. Mantenimiento	89
6.4.1. Mantenimiento LEKTRO	89
6.4.2. Mantenimiento de las Fuel Cells	90
6.4.3. Propuesta modo de carga de las Fuel Cells en el LEKTRO.....	91
6.5. Cálculo de recursos técnicos necesarios.....	92

6.7. Conclusiones del estudio de la viabilidad operacional	93
7. VIABILIDAD ECONÓMICA	95
7.1. Inversión.....	95
7.2. Costos.....	96
7.3. Gastos.....	98
7.3.1. Amortizaciones.....	99
7.4. Cálculo de la tasa del nuevo sistema de rodadura.....	99
7.4.1. Precio de venta de la tasa y beneficios	100
7.5. Costos en queroseno de las aeronaves.....	101
7.5.1. Comparación costos queroseno vs nuevo sistema	101
7.6. Conclusiones del estudio de viabilidad económica.....	102
8. CONCLUSIONES	105
8.1. Desviaciones de la Planificación.....	107
8.2. Ampliaciones y mejoras	108
REFERENCIAS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Planificación del TFG.....	23
Tabla 2.2 Costes realización del TFG	24
Tabla 4.1 Lista de aprobaciones OEM	47
Tabla 4.2 Características técnicas del LEKTRO AP8950SDB-AL-200.....	48
Tabla 4.3 Características técnicas de la célula de combustibe TVH-1280, 80V	59
Tabla 5.1 Clasificación de las aeronaves según ruido	70
Tabla 6.1 Media de vuelos nocturnos según modelo en Barajas.....	94
Tabla 7.1 Inversión inicial.....	97
Tabla 7.2 Costos mensuales	99
Tabla 7.3 Gastos mensuales.....	100
Tabla 7.4 Cálculo amortización	101
Tabla 7.5 Gastos mensuales con amortizaciones.....	101
Tabla 7.6 Explotación unitaria.....	102
Tabla 7.7 Precio galón queroseno	103
Tabla 7.8 Estimaciones de ahorros y beneficios anuales.....	104
Tabla 8.1 Duración real del TFG	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Pautas a seguir en el estudio del estado del arte.....	27
Figura 3.2 Bypass pin.....	28
Figura 3.3 Configuración de estacionamiento sin push-back	29
Figura 3.4 Tractor push-back convencional	29
Figura 3.5 Tractor push-back <i>towbarless</i>	30
Figura 3.6 Calle de rodadura	31
Figura 3.7 Panel luminoso	31
Figura 3.8 Carta aeronáutica Madrid Barajas.....	31
Figura 3.9 Vehículo <i>Followme</i>	32
Figura 3.10 Antes y después de la introducción PRNAV	33
Figura 3.11 Taxibot en fase de pruebas	36
Figura 4.1 Recursos técnicos para el nuevo sistema de push-back.	39
Figura 4.2 Generador APU de un Boeing 737	40
Figura 4.3 Piezas de acople para la barra <i>towbar</i> en un vehículo convencional	40
Figura 4.4 Vehículo push-back convencional en configuración para tirar de la aeronave	41
Figura 4.5 Representación gráfica del movimiento pendular entre aeronave y push-back.....	42
Figura 4.6 Diferentes tipologías de <i>towbars</i> para varios modelos de aviones	42
Figura 4.7 Vehículo LEKTREO AP8950SDB-AL-200	48
Figura 4.8 Medidas vehículo LEKTRO AP8950SDB-AL-200.....	49
Figura 4.9 Tubo de escape de la APU de un Airbus 380.....	50
Figura 4.10 Vehículo GPU.....	52
Figura 4.11 Esquema funcionamiento GPU fija	52
Figura 4.12 Sistema GPU fifo de Zurich.....	52
Figura 4.13 Unidad GPU para vehículos TBL	53

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL
AEROPUERTO DE BARAJAS**

Ferran Martí Soler

Figura 4.14 Fuel Cell TVH-1280, 80V	57
Figura 4.15 Ficha de solicitud o modificación para el certificado PCP	59
Figura 4.16 Ubicación zonas de cargado de baterías y mantenimiento	60
Figura 5.1 Normativas y restricciones legales a seguir.	63
Figura 5.2 Mapa con los países usuarios de vehículos LEKTRO	73
Figura 5.3 Rampas 5 y 6 del aeropuerto de Barajas.....	74
Figura 6.1 Operaciones del nuevo sistema de rodadura	77
Figura 6.2 Esquema de las áreas de un aeropuerto.....	78
Figura 6.3 Ejemplo de punto de espera post-aterrizaje.....	80
Figura 6.4 Diagrama de calles de rodaje para salidas en configuración norte	88
Figura 6.5 Diagrama de calles de rodaje para llegadas en configuración norte	89
Figura 6.6 Diagrama de calles de rodaje para salidas en configuración sur	90
Figura 6.7 Diagrama de calles de rodaje para llegadas en configuración sur	91
Figura 6.8 Grúa suspendida de dos vigas KBK DEMAG	92
Figura 6.9 Esquema soporte Fuel Cells	93
Figura 7.1 Cálculos económicos	97

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la crisis económica mundial del 2008, el sector aeronáutico presenció un notable estancamiento en su, para entonces, tendencia a la alza de la demanda de transporte, y por tanto un descenso del volumen de mercancías y pasajeros transportados en los dos primeros años de crisis [1]. Al mismo tiempo, la reducción de beneficios empresariales y el rápido deterioro de las finanzas obligaron a los integrantes de la cadena de valor del sector a reducir costes.

A pesar de este estancamiento, en los próximos años se espera que el número de pasajeros que usen el avión como medio de transporte aumente, lo que se traduciría en un mayor número de vuelos.

Por otro lado, están los problemas asociados a los costes de carburantes. En estos últimos años el precio del *crudo*¹ ha sufrido una subida espectacular, aumentando así los costes de las aerolíneas, y que inevitablemente repercutirá en el usuario final, los pasajeros, quienes tendrán que pagar unas tarifas superiores para que las aerolíneas puedan hacer frente a estas subidas de precio.

En medio de este escenario primeramente causado por la crisis y posteriormente por las subidas en los carburantes, hay que plantearse cómo minimizar costes. Hay que analizar cómo mejorar la eficiencia de consumo de fuel por parte de los aviones y vehículos aeronáuticos de tierra, y también, cómo generar energía más limpia, más segura, más eficiente y más barata.

Actualmente los aviones y vehículos de tierra se alimentan de queroseno y gasolina respectivamente, hidrocarburos derivados del petróleo. Como tal, es una fuente agotable de energía, además de emitir, al quemarse, gases contaminantes a la atmósfera, responsables del efecto invernadero y emitir también, alta contaminación acústica muy restringida sobre todo en las horas nocturnas. No quiere decir esto que el sector aeronáutico sea el responsable del cambio climático, ni que sea el sector que más contribuya a ello, pero sí que representa un porcentaje importante, por lo cual se deberían tomar las medidas oportunas para poder reducir las emisiones de gases contaminantes de forma considerable y el ruido ocasionado por estos vehículos en la medida de lo posible.

En este sentido ya existen acciones y actividad legislativa para intentar minimizar el impacto ambiental de este medio de transporte. Así, en 2004, la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) adoptó medidas para reducir el monóxido de nitrógeno (NO_x) cuyos valores deberían reducirse en un 12% en los nuevos motores. Actualmente, la Comisión Europea trabaja en el programa "CleanSky", con el objetivo de reducir hasta en un 50% el dióxido de carbono (CO₂), un 80% de NO_x y un 50% de ruido para el año 2020 [2].

En los últimos años, se ha logrado que el consumo de combustible sea un 70% inferior, lo que se traduce en menos emisiones de CO₂, gracias a los esfuerzos conjuntos y a la aplicación de nuevas tecnologías en las aeronaves, pero en cuanto a vehículos de tierra el progreso ha sido inferior [3].

(1) Crudo: petróleo bruto, de donde se refina y se consiguen los carburantes como la gasolina o fuel, y queroseno en el caso de los aviones.

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) pretende analizar la viabilidad de un nuevo sistema que permita realizar las maniobras de tierra en el aeropuerto de Madrid Barajas de forma más económica y eficientes ambientalmente. El trabajo consiste en el estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema de *push-backs*² en el aeropuerto de Barajas. La particularidad de este nuevo sistema es el uso que se les daría a los vehículos push-back en comparación al uso habitual, el cual consiste únicamente en remolcar la aeronave en la *maniobra de separación de puertas*³.

Con el nuevo sistema no solo se usarían los vehículos para movilizar las aeronaves en la maniobra de separación de puertas hacia las calles de rodadura tal y como se hace actualmente, sino que además los vehículos remolcarían las aeronaves en todo el recorrido de rodadura hacia la pista de despegue y en el caso de aterrizar, remolcar a éstas todo el recorrido hacia las puertas, analizando también, la posibilidad de que estos vehículos aporten energía a las aeronaves para que estas puedan prescindir del uso del *APU*⁴ durante la maniobra de rodadura. Este sistema sería implantado en el horario nocturno del aeropuerto, debido principalmente a dos factores; en primer lugar por las ventajas que eso comportaría, y que a continuación se especificarán, y en segundo lugar por las dificultades logísticas y operacionales que comportaría una implantación total, es decir, para todas las aeronaves que circulan por el aeropuerto de Barajas tanto en horario diurno como nocturno. Estas dificultades son derivadas de la gran densidad del tráfico diurno, el cual opera con unos tiempos muy justos, y este sistema requeriría un poco más de margen de tiempo entre operaciones.

La implantación de este nuevo sistema está motivada por varias razones:

- Las aerolíneas podrían disminuir sus costes en el carburante de sus aeronaves debido a que toda la maniobra de rodadura se realizaría con los motores apagados.
- Como se ha mencionado anteriormente, el ámbito medioambiental es fundamental en la aeronáutica, por ese motivo, los nuevos vehículos push-back utilizados en este sistema serían de propulsión eléctrica o híbrida, reduciendo así, emisiones contaminantes no solo por parte de las aeronaves, sino también por parte de los vehículos push-back.
- Las aeronaves podrían ver incrementada ligeramente la vida útil total de sus motores.
- La vida útil del sistema APU de las aeronaves se podría ver incrementada considerablemente.
- Debido a la reducción acústica como consecuencia de la no utilización de los motores de la aeronave ni del sistema APU, se podría hacer uso de las terminales del aeropuerto que actualmente son inoperativas en horario nocturno del aeropuerto.

(2) Push-back: procedimiento por el cual un avión es remolcado desde la puerta de embarque, hasta la calle de rodaje. Este proceso es efectuado por un vehículo, comúnmente llamado tractor de remolque, que se une al avión por una barra denominada towbar.

(3) Maniobra de separación de puertas: también denominada maniobra de push-back o separación de plataforma.

(4) APU: La unidad de energía auxiliar o APU (auxiliary power unit, en inglés) de un avión es un dispositivo con estructura idéntica a la de un motor, pero con la característica de no producir empuje, sino que actúa como fuente de energía para la aeronave, suministrándole a esta la energía eléctrica necesaria mientras los motores principales están apagados, así como energía para que los motores puedan llevar a cabo su arranque.

- Sería un atractivo para las aerolíneas debido a la posibilidad de reducir las *tasas de aterrizaje*⁵ en vuelo nocturno, ya que estas debido a la contaminación acústica son superiores durante estos horarios.

1.1. Objetivos

El objetivo principal del TFG es el siguiente:

- La realización de un estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema push-back en el aeropuerto de Madrid Barajas durante el horario nocturno con el fin de reducir los altos costes en carburante que las aerolíneas afrontan por parte de las aeronaves, y también la reducción de carburante de los propios vehículos push-back.

Paralelamente, reducir emisiones contaminantes, tanto de gases como de ruido, y así poder hacer uso en horario nocturno de terminales que solo operan en horario diurno debido a las restricciones por contaminación acústica.

1.2. Origen y motivación

Considero que un gestor o una persona dedicada a la logística, sea de la rama que sea, tiene como objetivo hacer que, ya sean por ejemplo operaciones de carga o gestionar y tramitar documentos, se realicen de forma correcta y cuanto más rápido mejor. Así era como Henry Ford entendía la eficiencia, hacer una cosa bien y rápido para ahorrar en costes. Gracias a este pensamiento fue como implantó la fabricación en cadena en el sector automovilístico, haciendo que los coches Ford fueran asequibles para un número superior de usuarios. Encuentro fascinante como de una pequeña idea, por muy simple que pueda parecer, aporte tantos cambios y beneficios, en este caso, en el sector automovilístico. Imagino que tener una idea y que esta sea útil para los demás es el objetivo de más de una persona.

Este es el origen y a la vez la motivación de este trabajo, poder hacer uso de todos los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera para poder hacer realidad una idea. Esta idea surge de una necesidad personal para crear algo nuevo y diferente. Desde siempre he estado interesado en el medio ambiente, y he visto como poco a poco, los gobiernos y empresas cada vez están más concienciados y usan las nuevas tecnologías para mejorar en sus actividades.

Con este trabajo quiero aportar mi granito de arena en el mundo aeronáutico usando como punto de partida el medio ambiente y las ganas de poder crear algo nuevo y diferente.

1.3. Contenido de la memoria

En el Capítulo 1 se describe una breve introducción del trabajo seguido de los objetivos para la realización del mismo y de una breve descripción del origen y motivación que conducen a realizar este trabajo.

En el Capítulo 2 de este trabajo se presenta el estudio de viabilidad del TFG.

(5) Tasas de aterrizaje: Cantidad que se paga por el uso de los servicios de un aeropuerto.

En el Capítulo 3 se hace una descripción de las maniobras de push-back y rodaje en los aeropuertos. Se presentan aquellos estudios realizados por el aeropuerto de Barajas en temas de medioambiente y restricciones acústicas. Finalmente, una investigación sobre aeropuertos que estén estudiando la posibilidad de implantar un sistema parecido al que plantea este TFG o que actualmente ya tengan implantado un sistema similar o igual.

En el Capítulo 4 se realiza un estudio de viabilidad técnica para determinar cuáles son los requisitos técnicos, mecánicos y humanos para llevar a cabo todo el sistema de rodadura que se plantea en este TFG. Se analiza si estos requisitos están disponibles y que características determinadas deben poseer para poder lograr los objetivos planteados.

En el Capítulo 5 se describen los aspectos legales que debe satisfacer el nuevo sistema que se plantea. Se presentan todas aquellas normativas de operabilidad para el rodaje del aeropuerto de Barajas. También se muestran las restricciones en cuota de ruido del Aeropuerto.

En el Capítulo 6 se analiza la viabilidad operacional con la finalidad de dar a conocer el funcionamiento operativo del proyecto a nivel organizacional. Además, se presentan todos aquellos protocolos de seguridad que deben seguir los agentes responsables de las operaciones, así como también un sistema de gestión de la seguridad operacional.

En el Capítulo 7 se presenta el análisis económico del proyecto, teniendo en cuenta todos los temas tratados en los Capítulos anteriores. Junto con una comparación entre costos actuales en rodadura y costos con el sistema que se plantea a fin de determinar si la implantación de un nuevo sistema push-back en el aeropuerto de Madrid Barajas durante el horario nocturno es económicamente viable.

Y finalmente en el Capítulo 8 se describen las conclusiones a las que se han llegado una vez realizado el estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema push-back en el aeropuerto de Barajas, así como las ampliaciones o mejoras de este trabajo.

2. ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL TFG

En este capítulo se realizará un estudio de la viabilidad del TFG así como la planificación que se seguirá para su realización. Con este trabajo se pretende estudiar la viabilidad de la implantación de un nuevo sistema de rodadura mediante el uso de nuevos vehículos push-back y determinar hasta qué punto las aerolíneas podrían ahorrar en combustible y en tasas por emisión de ruidos y los efectos positivos que podría tener en el medio ambiente del aeropuerto y alrededores. A medida que se vaya avanzando en el estudio de viabilidad, se describirá la estimación de los costes de realización de toda la implantación. Por otro lado, una vez realizado un buen estudio del tráfico y características del aeropuerto de Barajas, se definirá cual sería el sistema más adecuado para el aeropuerto según sus características.

2.1. Situación actual

Actualmente el aeropuerto de Barajas usa sus vehículos push-back únicamente para la maniobra de separación de puertas. Los vehículos separan las aeronaves hasta la zona de rodadura, a escasos metros de las puertas y las terminales. Debido a esta cercanía entre la aeronave a la terminal, y que a la vez, las terminales son la zona más cercana a la población, es imposible el uso de algunas de estas terminales por restricciones de ruidos en horario nocturno.

2.2. Situación a desarrollar

En este TFG se llevará a cabo un estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema de rodadura en *plataforma*¹ y *calles de rodadura*² mediante el uso de nuevos vehículos push-back en el aeropuerto de Madrid Barajas. Este nuevo sistema de rodadura usaría la última tecnología en tractores de remolque o también denominados vehículos push-back (con motores híbridos o eléctricos) para remolcar las aeronaves no solo en la maniobra de separación en plataforma sino además para remolcar éstas hasta pie de pista en el caso del despegue, y en el caso del aterrizaje, remolcar las aeronaves desde la pista hasta las puertas, todo ello en el horario nocturno del aeropuerto. Además, se analizará la posibilidad de que los vehículos push-back incorporen una fuente de energía extra para las aeronaves, haciendo que éstas puedan prescindir del sistema APU durante la maniobra de rodadura. Lo que se pretende con este estudio de viabilidad es determinar si la implantación de este nuevo sistema podría reducir el combustible por parte de las aeronaves, la reducción de emisiones de CO₂ y la reducción de ruido en el ambiente, haciendo posible el uso de estas terminales en horario nocturno que hasta ahora permanecen cerradas en dicho horario. Así pues, mediante los distintos aspectos de viabilidad, se analizaría si la implantación podría tener éxito y cómo debería implantarse este nuevo modo de rodar en tierra en el aeropuerto de Barajas.

(1) Plataforma: La rampa aeroportuaria o plataforma es normalmente la zona donde los aviones son estacionados, descargados y cargados, repostados o embarcados.

(2) Calles de rodadura: Una pista de carreteo, pista de rodaje, pista de taxeo o calle de rodaje (del inglés taxiway) es parte de la infraestructura del "lado de aire" (del inglés airside), la cual permite conectar las zonas de hangares y terminal con la pista de aterrizaje

2.3. Objetivos

El objetivo del presente TFG es la realización de un estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema push-back en el aeropuerto de Madrid Barajas durante el horario nocturno con el fin de reducir los altos costes en carburante que las aerolíneas afrontan por parte de las aeronaves, y también la reducción de carburante de los propios vehículos push-back.

Paralelamente, reducir emisiones contaminantes, tanto de gases como de ruido, y así poder hacer uso de terminales que solo operan en horario diurno debido a las restricciones por contaminación acústica.

Se ha decidido hacer el estudio para el aeropuerto de Barajas debido a sus largos recorridos de rodadura. Se pensó en la posibilidad del aeropuerto de El Prat, pero desde la construcción de la Terminal 1, situada entre ambas pistas, los tiempos de rodadura se han visto drásticamente acortados.

2.4. Usuarios

Se puede distinguir dos tipos de entes a quien iría dirigido este trabajo:

A) Aeropuerto

El aeropuerto de Barajas podría estar interesado en ofrecer el nuevo sistema de push-back a las aerolíneas las cuales podrían pagar por su uso con el fin de disminuir el ruido y las emisiones de CO₂ del aeropuerto consiguiendo un aire más despejado y limpio, lo cual sería conveniente teniendo en cuenta la situación geográfica de este, a escasos kilómetros de la población y así cumplir con las requisitos del programa "CleanSky" citado en la introducción.

B) Aerolíneas

Las aerolíneas podrían estar interesadas en el nuevo sistema de push-back gracias a la reducción de costes en combustible y la oportunidad de operar en horas que hasta ahora no se les permite por restricciones en cuanto a ruido. Este sistema podría significar una reducción en el cálculo de consumo de combustible en rodadura para este aeropuerto, es decir, aquel porcentaje de combustible que las compañías estiman que se usará únicamente en la maniobra de rodadura. Por otro lado, la vida útil total de los motores se podría ver ligeramente incrementada gracias a que las aeronaves realizarían las maniobras de rodadura con los motores apagados. El sistema APU también incrementaría su vida útil si los nuevos vehículos push-back le aportan a la aeronave la energía necesaria en tierra, evitando el uso de su propio generador, lo cual sería beneficioso para ahorrar costes.

2.5. Metodología de desarrollo del TFG

Para llevar a cabo cualquier buen estudio de viabilidad, una buena planificación de tareas es fundamental para la organización del trabajo. Así, este trabajo constará de distintas etapas: en la primera se determinarán los objetivos a seguir, la metodología empleada y la viabilidad del propio TFG, lo cual servirá de guía para el desarrollo del trabajo.

A fin de obtener información de fuentes fiables y con experiencia, se ha contactado con pilotos de aerolíneas en servicio y un ingeniero aeronáutico trabajando en Frankfurt donde ya empiezan a

implantar el nuevo sistema de push-back, de tal forma que podrán aportar su experiencia personal en un caso de implantación real.

La segunda etapa del proyecto consistirá en realizar el estudio de viabilidad para la implantación del nuevo sistema push-back. Los pasos que se seguirán son los siguientes:

A) Estudio del estado del arte

Estudio del sistema de rodadura actual

Se realizará el estudio del actual sistema empleado para rodar en el aeropuerto de Barajas. Se calculará la cantidad aproximada de combustible que las empresas aeronáuticas tienen en cuenta para sus aviones durante las maniobras de rodadura. Todo eso, teniendo en cuenta que modelos de avión suelen usar las aerolíneas que vuelan a Barajas en horario nocturno y cuales son todos los circuitos de rodadura nocturnos, tanto en maniobra de salidas como llegadas y estacionamiento.

Estudios del aeropuerto

Se llevará a cabo una investigación para determinar que estudios se han realizado sobre el tema planteado en el aeropuerto de Barajas a fin de analizar cualquier otro estudio parecido y conocer que ideas se preparan para el futuro de este, con el objetivo de comprobar si existen ideas parecidas y si éstas entrarían en competencia con la idea propuesta en este TFG, lo cual implicaría una redefinición de los objetivos planteados originalmente.

Aeropuertos con el sistema ya en uso

Se analizará el sistema en aeropuertos que ya han aplicado el nuevo sistema de push-back. Concretamente el aeropuerto de Frankfurt Main, donde desde el pasado mes de Febrero del 2015 está operativo un sistema muy parecido al que se plantea en este TFG, con el fin de analizar fortalezas y debilidades para una implantación más personalizada al aeropuerto al que va dirigido este trabajo.

B) Estructuración del nuevo sistema push-back

Realizado todo el estudio del entorno se propondrá una estrategia para la implantación de un nuevo sistema en el aeropuerto de Barajas y se determinará su viabilidad así como la estrategia que seguirá la implantación. El estudio de viabilidad constará de 4 aspectos a estudiar:

Viabilidad técnica

En este apartado se analizará la viabilidad técnica de la estrategia que se propone, es decir, se debe comprobar si existe la tecnología necesaria y los recursos para llevar acabo todo el proyecto, si estos están al alcance y si existen los recursos humanos y mecánicos para su funcionamiento y mantenimiento. Para ello se estudiará cuantos modelos de vehículos push-back existen actualmente y cuáles son los más adecuados al aeropuerto en cuestión.

Viabilidad operacional

Para la viabilidad operacional del sistema que se propone se analizarán que procedimientos tener en cuenta para el buen funcionamiento del sistema, cuales son las capacidades organizacionales para operar y mantener el sistema correctamente operativo.

Viabilidad legal

En cuanto al uso del nuevo sistema se sabe que, como se ha indicado en la sección 2.5., actualmente se aplica un sistema similar en el aeropuerto de Frankfurt Main. Según esta experiencia no es un sistema que aporte cambios que puedan afectar a las actuales leyes ni normativas aeronáuticas en lo que se refiere a zona de tierra en Europa [4]. No obstante, hay que tener en cuenta que este sistema cambiaría la dinámica de las actuales rodaduras en el aeropuerto de Barajas, es por eso que en el mismo aeropuerto, habrían de reflejarse nuevas normas de seguridad operacionales y protocolos a seguir para el buen funcionamiento del sistema.

Viabilidad económica

En esta etapa, hay que comprobar que el sistema que se propone es sustentable económicamente. Justificar que la inversión genera una ganancia, en este caso, en forma de ahorro energético y monetario e intentar determinar una buena estrategia económica para minimizar en todo lo posible los costes del proyecto. Se realizarán las estimaciones de cuentas de resultados necesarias, teniendo en cuenta todos los costes tanto fijos como variables con la finalidad de determinar si el proyecto es viable económicamente.

Con estos cuatro apartados, dónde se recopilaran una serie de datos base de naturaleza empírica: medio ambiente del proyecto, rentabilidad, necesidades de mercado, factibilidad política, aceptación cultural, legislación aplicable, medio físico, flujo de caja de la operación, etc. Se procederá a la evaluación para determinar la posibilidad de éxito o fracaso del sistema que se propone.

2.6. Recursos

Para la realización del TFG se realizará una búsqueda de fuentes de información tanto primaria como secundaria donde las más importantes en este trabajo son:

- Ministerio de fomento [5].
- AENA (*Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea*) [6].
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente [7].
- OACI [8].
- Eurocontrol [9].
- FAA (Federal Aviation Administration) [10].
- Aeroteca [11]. Una biblioteca aeronáutica en Barcelona en el barrio de Gracia donde se pueden encontrar todo tipo de libros y fichas relacionadas con el mundo aeronáutico tanto civil como militar, privado o comercial.

Aparte de la las fuentes de información nombradas anteriormente, se ha podido contactar y se contará con la colaboración de Rob Gibson, ingeniero aeronáutico en Lufthansa y responsable de la idea del proyecto **Green Airport**³, y también con la colaboración de Jordi Manzano, piloto comercial en las aerolíneas Air Europa.

(3) *Green Airport*: proyecto del ingeniero aeronáutico Rob Gibson donde se realiza un estudio sobre el posible ahorro en combustible de las aeronaves durante las maniobras de tierra en el aeropuerto de Los Angeles Intl. mediante el uso de vehículos eléctricos.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Hardware

Los recursos de hardware empleados para la realización de este TFG son:

- Procesador: Intel Core i7 4770K (Overclocked 4.4 GHz) Quad Core
- Memoria instalada (RAM): 16 GB DDR3 SDRAM (2133 MHz)
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
- Edición Windows: Windows 7 Home Premium

Software

Los recursos de Software requeridos para la realización de este TFG son:

- Microsoft Word: Se utilizará el programa Microsoft Office Word para la redacción de la memoria del TFG.
- Microsoft Excel: Para la creación de tablas, sobre todo para la estimación de la viabilidad económica del proyecto y planificación del trabajo.

2.7. Planificación

Para el buen desarrollo del trabajo es necesaria una buena y estructurada planificación de todas las tareas. En esta sección se muestra la planificación a seguir para el desarrollo del TFG. Esta planificación es una pauta a seguir para gestionar el tiempo del que se dispone para realizar el trabajo y así ajustar mejor el tiempo de dedicación a cada una de las tareas según su dificultad.

Tabla 2.1 Planificación del TFG

Nombre tarea	Duración	Comienzo	Fin
TFG	600 horas	Lunes 02/03/2015	Jueves 25/06/2015
Preparación informe previo	120 horas	Lunes 02/03/2015	Viernes 27/03/2015
Definir objetivos del trabajo	20 horas	Lunes 02/03/2015	Jueves 05/03/2015
Sintetizar el Estado del Arte	50 horas	Jueves 05/03/2015	Lunes 16/03/2015
Estudiar viabilidad del TFG	50 horas	Lunes 16/03/2015	Viernes 27/03/2015
Estudio del Estado del Arte	180 horas	Lunes 30/03/2015	Jueves 30/04/2015
Estudio rodadura actual	40 horas	Lunes 30/03/2015	Lunes 06/04/2015
Estudios del aeropuerto	70 horas	Lunes 06/04/2015	Viernes 17/04/2015
Aeropuertos con sistemas parecidos	70 horas	Viernes 17/04/2015	Jueves 30/04/2015
Estudiar viabilidad del nuevo sistema	240 horas	Jueves 30/04/2015	Lunes 15/06/2015
Viabilidad técnica	60 horas	Jueves 30/04/2015	Sábado 09/05/2015
Viabilidad operacional	60 horas	Lunes 11/05/2015	Miércoles 20/05/2015
Viabilidad económica	60 horas	Miércoles 20/05/2015	Jueves 04/06/2015
Viabilidad legal	60 horas	Jueves 04/06/2015	Lunes 15/06/2015
Redacción	60 horas	Lunes 15/06/2015	Jueves 25/06/2015

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

La Tabla 2.1 muestra una estimación de la gestión del tiempo para cada una de las tareas. En las conclusiones de este trabajo se mostrará el tiempo de desarrollo real del TFG.

2.8. Costos

En la Tabla 2.2 se muestran los costos estimados para la realización del proyecto en el caso que se tuviera que adquirir el equipo informático anteriormente mencionado en el apartado de recursos y se tuviera que contratar a un gestor aeronáutico cualificado.

Tabla 2.2 Costes realización del TFG

Costes del equipo	
Hardware	1.799 €
Software (MS Office)	119,90 €
Coste total del equipo	1.918,90 €
Coste del Gestor Aeronáutico	
Puesto de trabajo	Gestor aeronáutico
Horas de trabajo	600 horas
Coste/hora	30€/h
Coste total del gestor	18.000 €
Coste total del proyecto	19.918,90 €

En la tabla 2.2 se muestra un coste estimado teniendo en cuenta los servicios reales de un gestor aeronáutico. El equipo informático podría ser más barato pero se ha usado de referencia el equipo personal con el que se ha realizado este TFG. Debido a que se trata de un trabajo académico y se dispone de todos los recursos necesarios, el coste real es 0 €.

2.9. Riesgos

Se prevén los siguientes posibles riesgos durante la realización del TFG:

Falta de información

Se trata de un sistema muy novedoso y con pocos datos registrados para estudiar.

Por otro lado es posible conocer los cálculos estimados de combustible necesarios para las aerolíneas en el aeropuerto de Barajas para ciertos modelos, o también calcular el combustible aproximado mediante la ficha técnica del avión, pero el precio del combustible es en muchas ocasiones información restringida al público.

- **Solución**

Se puede usar de referencia los estudios realizados en Frankfurt Main con la implantación de su sistema de push-back híbridos.

En cuanto al coste de combustible se pueden hacer estimaciones mediante precios medios de mercado.

2.10. Alternativas

Debido a la complejidad del sistema propuesto y las diferentes posibilidades de enfoque, se han investigado distintas alternativas para la realización del proyecto.

- A)** La posibilidad de enfocar el sistema de la misma manera que en el aeropuerto de Frankfurt Main. El aeropuerto germánico propone el uso de vehículos push-back híbridos los cuales son controlados por los propios pilotos desde la misma aeronave. En el momento del desacople de la aeronave con el vehículo, este es conducido por un conductor hacia la plataforma hasta nueva orden [12].
- B)** El uso de vehículos eléctricos para remolcar los aviones tanto en el despegue como en rodadura a puertas en horario completo, con la construcción de una pequeña plataforma donde los aviones podrían encender sus motores mientras esperan su turno y por otro lado, una plataforma de espera post-aterrizaje donde esperarían a ser acoplados para dirigirse a puertas o parking [13].

Esta segunda opción fue estudiada por el ingeniero aeronáutico Rob Gibson para el aeropuerto de Los Angeles Intl., con cuya colaboración se podrá contar, dando como resultado unas cifras muy optimistas. Es cierto también, que es la opción más compleja y costosa ya que supone la construcción de dos nuevas plataformas por pista. Estas construcciones se deben a que la implantación pretendía ser total, para todos los vuelos, y era necesario un espacio extra en ambas puntas de la pista para el acople y desacople de las aeronaves a los vehículos push-back.

El presente proyecto pretende ser un estudio parecido al de Los Angeles Intl. pero enfocado a unas necesidades más apropiadas al aeropuerto de Barajas.

2.11. Conclusiones

Este TFG se plantea con una gran ambición y su desarrollo se puede considerar técnicamente viable. Los recursos en cuanto a hardware y software requeridos para el desarrollo del TFG son perfectamente disponibles. No se precisa el uso de ningún sistema o herramienta específico que dificulte la elaboración del TFG en ausencia de este sistema y/o herramienta.

Se ha realizado un estudio de todos los procedimientos requeridos para el buen desarrollo del trabajo, involucrando tanto recursos humanos como documentación necesaria a fin de determinar que el proyecto es operacionalmente viable.

Será necesaria una buena distribución del trabajo y sobretodo del tiempo. Este aspecto se plantea el más difícil, debido a la dificultad de precisar el tiempo en ciertos apartados del proyecto, como podría ser la búsqueda de cierta información y los contratiempos que puedan surgir.

Como se especifica en la sección 2.8. los costes del TFG son perfectamente asumibles teniendo en cuenta que es un trabajo académico. Los únicos costes que se podrían considerar serian debidos a viajes puntuales para reunirse con personas a quienes consultar cierta información y posibles gastos en copistería, por lo tanto se puede considerar un TFG viable económicamente. Debido a la naturaleza de este proyecto, el cual su base fundamental es el estudio de datos e investigación de información que por lo general está al alcance de cualquier persona interesada, es decir, de acceso libre a todo el mundo y sin datos restringidos, también se puede considerar un proyecto legalmente viable. Cualquier información mínimamente delicada será consultada por un especialista para determinar si esta puede ser usada en el trabajo.

En base a lo anteriormente expuesto se puede considerar que este TFG es viable y se puede realizar. En la memoria final se presentará el estudio de viabilidad para la creación e implantación del nuevo sistema de push-backs en el aeropuerto de Barajas propuesto en este TFG.

3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se estudiarán los tres puntos que se consideran necesarios para poder realizar, con el mayor éxito posible, el estudio de viabilidad del nuevo sistema de rodadura que se propone. Se estudiará cómo es el actual sistema de rodadura en los aeropuertos, qué estudios se han realizado para el aeropuerto de Barajas en materia de medio ambiente y eficiencia energética, y finalmente, se hará una investigación para conocer si existen aeropuertos con un sistema parecido al propuesto en este proyecto (ver Figura 3.1).



Figura 3.1 Pautas a seguir en el estudio del estado del arte.

3.1. Estudio del sistema de rodadura actual

La actividad aeronáutica tiene unas reglas y unos estándares prácticamente iguales a nivel mundial. Debido a que muchos pilotos deben volar a diferentes países, estos estándares evitan confusiones o falta de información, como por ejemplo, el idioma inglés se usa de estándar y ayuda en las comunicaciones indistintamente del país donde se encuentre el aeropuerto.

Las reglas durante la maniobra de rodadura y los servicios de *handling*¹ que las aeronaves reciben para este fin, como es el caso del push-back, también son iguales para todos los aeropuertos. Por lo tanto, en esta sección se explicará cómo funciona la maniobra de push-back, para que sirva y como opera. También se hará un breve análisis de cómo son las maniobras de rodadura por parte de las aeronaves posteriormente a la maniobra de push-back.

3.1.1. MANIOBRA DE PUSH-BACK

En la aviación, el push-back es un procedimiento en el aeropuerto durante el cual una aeronave se empuja hacia atrás, lejos de la puerta de la terminal del aeropuerto hasta la calle de rodadura más cercana, por fuerzas externas, es decir, no por empuje de la propia aeronave. Las maniobras de push-back se llevan a cabo por unos vehículos especiales de *bajo perfil*² llamados tractores push-back o remolcadores.

(1) *Handling*: La asistencia en tierra a aeronaves (del inglés *ground handling*) incluye todos los servicios de que es provista una aeronave desde que aterriza hasta su posterior partida.

(2) *Perfil bajo*: se dice de los vehículos cuya altura entre el suelo y la parte más alta del vehículo es mínima.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Aunque muchos aviones son capaces de maniobrar hacia atrás por sí mismos en el suelo utilizando el *inversor de empuje*³ (un procedimiento denominado *Powerback*), el *jet blast*⁴ o chorro de empuje de los motores puede causar daños en el edificio o equipos de la terminal. Los motores cerca del suelo también pueden soplar arena y escombros hacia adelante y luego ser succionados por el motor, pudiéndole causar daños. Por lo tanto, el push-back es el método preferido para mover el avión lejos de las puertas.

Las maniobras push-back en los aeródromos muy concurridos suelen estar sujetos a autorización del control de tierra para facilitar el movimiento de tierra en las calles de rodaje. Una vez obtenida la autorización, el piloto se comunica con el conductor del remolcador (o un controlador de tierra caminando al lado de la aeronave, en algunos casos) para iniciar el retroceso. Para comunicarse, se usa un auricular que puede conectarse cerca del tren delantero.

Dado que los pilotos no pueden ver lo que está detrás de la aeronave, la dirección de la aeronave mientras es remolcada se realiza por el conductor del remolcador y no por los pilotos. Dependiendo del tipo de aeronave y el procedimiento de la línea aérea, puede ser instalado temporalmente en el tren delantero un *bypass pin*⁵ (ver Figura 3.2) para desconectarlo del mecanismo normal de dirección de la aeronave.



Figura 2.2 Bypass pin

Fuente: www.aerospecialties.com

Una vez completado el retroceso, el gancho de remolque se desconecta y se retira el *bypass pin*. El operario de suelo mostrará la clavija a los pilotos para que sea absolutamente claro que se ha restablecido el mecanismo normal de dirección de la aeronave. El retroceso es entonces completado y el avión puede comenzar el rodaje hacia adelante por sus propios medios.

A diferencia de la aviación ligera, aquella compuesta por avionetas de poco peso, donde las aeronaves pueden moverse a mano mediante una barras especiales, las aeronaves de gran tamaño no pueden ser movidas a mano, los aeropuertos donde operan deben tener remolcadores o por el contrario un diseño de estacionamiento que permita dar la vuelta a la aeronaves sin necesidad de maniobrar hacia atrás, pero dicho diseño solo es útil en los aeropuertos más pequeños y con poco tráfico. Los tractores push-back utilizan un diseño de perfil bajo para caber debajo de la nariz del avión. Para disponer de la suficiente tracción, el tractor debe ser pesado, y la mayoría de los modelos puede tener lastre extra añadido. Un tractor típico para grandes aviones pesa hasta 54 toneladas y tiene una fuerza de tracción de 334 *kN*⁶ [14]. A menudo, la cabina del conductor se puede levantar para una mayor visibilidad al dar marcha atrás. Hay dos tipos de tractores push-back: el convencional y el *towbarless (TBL)*⁷.

(3) *Inversor de empuje*: Maniobra en la que los motores de la aeronave impulsan el aire en dirección contraria al habitual. Se usa principalmente para ayudar a la detención de la aeronave en el aterrizaje.

(4) *Jet blast*: Es el chorro de aire expulsado por las turbinas de un motor a propulsión y causante de que el vehículo sea impulsado.

(5) *Bypass pin*: Es un pasador que se utilizan para eludir el sistema hidráulico de dirección en los aviones, lo que permite la dirección para ser controlado completamente por el push-back.

(6) *kN*: Kilonewton. Unidad de fuerza. 1 *kN* = 102 kilogramos-fuerza (*kgf*).

(7) *Towbarless (TBL)*: Que no usa towbar, la barra de remolque de los push-backs.

En la Figura 3.3 se puede ver un diseño sin necesidad de remolque del aeropuerto de La Palma, Islas Canarias, donde la aeronave debe seguir la línea amarilla en dirección a la flecha para poder salir.



Figura 3.3 Configuración de estacionamiento sin push-back
Fuente: Foto captura del video PilotEye MUC-SPC-MUC

A) Los remolcadores convencionales

Los remolcadores convencionales utilizan una barra de remolque para conectarse en el tren de aterrizaje de la nariz de la aeronave. La barra de remolque se fija lateralmente en el tren de aterrizaje de la nariz, pero puede moverse ligeramente verticalmente para ajustar la altura (ver Figura 3.4).



Figura 3.4 Tractor push-back convencional
Fuente: www.airliners.net

En el extremo que se conecta al remolcador, la barra de remolque puede girar libremente lateralmente y verticalmente. De esta manera la barra de remolque actúa como una gran palanca para hacer girar el tren de aterrizaje delantero. Cada tipo de avión tiene una barra de remolque, por lo que la barra de remolque también actúa como un adaptador entre el remolcador y el accesorio específico según el tipo de tren de aterrizaje de la aeronave. La barra de remolque debe ser lo suficientemente larga para colocar el remolcador lo suficientemente lejos para evitar golpear la aeronave, así como para proporcionar apalancamiento suficiente para facilitar los giros. En las barras de remolque para grandes reactores, la barra cabalga sobre sus propias ruedas. Las ruedas están unidas a un mecanismo de gato hidráulico que puede levantar la barra de remolque a la altura correcta para acoplarse tanto al avión como al remolcador, y una vez que esto se logra el mismo mecanismo se utiliza en sentido inverso para elevar las ruedas de la barra de remolque desde el suelo durante el proceso de retroceso. La barra de

remolque se puede conectar delante o la parte trasera del tractor, en función de si la aeronave se empuja o se tira. La barra de remolque tiene un pasador de seguridad. El pasador de seguridad impide que el avión pueda sufrir daños por el remolcador cuando la tensión es excesiva, ésta desconectará la barra de la nariz para evitar daños en el avión y el remolcador.

B) Los remolcadores *towbarless*

Los tractores *towbarless* a diferencia de los convencionales no utilizan la barra de remolque. Ellos se acoplan a la rueda de la nariz y la levanta del suelo, lo que permite el tirón para maniobrar la aeronave (ver Figura 3.5). Esto permite un mejor control de la aeronave y velocidades más altas sin que nadie esté en la cabina del avión [15]. La principal ventaja de un remolcador sin barra es la simplicidad. Al eliminar la barra de remolque, los operadores no tienen que llevar un mantenimiento para muchas barras de remolque. Además, la acción y la coordinación física requerida por el operador de remolque para mover una aeronave con un tirón TBL es más simple y fácil de aprender que con una barra de remolque. Al conectar el remolcador directamente al tren de aterrizaje los operadores de remolcadores tienen un mejor control y capacidad de respuesta en la maniobra. Esto es más ventajoso en los entornos de aviación general, donde los operadores a menudo se requieren para mover más aviones (y una mayor variedad de aviones) en espacios más pequeños.



Figura 3.5 Tractor push-back *towbarless*
Fuente: www.airliners.net

3.1.2. MANIOBRA DE RODADURA

Se entiende por rodaje o rodadura al movimiento del avión en el suelo. El propósito principal del rodaje es maniobrar el avión para llevarlo a la posición de despegue o retornarlo al área de aparcamiento después del aterrizaje.

Existen una serie de normas iguales a todos los aeropuertos del mundo a la hora de rodar. Al igual que en el tráfico convencional por carretera existen unas normas y unas señales específicas iguales en todo el mundo, como por ejemplo la señal de STOP o sentido contrario de la marcha, las leyes y normas aeronáuticas también disponen de unos estándares para todos los aeropuertos a fin de que todos los pilotos independientemente de donde procedan puedan entender y seguir [4].

Los aeropuertos tienen señalizado en el suelo las calles de rodadura mediante unas líneas amarillas (ver Figura 3.6). Los pilotos deben seguir estas líneas llevando la aeronave por el centro de estas, las cuales además, tienen señalizado con un código alfanumérico de que calle de rodadura se trata. A sí mismo,

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

existen unos paneles luminosos en cada intersección para informar a los pilotos cuales son las otras calles y que nueva calle tomar si fuera necesario (ver Figura 3.7).



Figura 3.6 Calle de rodadura

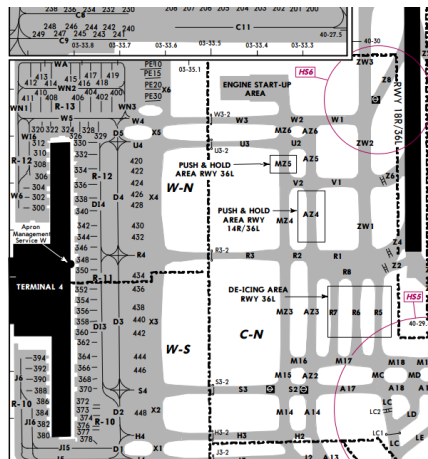
Fuente: www.langleyflyingschool.com



Figura 3.3 Panel luminoso

Fuente: www.langleyflyingschool.com

Antes de empezar la maniobra de rodadura, **Control de Tierra**⁸ del aeropuerto debe informar a los pilotos cual es la pista de despegue en uso y que calles de rodadura tomar. Esta información se les comunica diciéndoles los códigos alfanuméricos de las calles. También existen calles predeterminadas y que siempre tienen el mismo uso para ciertas terminales. Es decir, circuitos de rodadura ya preestablecidos para cada terminal a cada pista de despegue. Esta información se encuentra en las **cartas aeronáuticas**⁹ de cada aeropuerto, con el fin de que los pilotos puedan saber de antemano que calles de rodadura deben tomar para dirigirse a la pista de despegue a partir del punto en el que se encuentran. Aún así, es obligatorio que Control de Tierra informe de todo el circuito por si ha habido algún cambio. También existen unos circuitos preestablecidos a la hora de dirigirse a puertas después del aterrizaje. Esta información es especialmente útil para los pilotos para poder llegar a las terminales más rápido.



Para agilizar la maniobra de rodadura en la llegada al aeropuerto, en algunas ocasiones se puede usar el servicio conocido como *Followme*, el cual consiste en un automóvil que guía a los pilotos por las calles y estos deben seguir (ver Figura 3.9).



Figura 3.9 Vehículo *Followme*
Fuente: www.airliners.net

En cuanto a la velocidad en la que deben circular las aeronaves por las calles de rodadura no existe un valor exacto. A menudo se dice que la velocidad de rodaje debe ser entre 15 y 20 nudos *GS*¹⁰, pero al final casi siempre acaba siendo criterio del propio piloto. Si es cierto que no debe ser una velocidad excesiva y se debe tener en cuenta el performance de la aeronave sobretodo en los giros para no causar daños en el tren de aterrizaje, ya que velocidades excesivas en un giro pueden hacer que la carga de la aeronave radique en exceso en una de las ruedas laterales y esta pueda ser dañada por sobrecarga.

Para más seguridad, Control de Tierra está pendiente de todas las maniobras de tierra a fin de informar a las aeronaves de cualquier cambio o advertirles de algún peligro como podría ser el cruce de dos aeronaves en una intersección.

Para finalizar, comentar que existen algunas tipologías de rodadura. Por ejemplo la rodadura en corto. Este tipo de rodaje debe ser informado a los pilotos por parte de Control de Tierra previa rodadura. Consiste en un rodaje donde la aeronave está obligada a detenerse por completo en cada intersección, y una vez detenida del todo reanudar la marcha. Esta maniobra suele aplicarse en momentos donde el tráfico en tierra es muy denso.

3.2. Estudios medioambientales del aeropuerto

En esta sección se estudiará qué iniciativas y estudios realiza el aeropuerto de Barajas en cuanto a medio ambiente y eficiencia energética con el fin de averiguar si existe algún estudio parecido al propuesto en este trabajo.

El Aeropuerto de Madrid-Barajas identifica y controla los aspectos ambientales asociados a su actividad con el fin de minimizar el impacto que puedan ocasionar. A continuación se recoge una breve exposición de las actuaciones de prevención y control y planes de futuro aplicadas en el caso de la contaminación acústica y contaminación ambiental, los dos aspectos fundamentales que este TFG abarca en cuanto al aeropuerto se refiere. El ahorro de combustible por parte de las aeronaves no es un punto en el que el aeropuerto pueda trabajar del todo, ya que forma parte de la I+D de las empresas aeronáuticas y fabricantes de aeronaves.

(10) *GS*: Ground Speed. Velocidad de la aeronave respecto al suelo.

3.2.1. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Uno de los grandes objetivos del Aeropuerto es minimizar la afección acústica que se produce en los municipios del entorno. Para ello, realiza un gran esfuerzo, focalizado en diversas áreas:

- **La mejora en la operativa:** introduciendo rutas de precisión aeronáutica (**PRNAV**)¹¹, controlando las operaciones para detectar posibles incumplimientos de los procedimientos establecidos y participando en diversos grupos de trabajo para la revisión de rutas y mejora de maniobras. Desde el año 2009 se encuentran implantadas maniobras PRNAV, basadas en sistemas de navegación de precisión, utilizadas para despegues en configuración Norte y Sur. Estos sistemas están basados en coordenadas geográficas, permitiendo reducir la dispersión de las trayectorias (ver Figura 3.10). De este modo, se disminuye la repercusión en los núcleos urbanos próximos a las mismas. La incorporación progresiva de estos sistemas en las aeronaves, está permitiendo una mejora significativa de la operativa de despegue en el Aeropuerto [17].

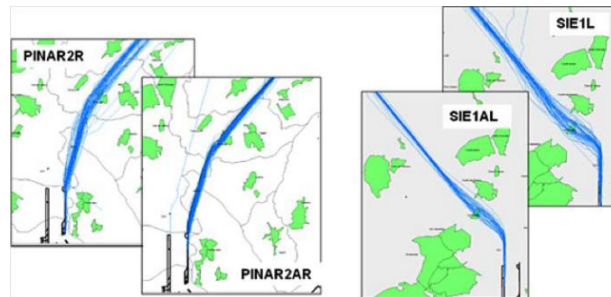


Figura 3.10 Antes y después de la introducción PRNAV

Fuente: www.aena.es

- **El control y la vigilancia acústica**, mediante la medición sonora en los municipios afectados del entorno aeroportuario. Además, para mejorar la difusión de la información relacionada con la afección acústica, se desarrolló una aplicación denominada WebTrak. Desde el 10 de enero de 2010 se encuentra disponible en la página Web de Aena Aeropuertos y ofrece una información fiable y transparente en cuanto a las operaciones aeronáuticas y los niveles acústicos que éstas generan [18].
- **La Comunicación y el consenso** con los implicados en las actividades aeronáuticas. Desde la División de Medio Ambiente del Aeropuerto, se realiza un seguimiento continuo de las trayectorias seguidas por las aeronaves, analizando cualquier posible incorrección en los procedimientos y normativa aplicable, remitiendo, si procede, a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea los casos que pudiesen corresponder a un incumplimiento. Con el fin de reducir progresivamente estos incumplimientos y mejorar la operativa para minimizar la afección acústica de las poblaciones del entorno, se llevan a cabo diversas reuniones con compañías aéreas, de forma particularizada, donde se tratan las mejoras del seguimiento de la ruta nominal, analizando los puntos específicos de conflicto y coordinando acciones de seguimiento para mejorar los procedimientos de vuelo [17].

(11) PRNAV: RandomNAVigation ('Navegación aleatoria' en inglés), es un método de navegación aérea basada en puntos que no se corresponden con radioayudas en tierra. Permite la operación del avión en cualquier trayectoria de vuelo deseada, dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación referidas a una estación terrestre, o dentro de los límites de las posibilidades de los equipos autónomos, o de una combinación de ambas.

- **La Ejecución del Plan de Aislamiento Acústico en viviendas**, consensuadas por las diversas administraciones. Para lograr un consenso y minimizar el impacto acústico, el Aeropuerto mantiene reuniones con representantes municipales. En los mismos, se expone la situación actual y las líneas de trabajo que está siguiendo Aena Aeropuertos para reducir la afección acústica del entorno, particularizado para cada caso concreto. Con la misma finalidad, se mantienen reuniones con el conjunto de ayuntamientos afectados por la operativa del aeropuerto en el Grupo de Trabajo Técnico de Ruido (GTTR), creado en el 2009 y dependiente de la Comisión de Seguimiento de Actuaciones de Ampliación del Sistema Aeroportuario de Madrid (CSAM). En el mismo, se recogen y analizan las propuestas realizadas por los municipios para buscar alternativas que minimicen la afección acústica [19].

Para el control y la vigilancia de las operaciones aeronáuticas y de las emisiones sonoras producidas por las mismas, el Aeropuerto cuenta con dos aplicaciones: el Sistema de Control y Vigilancia Acústica (SCVA) y el Sistema de Monitorado de Ruido (SIRMA).

- **Sistema de Monitorado de Ruido (SIRMA)**

Este sistema recibe información tanto del ruido registrado en los TMR (Terminales de Monitorado de Ruido) situados en el recinto aeroportuario y en las poblaciones del entorno, como de los datos radar y planes de vuelo del Sistema Automático de Control de Tráfico Aéreo (SACTA).

Dicho sistema, asocia el ruido registrado en cada TMR con la aeronave causante, de la que puede obtener toda la información de su vuelo.

- **Sistema de Control y Vigilancia Acústica (SCVA)**

Cuenta con tres cámaras y dos monitores de ruido que permiten controlar el cumplimiento de las restricciones operativas nocturnas impuestas por la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) 2001, en el área de la plataforma denominada Rampas 5 y 6 y en el Dique Sur. Estas zonas son las más próximas a las áreas pobladas.

3.2.2. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

El Aeropuerto de Madrid-Barajas también lleva a cabo la caracterización, el control, la vigilancia y la corrección de las emisiones atmosféricas generadas como causa del desarrollo de todas sus actividades aeroportuarias. Entre las medidas establecidas por el aeropuerto para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se destaca la implantación de:

- **Medidas de eficiencia energética** que permiten reducir las emisiones indirectas generadas en la producción de energía. Desde el año 2006, más del 60% de la energía consumida procedente del aeropuerto procede de la planta de cogeneración localizada en el recinto aeroportuario, con la consiguiente disminución de gases de efecto invernadero [20].
- **Programa de Sustitución de Vehículos de Servicio en Tierra (GSE)**: para poder hacerlo efectivo se encuentra en proceso de licitación un expediente de proyecto y obra para la instalación de una nueva estación de gas natural comprimido (GNC) que de servicio a los equipos *handling* y permita sustituir el gasóleo como combustible. En este sentido, se realiza un control de las emisiones generadas por los agentes *handling* con contrato con Aena Aeropuertos, S.A. Asimismo se pensó en otras posibilidades como la utilización de GNL o GLP mediante transporte por camiones cisterna. Se incorporaron vehículos eléctricos en la flota de Aena

Aeropuertos, S.A. Estos automóviles usan energía eléctrica como única fuente de energía aplicable a su sistema motriz, además de contar con baterías de acumulación electroquímica desde las cuales se gestiona el suministro energético a la totalidad de sistemas del vehículo. Para ello, el Aeropuerto consta de 53 puntos de recarga en el aeropuerto donde los coches son cargados en las horas valle o nocturnas, cuando el aeropuerto tiene menos demanda de energía eléctrica, para que la afectación a la instalación eléctrica ya existente sea mínima [21].

Mediante la resolución sobre el cambio climático, el 18 de junio de 2008, ACI Europa (Asociación Internacional de Aeropuertos) se comprometió a ayudar a los aeropuertos miembros a evaluar y reducir su huella de carbono [22]. Con este fin, este organismo, junto con WSP Environmental, creó "Airport Carbon Accreditation" (ACA), un sistema de acreditación dirigido a los aeropuertos con carácter voluntario que fomenta y permite la implementación de procesos de gestión para reducir las emisiones relativas a la operativa aeroportuaria.

El programa ACA es un programa voluntario al que se encuentran adscritos más de 59 aeropuertos europeos, lo que representa el 52% del tráfico aéreo de Europa. Comprende cuatro niveles crecientes de acreditación: Inventario, Reducción, Optimización y Neutralización. En abril de 2012, el Aeropuerto de Madrid-Barajas consiguió alcanzar el Nivel 2 de acreditación del programa, una acreditación que reconoce al aeropuerto sus esfuerzos para gestionar y reducir sus emisiones de CO₂, demostrando la medida y control de la huella de carbono y estableciendo medidas que logran su reducción paulatina. El Aeropuerto de Madrid-Barajas se convirtió en el primer aeropuerto español que se acredita en el programa ACA para este nivel de exigencia [23].

Además, a modo de que el usuario esté informado, el aeropuerto facilita la información de calidad del aire de su entorno mediante un sistema de medición continuo de la contaminación atmosférica denominado Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (REDAIR) que permite conocer el nivel de concentración (valores de inmisión) de las principales sustancias producidas como consecuencia de su actividad. Esta Red de Vigilancia de Calidad del Aire está compuesta por tres estaciones fijas (Redair1, Redair 2 y Redair 3) y un laboratorio móvil. El objetivo de estas estaciones es el control, continuo y automático, de la calidad del aire en el área de influencia de las zonas de operación aeroportuaria: despegue, aterrizaje y rodadura; determinando el grado de cumplimiento de los valores obtenidos con respecto a los límites que establece la legislación vigente.

3.2.3. PROYECCIÓN DE FUTURO

Siguiendo las líneas estratégicas establecidas por Aena Aeropuertos en su política medioambiental y energética, el Aeropuerto Madrid-Barajas lleva a cabo año tras año nuevas iniciativas para mejorar la eficiencia energética y minimizar el impacto ambiental de sus actividades.

En cuanto al terreno de la gestión energética, Madrid-Barajas tiene pensado medidas como la instalación de tecnologías **LED's**¹² en terminales y accesos, la implementación de energías renovables mediante el uso de paneles solares en edificios del campo de vuelo (bomberos, centrales eléctricas, etc.) o la optimización de los circuitos del sistema automatizado para el transporte de equipajes (SATE).

Para los próximos años el aeropuerto tiene el propósito de incrementar el nivel de la acreditación ACA hasta llegar a convertirse en un aeropuerto neutro respecto a las emisiones de carbono.

(12) LED: Light-Emitting Diode ('diodo emisor de luz'). Es un componente optoelectrónico pasivo y, más concretamente, un diodo que emite luz.

Por último, destacar que la reducción de las molestias por ruido continúa siendo uno de los objetivos prioritarios del Aeropuerto Madrid-Barajas; La Web Track, disponible desde el año 2010 en la página web de Aena, fue optimizada en el año 2012 permitiendo con mayor eficacia observar las operaciones de los aviones que despegan o aterrizan en el Aeropuerto de Madrid-Barajas, así como los niveles de ruido ocasionados, proporcionando información histórica de las mismas. Además mejorar la operativa y su control, implementando rutas de precisión aeronáutica; el consenso de todas las partes implicadas en la actividad aeronáutica mediante la constitución de grupos de trabajo y análisis, así como el control y la vigilancia acústica, siguen siendo parte fundamental para minimizar el impacto acústico en el entorno.

Observando los actuales proyectos de futuro, se puede ver que de momento no existe un plan específico en cuanto a la mejora en el sistema de push-back. Por lo tanto, es una oportunidad fantástica para el análisis de la implementación del nuevo sistema push-back que este FGC quiere proponer.

3.3. Aeropuertos con el sistema de rodadura planteado actualmente en uso

Actualmente no existe ningún aeropuerto que utilice un sistema de push-back exactamente tal y como se plantea en este TFG. Si es cierto que en el aeropuerto de Frankfurt Main desde Febrero de 2015 se está empezando a experimentar con un nuevo sistema mediante el uso de los nombrados TaxiBots.

En la figura 3.11 se puede observa un remolcador TaxiBot en proceso de pruebas remolcando una simulación de una aeronave antes de acoplarle una aeronave de verdad.



Figura 3.11 Taxibot en fase de pruebas
Fuente: www.surcandoloscielos.es

Los TaxiBots son vehículos push-back de última generación. Desarrollados por Israel Aerospace Industries Ltd. (IAI) el Taxibot es un tractor *towless* semi-robótico con motor de combustión híbrido que puede remolcar un avión desde la puerta de la terminal hasta el punto de despegue (fase de rodaje de salida) y devolverlo a la puerta después de aterrizar (taxi en fase). El Taxibot elimina el uso de los motores del avión durante el rodaje de entrada y hasta inmediatamente antes del despegue ahorrando a las aerolíneas miles de millones de dólares en combustible. La IAI estima que una aerolínea podría ahorrar aproximadamente unos 7 mil millones de dólares en combustible con el uso de los Taxibots [24]. El Taxibot es controlado por el piloto desde la cabina usando los controles de la aeronave. La aeronave transmite la información al Taxibot de tal manera que detecta por ejemplo, si el piloto presiona los pedales de los frenos por tal de hacer frenar el mismo Taxibot.

3.4. Conclusiones del estudio del estado del arte

En base al el estudio del estado del arte se ha realizado una valoración de la información obtenida para determinar las oportunidades que este TFG puede aportar con este nuevo sistema de rodadura.

- **Maniobra de rodadura:** Se ha podido comprobar que la maniobra de rodadura actual es muy limitada si se tiene en cuenta la operación de push-back. Los vehículos remolcadores se dedican exclusivamente a remolcar las aeronaves de las puertas hasta la calle de rodadura más próxima. Con esta maniobra se pierde mucho del potencial de los vehículos los cuales no son precisamente baratos. Si es cierto que en limitadas ocasiones como por motivos de reparación o pintura, los vehículos push-back remolcan las aeronaves de forma completa por todo el recorrido de la calle de rodadura, pero no es una maniobra que se aplique durante las operaciones comerciales, es decir, durante las maniobras rutinarias que ejecutan las compañías aéreas. Este hecho hace que el nuevo sistema de rodadura que se estudia en este TFG brinde la oportunidad de aprovechar más el potencial de estos vehículos, los cuales están perfectamente capacitados tanto mecánica como legalmente para desarrollar la maniobra completa de rodadura.

- **Estudios del aeropuerto:** Se ha podido observar que el aeropuerto de Madrid Barajas tiene un estricto control medioambiental y que trabaja cada día para la mejora de la calidad del aire y ruido de los alrededores del aeropuerto. Aunque son varios los aspectos que trata y mejora, como la implantación de las rutas PRNAV, no hay ningún estudio actualmente que proponga la posibilidad de un cambio o mejora en el sistema de rodadura. El nuevo sistema de rodadura planteado aquí amplía el abanico de posibilidades para nuevas mejoras ambientales y ahorro de recursos energéticos y monetarios.

- **Aeropuertos con el sistema ya en uso:** El aeropuerto de Frankfurt Main trabaja con un concepto parecido al propuesto en este TFG. Esto demuestra que la idea es plausible, que se puede y se está llevando a la práctica. Es una información importantísima a tener en cuenta, ya que demuestra que el concepto se puede aplicar y no existen impedimentos operacionales o legales para ser llevado a cabo.

Como se pudo observar, el TaxiBot aparenta ser un vehículo ideal para poder ser aplicado en este TFG. Hay que remarcar pero, que este TFG pretende dar un paso más en el ahorro de combustible y en la disminución de gases contaminantes y reducción de ruidos en el aeropuerto. Es por esta razón que se intentará buscar un vehículo push-back con características técnicas que lo hagan, en la medida de lo posible, completamente ecológico, muy maniobrable y que pueda aportar energía auxiliar a las aeronaves. Todo esto, para poder cumplir con los objetivos planteados y teniendo en cuenta las características del aeropuerto de Barajas.

El TaxiBot cumple con algunos de los requisitos que se esperan para un vehículo push-back que opere con este nuevo sistema de rodadura, pero se considera que el hecho de usar motor híbrido y que no proporcione energía auxiliar a las aeronaves, lo aleja del cumplimiento de los objetivos planteados.

En el siguiente capítulo, el estudio de la viabilidad técnica, se hará una investigación para profundizar más en las necesidades técnicas del vehículo que se usaría en el nuevo sistema de rodadura, siempre teniendo en cuenta su maniobrabilidad, su fuente de energía motriz y si tiene la posibilidad de aportar energía extra a las aeronaves. También se estudiarán todas las demás necesidades técnicas para el buen funcionamiento del sistema.

4. VIABILIDAD TÉCNICA

En este capítulo se analizará la viabilidad técnica del nuevo sistema de push-back que se propone en este proyecto. Para ello se investigará que tecnología es necesaria y que recursos hay que tener en cuenta para llevar a cabo el proyecto (ver Figura 4.1). Para ello se tendrá en cuenta cuatro puntos:

- Vehículos push-back
- La Unidad Auxiliar de Potencia
- Personal requerido
- Infraestructuras requeridas

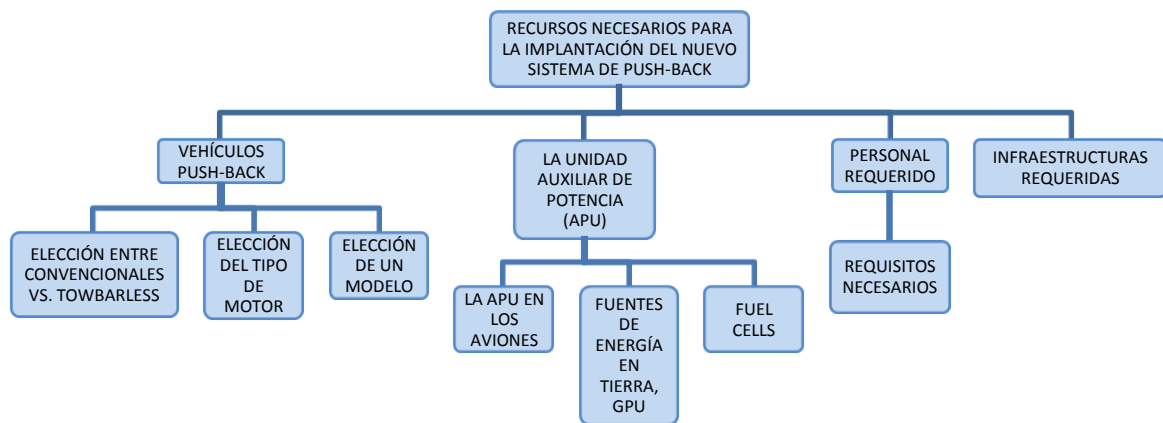


Figura 4.1 Recursos técnicos para el nuevo sistema de push-back.

Para que la implantación de este nuevo sistema de push-back cumpla con sus propósitos es necesario saber cuáles son aquellos puntos donde es necesario que se invierta en una nueva tecnología, a fin de conseguir el ahorro en combustible y las mejoras ambientales que se plantean con este nuevo sistema.

Conseguir que las aeronaves puedan maniobrar por tierra con la única ayuda de un remolcador push-back, y que estos, además, proporcionen energía a la aeronave de tal forma que éstas no necesiten llevar encendido el sistema APU, conlleva una sustitución completa de los actuales remolcadores por otros con una tecnología más eficiente energética y medioambientalmente.

En el apartado 3.1.1. se descubrió la maniobra de push-back y que tipología de vehículos había en cuanto a los remolcadores usados a este fin. A continuación se analizará que tipología de vehículo push-back sería la más conveniente para este proyecto y se propondrá un modelo en concreto que intente cumplir con todos los requisitos necesarios. También se analizará como se podría solucionar la ausencia del APU por parte de las aeronaves y que alternativas hay para poder proporcionar la energía necesaria a éstas durante todo el trayecto de la maniobra de rodadura, tanto para dirigirse a la pista de despegue como ser remolcado a puertas o estacionamiento.

En la figura 4.2 se muestra un generador APU de un Boeing 737. El generador APU es comúnmente colocado en la cola de las aeronaves.



Figura 4.2 Generador APU de un Boeing 737
Fuente: www.aerospaceweb.org

4.1. Vehículos push-back

En esta sección se analizará cual sería el mejor modelo de vehículo push-back, ya que es importante saber cuál de las dos tipologías conviene más a este proyecto. Son varios los factores a tener en cuenta a la hora de elegir entre un remolcador convencional con barra *towbar* o un modelo *towbarless*. La maniobrabilidad y eficiencia, junto a costes de mantenimiento, son aspectos fundamentales y que hay que tener muy presentes a la hora de elegir entre estas dos tipologías de remolcadores.

4.1.1 REMOLCADORES CONVENCIONALES VS TOWBARLESS

Como se analizó en el apartado 3.1.1., aunque existen dos tipologías para los vehículos push-back, el fin de ambos es el mismo, remolcar la aeronave en tierra. También se observó que la diferenciación de ambos radicaba en la manera en que los vehículos se acoplaban a la aeronave. En la maniobra de separación de puertas, donde la aeronave es remolcada hacia atrás para llevarla a pie de pista de rodadura, ambos modelos actúan de forma parecida, no obstante, para el nuevo sistema de push-back planteado en este TFG, éstos deberían no solo empujar la aeronave hacia atrás, sino también tirar de ella durante todo el trayecto de rodadura hacia la pista de despegue en el caso de dirigirse a ella, o tirar de la aeronave post aterrizaje para dirigirse a puertas o estacionamiento. Es en este momento donde la eficiencia y la maniobrabilidad de uno y otro tipo de vehículo cambian por completo.

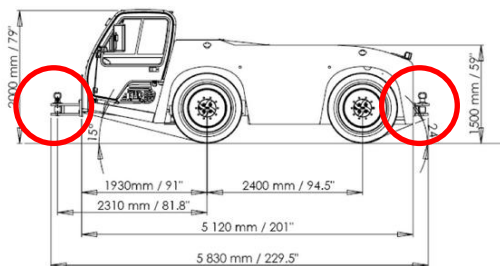


Figura 4.3 Piezas de acople para la barra *towbar* en un vehículo convencional
Fuente: www.aerospecialties.com

La Figura 4.3 muestra como son los vehículos convencionales, como se estudió en el apartado 3.1.1, pueden usar su barra de remolque tanto para empujar como para tirar de la aeronave. Para ello es necesario cambiar la barra de posición. Los vehículos convencionales tienen una pieza de acoplamiento en ambos extremos del chasis para colocar la barra en modalidad de tirar de la aeronave o empujarla.

A) Vehículos towbar

El uso de la barra conlleva unos problemas respecto al sistema *towbarless* los cuales se comentan a continuación. Primero sería necesario cambiar la barra de posición una vez la aeronave estuviera separada de puertas y colocada en posición para empezar a rodar, esta acción implica un tiempo que podría ser valioso y más tratándose de transporte aéreo, donde el tiempo es una variable importantísima, por ejemplo, a la hora de calcular precios. Este cambio de posición de la barra de remolque respecto al vehículo push-back, es debido a la posición en la que se encuentra la cabina de mando del vehículo. Durante la maniobra de empuje, se acopla a la parte delantera del vehículo para que el conductor tenga la aeronave de cara, ya que esta debe retroceder hacia atrás y necesita ver si hay obstáculos y así poder redirigir la aeronave y poder encargarla hasta las líneas amarillas de la pista de rodadura.

Para tirar de la aeronave como si de un remolque se tratara, guiarla con el acople delantero sería prácticamente inviable. Hay que tener en cuenta que sería como intentar conducir un camión con un remolque marcha atrás, es una maniobra que va bien para aparcar y ajustar el remolque, o en este caso el avión, en un punto determinado, pero no es cómodo ni seguro para la circulación.

Tirar de una aeronave mediante un vehículo push-back convencional no es una maniobra que se suele aplicar a menudo. Pero tampoco es una maniobra descartada (ver Figura 4.4). En ocasiones suele aplicarse a la hora de remolcar aeronaves cuando se dispone de grandes superficies sin obstáculos, como por ejemplo, a la hora de llevar una aeronave que está siendo ensamblada o recién se la lleva a pintar de nuevo de un hangar a otro. Para estas operaciones se llevan las aeronaves a zonas específicas de aquellos aeropuertos donde las compañías aéreas disponen de sus propias instalaciones con grandes superficies para la fabricación o mantenimiento de su flota de aeronaves. Un ejemplo serían las instalaciones de Airbus en Toulouse, Francia, donde después de recibir las diferentes piezas fabricadas en diferentes puntos de Europa, estas son ensambladas y se procede con el pintado la aeronave.



Figura 4.4 Vehículo push-back convencional en configuración para tirar de la aeronave
Fuente: www.airliners.net

Esta tipología de vehículos está cada vez más en desuso. Como se ha mencionado, se requiere de una superficie especialmente ancha a la hora de maniobrar tirando de la aeronave. El motivo, una vez más, es por culpa de la barra. En este caso son dos los motivos por los que es necesario más espacio que en un vehículo push-back *towbarless*.

Una razón a esta necesidad de una gran superficie es la dificultad que tiene la maniobrabilidad de un vehículo convencional para el conductor. El uso de la barra de remolque implica que se generen dos ejes de giro, en vez de uno solo como en el caso de los *towbarless*. Al haber dos ejes de giro la aeronave puede volverse más inestable cuando se tira de ella y pendular entre los dos ejes al tomar ciertas curvas o realizar ciertos giros, poniendo en peligro tanto la propia aeronave como el vehículo push-back como se puede observar en la Figura 4.5.

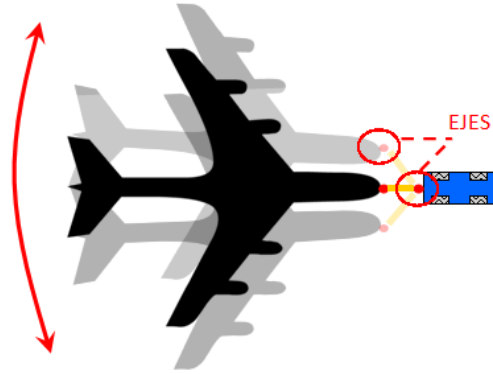


Figura 4.5 Representación gráfica del movimiento pendular entre aeronave y push-back

No solo el movimiento pendular y la dificultad de maniobrabilidad son los causantes de la necesidad de una superficie mayor para tirar de las aeronaves mediante vehículos convencionales. La limitación de maniobrabilidad también afecta. Para limitación de maniobrabilidad se entiende las limitaciones que se tiene con estos vehículos a la hora de tomar ciertos giros. El uso de la barra, aparte de implicar dos ejes, también implica mas distancia entre la aeronave y el vehículo remolcador. Esta distancia hace aumentar el ángulo de giro del vehículo con la aeronave, dificultando enormemente, y en algunos casos imposibilitando, la maniobrabilidad por las calles de rodadura más estrechas.

Finalmente, el último punto a tener en cuenta pero no por eso menos importante, son los costes de mantenimiento que suponen los vehículos convencionales. Más que el vehículo en sí, el problema radica en las barras de remolque *towbar*. No todas las aeronaves utilizan la misma barra de remolque, es por eso que en muchas ocasiones se necesitan varias barras para diferentes modelos de aeronaves (ver Figura 4.6).



Figura 4.6 Diferentes tipologías de *towbars* para varios modelos de aviones

Fuente: www.alibaba.com

Aparte del coste que supone la adquisición de diferentes barras y el peligro que supone encontrarse con una aeronave la cual requiera una barra de la que no se dispone, estas necesitan también su mantenimiento. Es cierto que no es un coste especialmente elevado, pero no por eso hay que descartarlo.

Analizando esta información, se ha determinado que los vehículos push-back convencionales no serían la mejor opción debido a sus problemas de maniobrabilidad y poca eficiencia a la hora de tirar de la aeronave. A continuación se analizará si los modelos *towbarless* podrían ser una mejor opción para implantar en el nuevo sistema de push-back propuesto en este TFG.

B) Vehículos towbarless

La principal ventaja de los vehículos *towbarless* (TBL) es la mejora en la maniobrabilidad que aportan frente a los vehículos convencionales. Al eliminar la barra de remolque a cambio de un acople directo con el tren de aterrizaje delantero de la aeronave, se consigue el mismo efecto que un tráiler con un remolque; una mejor maniobrabilidad, más facilidad de manejo, mayor velocidad de remolque y más eficiencia en cuanto al tiempo de maniobra y costes de mantenimiento.

Aparte de facilitar la maniobrabilidad, los TBL no necesitan hacer ninguna clase de cambio en el acople con la aeronave para pasar de empujar la aeronave a tirar de ella como se requería con los vehículos convencionales. Desde el mismo acople del tren de aterrizaje delantero se permite ambas maniobras. Para agilizar este cambio de maniobra y facilitar aun más las cosas a los conductores de los TBL, algunos modelos vienen con los instrumentos de conducción duplicados, es decir, dos volantes, dos aceleradores, dos frenos, etc. Una configuración de los mandos mira hacia delante del vehículo y los otros hacia el otro lado, así el conductor solo tiene que girarse para cambiar a maniobrar la aeronave en empuje o tirar de ella.

Como es de esperar, los modelos TBL están poco a poco sustituyendo los vehículos convencionales gracias a su simplicidad y las ventajas que aportan. Es por ello que se elegirá una tipología TBL para el nuevo sistema de push-back que se plantea.

4.1.2. MECÁNICA DE LOS VEHÍCULOS TBL PARA EL NUEVO SISTEMA DE RODADURA

Ahora que ya se ha decidido cuál sería la tipología de vehículo más adecuado para el nuevo sistema, hay que buscar que modelos encajarían más a las necesidades que este nuevo sistema requiere y también que este modelo ayude a conseguir los objetivos medioambientales propuestos.

La idea es encontrar un único modelo de push-back, ya que el uso de distintos modelos requeriría incrementar los costes en mantenimiento debido a la falta de homogeneidad en los vehículos, y el uso de un mismo modelo también facilitaría la operatividad del sistema.

A la hora de elegir un modelo concreto, se tendrá principalmente en cuenta que fuente de energía utiliza y por lo tanto que tipo de motor lleva el vehículo. Los motores se pueden clasificar de diversas maneras, por el tipo de combustible o fuente de energía que los mueva, por el tamaño, o por el tipo de aparatos de los que formen parte, entre otras clasificaciones. En relación al tipo de combustible o fuente de energía, los motores de los vehículos se pueden clasificar en cuatro tipos:

- **Motores de explosión o de gasolina:** Los motores de explosión utilizan la “explosión” de un combustible, gasolina, que es provocada por una chispa (generada a su vez por una corriente eléctrica), lo que provoca la expansión de gases, los cuales empujan pistones produciendo la acción de diversos mecanismos, dando movimiento al vehículo. Estos motores están ya en desuso debido a su alto consumo en gasolina. También es un motor que se habría descartado por las emisiones de ruido y las emisiones de gases contaminantes que emiten. Si es cierto que en comparación al consumo de las turbinas de una aeronave los motores de explosión tienen un gasto ínfimo de carburante, y también es cierto que los niveles de gases contaminantes y

ruido son muy inferiores a los de un motor *turbofan*¹, pero el propósito del nuevo sistema es minimizar de forma radical tanto las emisiones de ruido y gases como el ahorro en combustible tanto por parte de las aeronaves como en vehículos push-back.

- **Motores diesel:** En los motores diesel, el encendido se produce como consecuencia de una alta temperatura, que es la que posibilita que se comprima el aire en el interior del cilindro, es decir, es un motor térmico de combustión interna. Comparte semejanzas con los motores gasolina pero el consumo de combustible es menor. Aun ser un poco más pesados, los motores diesel son los más usados en los camiones y vehículos de trabajo, y por lo tanto también los más usados en los vehículos push-back. En cuanto a contaminación acústica y ambiental también se asemejan a los motores gasolina.
- **Motores de gas natural:** Su funcionamiento es similar al de los motores de combustibles líquidos (gasolina), usando el *ciclo de Otto*², pero utilizando para la obtención de energía un gas y no un combustible líquido. Están empezando a usarse sobre todo en autobuses de líneas metropolitanas pero no para vehículos de trabajo.
- **Motores eléctricos:** Los motores eléctricos son dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica, gracias a la acción de los campos magnéticos que se crean en las bobinas que los componen, la energía eléctrica hace que los campos magnéticos desplacen fuerzas que dan como resultado el desplazamiento del rotor, que al estar fijado al estator, se desplaza en un movimiento giratorio. Los motores eléctricos han demostrado ser mucho más eficientes que los motores de combustión. Los motores a combustión pierden parte de su energía en forma de calor, energía que se pierde y no es usada para el movimiento. La eficiencia en los motores eléctricos es bastante homogénea y siempre superior al 85% [25]. El único punto donde estos motores flaquean es en sus baterías. Por lo general suelen ser muy pesadas aun los avances en los últimos años.

De los tipos de motores propuestos el que se considera más adecuado al propósito del proyecto son los motores eléctricos. Son varias las razones por la elección de este tipo de motor frente a los otros:

- El hecho que sus baterías sean pesadas no supone un problema para un vehículo push-back. Hay que recordar que los vehículos push-back deben ser pesados para remolcar las aeronaves y que en ocasiones se les añade un lastre para pesar más, así pues, lo que para algunos vehículos puede suponer un problema, en el caso de los push-backs, el peso es una ventaja.
- Los motores eléctricos en vehículos de trabajo acostumbran a tener un margen de horas de durabilidad algo limitada, pero debido a que la implantación del nuevo sistema de push-back sería en horario nocturno, comprendido entre las 23:00 horas y las 07:00 de la mañana, el margen de tiempo no es muy amplio y se aseguraría la durabilidad de las baterías del vehículo durante toda su jornada de trabajo. Añadir también, que las operaciones en el aeropuerto en dicho horario son más espaciadas entre sí, dejando un margen más amplio de descanso al vehículo entre servicios.

(1) *Turbofan:* Los motores de aviación tipo turbofan (a veces turbofán) son una generación de motores de reacción que ha reemplazado a los turbo reactores o turbojet. También se suelen llamar turbo reactores de doble flujo (denominándose los anteriores como turbo reactores de flujo único).

(2) *Ciclo de Otto:* Ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado (motores de gasolina). Inventado por Nicolaus Otto en 1872. Se caracteriza porque en una primera aproximación teórica, todo el calor se aporta a volumen constante.

- El sector aeronáutico ya tiene experiencia en el uso de vehículos eléctricos en sus aeropuertos desde hace varios años. La implantación de estos motores fueron usados para los vehículos de **asistencia en tierra**³, como por ejemplo los tractores destinados a llevar los carritos de las maletas, y vehículos dentro de las mismas terminales, como por ejemplo pequeños vehículos de asistencia a la gente o soporte a los guardias de seguridad.

4.1.3. ELECCIÓN DEL MODELO PUSH-BACK PARA EL NUEVO SISTEMA DE RODADURA

Después de analizar que tipología de remolcador sería la mejor para el nuevo sistema de push-back, habiendo sido considerada la más conveniente la tipología TBL debido a su mejor maniobrabilidad y eficacia, y después de analizar y concluir que el motor eléctrico daría los mejores resultados para el cumplimiento de los objetivos planteados, es momento de decantarse por un modelo en concreto.

Para una implantación más homogénea y sencilla, se optará por la elección de un único modelo. Con un único modelo las operaciones de mantenimiento, como podría ser la reparación de los motores, el pedido de nuevas piezas para recambios o el estacionamiento de los vehículos, se ven fuertemente facilitadas gracias a la uniformidad de los vehículos.

Son varias las empresas que se dedican a la fabricación de vehículos para operaciones de remolque y de asistencia en tierra en aeropuertos, empresas como TUG Technologies Corp., la cual dispone de una amplia variedad de vehículos para todos los servicios en tierra, incluido algún vehículo eléctrico, como pueden ser tractores para las maletas o vehículos escalera [26]. Pero solo hay una empresa que se enfoque a la fabricación de vehículos push-back 100% eléctricos y lidere el mercado. La empresa LEKTRO.

Fundada en 1945, LEKTRO fue pionera en la fabricación de vehículos eléctricos y responsable del concepto y de la fabricación del primer vehículo *towbarless* completamente eléctrico en 1967. Desde la invención del concepto sin barra en 1967, LEKTRO se ha mantenido como el principal fabricante del mundo de vehículos de remolque de aviones sin barra [27]. Se ha optado por LEKTRO por su diferenciación frente a las otras empresas en varios aspectos a tener en cuenta:

- **No más "cementerio de barras de remolque"**: LEKTRO optó por la eliminación del ineficiente gancho de la barra y lo reemplazó por un soporte de captura suave universal que se adapta rápida y fácilmente a casi todos los aviones del mercado. Su soporte para la rueda de la nariz maneja con cuidado todo tipo de aeronaves, incluidos aviones de doble rueda en la nariz, aviones con **carenado en rueda**⁴ y aviones con sistema **shimmy damper**⁵, así como aviones inusuales, para los que no hay barras de remolque disponibles.

(3) *Asistencia en tierra: Son todos aquellos servicios que las aeronaves reciben una vez estacionadas en puertas o estacionamiento. También denominado servicio handling.*

(4) *Carenado en rueda: Se denomina carenado al revestimiento externo realizado con duraluminio, titanio, fibra de vidrio, fibra de carbono, plástico u otro material que se adapta al chasis con fines principalmente aerodinámicos, aunque también estéticos y por mantenimiento.*

(5) *Shimmy damper: Es una unidad hidráulica individual, que resiste repentinas cargas de torsión aplicadas a la rueda frontal durante las operaciones en tierra, permitiendo un giro suave de la misma. El principal propósito de este componente es prevenir oscilaciones extremadamente bruscas hacia la izquierda o derecha durante la operación de despegue y aterrizaje.*

- **Trabaja mejor con menos esfuerzo:** Se necesita menos mano de obra para trabajar con un remolcador sin barra ya que solo se requiere a una sola persona. El procedimiento de conexión se reduce al tiempo que minimiza el riesgo de lesiones personales y acorta el tiempo para mover la aeronave donde se desee. Los vehículos LEKTRO utilizan el propio peso de la aeronave para aumentar la tracción, lo que permite una tracción y un frenado seguros. El resultado es una mejor distribución del peso y menos resistencia a la rodadura, lo que requiere menos esfuerzo para mover el avión. Diseñados para acelerar suavemente, los vehículos de remolque LEKTRO eliminan los efectos discordantes y daños por cizallamiento excesivo de la carga común en remolcadores convencionales.
- **Contribuye a la reducción del efecto *esmog*⁶:** Los vehículos LEKTRO utilizan unos potentes motores eléctricos que están muy por delante de sus competidores. Con una carga de noche es suficiente para alimentar el tirón a través de dos turnos muy ocupados (en el caso del nuevo sistema de push-back planteado, la carga sería diurna). Con los años, el aumento de la presión por parte de las organizaciones aeronáuticas para mejorar la calidad del aire de los aeropuertos ha motivado a las compañías aéreas a buscar alternativas en los vehículos terrestres, vehículos de emisiones cero, como LEKTRO, son la solución perfecta. No sólo eso, los motores eléctricos tienen un funcionamiento más silencioso, lo que permite una mejor comunicación entre el operador del remolcador y el piloto o mantenimiento y personal de rampa.
- **Requieren menos mantenimiento:** Con LEKTRO simplemente se requiere cargar las baterías y añadir agua cuando sea necesario. No hay que cambiar el aceite, no hay necesidad de una puesta a punto, y son muy pocas las piezas móviles para reemplazar. Eso se suma a grandes ahorros en los costes de mantenimiento. De hecho, una evaluación científica de dos años por las Fuerzas Canadienses reveló que una flota de vehículos LEKTRO tienen entre un 60 a 70 por ciento menos costos de mantenimiento que una flota de remolcadores de aviones con motores diesel o gas [27].
- **Opción de personalización de vehículos:** Se puede elegir entre componentes o características añadidas para mejorar el funcionamiento o proteger a los operadores en condiciones climáticas extremas. Los vehículos LEKTRO pueden venir equipados con escaleras para facilitar el acceso de alto alcance, bastidores de equipaje, compartimentos de operador y más. También hay la opción de mantener los colores oficiales de la compañía o pintar el vehículo con los colores deseados según la corporación.
- **Grandes medidas de seguridad:** Consideraciones de seguridad abundan en LEKTRO. En el caso de fallo del sistema hidráulico, el soporte (o cuna) de la rueda de la nariz del avión se puede bajar sin energía o presión hidráulica, y así el freno puede ser liberado. En el caso de fallo del sistema eléctrico, se pueden llevar fusibles de repuesto a bordo fácilmente intercambiables. LEKTRO elimina todos los problemas ocasionados por las barras de remolque. Con su cuna universal, se requiere de una menor necesidad de mano de obra, una mayor capacidad de hangar y una disminución en el daño potencial de los aviones.

(6) *Esmog: El esmog (adaptación fonética del acrónimo smog, que deriva de las palabras inglesas smoke 'humo' y fog 'niebla'), también conocido por el calco "neblumo" o "niebla contaminante", es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes durante un largo período de altas presiones (anticiclón), que provoca el estancamiento del aire y, por lo tanto, la permanencia de los helios en la troposfera y a veces, en la estratosfera, debido a su mayor densidad.*

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

De entre todo el abanico de modelos de la compañía LEKTRO, se ha optado por el modelo AP8950SDB-AL-200 de la AP89 Series. La serie AP89 es la más potente de todas las que ofrece LEKTRO. Proporciona los mejores remolcadores push-back para aviones de aerolíneas de fuselaje estrecho, aviones de carga, incluidos los militares, y jets privados de grandes corporaciones. El modelo AP8950SDB-AL-200 concretamente está **OEM**⁷ certificado para el remolque de los modelos Boeing 737 y Airbus 320, dos de los modelos más usados en las compañías aéreas entre otros.

En la tabla 4.1 se puede ver el listado completo de todas las aeronaves certificadas para el uso de LEKTRO según su fabricante.

Tabla 4.1 Lista de aprobaciones OEM
Fuente: www.lektro.com

AIRBUS	DASSAULT FALCON JET (con't)
- A318/319/320/321 – APPROVAL	- Falcon 7X – CERTIFIED
ATR	- Falcon SMS – PENDING
- ATR-42/42-500/72 – PENDING	EMBRAER
BOEING	- EMB170/175/190/195 – CERTIFIED
- B737 (100-500) – PENDING	- ERJ135/140/145/145XR – CERTIFIED
- B737 (600-900) – APPROVAL	- Legacy 450/500 – CERTIFIED
- MD80-90 SERIES – B717 – PENDING	- Legacy 600/650 – CERTIFIED
BOMBARDIER AEROSPACE	- Phenom 100/300 – CERTIFIED
- CRJ-100 / 200 – APPROVAL	FAIRCHILD – DORNIER / AvCRAFT
- CRJ-700, CRJ-705 / CRJ-900 / CRJ-1000 – CERTIFIED	- DO-328-110 Turboprop – APPROVAL
- Challenger CL-600, CL-601, CL-602 - APPROVAL	- DO-328-Jet-300/-300ER/-310/-310ER – CERTIFIED
- Challenger CL-604 / CL-604DX / CL-605 – CERTIFIED	GULFSTREAM AEROSPACE
- Challenger CL-300 – CERTIFIED	- G-1 – APPROVAL
- Dash-8 Q-400 – CERTIFIED	- G-2 – APPROVAL
- Bombardier LearJet 30, 40 & 60 (All Series) – APPROVAL	- G-3 – APPROVAL
- Global Express/Express XRS/6000 – CERTIFIED	- G-350 – APPROVAL
- Global 5000 – CERTIFIED	- G-4 – APPROVAL
BRITISH AEROSPACE	- G-450 – APPROVAL
- BAe 146 – UNDER CONSIDERATION	- G-5 – APPROVAL
CESSNA AIRCRAFT COMPANY	- G-500 – APPROVAL
- Cessna Citation 650 (III) – APPROVAL	- G-550 – APPROVAL
- Cessna Citation 560/560XL (Excel) – APPROVAL	- G-650 – APPROVAL
- Cessna Citation 750 (X / TEN) – APPROVAL	HAWKER BEECHCRAFT
- Cessna Citation 680 (Sovereign) – CERTIFIED	- Hawker-750/800/800XP/850XP/900XP/1000 – NTO
DASSAULT FALCON JET	PILATUS
- Falcon 50 / 50EX – CERTIFIED	- Pilatus PC-12/12M/NG / U-28A – APPROVAL
- Falcon 2000 / 2000EX – CERTIFIED	SAAB
- Falcon 900 / 900EX – CERTIFIED	- F-340 A&B – APPROVAL

Actualmente no hay ningún vehículo en el mercado que sea eléctrico y puede empujar un avión más grande que un Airbus 321 o un Boeing 737-900, los dos aviones más grandes de la lista. Una idea de futuro sería iniciar una licitación para las empresas a diseñar y crear un vehículo que fuera capaz de empujar hasta un Airbus 380 completamente con energía eléctrica, siguiendo en la misma línea que los modelos actuales (sólo habría que hacerlo más grande y más potente). Dado que no había una necesidad de dicho vehículo en el pasado, es normal que aun no exista algo parecido. LEKTRO podría perfectamente encargarse de este proyecto a petición de las empresas aeronáuticas.

(7) OEM: Original Equipment Manufacturer (Fabricante de equipos originales en español) es un término usado cuando una empresa hace una parte o subsistema que se utiliza en el producto final de otra compañía. El término se utiliza de varias maneras, cada una de las cuales es clara dentro de un contexto. El término a veces se refiere a un fabricante de una parte o subconjunto, a veces a un fabricante de montaje final, y en ocasiones a una categoría mental que comprende los dos en contraste con todos los otros fabricantes de terceros de piezas o subconjuntos de la posventa.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

La Figura 4.7 muestra el dibujo del vehículo LEKTRO modelo AP8950SDB-AL-200 elegido para el nuevo sistema de push-back en Barajas. Se muestra el diseño básico antes de poder personalizarlo con los colores que el aeropuerto o compañía de *handling* elija.

AIRCRAFT TOWING VEHICLE

Model **AP8950SDB-AL-200**

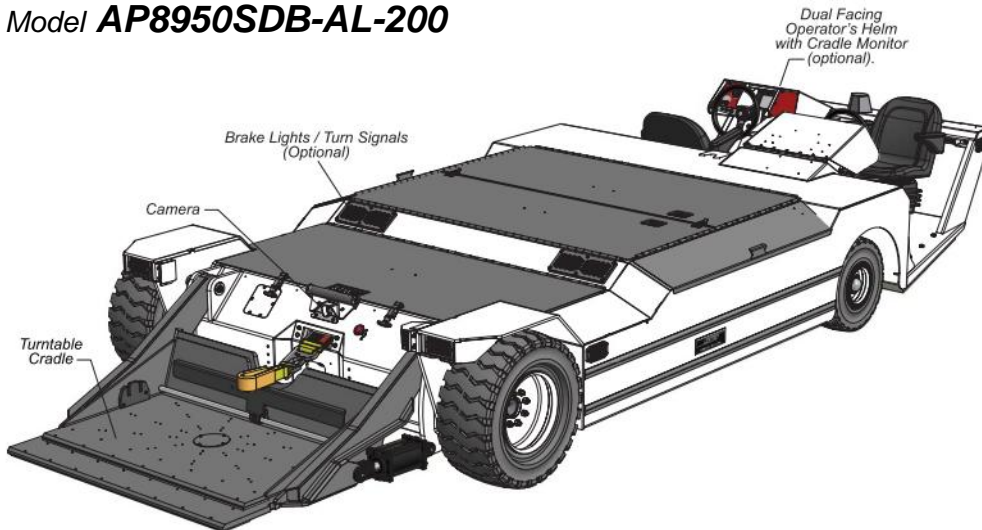


Figura 4.7 Vehículo LEKTRO AP8950SDB-AL-200

Fuente: www.lektro.com

La Tabla 4.2 que acompaña a la imagen, muestra las características técnicas del vehículo. Características técnicas importantes para saber las prestaciones exactas que ofrece el modelo AP8950SDB-AL-200.

Tabla 4.2 Características técnicas del LEKTRO AP8950SDB-AL-200

Fuente: www.lektro.com

AP8950SDB-AL FEATURES:	
<p>Vehicle Drive: 58.3 HP/45.5 kW, 80 VDC Traction Motor mated with Auburn/Dana 44 Differential.</p> <p>Motor Speed Control: EV-200 LX SCR with On-Board Diagnostics. Speed controlled by Foot Throttle.</p> <p>Batteries: Dual set of two 40 VDC Industrial, 680 AMP-HR Batteries (6 hr rate), wired in series-parallel with Single Point Watering System.</p> <p>GPU: Built-in Independent 12/24/28 VDC / 1175 CCA Batteries and Charging System, optional.</p> <p>Motive Battery Chargers: Two external Fully Automatic 120 AMP DC / 208-480 VAC / 60 Hz / 3-PH Chargers. 50 Hz, optional.</p> <p>Nose Gear Lift Cradle: Patented Universal Nose Gear Lift Cradle activated by an Electric/Hydraulic Pump Assembly combined with Aircraft Selection System and Patented Torque Sensing Turntable Cradle Deck.</p> <p>Winch: Heavy-duty Hydraulic Winch with Automatic Safety Cut-Off. Winch and Strut Straps included.</p> <p>Steering: Electric/Hydraulic Power Steering controlled through Automotive-type Tilt Wheel requiring minimal effort with very responsive steering action. Automatic Timer turns off power when tug not in use, increasing battery shift life. Simple Double Ended Cylinder Steering Axle with Tapered Roller Bearing Kingpins.</p> <p>Service Brakes: Foot Operated Power Hydraulic Disc-Type Service Brakes mounted on the input to each final Wheel Drive Gearing to achieve maximum braking with minimal effort.</p> <p>Parking Brake: Hand activated Electric Switch controlling Spring Applied/Hydraulic Released Calipers mounted on each Service Brake Disc.</p> <p>Drive Tires: Single 28 x 12.5-15 Semi-Pneumatic Traction Tread with Siping. Chains, optional.</p> <p>Steer Tires: 21 x 8-9 Semi-Pneumatic Traction Tread mounted to a Fully Suspended Steer Axle.</p> <p>Lighting: Dual Forward and Aft Headlights, Four Flashing Amber Running Lights and Amber Strobe Light mounted Center Rear. Brake Lights/Turn Signals and LED Bulbs, optional.</p>	<p>Operator's Compartment: Operator and Passenger Seats, Forward Facing, Premium Grade, Molded Polyurethane including Armrests. Operator's Seat features a Fully Suspended, Adjustable setting for height, fore/aft and weight. Seat Belts, Dual Facing Operator's Helm and Cab with Heater, Defroster, and Windshield Wipers, optional.</p> <p>Camera and Monitors: Camera at Aircraft Interface Area, with Color Monitor at "A" Station. "B" Station Monitor, optional.</p> <p>Construction: Welded Steel Plate and Polymers preserved by Primer and Automotive High-Gloss Red or White Enamel Paint with special protective Polyurethane Coating to prevent rust, scratches and corrosion. Steel Rub Rails protect from side impact. Custom colors, optional.</p>
SPECIFICATIONS:	
Length	246.6 in / 626.4 cm
Width	99.8 in / 253.6 cm
Height (At lowest steering tilt setting)	39.1 in / 99.3 cm
Turning Radius	209 in / 531 cm
Wheel Base	115.3 in / 292.8 cm
Vehicle Speed, Empty	7.5 MPH / 12 KPH
Vehicle Speed, Loaded (To max. Vehicle Capacity)	4 MPH / 6.44 KPH
**Lift Cradle Capacity	25,300 LBS / 11,476 KG
Nose Gear Cradle Lifting Height	11 in / 28 cm
Ground Clearance	5 in / 12.7 cm
Shipping Weight w/o Batteries & Chargers	10,100 LBS / 4581 KG
Shipping Weight w/ Motive Batteries & Chargers	19,800 LBS / 8981 KG
Shipping Weight w/ Motive & GPU Batteries & Chargers	20,200 LBS / 9162 KG
**Lift Capacity is calculated with 30 in / 76.2 cm diameter aircraft tire in lift cradle. Aircraft tire center line at 26 in / 66 cm from drive tire center line.	
ADDITIONAL OPTIONS:	
Draw Bar Pin, Specialized Aircraft Towing Adapters and Custom Highlift Adapters are available (consult factory). Illustration may show some optional equipment.	
*LEKTRO reserves the right to make changes and improvements in products and specifications without notice or obligation.	
PATENT Nos. 5,261,778/5,302,075. Other Patents Pending. 06/13	

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

En la Figura 4.8 que a continuación se puede ver el perfil, planta y alzado del vehículo junto con todas sus medidas, tanto en *pulgadas americanas*⁸ como en centímetros.

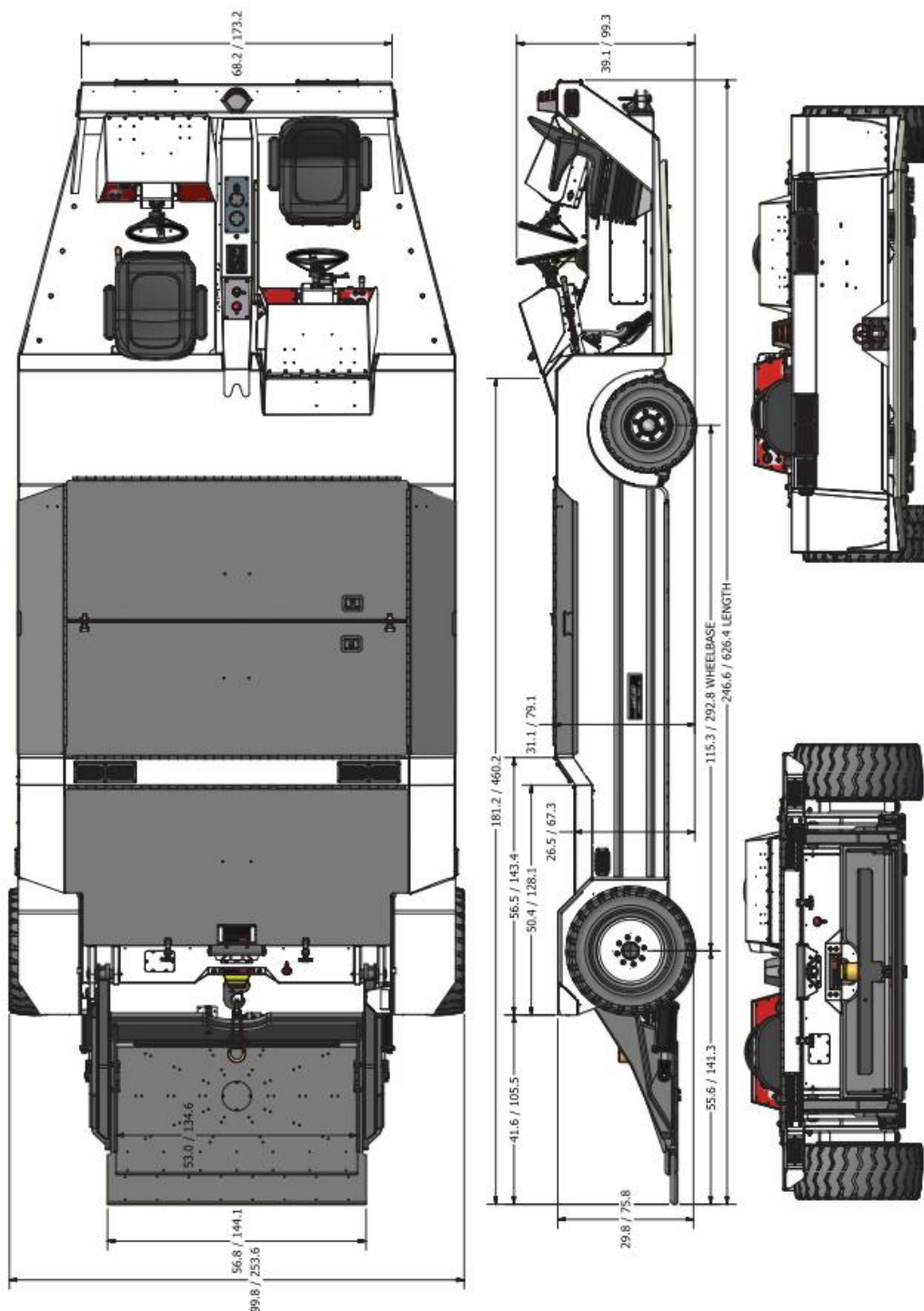


Figura 4.8 Medidas vehículo LEKTRO AP8950SDB-AL-200

Fuente: www.lektro.com

(8) Pulgada americana: Unidad de medida empleado habitualmente en EE.UU. Una pulgada americana es igual a 2,54mm.

4.2. La Unidad Auxiliar de Potencia (APU)

Como se explicó en el capítulo 2, este nuevo sistema de push-back para el aeropuerto de Barajas no solo pretende cambiar la dinámica de la operación de rodadura con el uso de nuevos vehículos, sino también pretende una alternativa al uso de la APU durante esta maniobra.

En este apartado se explicará detalladamente que son y cómo funcionan los generadores APU. Se analizará que sistemas se usan actualmente en los aeropuertos a la hora de proporcionar energía a las aeronaves sin que éstas tengan que usar su propia APU, y que alternativas hay a los sistemas empleados hoy día a fin de determinar si es posible ser sustituido por un sistema que pueda cumplir con los dos principales objetivos del proyecto, la reducción en costes en combustible y reducción de emisiones contaminantes.

4.2.1 LA APU EN LOS AVIONES

La APU es un dispositivo montado en un vehículo el cual tiene el propósito de proporcionar energía para diferentes funciones de la propulsión. Existen diferentes tipos de APU los cuales se pueden instalar en aviones o grandes vehículos terrestres como, por ejemplo, trenes o grandes camiones.

La APU de un avión es relativamente pequeña y consiste en un generador eléctrico que se suele emplear para arrancar los motores, proporcionar electricidad, presión hidráulica y aire acondicionado mientras el avión está en tierra sino se dispone de una fuente de energía exterior. En muchos aparatos también se utiliza para suministrar energía durante el vuelo.

Aunque las APU se montan en diferentes lugares de los aviones tanto civiles como militares, normalmente se sitúan en la cola de los reactores comerciales modernos. La salida de gases, como puede verse en la Figura 4.9 y en la mayoría de los aviones comerciales modernos, se visualiza como un pequeño tubo saliente en la cola.



Figura 4.9 Tubo de escape de la APU de un Airbus 380

Fuente: www.flickr.com

La primera unidad de este tipo fue una APU a gasolina montada en un Noel Pemberton Billing P.B.31 Nighthawk de 1916, un modelo militar empleado en la Primera Guerra Mundial [28]. El Boeing 727 de 1963 fue el primer reactor en incorporar una APU, permitiéndole operar en pequeños aeropuertos independientemente de las instalaciones con las que éstos contasen [29].

En la mayoría de los casos, la unidad es alimentada mediante una pequeña turbina de gas que proporciona aire comprimido para utilizarlo directamente o para almacenarlo en un compresor de

carga. Los diseños más recientes comienzan a explorar posibles soluciones mediante el uso del **motor Wankel**⁹, ya que ofrece mayor potencia específica que los motores de pistón clásicos y mejores tasas de consumo que las turbinas [30].

Las APU montadas en aviones ETOPS (siglas en inglés para "Operaciones bimotor de alcance extendido") son dispositivos críticos en términos de seguridad, ya que suponen una reserva de electricidad y aire comprimido en caso de fallo de motor. Mientras que algunas APU no son utilizables en vuelo, únicamente utilizables en tierra para proporcionar energía a la nave, las adaptadas para aviones ETOPS deben serlo hasta el techo de servicio. Si la APU o su generador eléctrico no funcionan en estas condiciones, el avión no será certificado como ETOPS y deberá ser dedicado a rutas más cortas [31].

Una APU de turbina de gas típica de un avión comercial se divide en tres secciones [32]:

- **Sección de potencia:** La sección de potencia consiste en un generador a gas que proporciona energía a la APU.
- **Compresor de carga:** El compresor de carga suele ser un compresor que suministra presión neumática al avión, aunque algunas APU reutilizan parte del aire expulsado por el compresor de la sección de potencia. Hay dos dispositivos accionables, el regulador de entrada de aire al compresor de carga y la válvula de control que mantiene constante el trabajo de la turbina.
- **Caja de cambios:** La tercera parte es una caja de cambios que transmite la fuerza a un generador eléctrico refrigerado mediante aceite encargado de suministrar electricidad al avión. Dentro de la caja de cambios también se transmite energía a ciertos accesorios tales como la unidad de control de combustible, el módulo de lubricación o el ventilador de refrigeración. Además, existe un motor conectado a la caja que asegura el arranque de la APU. Algunos diseños de estas unidades combinan motor de arranque y generador para arrancar la APU y suministrar electricidad para reducir la complejidad.

El problema de la APU y que el nuevo sistema de rodadura pretende mejorar es su consumo de queroseno y el ruido que éste emite cuando está en funcionamiento. El consumo medio de una APU es de unos 3 litros al minuto. En una rodadura estándar en el aeropuerto de Barajas, es decir, sin exceso de tráfico y en condiciones atmosféricas normales, un avión con las características de un Airbus 330, puede llegar a consumir 90 litros durante ésta maniobra [33].

4.2.2. FUENTES DE ENERGÍA EN TIERRA, LAS GPU

Las GPU (siglas en inglés para "Unidad de Potencia en Suelo"), es uno de los servicios de los llamados equipos de apoyo en tierra (Ground Support Equipment en inglés), el cual es el equipo de soporte que se encuentra en un aeropuerto, por lo general en la rampa, y el área de prestación de servicios por la terminal. Este equipo se utiliza para dar servicio a la aeronave entre vuelos. Como su nombre indica, el equipo de apoyo en tierra está ahí para apoyar las operaciones de las aeronaves mientras permanecen en el suelo. Las funciones de este equipo generalmente implican las operaciones terrestres de energía, movilidad y las operaciones de carga (tanto para carga de equipaje o mercancías como pasajeros).

(9) Motor Wankel: El motor Wankel es un tipo de motor de combustión interna, inventado por Félix Wankel, que utiliza rotores en vez de los pistones de los motores alternativos.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

La GPU es un vehículo capaz de suministrar energía a las aeronaves estacionadas en el suelo (ver Figura 4.10). A menudo también pueden ser construidos en la pasarela telescópica de la rampa, es decir, a los conocidos como *fingers*¹⁰, las pasarelas que se usan para que los pasajeros accedan a la aeronave desde la misma terminal sin necesidad de bajar a la zona de rampa, lo que hace aún más fácil y rápido el suministrar energía eléctrica a las aeronaves [34].



Figura 4.10 Vehículo GPU
Fuente: www.guinault.com

En la Figura 4.11 se puede ver el esquema de cómo funciona una GPU con instalaciones fijas y cómo usa la pasarela telescópica para enviar la energía a la aeronave.

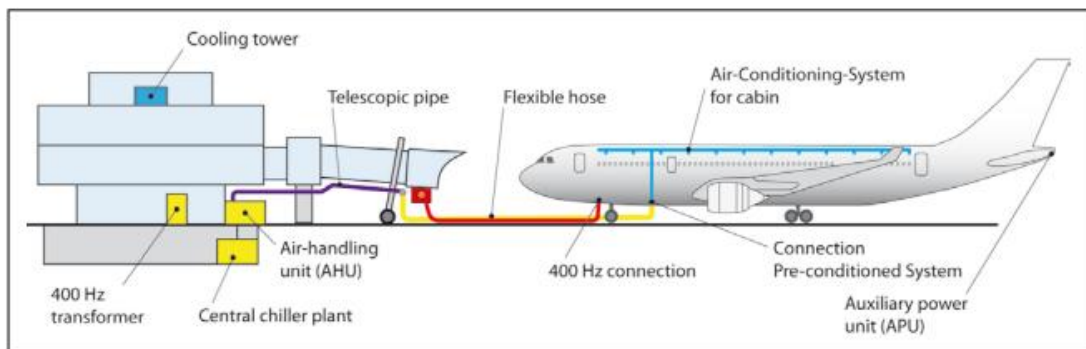


Figura 4.11 Esquema funcionamiento GPU fija
Fuente: www.aero-net.info

Este sistema es usado en el aeropuerto de Zurich, como se muestra en la Figura 4.12.



Figura 4.12 Sistema GPU fifo de Zurich
Fuente: www.aero-net.info

Muchos aviones requieren de 28 V de corriente continua y 115 V a 400 Hz de corriente alterna. La energía eléctrica se realiza a partir de un generador al cual se conecta en el avión a través de un cable con aislamiento de 4 hilos y 3 fases capaz de manejar 261 amperios (90 kVA). Estos conectores están hechos mediante unos estándares para todas las aeronaves, tal como se define en la norma ISO 6858 [35].

(10) *Fingers*: Dedos en inglés. Se nombran así a las pasarelas telescópicas debido a su forma alargada y articulada que recuerda al dedo de una mano.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Los GPU son utilizados en casos de mantenimiento y/o permanencia prolongada de las aeronaves en suelo, y sustituye al generador de la aeronave APU, permitiendo un mayor ahorro, tanto de combustible, como de mantenimiento del generador.

Los GPU son por lo tanto, el mejor sistema para que la aeronave esté abastecida de energía sin tener que usar su APU en estacionamiento, de forma que se pueda ahorrar en queroseno y en posibles costes de mantenimiento del generador. La cuestión ahora es si también se puede aportar energía a las aeronaves durante la maniobra de rodadura, no solo para cuando estén estacionadas.

La empresa Guinault Company ofrece una posible alternativa. Esta empresa es la creadora de una unidad GPU diseñada para poder ser cargada en un vehículo push-back de tipología *towbarless*. Hay que decir pero, que este sistema ha sido principalmente diseñado para ahorrar en espacio y tiempo a la hora de aportar energía extra a las aeronaves. Debido a que el propio vehículo push-back lleva consigo una unidad GPU, el mismo conductor del remolcador puede conectar los cables del generador a la aeronave una vez estacionada, sin necesidad de esperar a que venga un vehículo GPU [35].

En la Figura 4.13 se puede ver el GPU propuesto por Guinault Company y su colocación en un vehículo push-back *towbarless*.

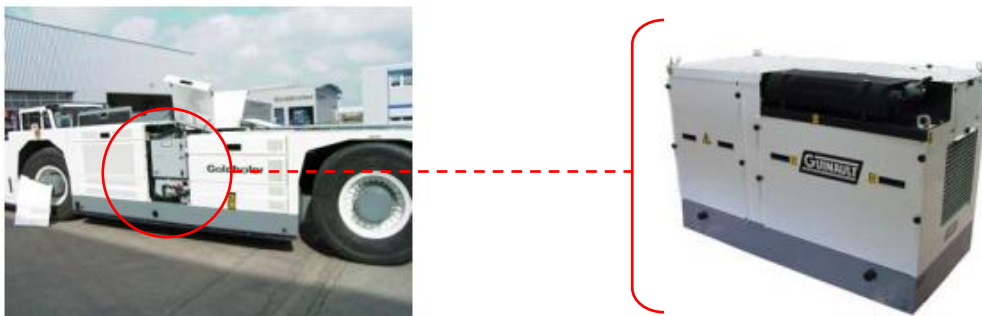


Figura 4.13 Unidad GPU para vehículos TBL

Fuente: www.guinault.com

Sin embargo, el sistema de GPU que Guinault Company propone, entra, en ciertos puntos, en conflicto con los objetivos del nuevo sistema de rodadura planteado en este TFG. Con éste sistema el vehículo TBL está obligado a permanecer junto a la aeronave hasta que esta tenga que partir, a menos que se le proporcione energía de otra fuente que no sea la GPU de abordo del vehículo TBL.

Otro problema es el tamaño. Esta unidad GPU es demasiado grande para el vehículo candidato al nuevo sistema de rodadura, el mencionado en el apartado 4.1.3., el LEKTRO AP8950SDB-AL-200. Esta unidad GPU está diseñada para vehículos TBL con motores diesel o híbridos y con un diseño tradicional, es decir, con perfil bajo y con lastre extra para darle más peso al vehículo y dotarle de mejor adherencia al suelo, haciendo por lo tanto, que el vehículo sea más grande y robusto. Los vehículos LEKTRO al funcionar mediante baterías eléctricas no necesitan de lastre extra, ya que las baterías empleadas para el funcionamiento del motor ya tienen suficiente peso, así pues, el conjunto del vehículo se hace más pequeño, a la vez que se evita sobrepeso en el vehículo el cual hay que evitar, ya que los motores eléctricos aún no son tan potentes como los diesel en los vehículos de tierra.

Una alternativa a este problema podría ser el uso de GPU's más pequeñas y que el LEKTRO pudiera cargar. Una GPU más pequeña implica por consiguiente, menos potencia eléctrica para la aeronave, ya que el generador sería más limitado. Hay que tener en cuenta también, que la GPU que cargaría consigo

el vehículo LEKTRO sería única y exclusivamente para aportar energía a la aeronave durante la rodadura, no cuando esta esté estacionada. Durante el estacionamiento la aeronave necesita de suficiente energía para poder mantener luces encendidas, cabina en funcionamiento, sistemas hidráulicos etc. Es por ello que se necesita gran cantidad de energía, así pues, durante el estacionamiento recibiría energía de una unidad GPU como las usadas hasta hora, tanto móvil como fija. Durante la rodadura en cambio, se requeriría energía solo para mantener la cabina en funcionamiento y las **luces de radiofaro**¹¹ y **luces de envergadura**¹² (teniendo en cuenta que durante la maniobra de rodadura las luces de la cabina de pasajeros se apagan para ahorrar energía cómo se hace ya habitualmente). Es importante recordar también, que los modelos más grandes que el LEKTRO puede remolcar son el Boeing 737-900 y el Airbus 321, estos dos aviones no requieren de tanta potencia eléctrica para la sustitución de sus APU.

La solución a este problema podría encontrarse en una tecnología empleada en los grandes camiones de mercancías, los cuales, para poder usar sistemas de aire acondicionado, motor de arranque del vehículo en circunstancias de frío extremo, sistema de calefacción o refrigeración y sistemas de generadores o alternadores, usan también unidades APU adaptadas a estos vehículos para poder suministrar la energía extra que pueda necesitar el camión cuando así lo requiera [36]. Desde hace años se están remplazando estos generadores, principalmente con combustible diesel, por otros de más ecológicos, concretamente los llamadas *Fuel Cells*, los cuales se explicarán en el siguiente apartado. Estos pequeños generadores usados en los camiones brindan la oportunidad de poder solucionar el problema del aporte de energía a las aeronaves durante la maniobra de rodadura, ya que pueden ser cargadas por el LEKTRO, y debido a su tecnología ecológica, cumplen con los requisitos medioambientales que el nuevo sistema de rodadura exige [37].

4.2.3. FUEL CELLS (CÉLULAS DE COMBUSTIBLE)

Una célula (o pila) de combustible es un dispositivo que convierte la energía química de un combustible en electricidad a través de una reacción química de iones de hidrógeno cargados positivamente con oxígeno u otro agente oxidante. Las células de combustible, a diferencia de las baterías, requieren de una fuente continua de combustible y oxígeno o aire para mantener la reacción química, mientras que en una batería, de los productos químicos presentes en la batería, reaccionan entre sí para generar una fuerza electromotriz. Las pilas de combustible pueden producir electricidad de forma continua durante tanto tiempo como se suministren estas entradas [38].

Cuando el combustible es hidrógeno, los únicos subproductos son agua pura y calor. El proceso general es la inversa de la electrólisis del agua. En la electrólisis, una corriente eléctrica aplicada al agua produce hidrógeno y oxígeno; invirtiendo el proceso, el hidrógeno y el oxígeno se combinan para producir electricidad, agua y calor [38].

Una célula de combustible tiene la ventaja de que es como una "fábrica química" que transforma continuamente la energía del combustible en energía eléctrica, siempre y cuando se suministre combustible. Sin embargo, a diferencia de los motores de combustión interna que se pueden considerar como las "fábricas", las pilas de combustible se basan en una reacción electroquímica que implica el uso de combustible, pero no en su combustión [39].

(11) Luces de radiofaro: Es la luz roja que destella, y por lo regular va en la parte más alta del estabilizador vertical y algunos en la "barriga" del avión, indicando que el avión está próximo a arrancar o esta con los motores encendidos y/o en movimiento.

(12) Luces de envergadura: Son las luces roja y verde, una en cada punta de ala, izquierda y derecha, respectivamente.

En el caso más sencillo, una célula de combustible de hidrógeno, la combustión de hidrógeno a agua se divide en dos reacciones electroquímicas que se producen en el **ánodo**¹³ y el **cátodo**¹⁴, respectivamente, que se denominan como las “dos reacciones de las células” [38]:

- Reacción de oxidación de hidrógeno (HOR) en el ánodo $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$
- Reacción de reducción de oxígeno (ORR) en el cátodo $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O}$

La combinación de las dos reacciones de células da la reacción global de combustión: $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$

Esto significa que una célula de combustible de hidrógeno, el único emisor que genera es agua. De esta manera el objetivo de reducir emisiones contaminantes por parte de una GPU que aporte energía a la aeronave durante la rodadura quedaría solucionado.

Cada tipo de célula de combustible puede tener sus propias características, geometría, dimensiones y materiales; sin embargo, el núcleo del dispositivo sigue siendo el mismo: consiste en un electrolito, dos electrodos, y dos capas de soporte de gas, y más a menudo, placas bipolares que separan las celdas unitarias [38].

Las ventajas que una célula de combustible tiene respecto a los motores de combustión convencionales son las siguientes:

- **Eficiencia:** Las pilas de combustible combinan muchas de las ventajas de ambos motores de combustión interna y baterías. Gracias a la conversión directa de energía química en energía eléctrica, las pilas de combustible son de 2 a 3 veces tan eficientes como los motores de combustión interna para la propulsión de vehículos. Curiosamente, la eficiencia de la célula de combustible no cae para sistemas pequeños, ya que no depende de su tamaño: a diferencia de las turbinas de gas, por ejemplo, que sufren de los efectos de escala, los dispositivos de células de combustible pequeñas son tan eficientes como los más grandes. En el modo de cogeneración con el uso simultáneo de electricidad y calor, la eficacia global ha de ser considerada. Esto explica que los sistemas estacionarios como las plantas de energía de pila de combustible pueden alcanzar eficiencias energéticas del 85%. Gracias al rendimiento térmico la eficiencia global prácticamente se duplica con respecto al sólo uso del rendimiento eléctrico [40].
- **Reducción de emisiones:** Dado que las células de combustible son sistemas electroquímicos y no se basan en la combustión, se pueden considerar la tecnología de creación de energía por consumo de combustible más limpia, con unas emisiones de esmog prácticamente a cero.
- **Producen beneficios en todas las aplicaciones:** la generación de energía, equipos industriales, el transporte, el poder militar y la electrónica de consumo. Las emisiones producidas por un sistema de pila de combustible dependen en gran medida del combustible utilizado y su origen. Por ejemplo, un vehículo con célula de combustible produce sólo agua si es alimentado por hidrógeno comprimido, algunos CO, CO₂ y metano (CH₄) si se alimenta con etanol, y dióxido de azufre (SO₂) adicional si se alimenta con gasolina [40].

(13) *Ánodo:* El ánodo es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material, al perder electrones, incrementa su estado de oxidación.

(14) *Cátodo:* Un cátodo es un electrodo con carga negativa que sufre una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al recibir electrones.

- **Fiabilidad, bajo mantenimiento y tranquilidad:** Las pilas de combustible pueden ayudar a dar estabilidad y continuidad a la red eléctrica, ya que pueden mantener una potencia de base continua en paralelo con o independiente de la red eléctrica. Las células de combustible proporcionan energía de alta calidad sin ningún riesgo de corte de energía. Tienen un rendimiento de funcionamiento más amplio y más predecible en rangos de temperatura que las baterías de plomo ácido. Las pilas de combustible pueden ser recargadas en todas partes en pocos minutos con la recarga de combustible, mientras que las baterías tienen que ser conectadas durante cierto tiempo de recarga (y eventualmente eliminadas cuando su capacidad de acumulación ha decaído demasiado). Operan al máximo rendimiento constante desde la reposición de combustible al agotamiento. Por lo tanto, el tiempo de trabajo es bien conocido y directamente proporcional a la cantidad de combustible suministrado. Además, las pilas de combustible son sistemas relativamente silenciosos que los hace aptos para zonas residenciales o con restricciones de ruido. Las únicas partes que son susceptibles de causar ruido moderado son las piezas de equipos auxiliares como ventiladores, compresores y bombas. Los niveles de ruido medidos en los sistemas estacionarios son típicamente precio tan bajo como 50 a 60 decibelios (dB) [40].

- **Sostenibilidad:** Las pilas de combustible son alimentados por hidrógeno, el elemento más abundante en el Universo. El hidrógeno puede ser producido a partir de una gran variedad de fuentes, incluyendo los combustibles fósiles, gas natural, metanol, y de varias fuentes de energía renovables: eólica, fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, etc. [40]. Este es un activo punto clave desde la perspectiva de la reducción de gases de efecto invernadero propuestos en el Protocolo de Kioto [41]. Debido a su bajo impacto ambiental, las pilas de combustible son una opción realista en diversos ámbitos afectados por el debate sobre el cambio climático: automotriz, residencial e industrial.

- **Compacidad:** Las pilas de combustible ofrecen una mayor densidad de energía y mayor capacidad de almacenamiento que las baterías, y por lo tanto una buena compacidad, que es interesante especialmente para aplicaciones portátiles como es el caso de este proyecto [40].

Son muchas las ventajas de las células de combustible en comparación a la GPU que la empresa Guinault Company propone para los remolcadores TBL. Compacidad, sostenibilidad y fiabilidad son los factores que hacen de las células de combustible el candidato perfecto para ser instalados en los vehículos LEKTRO. Aun así, hay tres puntos menos favorables a tener en cuenta:

- **Coste:** A día de hoy las células de combustible aún tienen unos costes de compra elevados en comparación a los motores de combustión interna. Para estos últimos se paga una media de 40\$ por kW de potencia para los motores de combustión interna, mientras que en las células de combustible se paga a una media de 1.800\$ el kW de potencia [42].

- **Durabilidad:** Como se ha explicado anteriormente, la eficacia de las células de combustible no decae a medida que se agota el combustible como pasa con las baterías eléctricas, por el contrario, tienen una durabilidad algo mejorable según que rendimiento se le dé a la célula [43].

- **Disponibilidad y distribución del hidrógeno:** En la actualidad, generalmente, el hidrógeno es producido en el mismo lugar donde se necesita. Sin embargo, en otras situaciones, este gas necesita ser trasladado de una zona a otra recorriendo distancias no precisamente menores. Además, el hidrógeno puede ser usado de diversas formas, por lo que es importante considerar

cómo guardarlo y desplazarlo de un lugar a otro. Es por ello que existen distintas formas de almacenar y transportar al hidrógeno, las que pueden ser clasificadas de acuerdo al estado físico del gas en cada situación: líquido, sólido o gaseoso; o bien, de acuerdo a la tecnología empleada para su respectivo desplazamiento, como puede ser los gaseoductos, almacenamiento en gas presurizado, almacenamiento en forma criogénica o líquida. Se tendría que analizar cuál sería la manera más eficiente y económica de abastecimiento de hidrógeno [43].

Aun estas tres pequeñas consideraciones a tener en cuenta sobre las células de combustible y analizadas las ventajas que aportan respecto a los GPU's con motores de combustión interna, se opta por el uso de las *Fuel Cells* para la aportación de energía a las aeronaves durante la rodadura.

Teniendo en cuenta las necesidades de energía para una aeronave, comprendidas entre 28 V de corriente continua y 115 V a 400 Hz de corriente alterna según el modelo de la aeronave, comentado en el apartado 4.2.2., hay que elegir una célula de combustible que pueda aportar el mismo potencial.

En vez de una sola célula capaz de proporcionar esta energía, se ha optado por el uso de dos células conectadas en serie, permitiendo duplicar la energía total recibida, y también haciéndole los ajustes precisos para aportar la frecuencia de 400 Hz necesaria [44].

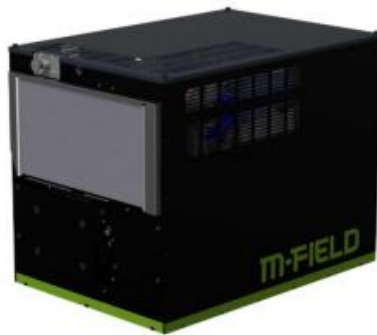


Figura 4.14 Fuel Cell TVH-1280, 80V
Fuente: www.m-field.com

En la Figura 4.14 se puede ver la célula de combustible elegida para ser instalada en el vehículo LEKTRO y que se instalaría de forma duplicada y conectadas en serie para conseguir los resultados esperados es el modelo TVH-1280, 80V de la empresa M-Field Energy LTD [45].

Tabla 4.3 Características técnicas de la célula de combustibe TVH-1280, 80V
Fuente: www.m-field.com

Dimension (cm)	W 71.1 x L 102.8 x H 73.8
Weight (kg)	850
Avg. Output	~12kW
Max. Output	35kW for 15 sec
Hybrid Battery	100Ah Lead-Acid
System Efficiency	>45% @ 10kW
Hydrogen Storage	~1.5kg @ 350 bar

La Tabla 4.3 muestra las características técnicas de la célula de combustible TVH-1280, 80V.

Conectando en serie dos células de combustible del modelo TVH-1280, 80V se podría conseguir un total de 160 V, superando por 45 V los 115 V de corriente continua de la GPU de la empresa Guinault Company y necesarios para abastecer la aeronave de la energía necesaria durante la maniobra de rodadura, tanto en dirección a la pista de despegue como en dirección a estacionamiento después de aterrizar.

4.3. Personal requerido

Una vez analizados los instrumentos y vehículos que compondrán la parte mecánica de este nuevo sistema de rodadura, toca analizar quienes serán los operarios responsables en llevar a cabo estas nuevas maniobras de rodadura con los nuevos vehículos push-back y que requisitos deben cumplir.

Este nuevo sistema de rodadura no requiere de unas operaciones ni protocolos que no se estén usando o aplicando hoy día en las actuales maniobras de remolque. Eso hace que los operarios actuales encargados de la conducción de los vehículos push-back puedan también estar capacitados para operar con este nuevo sistema de rodadura.

En el perfil de estos operarios el requisito imprescindible es el Permiso de Conducción en Plataforma, a partir de ahora PCP.

4.3.1. EL PERMISO DE CONDUCCIÓN EN PLATAFORMA (PCP)

La titulación PCP permite la conducción de vehículos dentro de la zona de plataforma de un aeropuerto en concreto. Se presenta como un documento personal e intransferible, que sirve de identificación al interesado junto con su acreditación personal y su DNI.

Existen dos tipos de PCP según las zonas del recinto aeroportuario en las que se autorizan a conducir [6]:

- PCP: Permiso para conducir en la totalidad del recinto aeroportuario, excepto en el Área de Maniobras.
- PCP A.M.: Permiso para conducir en la totalidad del recinto aeroportuario.

Todo poseedor del PCP deberá disponer de la acreditación personal que permite el acceso a la plataforma, permiso de conducción del tipo B o superior en vigor y un certificado de aptitud emitido por la compañía operadora del mismo.

Para la obtención del PCP se debe superar un examen que acredite el conocimiento de la Normativa de Seguridad en Plataforma en vigor, así como otros conocimientos que determine la Dirección del Aeropuerto.

En el caso del PCP A.M., el poseedor deberá disponer además de lo anterior, de: la acreditación personal que permita el acceso al área de maniobras y de la "Formación básica para conducir en el área de maniobras y/o utilización de frecuencias aeronáuticas".

La retirada de la acreditación personal que permite el acceso a plataforma, implicará la automática retirada del PCP.

Cada aeropuerto gestiona sus PCP, y éstos sólo son válidos en el aeropuerto donde se han expedido [6].

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

La Figura 4.15 muestra una ficha de solicitud o modificación para el certificado PCP.

PERMISO DE CONDUCCIÓN EN PLATAFORMA – SOLICITUD / MODIFICACION DE DATOS	
Aeropuerto de _____	
TIPO DE SOLICITUD	
NUEVA SOLICITUD: <input type="radio"/> RENOVACION: <input checked="" type="radio"/> DUPLICADO POR PERDIDA: <input type="radio"/> MODIFICACION DE DATOS: <input type="radio"/> BAJA EN LA EMPRESA DESDE LA FECHA: _____ OTRAS (ESPECIFICAR): _____	
EMPRESA:	CONCESIÓN O CONTRATO:
DATOS DEL SOLICITANTE / TITULAR DEL PCP	
NOMBRE:	APELLIDOS:
DNI / PASAPORTE:	Nº ACREDITACIÓN PERSONAL:
	FECHA FIN DE VALIDEZ ACREDITACIÓN:
TIPO P. CONDUCCIÓN:	B C1 C D1 D E <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
FECHA CADUCIDAD:	
SOLICITA ACCESO AL ÁREA DE MANIOBRAS: S/N	
CARGO EN LA EMPRESA:	FECHA FIN CONTRATO:
OBSERVACIONES:	
El uso del Permiso de Conducción en Plataforma (PCP) solicitado conlleva la obligación, por parte del titular del mismo y de la empresa a que pertenece, de cumplir la Normativa de Seguridad en Plataforma (cuyo texto es conocido por el solicitante, y en caso contrario, se le hace entrega en este momento de una copia de la misma) así como todas las demás órdenes e instrucciones que dicte la Dirección del Aeropuerto.	
FECHA DE LA SOLICITUD:	SOLICITANTE/TITULAR PCP:
FIRMA DEL REPRESENTANTE DE LA EMPRESA Y SELLO:	FIRMA:
NIF/DNI: <input type="text"/>	NIF/DNI:

Figura 4.18 Ficha de solicitud o modificación para el certificado PCP

Fuente: www.aena.es

La solicitud deberá ser realizada por un único representante reconocido de la Compañía Aérea, agente de asistencia o autoasistencia, concesionario del aeropuerto o empresa de servicios radicada en el aeropuerto, que asumirá la veracidad de los datos aportados.

En el caso de conductores que trabajen para varias empresas, deberá presentarse una solicitud y emitirse una nueva tarjeta del PCP del conductor para cada una de las empresas.

Se puede solicitar la emisión de nuevo PCP, renovación, duplicado por extravío o cualquier modificación de los datos del PCP [6].

En los anexos se encuentra un diagrama de las señales de plataforma que sirve de guía de aprendizaje para los conductores certificados con el PCP A.M. junto con la leyenda con las explicaciones de las señales horizontales.

4.4. Infraestructuras requeridas

En esta breve sección se nombran las infraestructuras necesarias para el nuevo sistema de push-back.

Una de las principales ventajas de este nuevo sistema de rodadura es que no requiere de una o unas infraestructuras especiales, es decir, no requiere de una infraestructura única y exclusivamente dedicada y destinada a este sistema.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

La única infraestructura que requiere este sistema y con el que el aeropuerto de Barajas actualmente cuenta, es una zona de cargado de baterías y mantenimiento de los vehículos.

Las zonas de cargado de baterías y mantenimiento está ubicadas a los alrededores las terminales T-1, T-2 y T-3. En la Figura 4.16 se pueden ver las diferentes ubicaciones de estas infraestructuras.

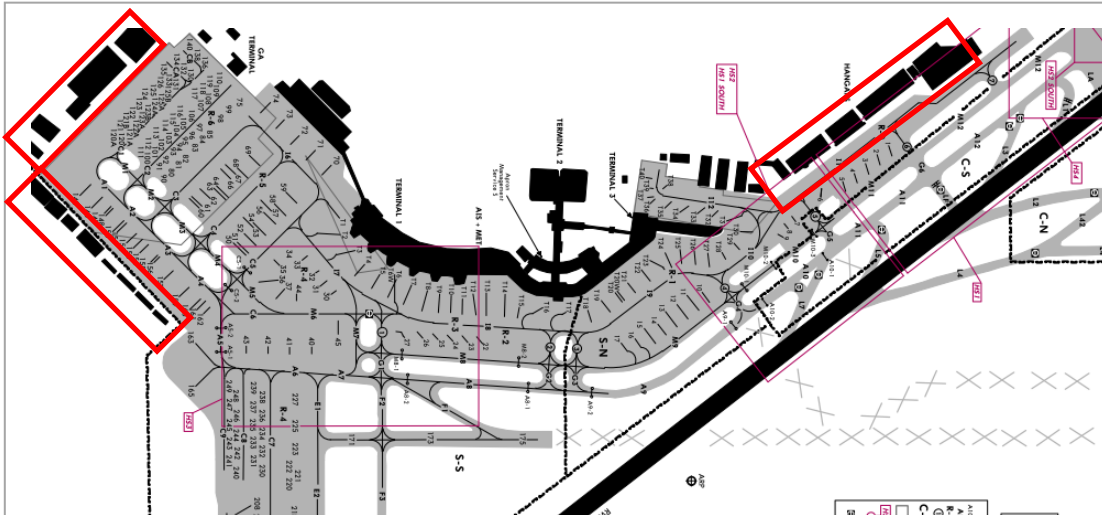


Figura 4.16 Ubicación zonas de cargado de baterías y mantenimiento
Fuente: carta aeronáutica LEMD Jeppesen

4.5. Conclusiones del estudio de la viabilidad técnica

En este capítulo se ha realizado un estudio de todos aquellos requisitos mecánicos y humanos necesarios para la implantación del nuevo sistema de push-back, y se ha determinado si éstos están al alcance, es decir, si están disponibles actualmente. Como se indicó en la introducción de este capítulo, los dos puntos clave a tener en cuenta eran los propios vehículos push-back y la aportación extra de energía para las aeronaves, los cuales después de un análisis de las ofertas actuales del mercado se ha llegado a una serie de elecciones logrando así la viabilidad técnica de este nuevo sistema de push-back.

- **Vehículos push-back:** La elección de un modelo de push-back que cumpliera con todos los objetivos propuestos en este nuevo sistema de rodadura era parte importantísima en este proyecto, de ello depende el éxito en las nuevas maniobras de rodadura. La elección de LEKTRO ha sido aprobada tanto por los beneficios que aporta en el nuevo sistema de rodadura como los años que abalan a la empresa, siendo esta líder en el mercado de vehículos remolcadores eléctricos. El modelo AP8950SDB-AL-200 seleccionado para este proyecto cumple con los requisitos medioambientales que propone el nuevo sistema de rodadura. También es cierto y hay que tener en cuenta, que este modelo no puede remolcar la totalidad de las aeronaves que actualmente operan en el aeropuerto de Barajas, pero si con los modelos más comunes y más frecuentados.
- **La APU:** Este es posiblemente el punto más débil del nuevo sistema de rodadura. El problema, como se analizó, radica en el tamaño del LEKTRO, el cual le imposibilita el poder llevar consigo una unidad GPU móvil como la que propone la empresa Guinault Company. También es cierto

que para poder cumplir con los objetivos de reducción de sonido y poder fomentar el uso de las zonas del aeropuerto que actualmente permanecen cerradas en horario nocturno, esta unidad GPU no era válida. Finalmente se ha opta por las células de combustible TVH-1280, 80V. El principal problema de estas células de combustible, y por ello el hecho de clasificarlo como punto débil, es su coste. Un coste en la inversión inicial bastante elevado teniendo en cuenta que cada vehículo tendría que llevar dos células para llegar a los mínimos de energía requeridos por las aeronaves. También habrá que tener en cuenta, y que en el estudio de viabilidad operacional se analizará, serán las modificaciones que tendrían que recibir los vehículos LEKTRO para poder cargar con las dos células de combustible.

- **Personal requerido:** Este es el requisito para el nuevo sistema de rodadura más fácil de conseguir y que menos problemas requiere. Como se ha analizado, Aena dispone de las herramientas y los medios para llevar a cabo el curso y la entrega de la correspondiente acreditación PCP según el aeropuerto del que se trate. La titulación PCP es gratuita para el operario. Quien se hace responsable de los costes del curso es la empresa aeronáutica para la que el operario trabaje. Eso significa que las empresas responsables de aportar el servicio de remolque a las aeronaves en los aeropuertos se encargan ellas mismas de que sus operarios dispongan de la titulación PCP correspondiente a sus necesidades y con la acreditación y aprobación de Aena.

- **Infraestructuras requeridas:** junto con el personal requerido, este punto dispone de la ventaja de su actual disposición en el aeropuerto de Barajas. Dependiendo de la compañía de *handling* que prestara sus servicios mediante el nuevo sistema de rodadura propuesto, usaría una zona de carga y mantenimiento u otra.

En el capítulo 6 que corresponde al estudio de viabilidad operacional se analizará y se llevará a cabo una estimación sobre cuantas unidades se requerirán de recursos mecánicos y humanos para poder también, más adelante, hacer un mejor y más preciso estudio de viabilidad económica. El motivo por el cual se realizará la estimación en el capítulo del estudio operacional, es debido al número de operaciones que se requiere abarcar, es decir, primero es necesario hacer un estudio de las operaciones de despegue y aterrizaje del Aeropuerto para saber cuántas aeronaves tendrían que prestar servicio los vehículos push-back, para cuantificar, en la medida de lo posible, exactamente cuántos vehículos LEKTRO se necesitarían.

5. VIABILIDAD LEGAL

En este capítulo se presentan todas aquellas normas y procedimientos sujetos a restricciones que hay implantadas en el aeropuerto de Barajas. El capítulo se divide en tres grandes puntos necesarios para el éxito en el cumplimiento de todas las normativas exigidas por Aena para el aeropuerto de Barajas, en cuanto a operatividad de tierra y restricciones de ruido se refiere (ver Figura 5.1). Se analizarán las normativas que rigen el Aeropuerto, tanto a la hora de rodar, restricciones por ruido, como posibles permisos necesarios para poder operar con los vehículos push-back seleccionados para este nuevo sistema de rodadura y si existen impedimentos o limitaciones para la implantación de este nuevo sistema. Los tres puntos a analizar son los siguientes:

- Procedimientos generales de rodaje
- Restricciones nocturnas por cuota de ruido
- Permisos para el uso de los nuevos vehículos push-back y GPU's



Figura 5.1 Normativas y restricciones legales a seguir.

En ocasiones el estudio de viabilidad legal se realiza posteriormente al estudio de viabilidad operacional para, entre otros aspectos, estudiar y analizar que leyes o normas habría que cambiar, recurrir o aportar de nuevo para la buena operacionalidad del sistema propuesto. Para el nuevo sistema de rodadura, se ha considerado estudiar primeramente que normas rigen el aeropuerto de Barajas para así poder operar con el sistema de acuerdo a estas mismas normativas. Se opta por este recurso para evitar la necesidad de implantar nuevas normas que hagan más dificultosa la operación de rodadura por parte de los pilotos, los cuales ya suelen quejarse de la dificultad de rodar en aeropuertos tan grandes y complejos [46].

5.1. Procedimientos generales de rodaje

En esta sección se recogen todas las normas que rigen el aeropuerto de Barajas para la operación de rodadura, tanto para rodar hacia la pista de despegue, como para ir a rampa o estacionamiento después del aterrizaje. Las siguientes normas están recogidas en carta de navegación **LEMD**¹ de Jeppesen, donde se explican tanto restricciones operativas como calles de rodadura ya preestablecidas que mejoran y facilitan el rodaje en el Aeropuerto, las cuales además, son de obligatorio cumplimiento [47]. Pista de aterrizaje y despegue a partir de ahora RWY y calle de rodadura TWY.

(1) LEMD: En código OACI, Aeropuerto de Madrid Barajas.

5.1.1 MOVIMIENTO EN SUPERFICIE

En este apartado se presentan todas aquellas normas que afectan a todos los movimientos y maniobras en superficie:

- A)** A excepción de los vehículos de salvamento y extinción de incendios en el desarrollo de sus misiones específicas, todos los movimientos en superficie de aeronaves, aeronaves remolcadas, personas y vehículos en el área de maniobras están sujetos a autorización previa del ATC.

- B)** El Control de Movimiento de Superficie de Barajas (GMC) es responsable de:
 - a) El control de todos los movimientos de aeronaves, personas y vehículos que se efectúen en el área de maniobras a excepción de la pista o pistas en uso.

 - b) Expedir aprobaciones para el retroceso remolcado e instrucciones de rodaje a las aeronaves y en los puestos de estacionamiento 6 a 9 de la plataforma T-123.

 - c) Comunicar a las aeronaves los puestos de estacionamiento que asigne el Centro de Gestión Aeroportuaria (CGA) en los puestos de estacionamiento 1 a 5 de la plataforma T-123.

- C)** No se prestará servicio de guiado mediante vehículo "Sígame" para acceso a ningún puesto de estacionamiento, salvo casos excepcionales y a petición del comandante de la aeronave.

- D)** Las aeronaves abandonando pista por una salida rápida siempre tendrán prioridad frente al resto de aeronaves, las cuales deberán cederles el paso utilizando los puntos de espera intermedios.

- E)** Las plataformas del aeropuerto están dotadas de un Servicio de Dirección en la Plataforma (SDP) responsable de:
 - a) La gestión de todos los movimientos de aeronaves.

 - b) Expedir instrucciones para el retroceso remolcado y rodaje de las aeronaves.

 - c) Comunicar a las aeronaves los puestos de estacionamiento que asigne el Centro de Gestión Aeroportuaria (CGA).

5.1.1.1. Maniobras de retroceso y rodaje

En este sub-apartado del movimiento de superficie se presentan todas aquellas normas que afectan a la maniobra de retroceso y maniobra de rodaje:

- A)** Las maniobras de retroceso se efectuarán según se especifica en las cartas de navegación de LEMD, salvo instrucciones en contra del Servicio de Dirección en la Plataforma (SDP).

- B)** A menos que el GMC o el Servicio de Dirección de Plataforma (SDP) indiquen otra ruta distinta, las aeronaves efectuarán el rodaje siguiendo la RUTA DE RODAJE NORMALIZADA apropiada de entre las que figuran más adelante.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- C) Las autorizaciones e instrucciones del ATC deben ser colacionadas. Las instrucciones del Servicio de Dirección en la Plataforma (SDP) deberán ser también colacionadas.
- D) En todos los puestos de estacionamiento con salida autónoma, la maniobra de salida se realizará a la mínima potencia requerida para iniciar el rodaje.
- E) Desde las 23:00 a las 07:00 hora local, se prohíben los movimientos en Rampas 5 y 6. Sólo se permitirá el uso de los equipos necesarios para las labores propias del mantenimiento del avión y, en caso necesario, si una aeronave debe ser carreteada fuera de la zona restringida, deberá realizarse mediante un tractor eléctrico; en cuyo caso se ajustará a las siguientes condiciones:
 - a) Entrada a puestos de estacionamiento 75 y 80 a 140: Todas las aeronaves se pararán en TWY A4 (en configuración norte) o en TWY M4 (en configuración sur) para, desde allí, ser remolcadas con los motores parados al puesto de estacionamiento asignada. Únicamente se permiten remolques con tractores de motor eléctrico.
 - b) Salida de puestos de estacionamiento 75 y 80 a 140: Las aeronaves serán remolcadas con los motores parados hasta estar alineadas con TWY M4 (en configuración norte) o TWY A4 (en configuración sur). Únicamente se permiten remolques con tractores de motor eléctrico.
 - c) En la operación de rodaje, el uso de la APU está prohibido para todo tipo de aeronaves.
- F) Si en una maniobra de push-back el piloto no puede mantener la comunicación oral vía auriculares o radio con el coordinador o conductor del tractor, lo comunicará inmediatamente al Servicio de Dirección en Plataforma.

5.1.1.2. Limitaciones de rodaje

En este sub-apartado del movimiento de superficie se presentan todas aquellas normas que afectan a la limitación de la maniobra de rodaje:

A) GENERALIDADES

Clasificación de aeronaves según el capítulo 1 del anexo 14 de OACI:

- a) Tipo F: Envergadura igual o superior a 65 m, e inferior a 80 m.
- b) Tipo E: Envergadura igual o superior a 52 m, e inferior a 65 m.
- c) Tipo D: Envergadura igual o superior a 36 m, e inferior a 52 m.
- d) Tipo C: Envergadura igual o superior a 24 m, e inferior a 36 m.
- e) Tipo B o inferior: Envergadura inferior a 24 m.

B) RODADURAS

- a) Restricciones a calles de rodaje y puertas de acceso a plataforma según envergadura máxima:
 - Están limitadas al uso de aeronaves tipo B:
 - TWY: CA, CB, C1 (desde los puestos de estacionamiento 116 al 119), C8 y C9.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- Están limitadas al uso de aeronaves tipo C:
 - TWY: C1, C2, J5, J15, J6, J16, W5, W6, W16, WN1, WN2, WA y Gate 7.
 - TWY WN3 si el stand 400 está ocupado.
 - TWY DI3 , DI4 si las TWY D3, D4 están ocupadas por aeronave tipo E.
 - TWY X2 si el stand 448 está ocupado por A346.
 - TWY I12 tramo entre stands 36 a 40 está limitado al uso de aeronaves con envergadura máxima de 31 m.

 - Están limitadas al uso de aeronaves tipo D:
 - TWY: DI3, DI4, I8 a I11, excepto el tramo TWY I9 entre SV7 y Gate 3. Gate 4 y Gate 5.
 - TWY I11 tramo entre stands 1 a 5, C11 y Gate 6 están limitados al uso de aeronaves con envergadura máxima de 38 m.
 - TWY D3, D4 si las TWY DI3, DI4 están ocupadas por aeronave tipo D.
 - TWY R8 durante el rodaje de aeronave B747-8F vía TWY R1.
 - No podrán posicionarse simultáneamente con aeronave B747-8F otras aeronaves, en puntos de espera Z2 y Z4 en RWY 36L, o puntos de espera LA y LB en RWY 14R.
 - Las aeronaves B747-8F no podrán utilizar los puntos de espera LC y LD para RWY 14R.

 - Están limitadas al uso de aeronaves tipo E:
 - TWY A1 a A17, Tramo de TWY I8 e I9 entre Gate 2 y SV7, E1 a E4 ,F1 a F4, M1 a M17, M27 a M34, calles de rampas 4, 5 y 6 EXC C2. Gate 1, Gate 2, Gate 3.
 - Calles de RWY 14R/32L EXC L2, L4, LE, L42.
 - Calles de RWY 18R/36L EXC Z1, Z3, Z7, zona de deshielo de RWY 36L y calles de acceso a plataforma T-4.
 - TWY AZ2 a AZ6, MZ3 a MZ6, EB1, EB2, EB6 a EB8, EC1, EC2, EC4, EC6, EC8, KA8.

 - Están limitadas al uso de aeronaves tipo F:
 - TWY: A18 a A34, L2, L4, L42, LE, ME1, ME2, M18 a M25, MC, MD, Z1, Z3, Z7.
 - Calles de plataforma T-4S EXC EB y EC, zona de deshielo de RWY 36R, Gate 11 y Gate 12.
 - Calles de RWY 18L/36R y de RWY 14L/32R.
- b) Restricciones a puestos de estacionamiento:
- Rutas desde/a puestos de estacionamientos 40 y 165 en Rampa 4 para aeronave tipo B747-8F en configuración norte:
 - Llegada RWY 32L/32R rutas normalizadas.
 - Salida RWY 36L vía A6, G1, M8, ..., MZ3, R1 y Z4 o vía A6, G1, M8, ..., M20, B2, Z1 o Z3.
 - Salida RWY 36R vía A6, G1, M8, ..., M20, B2, ..., TWY B punto de espera Y3.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- Rutas desde/a puestos de estacionamientos 40 y 165 en Rampa 4 para aeronave tipo B747-8F en configuración sur:
 - Llegada RWY 18R rutas normalizadas hasta M8, G1, A6.
 - Llegada RWY 18L seguir instrucciones ATC vía N, M21, ..., M8, G1, A6.
 - Salida RWY 14R rutas normalizadas hasta punto de espera LA o A19, ME2 a punto de espera LE.

5.1.2. PUESTA EN MARCHA DE MOTORES/TURBINAS

En este apartado se presentan todas aquellas normas que afectan a la puesta en marcha de los motores o turbinas de las aeronaves:

- A) Las aeronaves deben estar completamente listas para puesta en marcha antes de llamar en la frecuencia correspondiente: 130.350 MHz si proceden vía SIE, ZMR, BARDI, CCS o VTB y 130.075 MHz si proceden vía RBO, PINAR, NANDO TEMIR o NASOS. En configuración Sur, la frecuencia correspondiente a las salidas vía NASOS es 130.350 MHz.
- B) Al solicitar puesta en marcha, los pilotos notificarán al ATC el indicativo completo de la aeronave, tipo de aeronave y serie, el puesto de estacionamiento que ocupan y el mensaje ATIS recibido.
- C) El permiso se expedirá tan pronto se solicite, a menos que se prevean demoras superiores a 15 minutos, en cuyo caso el ATC indicará la hora en la que puede efectuarse la puesta en marcha.
- D) Cuando se expida el permiso de puesta en marcha u hora en la que pueda efectuarse, BARAJAS-AUTORIZACIONES entregará a la aeronave la autorización ATC. Cuando la aeronave solicite retroceso o rodaje, BARAJAS-AUTORIZACIONES instruirá a la aeronave a que comunique con el Servicio de Dirección de Plataforma (SDP) en la frecuencia correspondiente. El Servicio de Dirección de Plataforma (SDP) será el encargado de expedir las instrucciones y aprobación de retroceso y/o rodaje. La salida de las aeronaves estacionadas en los puestos de estacionamiento 6 a 9 de la plataforma T-123 será gestionada directamente por ATC; una vez autorizada la puesta en marcha BARAJAS-AUTORIZACIONES les instruirá a que contacten con la correspondiente frecuencia ATC para solicitud de rodaje.
- E) En todos los puestos de estacionamiento en contacto con el edificio terminal queda prohibida la puesta en marcha de motores en régimen superior al relentí hasta que la aeronave esté alineada en la calle de rodaje.
- F) Se prohíbe la utilización del empuje de reversa para abandonar los puestos de estacionamiento, salvo autorización expresa de la autoridad aeroportuaria.

5.2. Restricciones nocturnas por cuota de ruido

A continuación se muestran todas las normativas que afectan al sonido emitido por las aeronaves, tanto en maniobras de rodadura, despegue, aterrizaje o encendido de motores:

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- A) Se prohíbe la operación de despegue y aterrizaje de aeronaves clasificadas como CR-4 o superior.
- B) Desde el 2 de noviembre del 2006 se establecen restricciones parciales por cuota de ruido entre las 23:00 y las 07:00 hora local.
- C) A partir del 28 de marzo de 2007, ninguna compañía aérea podrá incrementar el número de vuelos realizado en el aeropuerto con aeronaves marginalmente conformes (aviones de reacción subsónicos civiles que cumplen los valores límite de certificación del volumen 1, segunda parte, capítulo 3, Anexo 16 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional por un margen acumulado no superior a 5EPNdB), en cada temporada de tráfico IATA o fracción de la misma, con respecto al número de vuelos operados con éstas aeronaves en la correspondiente temporada de tráfico IATA o fracción de la misma del año 2006.
- D) A partir del 28 de septiembre de 2007, las compañías aéreas deberán reducir el número de movimientos de las aeronaves marginalmente conformes que explotan en el aeropuerto a un ritmo que podrá no ser superior al 20% anual, pero que en cualquier caso deberá haber alcanzado al 100% de las operaciones realizadas con estas aeronaves el 28 de septiembre de 2012. Para el cómputo de la medición anual de las operaciones, el porcentaje mínimo de reducción de las mismas no será inferior al 15% con respecto a la temporada de tráfico IATA correspondiente del año inmediatamente anterior.

5.2.1. CLASIFICACIÓN DE AERONAVES POR CUOTA DE RUIDO (CR)

En este apartado clasifica las aeronaves según su sonoridad y se especifican las limitaciones y zonas restringidas por exceso de sonido en horario nocturno.

Se define una cuota de ruido (CR) para cada aeronave, diferenciando entre despegue y aterrizaje, en función del EPNdB certificado (Nivel de Ruido Efectivo Percibido en decibelios) de acuerdo con la Tabla 5.1.:

Tabla 5.1 Clasificación de las aeronaves según ruido

EPNdB	CUOTA DE RUIDO (CR) NOISE QUOTA (CR)
más de/more than 101.9	CR-16
99-101.9	CR-8
96-98.9	CR-4
93-95.9	CR-2
90-92.9	CR-1
menos de/less than 90	CR-0.5

Se considerarán aviones con cuota de ruido cero (CR-0) los aviones de hélice certificados en base a los capítulos 6 y 10 del Anexo 16 de OACI y aquellos certificados, de hélice o reactores, conforme a los capítulos 3 y 5 cuyo ruido sea inferior a 87 EPNdB.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

La determinación del EPNdB certificado se realizará conforme a los siguientes criterios:

- A) En despegue, para aviones certificados conforme a los capítulos 3, 4 y 5 del Anexo 16 de OACI, la media entre los niveles de ruido certificados de despegue y lateral, medido en EPNdB, a su peso máximo certificado al despegue.
- B) En aterrizaje, para aviones certificados conforme a los capítulos 3, 4 y 5 del Anexo 16 de OACI, el nivel certificado de ruido en aproximación, medido en EPNdB a su peso máximo certificado al aterrizaje, menos 9 EPNdB.

5.2.2. EXCEPCIONES

En este apartado se muestran las excepciones en las normativas de cuota de ruido nocturno.

La Dirección del aeropuerto podrá autorizar excepcionalmente el aterrizaje o despegue de una aeronave cuya cuota de ruido (CR) sea igual o superior a CR-4 cuando:

- A) La operación se realice dentro de los 30 minutos siguientes o anteriores los plazos límite previstos, siempre que sea como consecuencia de un retraso sobrevenido de la operación programada.
- B) Se trate de una operación justificada en la seguridad de la misma, así como las necesarias para atender el transporte de ayuda humanitaria urgente, y otras necesarias como consecuencia de alteraciones operacionales derivadas de la meteorología, huelgas y otras situaciones excepcionales.

5.2.3. CONFIGURACIONES PREFERENTES

En este apartado se especifican cuales serán las configuraciones de rodaje preferentes durante el horario nocturno del aeropuerto de Barajas.

Excepto cuando reinen o estén previstas algunas de las siguientes condiciones:

- A) Estado de la superficie de la pista negativamente afectado y/o con acción de frenado inferior a buena.
- B) Techo de nubes inferior a 500 ft^2 sobre elevación del aeródromo.
- C) Visibilidad inferior a 1,9 km (1 NM^3).
- D) Cizalladura notificada o pronosticada o tormentas en la aproximación o en la salida.
- E) Condiciones de tráfico, necesidades operativas, situaciones de seguridad o el resto de condiciones meteorológicas que lo impidan;

(2) ft: Abreviación de feet (pies en español). Unidad de longitud para medir altitudes en aeronáutica. 1 pie = 30,48 cm .

(3) NM: Nautic Mile (milla náutica en español). Unidad de longitud para medir distancias en aeronáutica. 1 NM = 1,852 Km.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

El ATC mantendrá las configuraciones preferentes que se describen a continuación, con el uso preferente de pistas indicado, hasta componentes del viento, incluidas ráfagas, de 10 *kt*⁴ en cola y/o 20 *kt* cruzado:

A) Entre las 07:00 y las 23:00 hora local:

a) Preferente: Configuración Norte

Llegadas: 32L/32R

Salidas: 36L/36R

No preferente: Configuración Sur

Llegadas: 18L/18R

Salidas: 14L/14R

B) Entre las 23:00 y las 07:00 hora local:

b) Preferente: Configuración Norte

Llegadas: 32R

Salidas: 36L

No preferente: Configuración Sur

Llegadas: 18L

Salidas: 14L

En condiciones excepcionales tales como obras, mantenimiento, solicitud de compañía por motivos de performances, etc., el ATC podrá autorizar el uso de cualquiera de las pistas no preferentes en la configuración en uso, previo visto bueno del Ejecutivo de Servicio y coordinación con el TMA de Madrid, siempre que las componentes del viento, incluidas ráfagas, no superen 10 *kt* en cola y/o 20 *kt* cruzado.

En configuración Sur, y a los efectos de determinación de las pistas preferentes, durante las noches de los viernes a los sábados y de los sábados a los domingos se considerará como período nocturno de 2300 a 0900 LT, siempre que las circunstancias operativas lo permitan. Se deberán utilizar las SID del periodo diurno en su horario correspondiente.

Madrid ACC autorizará a las aeronaves a aproximación teniendo en cuenta el criterio geográfico (llegadas por el Este a la RWY 32R/18L y por el Oeste a la RWY 32L/18R) de entrada a Madrid TMA, excepto que por motivos de seguridad o para conseguir un flujo de tráfico continuo, sea preciso asignar puntualmente una pista de arribada diferente.

Los mensajes ATIS proporcionarán la información de la configuración de pistas en uso.

5.3. Permisos para el uso de los nuevos vehículos push-back y GPU's

Finalmente, en este punto, una vez recogidas todas las normativas y protocolos que afectan a la operatividad en la maniobra de rodadura dentro del Aeropuerto y limitaciones legales en cuanto a sonido, hay que saber si existe algún impedimento al uso de los vehículos LEKTRO para este nuevo sistema de rodadura y si el propio sistema es viable legalmente, es decir, si existe alguna normativa que impida o dificulte la implantación de este sistema en el aeropuerto de Barajas en horario nocturno.

(4) *kt*: Knot (nudo en español). Es una milla náutica por hora. Mide velocidad en el mundo aeronáutico.

5.3.1. VEHÍCULOS LEKTRO

El modelo elegido para este proyecto, el LEKTRO AP8950SDB-AL-200, junto con el hecho de haber elegido esta compañía en sí mismo, no solo fue por las ventajas mecánicas y medioambientales que aporta a este nuevo sistema de rodadura.

LEKTRO cuenta con más de 90 países donde actualmente y desde hace tiempo se usan sus modelos, tanto para uso civil como militar, como se puede ver en la Figura 5.1. [48]. Lidera el mercado de vehículos push-back eléctricos con el apoyo y reconocimientos de grandes compañías como Cessna y Delta Connection entre otras [27]. Además, como se mostró en el apartado 4.1.3., LEKTRO cuenta con numerosos certificados OEM para diversos modelos de aeronaves civiles y militares, haciéndolo apto para su uso en aeropuertos comerciales, privados y militares.

En la Figura 5.2 se pueden ver de color rojo los países que actualmente hacen uso de vehículos push-back LEKTRO.



Figura 5.2 Mapa con los países usuarios de vehículos LEKTRO
Fuente: www.dailyastorian.com

En cuanto al vehículo en sí, se puede comprobar que no tiene problemas legales ni de certificados para ser implantado y usado en el aeropuerto de Barajas. Solo queda comprobar si la nueva maniobra de rodadura que propone este nuevo sistema de rodadura, se puede aplicar en el Aeropuerto.

Es importante recordar, que este nuevo sistema de rodadura pretende imitar la maniobra actualmente realizada por las propias aeronaves, es decir, no intenta una sustitución en la manera de operar en esta maniobra, ni un cambio de rutas en las calles de rodadura. Los vehículos eléctricos push-back rodarán remolcando las aeronaves por las mismas calles que estas lo harían sin el vehículo push-back.

Como se explicó en la sección 4.1., esta operación donde un vehículo push-back remolca una aeronave no solo para la separación de puertas sino además remolcarla a lo largo de las calles de rodadura, actualmente ya existe, está reconocida y además se usa [49]. Si es cierto que es una maniobra aplicada, como también se comentó en la misma sección, para llevar las aeronaves entre hangares, sea para operaciones de mantenimiento, ensamblaje, pintura, etc.

La cuestión sería analizar el porqué no es usada en maniobras comerciales en aerolíneas. Implantar una maniobra de esas características de forma completa, es decir, para todas las aeronaves y en todos los horarios, sería demasiado costoso operacionalmente, sobre todo, teniendo en cuenta que en ciertas horas punta un aeropuerto puede tener perfectamente 60 maniobras la hora, entendiéndose por

maniobras un aterrizaje y un despegue. La velocidad en la que las aeronaves aterrizan y el tiempo en el que deben abandonar la pista, puede distar bastante entre modelos de aeronaves. Eso implica que según el modelo de aeronave del que se trate, puede abandonar la pista por una calle más cercana o alejada que otra aeronave, dificultando la eficacia y rapidez en el acople con el vehículo push-back.

Es principalmente por motivos logísticos como este que la maniobra aún no es aplicada al 100%. Como si se estudió, en el aeropuerto de Frankfurt Main se empieza a aplicar a la hora de remolcar las aeronaves desde rampa a pie de pista, pero de momento no al contrario. Aún así, esto demuestra que la maniobra es perfectamente aplicable.

Es por eso que este proyecto pretende la implantación en horario nocturno, debido a que el nivel de operaciones de vuelo por hora descende. Aplicando este nuevo sistema de rodadura en horario nocturno, se consigue una operacionalidad viable del sistema junto con otras ventajas operativas como el uso de las rampas 5 y 6 del aeropuerto de Barajas (ver Figura 5.2), cerradas durante el horario nocturno a menos que se opere con vehículos eléctricos, tal y como marcan las normativas del Aeropuerto y como se ha mostrado en este mismo capítulo anteriormente.

La Figura 5.3 determina el área que comprenden las rampas 5 y 6 cerradas durante el horario nocturno del Aeropuerto.

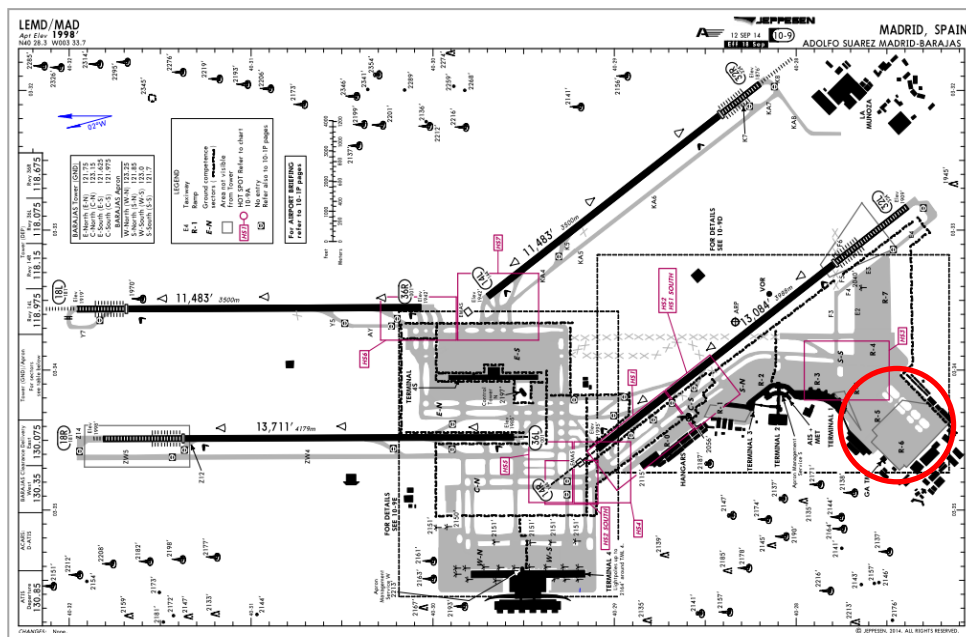


Figura 5.3 Rampas 5 y 6 del aeropuerto de Barajas
Fuente: carta aeronáutica LEMD Jeppesen

5.3.2. USO DE LOS FUEL CELLS COMO GPU

Este es el último punto a tener presente para poder asegurar la implantación del sistema de forma completa a como se plantea en el proyecto. En el estudio de los *Fuel Cells* del capítulo 4, se concluyó que era posiblemente el punto débil del proyecto.

El proporcionar energía extra a las aeronaves mediante GPU's instaladas en los propios vehículos push-back se ha podido comprobar que es posible gracias a empresas como Guinault Company, pero el hecho

de proporcionar energía mediante un vehículo LEKTRO y además, con una tecnología tan moderna como es la de los *Fuel Cells*, es nuevo en el mundo aeronáutico. No hay nada que haga suponer que este sistema no pueda ser usado. Actualmente algunos vehículos como los camiones ya operan con generadores APU *Fuel Cell* con toda seguridad. Este sistema de rodadura pretende ir un paso más allá adentrándose en el mundo aeronáutico.

La capacidad de la célula de combustible seleccionada para este proyecto puede aportar la energía suficiente que necesitan las aeronaves durante la maniobra de rodadura. Además, siguiendo la ficha técnica del modelo LEKTRO AP8950SDB-AL-200 seleccionado, dispone del margen de peso suficiente para poder cargar con las dos células requeridas.

En este punto, sería la empresa LEKTRO quienes tendrían que matizar si existe algún impedimento debido a, por ejemplo, normativas de seguridad, que impidiera o hiciera cambiar la dinámica del uso de dos células de combustible en sus vehículos.

5.4. Conclusiones del estudio de la viabilidad legal

En este capítulo se ha realizado una recopilación de todos aquellos aspectos legales o cuyo procedimiento esté sujeto a estrictas normativas y protocolos. Después de analizar las tres secciones que forman este capítulo de viabilidad legal, se puede concluir que la implantación del nuevo sistema de push-back se considera legalmente viable. No existen leyes ni normas que prohíban el uso de los vehículos LEKTRO para la utilidad que se les pretende dar con este nuevo sistema de rodadura. Los tres puntos analizados se podrían resumir de la siguiente manera:

- **Procedimientos generales de rodaje:** se han expuesto todas aquellas normas que afectan a la maniobra de rodadura realizada por las aeronaves. La idea principal es que con el nuevo sistema de rodadura, los vehículos push-back sigan las mismas calles de rodaje que las aeronaves para no añadir dificultad ni nuevas normativas a los conductores de los vehículos remolcadores ni a los propios pilotos. También agiliza la maniobra y previene de posibles conflictos con aquel pequeño porcentaje de aeronaves, apenas el 15%, que puedan estar rodando por sí solas y que el vehículo LEKTRO no puede remolcar. Todas las normas descritas en este apartado pueden ser cumplidas por el vehículo LEKTRO sin problema y haciendo del nuevo sistema de rodadura un sistema perfectamente aplicable.
- **Restricciones nocturnas por cuota de ruido:** en este punto se mostraban aquellas normas en cuanto a restricciones por ruido. Se ha prestado especial atención a aquellas normas que afectan el perímetro del aeropuerto y especialmente en horario nocturno. Se puede considerar que el vehículo LEKTRO junto con la fuente de energía GPU mediante células de combustible elegidas en el capítulo 4, cumplen perfectamente con las restricciones por cuota de ruido pudiendo así operar perfectamente en horario nocturno. En este punto es importante destacar que gracias a este nuevo sistema de rodadura, se podría hacer uso de las rampas 5 y 6 hasta ahora cerradas a excepción de rigurosas medidas.
- **Permisos para el uso de los nuevos vehículos push-back y GPU's:** una vez más, destacar los beneficios del uso de los vehículos LEKTRO. Cuentan con todos los certificados y acreditaciones necesarios para su uso en aeropuertos comerciales y para la maniobra de rodaje que especifica este nuevo sistema de rodadura. En cuanto al sistema de aporte

energético basado en células de combustible, destacar los dos grandes puntos; primero, es una tecnología muy moderna pero que ha demostrado ser tan eficaz y segura como las utilizadas actualmente, pudiendo aportar grandiosos beneficios para este sistema de rodadura, y segundo, que aunque aparentemente no existe ningún impedimento técnico ni legal al uso de las células de combustible para aportar energía a las aeronaves, el hecho de ser cargadas por los vehículos LEKTRO supone la previa aprobación de la empresa a esta pequeña modificación del vehículo, aun recordando una vez más, que las características técnicas del vehículo le permiten la carga extra que supondrían las dos células de combustible necesarias sin afectar al remolque de ningún modelo de avión.

En el siguiente capítulo, usando como base todas las normas y protocolos mencionados en este capítulo, se describirán todas las operaciones y pautas para el funcionamiento del conjunto de recursos. Toda la información recogida en el presente capítulo es indispensable y se tendrá siempre presente para poder adaptar las operaciones del nuevo sistema de rodadura a las normas que actualmente rigen el aeropuerto de Barajas.

6. VIABILIDAD OPERACIONAL

En el presente capítulo se describen las pautas para el funcionamiento del conjunto de recursos que se han descrito en el capítulo 4 con la finalidad de determinar si el proyecto es operacionalmente viable. Las operaciones se dividen en seis grandes apartados:

- Maniobras del nuevo sistema de rodadura
- Instrucciones técnicas sobre protocolos y seguridad operacional
- Rutas de rodaje
- Mantenimiento
- Cálculo de recursos técnicos necesarios

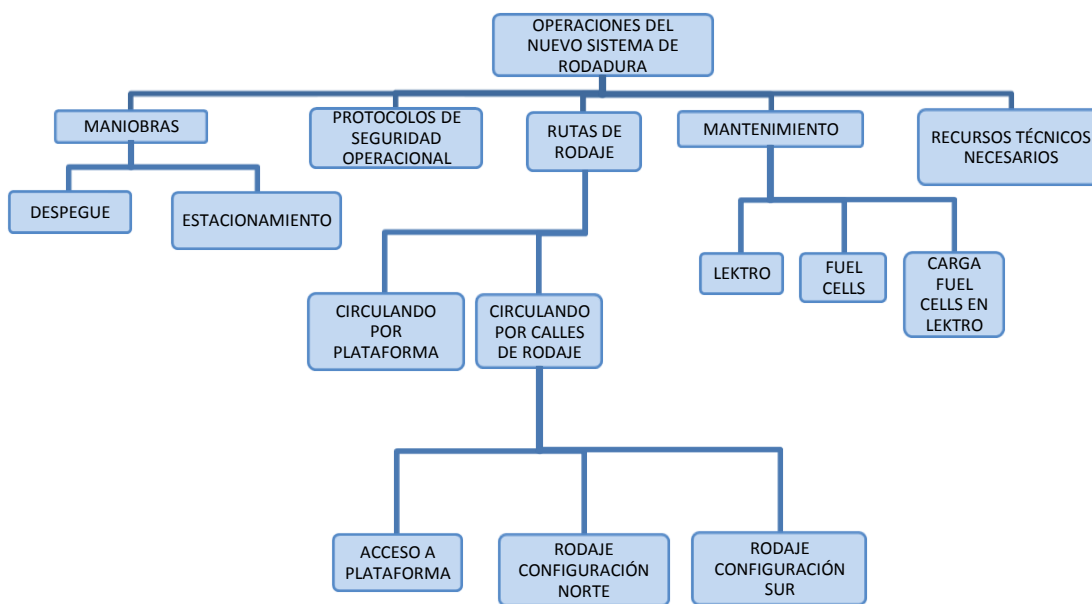


Figura 6.1 Operaciones del nuevo sistema de rodadura.

En la Figura 6.1 se muestran los aspectos operacionales del sistema, con el fin de tener una visión general del nuevo sistema de rodadura.

6.1. Maniobras del nuevo sistema de rodadura

En esta sección se describe cómo funcionan y en qué consisten las operaciones de rodadura con este nuevo sistema de push-back.

Las operaciones del nuevo sistema de rodadura se dividen en dos grandes maniobras: maniobra para el despegue y maniobra para el estacionamiento.

6.1.1. MANIOBRA PARA EL DESPEGUE

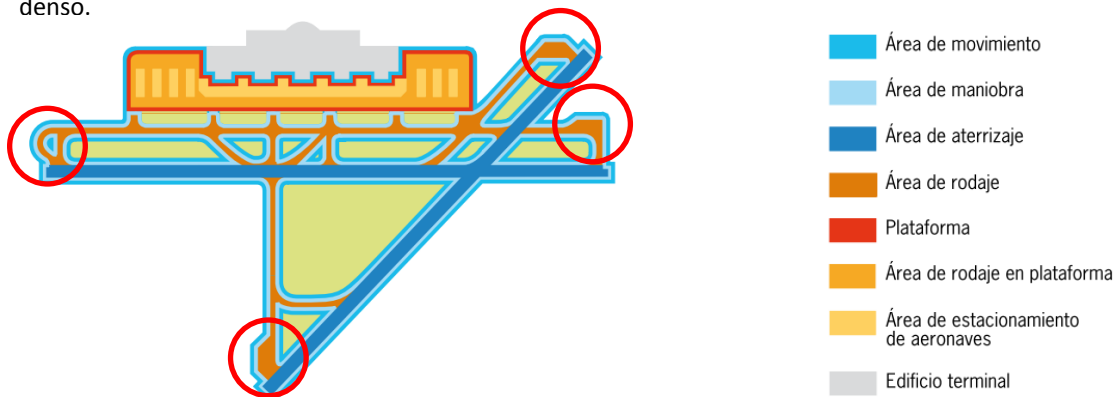
La maniobra de despegue es la maniobra donde las aeronaves serán remolcadas desde la zona de rampa, en las terminales, o zona de estacionamiento de aeronaves, hacia la pista de aterrizaje que en aquel momento este siendo operativa.

Mientras la aeronave se encuentra en la zona de rampa, o estacionamiento, y recibe los servicios de *handling*, el vehículo LEKTRO puede ir acoplándose al tren de aterrizaje de la nariz de la aeronave. No es necesario esperar a que los demás servicios de *handling*, como podría ser el repostaje de la aeronave o el servicio de carga de equipaje, hayan terminado. Se puede acoplar a la aeronave conjuntamente a los demás servicios para ahorrar tiempo posteriormente.

Durante el estacionamiento y previamente antes del rodaje, la aeronave recibe energía exterior mediante los vehículos GPU o el servicio fijo que opera mediante las pasarelas telescópicas del aeropuerto, como era en el caso de Zurich. En este punto, el vehículo LEKTRO aun no debe proporcionar energía extra a la aeronave. En el momento en que el servicio de *handling* finalice y la aeronave esté lista para rodar, se desacoplará la GPU de la aeronave para darle paso a las células de combustible cargadas en el LEKTRO. Durante estos segundos de transición entre la unidad GPU móvil o fija del aeropuerto a cambio de las células de combustible del LEKTRO, la aeronave deberá hacer uso de su propia batería. Una vez acoplada la aeronave al vehículo y esté recibiendo energía de las células de combustible, el piloto, siempre y cuando tenga la autorización del servicio de control de tráfico en tierra, notificará al conductor del vehículo que la maniobra de remolque puede empezar.

Durante el rodaje, tanto en la maniobra de remolque hacia atrás para separar la aeronave de puertas y colocarla en la calle de rodadura, como en todo el empuje de la aeronave por las calles de rodaje en dirección a la pista, la aeronave y el vehículo push-back junto con Control de Tierra deberán estar siempre en contacto a fin de notificarse cualquier incidencia o cambio en el recorrido de la rodadura.

El LEKTRO remolcará las aeronaves hasta el punto de espera de la pista en uso. El punto de espera es aquel tramo de la calle de rodaje que lleva directamente a la cabecera o el **umbral de pista**¹. Como se puede ver en la Figura 6.2, los puntos de espera siempre se encuentran en la punta de cada pista y puede haber solo uno o estar desdoblado para evitar largas filas un solo punto en horas de tráfico denso.



6.2 Esquema de las áreas de un aeropuerto

Fuente: www.aena.es

(1) *Umbral de pista*: También conocida como la pista disponible en despegue (conocida comúnmente como TORA, del inglés Take Off Runway Available). En un aeropuerto es la distancia que la aeronave puede emplear para despegar manteniendo su tren de aterrizaje apoyado en el terreno. La pista disponible en despegue suele coincidir con la pista disponible en aterrizaje, excepto en el caso de que el umbral de la pista se encuentre desplazado por lo cual la pista disponible en aterrizaje tiene menor longitud que la de despegue.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

En la Figura 6.2 puede verse un esquema genérico a todos los aeropuertos de la diferenciación entre áreas del aeropuerto y los puntos de espera para el despegue marcados en círculos.

En el punto de espera, en rodaduras estándares, es decir, sin uso del push-back para el remolque general de las aeronaves hasta pie de pista, sirve para hacer el cambio de frecuencia de radio entre control de tráfico de tierra, o en el caso de este proyecto, *Barajas Tierra*², a control de aproximación, en este caso Barajas Torre. Esta segunda frecuencia de radio es la encargada de notificar a las aeronaves si están autorizadas a despegar o aterrizar.

En el caso de este nuevo sistema de rodadura, el punto de espera servirá para que la aeronave encienda su propia unidad APU y se prepare para el desacople con el vehículo LEKTRO. El conductor del vehículo, una vez remolcada la aeronave a este punto y asegurándose de estar bien posicionados, notificará al piloto del desacople del cable de las células de combustible del avión y posteriormente la totalidad del vehículo de las ruedas de la nariz del avión. Una vez desacoplado y mostrado el *bypass pin* al piloto, el vehículo se retirará usando las calles de rodaje correspondientes para que la aeronave pueda encender sus rotores o turbinas con toda seguridad.

Finalmente, el vehículo push-back regresará a la zona de rampas para remolcar a otra aeronave o se dispondrá a dirigirse a un punto de espera post-aterrizaje para remolcar a una aeronave que esté dirigiéndose al Aeropuerto para aterrizar si así se lo notificaran.

6.1.2. MANIOBRA PARA EL ESTACIONAMIENTO

En la maniobra para el estacionamiento la operación a realizar es similar a la maniobra de despegue, solo que en este caso se remolcará la aeronave desde el punto de espera post-aterrizaje para ser remolcada a rampa o estacionamiento.

El punto de espera post-aterrizaje es aquel tramo de la calle de rodaje que sirve para abandonar la pista de aterrizaje (ver Figura 6.2). Realmente no es un punto de espera tal y como lo es el punto de espera para el despegue, pero es en este punto donde las aeronaves hacen el cambio de frecuencia de radio a la inversa del caso anterior. Pasan de Barajas Torre a Barajas Tierra. Un poco más adelantado a este punto, siempre y cuando no haya peligro de colisión y se asegure que la aeronave puede abandonar con toda seguridad la pista de aterrizaje, es donde esperará el vehículo LEKTRO como si de un vehículo *Followme* se tratara, para acoplarse a la aeronave. El acople del remolcador al tren de aterrizaje de la nariz se realizará cuando la aeronave esté completamente con los motores parados. Una vez acoplados, el conductor procederá a la conexión con las células de combustible para el suministro de energía auxiliar a la aeronave, junto con el sistema de comunicación entre piloto y conductor del vehículo. Acto seguido, previa confirmación de ambas partes, se realizará el rodaje hacia rampa o estacionamiento.

En esta ocasión también, piloto y conductor deben estar siempre en contacto durante todo el rodaje.

Una vez estacionados en la rampa o en el punto de estacionamiento correspondiente, se hará el cambio de aporte de energía de las células de combustible para dejar paso al vehículo GPU o unidad fija del aeropuerto. Durante los segundos que dura el cambio se usará la batería de la aeronave. Todo seguido se desacoplará el vehículo del tren de aterrizaje de la nariz, para dirigirse hacia otra rampa, otro punto de estacionamiento u otro punto de espera post-aterrizaje, y así dejar paso al resto de servicios *handling* para la aeronave.

(2) *Barajas Tierra*: Es el nombre que reciben aquellas frecuencias de radio que las aeronaves sintonizan desde su radio, destinadas al Control de Tierra en el aeropuerto de Barajas. Se encargan de autorizar a las aeronaves para el rodaje proporcionarles información de las calles de rodaje así como también controlarlas y notificarles cualquier peligro, cambio o anomalía durante la rodadura.

La Figura 6.3 muestra una sección del esquema anterior como ejemplo de punto de espera post-aterrizaje. Se puede ver la calle que podría tomar una aeronave y el punto donde el vehículo push-back esperaría respecto esta calle.

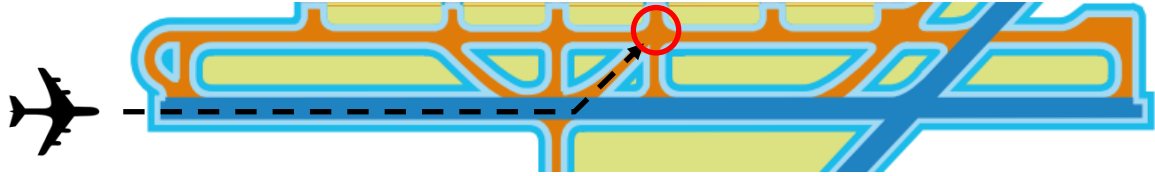


Figura 6.3 Ejemplo de punto de espera post-aterrizaje

Fuente: www.aena.es

6.2. Instrucciones técnicas sobre protocolos y seguridad operacional

En esta sección se especifican cuales son las instrucciones técnicas sobre requisitos de seguridad operacional en el servicio de tierra de todas las maniobras del nuevo sistema de rodadura. Instrucciones técnicas para los agentes encargados del avión durante la maniobra de rodadura, tanto en rampa o estacionamiento, como durante el rodaje y que deben ser seguidas para una buena operatividad eficiente y segura.

Las instrucciones están escritas como breves puntos a seguir con el orden especificado de forma que facilitan la lectura, asimilación y puesta en práctica para el agente responsable de la maniobra. Las siguientes instrucciones están basadas en instrucciones actualmente aplicadas para las maniobras actuales de rodadura [49] y siguiendo las normas de seguridad que la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) dicta [50].

A) Llegada y salida de la aeronave

El agente deberá tener procedimientos que aseguren que:

- a) El equipamiento utilizado para el movimiento en tierra de las aeronaves es el adecuado para las operaciones previstas y tiene en cuenta:
 - Tipo y peso de la aeronave.
 - Condiciones meteorológicas.
 - Condiciones de la superficie.

- b) De forma previa al comienzo de la operación, el personal implicado conoce y entiende la forma en que se va a realizar:
 - La comunicación.
 - La maniobra.

- c) Para cada operación de salida o llegada de la aeronave, una persona es responsable de la seguridad de la operación, y entres sus obligaciones se incluye garantizar que:
 - Todo el personal conoce quién es el responsable al mando.
 - Todo el personal conoce cuáles son sus responsabilidades individuales.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- Sólo el personal necesario y autorizado se encuentran en el área de operaciones.
 - Se utilizan señales de manos normalizadas para la comunicación no verbal.
 - Todo el personal está posicionado fuera de las zonas de riesgo.
 - El área de operaciones está libre de equipamiento de asistencia en tierra y otros obstáculos.
- d) El personal que lleva a cabo funciones de **marshalling**³ durante la operación en tierra de la aeronave utiliza:
- Barras de colores de alta visibilidad durante las operaciones con luz.
 - Barras iluminadas en operaciones nocturnas o de baja visibilidad.

El agente deberá tener procedimientos:

- e) De inspección del exterior de la aeronave y áreas próximas, para verificar de forma previa a la operación de salida o llegada de la aeronave que:
- La superficie de la plataforma está en condiciones para la operación.
 - La superficie de la plataforma está limpia de objetos que puedan causar daños.
 - En las operaciones de salida todas las puertas de acceso y paneles están cerradas.
 - En las operaciones de salida todos los sistemas de asistencia al avión y pasarelas telescópicas están desconectados.
 - Los vehículos y equipos de asistencia en tierra están ubicados fuera de la trayectoria prevista de la aeronave.
 - Se mantienen las distancias de seguridad entre la aeronave e instalaciones fijas durante la operación.
 - En las operaciones de salida se han quitado los calzos de todas las ruedas.
- f) Relacionados con la llegada y aparcamiento de las aeronaves que consideren, al menos:
- Planificación y preparación previa a la llegada.
 - Aparcamiento de la aeronave.
 - Desacople de los *Fuel Cells*.
 - Desacople del push-back.
 - Comunicación tierra-cabina de pilotaje.
 - Colocación de calzos de la aeronave.
 - Suelta de freno de aparcamiento de la aeronave.
 - Utilización del equipamiento de apoyo en tierra.
 - Colocación de conos.
- g) Relacionados con la salida de las aeronaves que consideren, al menos:
- Planificación y preparación previa a la salida.
 - Comunicación tierra-cabina de pilotaje.
 - Retirada del equipamiento de apoyo en tierra.
 - Retirada de conos.

(3) *Marshalling*: Es el conjunto de procedimientos codificados y estandarizados a nivel internacional para la comunicación visual entre los pilotos y el personal de tierra de los aeropuertos.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- Retiro de calzos de la aeronave.
- *Marshalling* de la aeronave.
- Asistencia al movimiento de la aeronave.
- Acople del push-back.
- Acople de los *Fuel Cells*
- Transición de *marshalling* a rodaje.

El agente deberá tener procedimientos que aseguren que:

- h) Los calzos de aeronaves utilizados en las operaciones cumplen las especificaciones de seguridad aplicables.
- i) Los calzos de aeronaves se colocan o retiran en el momento adecuado y de forma que no se dañe la aeronave.
- j) Cuando los calzos de aeronaves se retiran, estos se almacenan en áreas designadas fuera de las zonas de peligro.

El agente deberá asegurar que la función de *marshalling* se lleva a cabo por personal que:

- k) Suministra señales *marshalling* de forma clara y precisa.
- l) Viste identificación fluorescente que permite la identificación clara por la tripulación de la aeronave.

B) Push-back y remolcado

El agente deberá tener procedimientos para el push-back y remolcado de las aeronaves:

- a) Que cumplan los requisitos del fabricante de la aeronave para cada tipo de avión, y que aseguren que los límites máximos de giro del tren no se sobrepasan.
- b) Ante el uso de un vehículo de tipología *towbarless*, que aseguren que:
 - Se verifica que las ruedas del tren de morro están bloqueadas en el sistema de bloqueo del tractor.
 - Las ruedas del tren de morro se levantan a una altura suficiente que evite cualquier contacto de estas con el suelo durante toda la maniobra.

El agente deberá tener procedimientos para el push-back y remolcado de las aeronaves que aseguren que:

- c) La comunicación verbal entre el personal de asistencia en tierra y la cabina de pilotaje se realiza utilizando fraseología común y acordada previamente.
- d) Los calzos no se retiran del tren de rodaje principal hasta que:

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- El tractor se ha conectado al tren de rodaje de morro.
 - El freno de aparcamiento del tractor está puesto.
- e) El *bypass pin* (en aeronaves equipadas con sistemas *bypass*):
- Se instala correctamente en el tren de morro antes de enganchar el tractor.
 - Se retira una vez se desenganche el tractor.
- f) Se despresuriza el sistema hidráulico de dirección (en aeronaves no equipadas con sistemas *bypass*)
- g) Nunca se abandona un tractor con motor encendido conectado a la aeronave.
- h) De forma previa al comienzo del movimiento, el operador del tractor verifica que:
- El tractor está en línea con el eje de las aeronaves.
 - El tractor está en el modo de conducción apropiado.
- i) De forma previa al comienzo del movimiento, el operador del tractor tiene confirmación de que los frenos de la aeronave no están puestos.
- j) De forma previa a la elevación de las ruedas del tren de morro:
- El equipamiento de asistencia en tierra, incluida la pasarela telescópica en su caso, se ha desconectado de la aeronave.
 - Se ha notificado a la cabina de pilotaje.
- k) Durante las operaciones de push-back:
- La comunicación con la cabina de pilotaje se lleva a cabo de forma que no haya necesidad de que una persona camine en la proximidad del tractor.
 - Existe un método de emergencia de comunicación para la contingencia de un fallo del sistema primario.
 - La cabina de pilotaje es notificada inmediatamente en el caso de que se produzca una pérdida de comunicación.
- l) Si las operaciones de push-back se realizan en superficies en mal estado o en condiciones meteorológicas adversas, la velocidad de la aeronave es menor que en condiciones normales.
- m) Cuando el movimiento de la aeronave ha finalizado y de forma previa a la desconexión del tractor, la cabina de pilotaje ha sido avisada de que debe utilizar el freno de aparcamiento de la aeronave y permanecer en espera en esa posición hasta que reciba autorización para el inicio de encendido de motores. Los procedimientos asegurarán que el personal de asistencia en tierra recibe confirmación de que el freno de estacionamiento ha sido activado.
- n) De forma previa al comienzo del encendido de motores, el personal de asistencia en tierra:

- Realiza una señal de confirmación del final de la operación a la cabina de pilotaje.
 - Recibe acuse de recibo de la señal desde la cabina de pilotaje.
- o) Durante las operaciones de remolcado:
- La comunicación del tractor con la cabina de pilotaje se establece de forma previa al comienzo de la operación.
 - Durante la operación de remolcado se mantiene presión suficiente en el sistema hidráulico de frenado de la aeronave.
 - La operación se suspende inmediatamente en el caso de que se produzca una pérdida de comunicación.
 - Si estas se realizan sobre hielo o nieve:
 - La velocidad de operación es reducida, en particular antes de realizar un giro.
 - Se evita en todo momento detener el movimiento durante un giro.
- p) Durante las operaciones de remolcado, si estas se realizan con pendiente descendente acusada, el operador del tractor mantiene una velocidad muy baja para prevenir que la aeronave sobrepase al tractor.
- q) Durante las operaciones de remolcado, si estas se realizan en condiciones de baja visibilidad la aeronave está iluminada de forma que pueda ser vista.
- r) Durante las operaciones de remolcado cuando el movimiento de la aeronave ha finalizado y de forma previa a las desconexión del tractor, se desconectan los *Fuel Cells* previo aviso a cabina de pilotaje.

6.3. Rutas de rodaje

Una vez se ha descrito cómo funcionará el nuevo sistema de rodadura y que normativas e instrucciones técnicas deben seguir los agentes responsables para su buen funcionamiento, solo faltaría una guía de cuales son aquellas calles de rodadura que deben tomar los conductores de los vehículos LEKTRO durante el rodaje, tanto para ir de la zona de rampas hacia la pista de aterrizaje como a la inversa.

Para seleccionar que calles de rodaje deberían tomar los vehículos LEKTRO hay que tener muy presente que normativas se aplican en toda la zona de plataforma y tener en cuenta todas las calles de rodaje normalizadas presentadas en el capítulo 5.

Esta sección se divide en dos partes, donde por una parte se analizará como debe rodar un vehículo push-back cuando está circulando sin remolcar a ninguna aeronave, y luego cuales son las calles de rodaje que deberán tomar cuando estén remolcando una aeronave.

6.3.1. CIRCULANDO POR PLATAFORMA SIN REMOLCAR AERONAVE

Los agentes con el permiso de conducción PCP A.M., y requisito obligatorio para este nuevo sistema, cuentan con los conocimientos necesarios para la conducción total en plataforma. Los vehículos remolcadores, además, cuentan con la ventaja que no únicamente pueden circular por las calles de rodaje de las aeronaves (marcadas en amarillo como se mencionó en el Capítulo 3, apartado 3.1.2.) sino además pueden hacerlo por todas las calles de servicio que usan el resto de vehículos *handling*, aumentando así las posibilidades de movimiento por todo el aeropuerto.

6.3.2. CIRCULANDO POR LAS CALLES DE RODAJE

En este apartado se analizarán las calles de rodaje que deberán tomar los conductores de los vehículos push-back cuando estén remolcando una aeronave. Tanto para dirigirse de plataforma a pista de aterrizaje como en la maniobra opuesta. Hay que dividir el apartado en tres sub-apartados, acceso a plataformas, rodaje estándar en configuración norte y rodaje estándar en configuración sur.

6.3.2.1. Acceso a plataformas

A continuación se presentan los accesos a las diversas plataformas de las diferentes terminales, tanto en configuración norte como sur y que deberán seguir los conductores de los vehículos LEKTRO para acceder a plataforma remolcando las aeronaves. Estos accesos son los que presentan las normativas del Aeropuerto con alguna modificación para adaptar mejor el acceso a plataforma al nuevo sistema de rodadura en el horario nocturno.

A) T-1, T-2 y T-3

a) Configuración norte:

- GATE-1: entradas y salidas R-4.
- GATE-2: salidas rampas R-2 y R-3.
- GATE-3: entradas rampas R-2 y R-3.
- GATE-4: entradas R-1.
- GATE-5: salidas R-1.
- GATE-5 y GATE-6: las salidas se incorporarán directamente a M.
- Desde la R-7, las salidas rodarán por C-7 o E-2, A-7 a M.

b) Configuración sur:

- GATE-1: entradas y salidas R-4.
- GATE-2: salidas R-2 y R-3.
- GATE-3: entradas R-2 y R-3.
- GATE-4: entradas R-1.
- GATE-5: salidas R-1.
- GATE-5, GATE-6, GATE-7: las salidas se incorporarán directamente a A.

B) T-4

a) Configuración norte:

- J: entradas a posiciones 364-446.
- S: salidas de:
 - R-10 para la 36L y 36R.
 - R-11 para la 36R.
- R: salidas de:
 - R-11 para la 36L.
 - Posiciones 330-340, en la R-12.
 - R-13
- U: salidas de posiciones 330-340, de la R-12.
- W: salidas de:
 - Posiciones 300-329, de R-12.
 - R-13

b) Configuración sur:

- J: entradas a posiciones 380-394.
- H: entradas a posiciones 364-378.
- S: salidas de R-10 y R-11.
- R: salidas de R-11, R-12 y R-13.
- U: entradas a posiciones 330-340, de la R-12.
- W: entradas a posiciones 300-329, de la R-13.

C) T-4S

a) Configuración norte:

- GATE-11: salidas de posiciones 582-586, de la R-20.
- GATE-12: salidas de R-23.
- EA: entradas a 532-538 y 582-586.
- EB: entradas a 540-554, 556-566 y 568-580.
- M: entradas a 600-606, 608-618 y 620-628.
- Las entradas a las R-20, R-21 y R-22 rodarán por E-C y las salidas de las mismas por E-B, excepto las posiciones 582-586 a las que se accederá vía E-A.

b) Configuración sur:

- GATE-11: salidas de posiciones 582-586, de la R-20.
- GATE-12: salidas de r-23.
- GATE-13: entradas a R-23.
- GATE-14: salidas de:
 - Posiciones 568-580, de la R-20.
 - R-21.

- R-22.
- Las entradas a las R-20, R-21 y R-22 rodarán por E-C y las salidas de las mismas por E-B, excepto las posiciones 582-586 a las que se accederá vía E-A.

6.3.2.2. Rodaje estándar en configuración norte

En este punto se presenta el rodaje estándar en configuración norte, tanto para las salidas como las entradas en las terminales y que deberán seguir los conductores de los vehículos LEKTRO para rodar por las calles de rodaje. Estos rodajes estándares son los que presentan las normativas del Aeropuerto con alguna modificación para adaptar mejor el rodaje al nuevo sistema de rodadura en el horario nocturno.

En los anexos se encuentran los rodajes estándar en configuración norte y sur originales de la carta aeronáutica de Madrid Barajas.

A) Salidas

- a) Desde las terminales T-1, T-2, y T-3:

Se instruirá salida por el acceso a las plataformas mencionado anteriormente y se instruirá el rodaje por M hacia el norte (rodaje principal) para incorporarse a R-5, R-6 o R-7 para acceder a los puntos de espera de la 36R.

- b) Desde la T-4:

Si el tráfico realiza salida por S se realizará el rodaje principal citado anteriormente. Si el tráfico realiza la salida por R para la 36R, se instruirá el rodaje por A-Z, desde la que se realizará el rodaje principal.

- c) Desde la T-4S:

Si el tráfico realiza la salida por GATE-11 y GATE-12 se realizará el rodaje por B hacia el norte (salida principal) para la 36R o hacia el sur (rodaje principal) para la 36L. Si el tráfico realiza la salida por E-B, se instruirá el rodaje por B para la 36R o por N para la 36L.

En la Figura 6.4 se puede ver la representación gráfica del rodaje estándar para el aeropuerto de Barajas para las salidas en configuración norte.

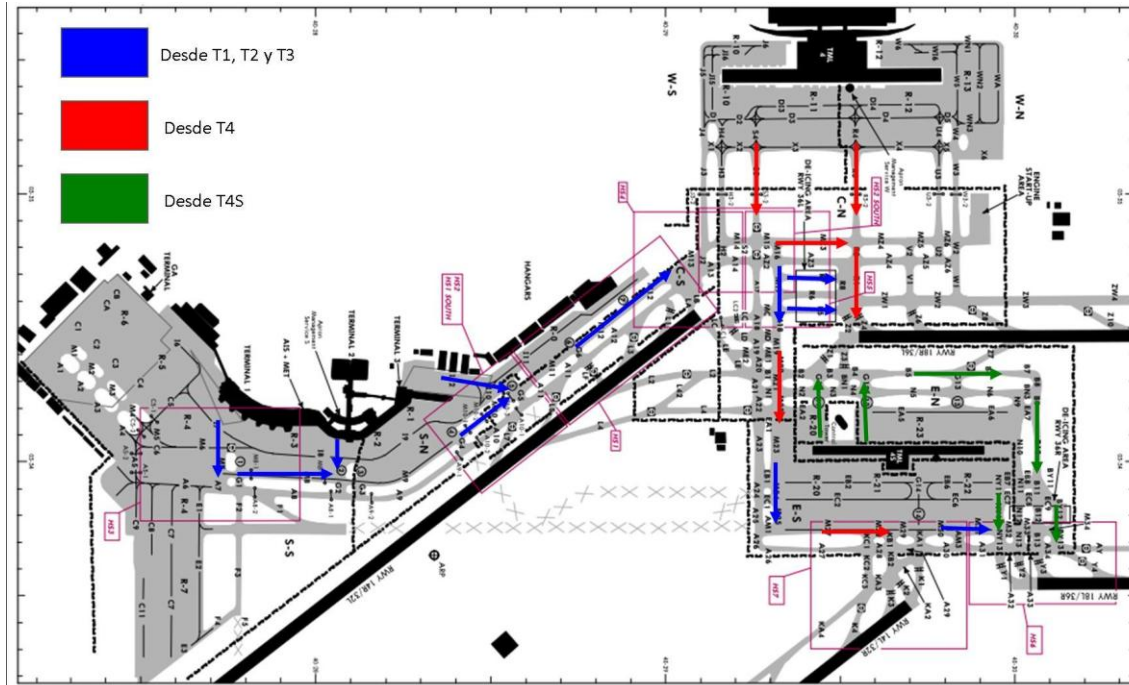


Figura 6.4 Diagrama de calles de rodaje para salidas en configuración norte
Fuente: carta aeronáutica LEMD Jeppesen

B) Llegadas

a) Hacia las terminales T-1, T-2 y T-3:

- Llegadas por la 32L: se incorporarán a A hacia el sur (rodaje principal) y seguirán por el acceso a las plataformas mencionado anteriormente.
- Llegadas por la 32R: se incorporarán a K-A y rodarán por K-C para incorporarse a A hacia el sur y seguirán para acceder a las terminales por el acceso a las plataformas mencionado anteriormente.

b) Hacia las terminales T-4 y T-4S:

- Llegadas por la 32L: se incorporarán a A hacia el sur, invirtiendo su sentido a través de la calle de rodaje más cercana para incorporarse a M y acceder a las plataformas por el acceso mencionado anteriormente.
- Llegadas por la 32R: se incorporarán a K-A y entrarán por la GATE-14 a la T-4S o rodarán por K-C para incorporarse a A hacia el sur y cruzarán M para acceder a T-4, siguiendo el acceso a plataformas mencionado anteriormente.

En la Figura 6.5 se puede ver la representación gráfica del rodaje estándar para el aeropuerto de Barajas para las llegadas en configuración norte.

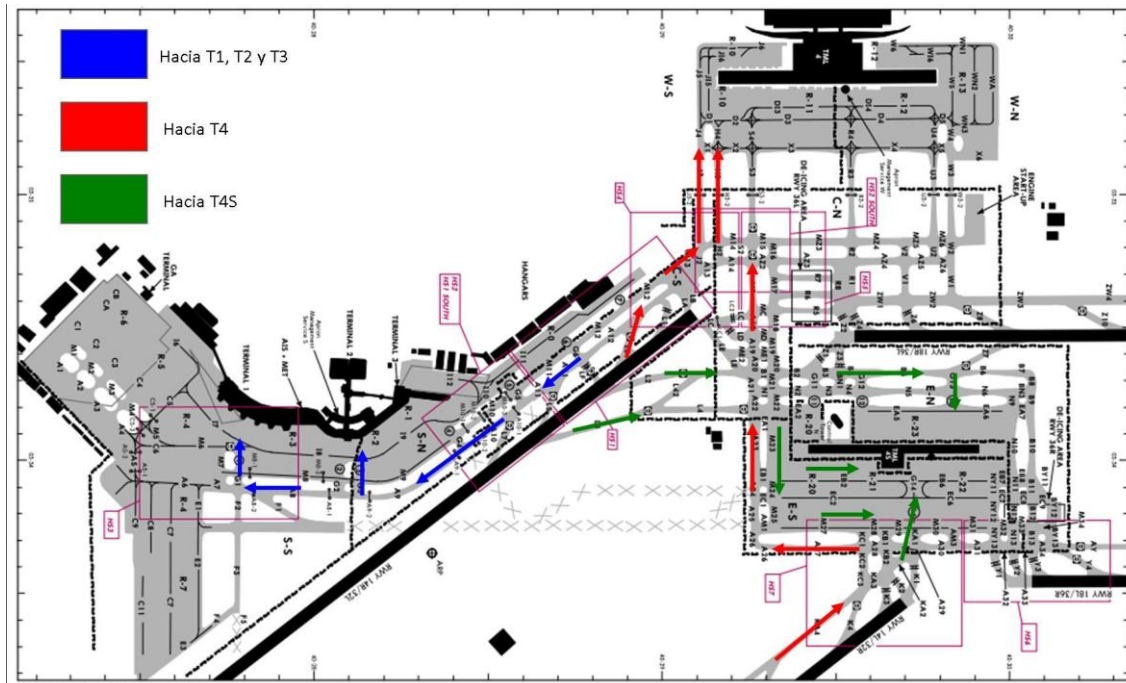


Figura 6.5 Diagrama de calles de rodaje para llegadas en configuración norte
Fuente: carta aeronáutica LEMD Jeppesen

6.3.2.3. Rodaje estándar en configuración sur

En este sub-apartado se presenta el rodaje estándar en configuración sur, tanto para las salidas como las entradas en las terminales y que deberán seguir los conductores de los vehículos LEKTRO para rodar por las calles de rodaje. Estos rodajes estándares son los que presentan las normativas del Aeropuerto con alguna modificación para adaptar mejor el rodaje al nuevo sistema de rodadura en el horario nocturno.

A) Salidas

- a) Desde las terminales T-1, T-2 y T-3:

Se instruirá salida por el acceso a las plataformas mencionadas anteriormente y se instruirá el rodaje por A hacia el norte (rodaje principal) para incorporarse a L-A para la 14R o a K-A para la 14L.

- b) Desde la T-4:

Si el tráfico realiza la salida por S se realizará el rodaje principal citado anteriormente. Si el tráfico realiza la salida por R, se instruirá el rodaje por M-Z, desde la que se realizará el rodaje principal.

c) Desde la T-4S:

Si el tráfico realiza la salida por las GATE-11 y GATE-12, realizará el rodaje por N hacia el norte (rodaje principal), A y K-A para la 14L o por la B hacia el sur (rodaje principal) y M para la 14R. Si el tráfico realiza la salida por E-B, se instruirá por N, A y K-A para la 14L o por B y M para la 14R.

En la Figura 6.6 se puede ver la representación gráfica del rodaje estándar para el aeropuerto de Barajas para las salidas en configuración sur.

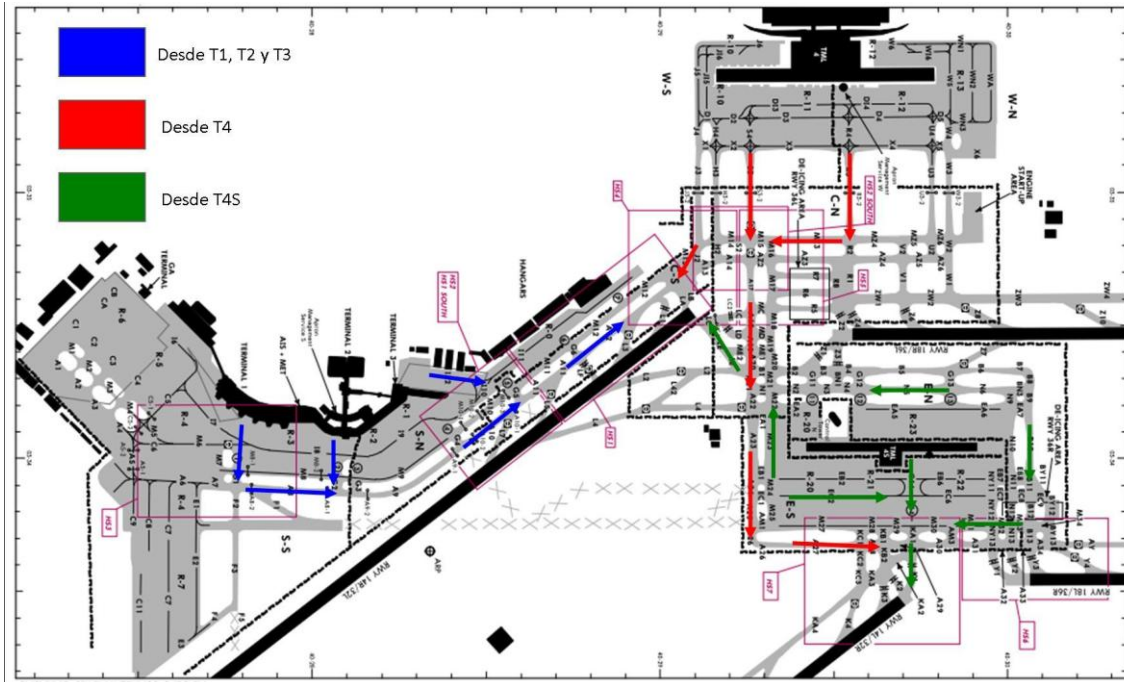


Figura 6.6 Diagrama de calles de rodaje para salidas en configuración sur
Fuente: carta aeronáutica LEMD Jeppesen

B) Llegadas

a) Hacia las terminales T-1, T-2 y T-3:

- Llegadas por la 18L: se incorporarán a B-Y y M para acceder a las terminales por el acceso a las plataformas mencionado anteriormente.
- Llegadas por la 18R: se incorporarán a Z-W, W, M-Z y M hacia el sur (rodaje principal) y procederán por el acceso a las plataformas mencionado anteriormente.

b) Hacia la terminal T-4:

- Llegadas por la 18L: se incorporarán a B-Y y M-Z para acceder a la T-4 por el acceso a las plataformas mencionado anteriormente.
- Llegadas por la 18R: se incorporarán a ZW y W para acceder a las plataformas por el acceso mencionado anteriormente.

handling tienen experiencia en este tipo de vehículos, y se puede usar esta pequeña información para saber que pautas seguir para el buen mantenimiento de todo el sistema.

Los vehículos eléctricos, y por supuesto LEKTRO no es una excepción, necesitan de muy poco mantenimiento. Contienen muy pocas piezas móviles, las cuales solo en contadas ocasiones es necesaria una lubricación de estas. También cada cierto tiempo, pero no muy a menudo, es necesario cambiar el líquido de las baterías. Estas son operaciones de mantenimiento que no requieren de grandes recursos humanos, mecánicos ni monetarios.

El requisito indispensable diario es la carga de las baterías. LEKTRO necesita de una noche entera para poder almacenar la energía suficiente para poder operar toda una jornada de trabajo. En el caso de este sistema de rodadura, al operar en horario nocturno, la carga sería diurna.

La carga se realizaría en la misma zona de carga que los demás vehículos eléctricos del aeropuerto, en la zona cercana a los hangares. El hecho de operar de noche conlleva una ventaja logística en el cargado de baterías, ya que gracias a eso no se requiere de una ampliación de la zona de carga de vehículos. Mientras en el horario nocturno la actividad del aeropuerto disminuye, se aprovecha para cargar los vehículos *handling*, momento en que los LEKTRO están operando. Durante el horario diurno, cuando es necesario el uso de más vehículos de *handling* debido al aumento de la actividad, los vehículos LEKTRO se dirigirán a la zona de carga para su chequeo y cargado de baterías.

6.4.2. MANTENIMIENTO DE LAS FUEL CELLS

Al igual que con los vehículos LEKTRO, es prácticamente nula la información obtenida por la empresa M-Field Energy LTD. responsable de las células de combustible TVH-1280, 80V.

Se sabe que, también igual que en los vehículos eléctricos, el mantenimiento de las células de combustible es prácticamente nulo. Se necesita de cierta lubricación de pequeñas piezas cada cierto tiempo y la carga diaria de combustible, en el caso de este modelo, hidrógeno.

Ahora bien, para su mantenimiento se requiere de cierta maquinaria. Las células de combustible son muy pesadas para ser cargadas sin ayuda mecánica. Se requiere de una grúa suspendida de dos vigas KBK móvil como la de la empresa DEMAG, la cual fabrica grúas para hangares de aeropuertos con capacidad para 3.200 Kg (ver Figura 6.8).



Figura 6.8 Grúa suspendida de dos vigas KBK DEMAG

Fuente: www.demagcranes.es

Los hangares del Aeropuerto ya disponen de este tipo de grúas para el mantenimiento de sus aeronaves. Son usadas, por ejemplo, para el movimiento de grandes motores o turbinas. En caso que fuera necesaria la manipulación de las células de combustible se podría hacer uso de este tipo de grúas.

6.4.3. PROPUESTA MODO DE CARGA DE LAS FUEL CELLS EN EL LEKTRO

Las células de combustible debido a su peso, se opta para cargarlas a la parte central del vehículo LEKTRO. Es un punto donde no crea peligro de colisión con el morro de la aeronave a la hora de acoplarse a ella. Es también la zona más cercana al punto de conectividad con la fuente de energía exterior GPU, debido a que el conector del avión se encuentra justo en el morro de este.

Se ha pensado en un sistema sencillo y que se pueda manejar mediante las grúas de doble viga mencionadas en el punto anterior.

La idea consta de una base donde irán montadas las dos células de combustible que se requieren por cada vehículo. Esta base será móvil, es decir, no irá encajada de forma fija encima del vehículo LEKTRO. A cambio de eso, se opta por la instalación de dos guías metálicas que irían de lado a lado del vehículo LEKTRO, estas guías serán donde la base con las dos células reposará. Para cargar o descargar la base con las dos células de combustible se requerirá de la grúa, donde mediante cuatro sujeciones, soportará el peso de la base y se procederá al retiro lateral de la base con las células.

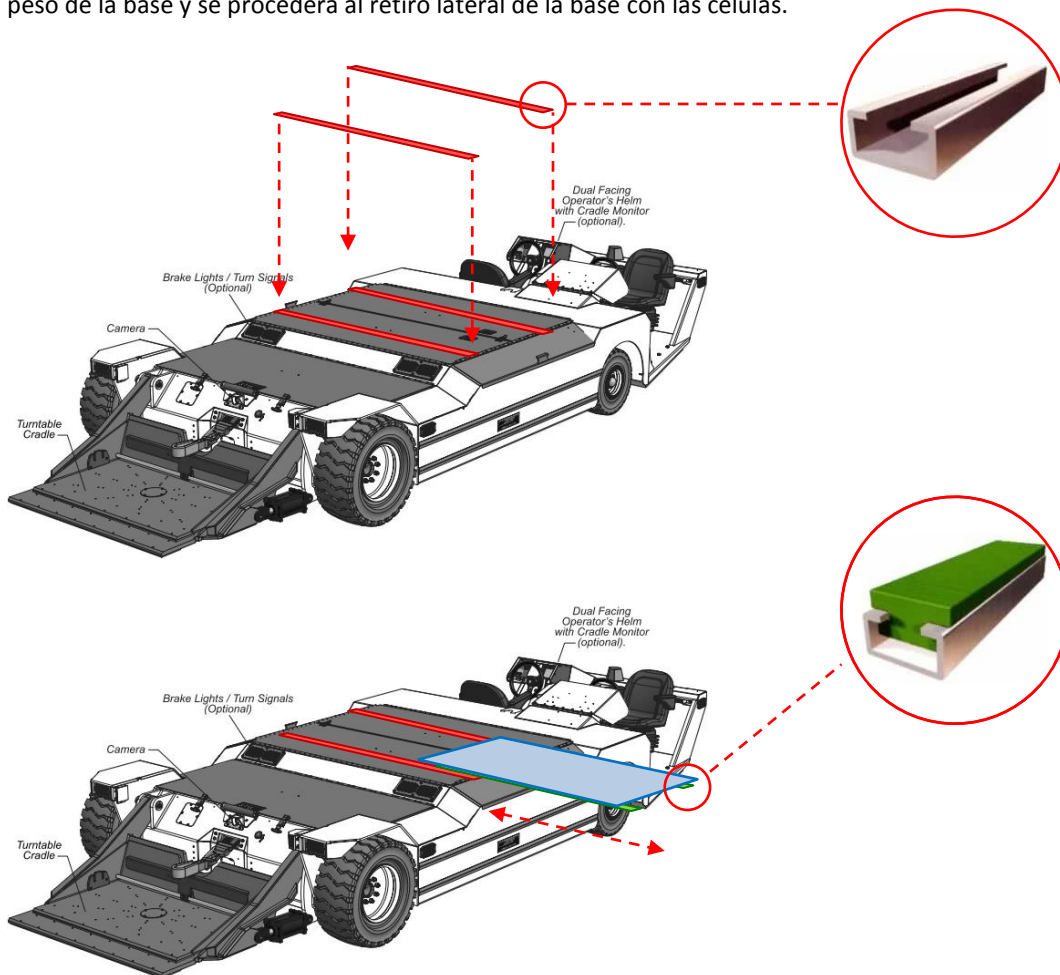


Figura 6.9 Esquema soporte Fuel Cells
Fuente: www.lektro.com

La Figura 6.9 muestra como irían dispuestas las guías encima del LEKTRO y que tipología de guía se podría usar junto con la base que cargaría las dos células de combustible.

6.5. Cálculo de recursos técnicos necesarios

Para una buena operacionalidad del sistema es necesario saber de la manera más precisa posible cuantos recursos son necesarios para el funcionamiento del sistema.

Es necesario un cálculo medio lo más preciso posible del número de operaciones que hay en el aeropuerto de Barajas en el horario nocturno y que modelos suelen frecuentar más para saber cuántas de estas operaciones puede abarcar el LEKTRO.

Después de analizar datos de numerosos días se consigue la siguiente tabla. En la Tabla 6.1 se puede observar la media de vuelos por cada tipo de avión en el horario nocturno de Baraja. Además, el horario está fraccionado en tres flujos horarios para determinar mejor la hora de las operaciones [51].

Tabla 6.1 Media de vuelos nocturnos según modelo en Barajas

Hora local	23:00-23:59	24:00-05:59	06:00-07:00
TIPOS AERONAVE			
B737	11	9	8
A330	1	9	5
A340	0	6	4
A319	5	2	3
A320	4	0	2
A321	2	1	2
B767	1	2	0
A306	1	2	1
CRJ9	1	0	1
B757	0	3	0
ATR	0	4	0
CL60	0	2	0
B787	0	1	0
B747	0	1	0
E120	0	1	0
C550	0	1	0
E190	0	0	1
G150	0	0	1

Los aviones de la lista que el LEKTRO puede remolcar son: B737, A319, A320, A321, CRJ9, ATR, CL60, E120, C550, E190 y G150.

Esto hace un total de 61 aeronaves en un margen de operaciones de 8 horas. Para poder operar esta cantidad y teniendo en cuenta los márgenes de tiempo en los que operan y que estas operaciones no son proporcionales, es decir, hay momentos en los que solo se despega y momentos en los que solo se aterriza, se estima la necesidad de 4 vehículos LEKTRO para poder operar y abarcar todo el tráfico [33].

Cuatro vehículos LEKTRO implican entonces, 8 células de combustible TVH-1280, 80V y la necesidad de 4 conductores.

6.7. Conclusiones del estudio de la viabilidad operacional

En este capítulo se ha realizado un estudio de viabilidad operacional mediante el análisis de todas aquellas operaciones y maniobras que se realizan en el nuevo sistema de rodadura basadas en las restricciones y normas que rigen la normativa de Barajas, junto con los protocolos y medidas técnicas a seguir, para comprobar si el nuevo sistema de rodadura es viable operacionalmente o hay algún impedimento logístico que no lo permita. Se puede considerar un sistema operacionalmente viable, motivos los cuales se podrían resumir de la manera siguiente:

- **Maniobras del nuevo sistema de rodadura:** lo primero que salta a la vista después del análisis de las maniobras del nuevo sistema de rodadura es su simplicidad. Desde un principio se ha pretendido crear un sistema basado en la simplicidad para una mejor y más fácil implantación. El hecho de no aportar maniobras especialmente complicadas ni maniobras que disten mucho de lo actualmente aplicable, disminuye los impactos negativos que podrían percibir tanto pilotos como agentes responsables de la maniobrabilidad y operacionalidad del sistema.
- **Instrucciones técnicas sobre protocolos y seguridad operacional:** en este punto se ha creado un protocolo de seguridad para el nuevo sistema de rodadura. Una guía que los agentes deben cumplir tanto para el buen funcionamiento del sistema, evitando olvidarse pasos importantes para la seguridad de los mismos agentes y los recursos técnicos empleados para el sistema evitando así daños innecesarios y maximizar la eficiencia de las operaciones.
- **Rutas de rodaje:** de la misma manera que se ha creado un protocolo operacionalmente viable para la operatividad y seguridad del sistema en el punto anterior, se ha creado una guía donde se establecen que calles de rodaje deben tomar los vehículos LEKTRO tanto en maniobra de remolque como sin estar remolcando. Se ha realizado basándose en las normas oficiales y que actualmente rigen el aeropuerto de Barajas haciendo perfectamente la compatibilidad con las actuales rodaduras. Añadir, que aunque el horario nocturno del aeropuerto de Barajas tiene una configuración predeterminada para su rodaje, se ha hecho la guía para todas las configuraciones de pista posible con el fin de tener una operatividad compatible a cualquier configuración de pista.
- **Mantenimiento:** desafortunadamente la falta de información ha forzado a que este sea el punto más incierto de todos. Si es cierto que basándose en resultados de vehículos eléctricos actualmente operativos en el Aeropuerto, se puede estimar el tipo de mantenimiento que pueden necesitar los vehículos LEKTRO y las células de combustible, siendo este muy fácil y poco costoso gracias a la mecánica de ambos artilugios. Se juega con la ventaja de los tiempos de carga de baterías, siendo estos perfectamente compatibles con los tiempos de carga de los demás vehículos *handling*, mientras la mayoría de vehículos se usan de día, los vehículos LEKTRO se pueden ir cargando, y al llegar el horario nocturno, cuando la actividad baja y la mayoría de vehículos son llevados a cargar, los LEKTRO empiezan su jornada 100% cargados. En cuanto a la propuesta del cargado de las células de combustible, se ha optado por un diseño seguro durante la maniobrabilidad del vehículo, pero a la vez sencillo de operar cuando requiera de mantenimiento. En principio no supone ningún estorbo al conductor en su campo de visión ni supone ningún peligro añadido, tanto para el propio vehículo como para la aeronave.

- **Cálculo de recursos técnicos necesarios:** gracias a la información de vuelos nocturnos facilitada, con la que se ha podido realizar una media, y el asesoramiento de un piloto comercial real que opera en Barajas, se ha optado por la adquisición de cuatro vehículos LEKTRO, los cuales se presume que podrán hacer frente a toda la demanda nocturna.

En los anexos, como ampliación del capítulo 6, se propone un sistema de gestión para mantener la seguridad y buena operatividad del nuevo sistema de rodadura.

En el siguiente capítulo se analiza de la viabilidad económica del nuevo sistema de push-back. Para ello se calcularán todos los costes y gastos del sistema, tanto para su inversión inicial como los gastos anuales que habría que afrontar para el funcionamiento y mantenimiento de todo el nuevo sistema.

7. VIABILIDAD ECONÓMICA

En este capítulo se hace un estudio de todos aquellos aspectos económicos del nuevo sistema de rodadura. Se empezará con los cálculos de la inversión inicial del sistema, teniendo en cuenta y diferenciando los costos de los gastos. También se hará un cálculo del precio que el Aeropuerto, o empresas de *handling*, tendrían que cobrar por cada servicio del nuevo sistema de rodadura para poder hacer frente a todos los costos y gastos y además sacar un beneficio. Este precio está planteado en forma de tasa. Finalmente, se hará una comparativa entre los gastos actuales en queroseno que las aerolíneas afrontan para las actuales rodaduras en Barajas y los costos que suponen el nuevo sistema de rodadura planteado en este trabajo (ver Figura 7.1).

El capítulo se divide en seis grandes cálculos económicos:

- Inversión
- Costos
- Gastos
- Cálculo de la tasa del nuevo sistema de rodadura
- Costos en queroseno de las aeronaves

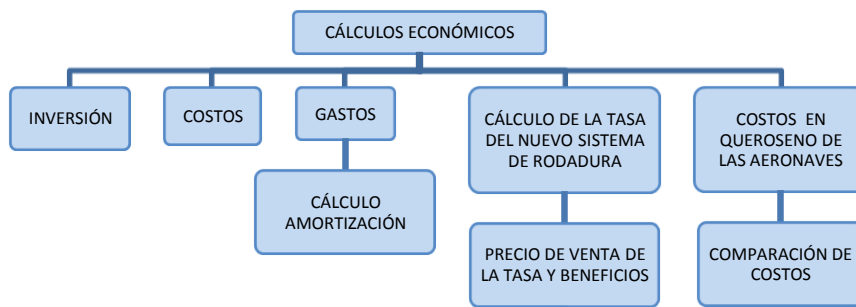


Figura 7.1 Cálculos económicos.

En las siguientes secciones se presentan las tablas con los cálculos correspondientes junto con una explicación detallada de los valores considerados en los cálculos.

7.1. Inversión

En esta primera sección se recogen aquellos conceptos considerados como inversión inicial. La principal característica de estos conceptos radica en el hecho que solo hay que afrontarlos una sola vez.

Tabla 7.1 Inversión inicial

INVERSIÓN	
Compra vehículos LEKTRO	705.529,56 €
Compra células de combustible	282.211,76 €
Montaje soporte células de combustible	40.000 €
Transporte LEKTRO desde Estados Unidos	20.000 €
Transporte células de combustible desde Taiwan	3.200 €
TOTAL INVERSIÓN	1.050.941,32 €

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

En la Tabla 7.1 se indican todos aquellos conceptos que entran dentro del cálculo de la inversión inicial del nuevo sistema de rodadura.

La inversión inicial del nuevo sistema de rodadura consta de los siguientes conceptos:

- **Compra vehículos LEKTRO:** el modelo elegido para este nuevo sistema, el LEKTRO AP8950SDB-AL-200, tiene actualmente un coste de 200.000 \$ [52]. Considerando, a día 22 de Junio del 2015, un precio del dólar a 1,13 € el dólar, y teniendo en cuenta que son necesarios 4 vehículos LEKTRO AP8950SDB-AL-200, esto hace un total de **705.529,56 €**.
- **Compra células de combustible:** según el tipo de célula de combustible, de la marca y de las características técnicas, los precios oscilan entre los 1.000 \$ y los 20.000 \$. No se ha podido conseguir el valor exacto del modelo TVH-1280, 80V seleccionado para este nuevo sistema. Teniendo en cuenta las características técnicas del modelo, comparado con otros del mercado, se estima un precio de 40.000 \$ la unidad. Considerando, a día 22 de Junio del 2015, un precio del dólar a 1,13 € el dólar, y teniendo en cuenta que son necesarias 8 células de combustible, esto hace un total de **282.211,76 €**.
- **Montaje soporte células de combustible:** para este cálculo se han considerado tanto la mano de obra como los materiales empleados para el soporte. También se han considerado las adaptaciones requeridas para ajustarse mejor a las necesidades del nuevo sistema de rodadura, como por ejemplo, la conexión en serie de las dos células de combustible por cada vehículo y los componentes y cableado necesario para la conexión con las aeronaves. Cada montaje cuesta un total de 10.000 € [44]. Teniendo en cuenta que son necesarios 4 montajes, esto hace un total de **40.000 €**.
- **Transporte LEKTRO desde Estados Unidos:** la empresa LEKTRO tiene su sede en Warrenton, Oregón, en Estados Unidos. El transporte se realizaría principalmente por mar mediante buque carguero y mediante ferrocarril. Hay que tener en cuenta la distancia y el peso del elemento transportado. Considerando que cada vehículo pesa aproximadamente unos 9.000 Kg según la ficha técnica, y considerando la distancia y los medios de transporte, cada vehículo tendría un coste de transporte de 5.000 € [54]. Teniendo en cuenta que son necesarios 4 vehículos, esto hace un total de **20.000 €**.
- **Transporte células de combustible desde Taiwan:** la empresa M-Field Energy LTD tiene su sede en Chung, Taiwan. El transporte se realizaría principalmente por mar mediante buque carguero y mediante ferrocarril. Hay que tener en cuenta la distancia y el peso del elemento transportado. Considerando que cada célula de combustible pesa unos 850 Kg según la ficha técnica, y considerando la distancia y los medios de transporte, cada célula de combustible tendría un coste de transporte de 400 € [54]. Teniendo en cuenta que son necesarios 8 células de combustible, esto hace un total de **3.200 €**

7.2. Costos

En esta sección se recogen aquellos conceptos considerados como costos del sistema. Estos costos se consideran iguales mensualmente. Para saber y diferenciar cuales son los costos y cuales los gastos, hay que tener clara la diferencia de ambas.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Los costos tienen que ver con los activos, mientras que el gasto se relaciona con los pagos que se realizan a cambio de servicios. De los gastos no se espera generar ingresos, pero del costo de un producto sí.

Tabla 7.2 Costos mensuales

COSTOS	
Energía eléctrica para el cargado de baterías de los LEKTRO	820,00 €/mes
Hidrógeno consumido por las células de combustible	2.854,80 €/mes
TOTAL COSTOS	3.675,80 €/mes

En la Tabla 7.2 se indican todos aquellos conceptos que entran dentro del cálculo de los costos mensuales del nuevo sistema de rodadura.

Los costos del nuevo sistema de rodadura constan de los siguientes conceptos:

- **Energía eléctrica para el cargado de baterías de los LEKTRO:** para calcular el consumo eléctrico de cada vehículo, es necesario saber los kilómetros que recorre mensualmente cada vehículo por las calles de rodaje y cuantos *Kwh*¹ consume cada vehículo cada 100 Km.

Se van a considerar 6 Km por rodaje, debido a que 6 Km es el rodaje más largo que actualmente hay en el aeropuerto de Barajas.

Se van a considerar 15,25 operaciones al día que realiza un vehículo LEKTRO, debido a que la media son 61 operaciones por noche como se pudo ver en el capítulo 6.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, un solo vehículo LEKTRO realiza aproximadamente 91,5 Km al día. Por lo tanto, 2.745 Km/mes (considerando un mes como 30 días).

Considerando además que un vehículo de las características del LEKTRO consume unos 50 Kwh cada 100 Km [55], con un precio de 0,25 €/Kwh [56], hace un total de 205 €/mes. Teniendo en cuenta que son 4 vehículos, esto hace un total de **820 €/mes**.

- **Hidrógeno consumido por las células de combustible:** En vez de calcularlo por tiempo, el uso de las células de combustible, como si de un vehículo de hidrógeno se tratara, dependerá de su distancia recorrida, entonces, como en el caso anterior, para calcular el consumo de hidrógeno de cada célula de combustible, es necesario saber los kilómetros que recorre mensualmente cada vehículo por las calles de rodaje y cuantos kilogramos consume cada célula de combustible cada 100 Km.

Teniendo en cuenta las consideraciones del punto anterior, un solo vehículo realiza un total de 2.745 Km/mes.

Considerando además que cada célula de combustible de las características de las TVH-1280, 80V consume unos 1 Kg cada 100 Km [57], con un precio de 13 €/Kg [58], hace un total de 356,85 €/mes. Teniendo en cuenta que son 4 vehículos y que cada uno carga con 2 células de combustible, esto hace un total de **2.854,80 €/mes**.

(1) *Kwh*: El kilovatio-hora es una unidad de energía, con lo que se da a entender que la cantidad de energía de la que se habla es capaz de producir y sustentar una cierta potencia durante un determinado tiempo.

7.3. Gastos

En esta sección se muestran aquellos conceptos considerados como gastos del sistema. Estos gastos se consideran iguales mensualmente. Para saber y diferenciar cuales son los costos y cuales los gastos, se tiene en cuenta la explicación de la sección anterior, es decir, los gastos son aquellos conceptos de los que no se espera generar un ingreso

Tabla 7.3 Gastos mensuales

GASTOS	
Personal (conductores de los vehículos LEKTRO)	4.000,00 €/mes
Mantenimiento vehículos LEKTRO	247,04 €/mes
Mantenimiento células de combustible	277,28 €/mes
TOTAL GASTOS (SIN AMORTIZACIONES)	4.524,32 €/mes

En la Tabla 7.3 pueden verse todos aquellos conceptos que entran dentro del cálculo de los gastos mensuales del nuevo sistema de rodadura. El personal podría no considerarse dentro de los cálculos del nuevo sistema de rodadura, debido a que las empresas de *handling* o el Aeropuerto ya disponen de sus propios conductores, los cuales solo tendrían que cambiar su dinámica de trabajo. Aún así, se han considerado dentro del sistema de rodadura por si fuera necesaria una contratación extra de personal. Se han considerado como gastos debido a la posibilidad que tiene el personal en enfermar, es decir, se contempla la posibilidad de estar pagando a una persona que está de baja laboral, por lo tanto, no produce un beneficio. Según otro punto de vista se podrían considerar costos sin alterar el resultado.

Los gastos del nuevo sistema de rodadura constan de los siguientes conceptos:

- **Personal (conductores de los vehículos LEKTRO):** el sueldo de un conductor de push-back depende de una serie de factores, como lo pueden ser el aeropuerto donde opera como la compañía por la que trabaje. Considerando el aeropuerto de Barajas como escenario y horario nocturno, un conductor de push-back cobra unos 1.000 €/mes [51]. Teniendo en cuenta que son necesarios 4 conductores, esto hace un total de **4.000 €/mes**.
- **Mantenimiento vehículos LEKTRO:** para calcular el gasto de mantenimiento de cada vehículo, es necesario saber los kilómetros que recorre mensualmente cada vehículo por las calles de rodaje y cada cuantos kilómetros es necesaria una revisión del vehículo.

Teniendo en cuenta las consideraciones de la sección anterior, un solo vehículo realiza un total de 2.745 Km/mes.

Considerando además que cada vehículo debe hacer una revisión a fondo cada 20.000 Km con un coste de 450 € la revisión [59], hace un total de 61,76 €/mes. Teniendo en cuenta que son 4 vehículos, esto hace un total de **247,04 €/mes**.

- **Mantenimiento células de combustible:** este punto ha sido más difícil de encontrar información exacta del coste de mantenimiento teniendo en cuenta el kilometraje realizado. De media, un motor de hidrógeno requiere un mantenimiento de 416 € al año [60], es decir,

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

34,66 €/mes. Teniendo en cuenta que son 4 vehículos y que cada uno carga con 2 células de combustible, esto hace un total de **277,28 €/mes.**

7.3.1. AMORTIZACIONES

Los activos de una empresa comienzan a perder valor a lo largo del tiempo y esa pérdida se amortiza teniendo en cuenta los años de vida del activo. Las amortizaciones son reducciones en el valor de los activos o pasivos para reflejar en el sistema de contabilidad cambios en el precio del mercado u otras reducciones de valor. Con las amortizaciones, los costes de hacer una inversión se dividen entre todos los años de uso de esa inversión.

Independiente del concepto, se puede usar un número de métodos para calcular el tamaño de la amortización cada año. En este trabajo se calculará una amortización lineal, la cual es el método más popular y al mismo tiempo el método más simple. Con este, se reduce el valor de un activo por el mismo importe cada año.

Tabla 7.4 Cálculo amortización

Importe inversión	1.050.941,32 €
Años de vida	5 años
AMORTIZACIÓN ANUAL	210.188,26 €/año

En la Tabla 7.4 se muestra el cálculo de la amortización de la inversión para un total de 5 años. Debido a la naturaleza de la inversión inicial, es decir, los vehículos LEKTRO principalmente, se podría contemplar un margen de tiempo superior. Se ha preferido un margen más pequeño debido al continuo funcionamiento de los vehículos y las numerosas operaciones que a final de año realizarían.

Finalmente, en la Tabla 7.5 se muestra el total de gastos junto con la equivalencia mensual de las amortizaciones anuales:

Tabla 7.5 Gastos mensuales con amortizaciones

GASTOS	
Personal (conductores de los vehículos LEKTRO)	4.000,00 €/mes
Mantenimiento vehículos LEKTRO	247,04 €/mes
Mantenimiento células de combustible	277,28 €/mes
Amortizaciones	17.516,68 €/mes
TOTAL GASTOS	22.041,00 €/mes

7.4. Cálculo de la tasa del nuevo sistema de rodadura

En esta sección se calculará el precio que debería tener, en este caso en forma de tasa, el servicio del nuevo sistema de rodadura por operación para cubrir gastos. Es decir, qué precio se debería cobrar por servicio realizado en el nuevo sistema de rodadura, entendiéndose por servicio un viaje, es decir, remolcar la aeronave para ir a puertas o remolcar la aeronave para ir a pista de aterrizaje. Cada operación, rodaje para despegue y rodaje para estacionamiento, se considera un servicio a parte.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Los cálculos de a continuación se han realizado teniendo en cuenta los servicios de los 4 vehículos LEKTRO en el periodo de un mes (considerando un mes como 30 días).

$$Tasa\ servicio = \frac{Costos\ en\ energía + Gastos\ en\ personal + Gastos\ en\ mantenimiento + Amortizaciones}{Número\ de\ servicios}$$

$$Tasa\ servicio = \frac{3.675,80\ € + 4.000\ € + 524,32\ € + 17.516,68\ €}{1.830\ servicios} = 14,05\ €/servicio$$

Este resultado nos indica el costo que supone cada servicio. Significa que con un cobro de 14,05 € el servicio del nuevo sistema de rodadura, se podrían hacer frente a todos los costos y gastos mensuales. Además, la recuperación total de la inversión inicial en un plazo de 5 años.

Para el cálculo se ha considerado la media de 61 operaciones durante el horario nocturno del aeropuerto de Barajas.

7.4.1. PRECIO DE VENTA DE LA TASA Y BENEFICIOS

En este breve apartado se hace un cálculo de un posible precio de venta por cada servicio del nuevo sistema de rodadura con la finalidad de poder calcular los beneficios que ganaría el Aeropuerto o empresas de *handling*.

A) Precio de venta de la tasa.

El cálculo del precio de venta de la tasa por servicio depende de varios factores a tener en cuenta. Habría que considerar si se pretende alcanzar un margen de beneficio concreto. En ocasiones acaba siendo criterio personal. En este apartado se intenta averiguar si es posible un precio bajo, con el fin de que las aerolíneas estén dispuestas a sustituir los actuales costos en queroseno por los costos que supone afrontar la tasa de servicio del nuevo sistema de rodadura.

El precio para poder afrontar los costos, gastos y amortizaciones del nuevo sistema de rodadura es muy bajo. Eso da la oportunidad de disponer de un margen de beneficio más alto. Para este nuevo sistema de rodadura se considerará un precio de venta de la tasa por valor de **30 €**.

B) Beneficios

En la Tabla 7.6 se calcula la explotación unitaria, es decir, el beneficio por unidad, en este caso, por servicio, considerando un precio de tasa de servicio de 30 € y el costo de tasa de 14,05 €:

Tabla 7.6 Explotación unitaria

EXPLORACIÓN UNITARIA	
Facturación por tasa	30 €
(-Costo de la tasa)	(- 14,05 €)
BENEFICIO	15,95 €

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Por cada servicio prestado la empresa tiene un beneficio de 15,95 €. Teniendo en cuenta la media de 61 operaciones en horario nocturno del Aeropuerto, esto hace unos beneficios mensuales totales de **29.188,5 €/mes.**

7.5. Costos en queroseno de las aeronaves

En esta sección se muestran los costos en queroseno que deben afrontar las compañías aéreas para la maniobra de rodaje en el aeropuerto de Barajas.

Se ha podido conseguir un valor muy aproximado del consumo de queroseno por rodaje para los modelos B737, A19, A320, A321 y CRJ9, los cuales forman más del 80% de las aeronaves que operan en el horario nocturno del Aeropuerto.

La media de consumo de queroseno por rodaje en Barajas de estos modelos es de **70 galones²**. [33].

El precio del queroseno varía según se mueven los mercados. En la Tabla 7.7 se muestran los precios del galón de queroseno de varios meses en euros:

Tabla 7.7 Precio galón queroseno

Mes	Precio	Tasa de cambio
nov. 2014	1,84	-
dic. 2014	1,46	-20,70 %
ene. 2015	1,29	-11,67 %
feb. 2015	1,55	19,89 %
mar. 2015	1,50	-2,79 %
abr. 2015	1,58	5,03 %
may. 2015	1,66	4,94 %

Haciendo una media para tener un cálculo estimado, sale a 1,55 €/galón. Esto significa que de media, el 80% de las aeronaves tiene un costo por rodaje de 108,5 €.

Finalmente, hay que tener en cuenta el ahorro por parte de la APU. De media, un generador APU de una aeronave consume 1 galón cada minuto [33]. Teniendo en cuenta que el tiempo medio de rodaje en el aeropuerto de Barajas es de 15 minutos [33] y el precio estimado es de 1,55 €/galón, esto hace un total de 23,25 €.

Si se suman los costos de queroseno de las aeronaves empleado para las turbinas más el empleado por la APU, el total de costos de las aeronaves por rodaje es de **131,75 €**.

7.5.1. COMPARACIÓN COSTOS QUEROSENO VS NUEVO SISTEMA

En este apartado se comparan los resultados obtenidos en este capítulo. Primeramente se calcularon los costos y gastos del nuevo sistema de rodadura para determinar el precio de costo de cada servicio ofrecido. El precio obtenido, junto con el añadido para conseguir beneficios es de 30 € el rodaje.

Por otro lado, están los costos de las actuales rodaduras, los cuales, sumando el gasto de los motores y de la APU suma un total de 131,75 € el rodaje.

(2) Galón: El galón es una unidad de volumen que se emplea en los países anglófonos (especialmente Estados Unidos). 1 galón = 3,7 litros.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

Se puede apreciar rápidamente que con el nuevo sistema de rodadura las compañías aéreas podrían ahorrar en costos, pasando de pagar 131,75 € para pagar 30 €, consiguiendo un ahorro por rodaje de **101,75 €**.

En la Tabla 7.8 se muestra una predicción anual de los beneficios y ahorros con la implantación del nuevo sistema de rodadura:

Tabla 7.8 Estimaciones de ahorros y beneficios anuales

Combustible total ahorrado	1.427.400 Galones (5.281.380 Litros)
Costos en combustible ahorrados	2.212.470 €
Beneficios totales empresa de <i>handling</i>	350.262 €

Los resultados de la Tabla 7.8 se han calculado teniendo en cuenta los siguientes factores:

- **Combustible total ahorrado:** en la sección 7.5. se calculó que el más del 80% de las aeronaves que operan en el horario nocturno del aeropuerto de Barajas consumen una media de 70 galones. Considerando que las demás aeronaves, el 20% restante, son jets de fuselaje más ligero, se ha considerado una media de consumo para todas las aeronaves de 50 galones por rodaje [33]. Estos 50 galones, más los 15 de la APU y teniendo en cuenta una media de 61 operaciones la noche, esto hace un total de **1.427.400 galones al año**.
- **Costos en combustible ahorrados:** teniendo en cuenta un ahorro estimado de 1.427.400 galones de queroseno al año y considerando a día 22 de Julio de 2015 un precio de 1,55 €/galón, esto hace un total de **2.212.470 € al año**.
- **Beneficios totales empresa de *handling*:** considerando un beneficio por servicio de 15,95 € calculado en el apartado 7.4.1., y teniendo en cuenta una media de 61 operaciones la noche, esto hace un total de **350.262 € al año**.

7.6. Conclusiones del estudio de viabilidad económica

En este capítulo se ha llevado a cabo un estudio de aquellos aspectos económicos a tener presentes para la creación y subsistencia del nuevo sistema de rodadura. Después de haber analizado los diferentes costos y gastos, junto con la inversión inicial y la tasa por servicio, se ha podido determinar que la implantación del nuevo sistema de push-back se considera económicamente viable. A continuación un pequeño resumen de las conclusiones de cada sección estudiada en este capítulo:

- **Inversión:** como se ha podido comprobar, la inversión inicial del proyecto no se considera especialmente elevada. El precio de los vehículos LEKTRO es muy similar al de los vehículos convencionales con motores diesel, los cuales también rondan sobre los 200.000 \$ (226.000 €). Los puntos más delicados de la inversión son los gastos de envío y el precio de las células de combustible. Aún así, no resulta un valor excesivamente elevado.
- **Costos:** se consideraron costos del nuevo sistema las fuentes de energía de los vehículos LEKTRO y las células de combustible. Comparado con el consumo y precio del diesel en los

vehículos convencionales, los cuales gastan una media de 3 veces más [60]. El uso de los LEKTRO junto con las células de combustible presentan unos costos muy competitivos y asumibles cómodamente [60].

- **Gastos:** como se comentó en la sección 7.3., los gastos en personal también se podrían haber considerado como un costo. A veces depende del punto de vista que se aplique. Independientemente de si se considera costo o gasto el resultado final no varía, debido al sumatorio de inversión, costos y gastos. Lo destacable de esta sección son los gastos en mantenimiento. En comparación a los vehículos diesel actuales, los gastos en mantenimiento son mínimos. Como se comentó en el capítulo 4, este hecho se da gracias a las escasas piezas móviles de los motores eléctricos y de hidrógeno. En esta sección, se ha podido comprobar además de esto, que su poco mantenimiento es a la vez muy barato, siendo de media unos 250 €/mes cada uno.

- **Cálculo de la tasa del nuevo sistema:** este es uno de las secciones más interesantes, debido a que se ha podido comprobar que, teniendo en cuenta una amortización lineal a tan solo 5 años y teniendo en cuenta todos los demás costos y gastos, el precio resultante para poder cubrir todos estos gastos en 5 años es muy reducido. Con tan solo un cobro estimado de 14,05 € se pueden cubrir todos los gastos y recuperar la inversión total en solo 5 años. Esto además, permite un buen margen de beneficio manteniendo un precio por servicio atractivo a las aerolíneas.

- **Costos en queroseno de las aeronaves:** en esta sección, junto el cálculo de los costos actuales en queroseno de las aerolíneas, se han hecho las estimaciones anuales del ahorro total en queroseno, mostrando unos resultados interesantes y a tener muy en cuenta. Los beneficios estimados para la empresa de *handling*, siendo estos de 29.188,5 €/mes, podrían ser muy diferentes, siempre dependería del precio final que optaran poner por servicio. Teniendo en cuenta el margen propuesto en este capítulo, deja un buen resultado, más aún, teniendo en cuenta que los gastos y costos ya están contemplados.

8. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo consistía en el estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema de push-back, en el horario nocturno, en el aeropuerto de Barajas el cual ha sido llevado a cabo con éxito. El principal motivo para elegir este Aeropuerto fue debido a la importancia que tiene dentro del Estado Español, además, el aeropuerto de Barajas cuenta con el tiempo invertido en rodadura más extenso de todos los aeropuertos españoles. Para la realización de este estudio se han analizado los aspectos de viabilidad técnica, legal, operacional y económica, junto con un estudio del estado del arte. Después del estudio de todos estos aspectos, se concluye que la implantación de un nuevo sistema de push-back en el aeropuerto de Barajas es viable debido a los siguientes motivos:

- En cuanto a la viabilidad técnica, se ha podido observar que los recursos mecánicos y de personal necesarios para llevar a cabo con éxito las operaciones del nuevo sistema de rodadura, no suponen un impedimento, es decir, no se requiere de ningún medio mecánico o personal que no esté actualmente disponible. Los vehículos seleccionados para el nuevo sistema son de fácil adquisición, es decir, no requieren permisos especiales ni trámites que dificulten su adquisición y cumplen con todos los requisitos necesarios. La sustitución del uso de la APU de las aeronaves a cambio de una fuente de energía exterior, se ha observado que es un procedimiento que ya se aplica con algunos modelos de vehículos push-back. La idea de que estos sistemas de energía extra sean mediante el uso de células de combustible supone una innovación tecnológica en el mundo aeronáutico, pero no se ha observado ninguna imposibilidad para la implantación de estas células, haciéndolo pues, técnicamente viable. Finalmente, las características necesarias para el personal requerido, no van más allá de las actuales en todos los conductores de vehículos push-back, facilitando así, la implantación y ejecución del nuevo sistema de rodadura.
- En referencia al aspecto de la viabilidad legal, como se comentó en el capítulo 5, se optó por la idea de hacer este estudio previamente antes del estudio de viabilidad operacional. La idea era conocer aquellas normas que rigen las rodaduras en el Aeropuerto y cuales las limitaciones operacionales en horario nocturno, para poder adaptar mejor las operaciones del nuevo sistema de rodadura sin que estas entren en conflicto con ninguna norma ya establecida. Se observó pues, que no existen normas que imposibiliten el uso de los push-backs para todo el rodaje. También se pudo comprobar que el nuevo sistema de rodadura cumple con los requisitos para poder operar en aquellas zonas que están limitadas en el horario nocturno, cumpliendo así con uno de los objetivos del trabajo. Finalmente, no existen impedimentos legales ni normativos para el uso de los vehículos de push-back seleccionados ni las células de combustible.
- Respecto al estudio de la viabilidad operacional, como se menciona en el punto anterior, se realizó el previo estudio de la viabilidad legal para una mejor adaptación de las operaciones del nuevo sistema de rodadura. Como resultado, se proponen unas operaciones correctamente adaptadas a los protocolos y normativas en las maniobras de rodaje del aeropuerto de Barajas. Unas operaciones basadas en las actuales pero con algún cambio en el uso de alguna de las calles para una mejor dinámica de las rodaduras en el horario que comprende este trabajo, el horario nocturno del Aeropuerto. También se observó que no se requiere ningún protocolo de actuación que no cumpla con todas las necesidades y normas de seguridad. El hecho de diseñar un sistema para la gestión de la seguridad será clave para la buena y segura gestión de la operatividad del nuevo sistema de rodadura.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

- Finalmente, se puede considerar económicamente viable. El punto más favorable de este nuevo sistema es el gran margen de beneficio del que se dispone, de 15,95 €, teniendo en cuenta el bajo precio del servicio, de solo 30 €. Se ha comprobado que los costos en combustible actuales por aeronave de 131,75 € superan en gran medida los costos de la tasa propuesta en este capítulo. Los bajos gastos en mantenimiento y la posibilidad de una rápida recuperación de la amortización, hacen de este nuevo sistema de rodadura un proyecto económicamente viable.

El contenido de este trabajo junto con las conclusiones derivadas del mismo, han estado verificadas por el señor Jordi Manzano, piloto comercial de la aerolínea Air-Europa.

A nivel personal, haber realizado este trabajo ha sido una experiencia muy enriquecedora. Se brinda la posibilidad de que el alumno realice un trabajo sobre un tema que considere personalmente motivador y de forma autónoma. Siempre he tenido fascinación por crear algo. Este trabajo me ha dado la oportunidad de poder crear algo nuevo y novedoso, poder estudiarlo y ver si se quedaría solo en una idea, o por lo contrario, sería viable su desarrollo. Como estudiante de gestión aeronáutica, me agrada pensar que la implantación de un sistema nuevo de rodadura podría hacer ahorrar tanta cantidad de queroseno, teniendo en cuenta mi personal implicación con el medioambiente, y tantos costos en las aerolíneas.

Para realizar el trabajo he querido una máxima inmersión en los detalles de los diferentes estudios de viabilidad, aplicando los máximos conocimientos adquiridos durante toda la carrera de gestión aeronáutica, para poder conseguir un resultado lo más realista posible sin aportar información irrelevante o de cuestionable utilidad. Este ha sido además, la gran dificultad en la realización de este trabajo. Se han requerido datos muy técnicos, incluso alejándose en ocasiones, de las potestades de un gestor aeronáutico, habiendo ciertos puntos del trabajo que se podrían considerar funciones de un ingeniero aeronáutico o ingeniero mecánico. Es por este motivo que el trabajo cuenta con un gran número de referencias, tanto literarias como aportaciones personales de gente especializada.

Finalmente, como conclusión personal del trabajo, considero que aporta una idea novedosa y a tener en cuenta y que ha podido conseguir los objetivos principales propuestos en cuanto ahorro monetario y energético. Se pensó en que era mejor una adaptación al horario nocturno para que esta implantación fuera lo más eficiente posible y realista, es decir, que no propusiera algo prácticamente imposible. Hoy en día, debido al gran número de operaciones, implantar un sistema así para el horario completo sería inviable, seguramente por este motivo aún no se tiene mucho en consideración y no se ha apostado por ello. El motivo es que las aeronaves deben entrar en pista para despegar y salir de ella después del aterrizaje lo más rápido posible debido al intenso tráfico. Un sistema como el planteado en este trabajo aumenta ligeramente el tiempo total de la rodadura a causa del tiempo añadido en el acople y desacople de la aeronave con el vehículo push-back. Considero que este no era motivo para no profundizar más en el tema de los push-backs. A veces las ideas más simples tienen grandes beneficios.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

8.1. Desviaciones de la Planificación

Durante el desarrollo del trabajo ha habido ciertas modificaciones en la dinámica y estructura del mismo, afectando entonces, a los tiempos de realización estimados en el estudio de viabilidad del propio TFG.

La Tabla 8.1 muestra las desviaciones en la planificación del TFG:

Tabla 8.1 Duración real del TFG

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
TFG	452 horas	Lunes 27/02/2015	Jueves 25/06/2015
Preparación de informe previo	60 horas	Lunes 27/02/2015	Viernes 06/03/2015
Definir objetivos del trabajo	16 horas	Lunes 27/02/2015	Martes 03/03/2015
Sintetizar el Estado del Arte	24 horas	Martes 03/03/2015	Jueves 05/03/2015
Estudiar viabilidad del TFG	20 horas	Jueves 05/03/2015	Viernes 06/03/2015
Estudio del Estado del Arte	102 horas	Lunes 09/03/2015	Lunes 06/04/2015
Estudio rodadura actual	30 horas	Lunes 09/03/2015	Martes 17/03/2015
Estudios del aeropuerto	42 horas	Martes 17/03/2015	Jueves 26/04/2015
Aeropuertos con sistema parecido	30 horas	Lunes 30/03/2015	Lunes 06/04/2015
Estudiar la viabilidad del nuevo sistema	185 horas	Lunes 13/04/2015	Lunes 22/06/2015
Viabilidad técnica	56 horas	Lunes 13/04/2015	Martes 28/04/2015
Viabilidad legal	45 horas	Miércoles 29/04/2015	Viernes 08/05/2015
Viabilidad operacional	60 horas	Lunes 11/05/2015	Jueves 28/05/2015
Viabilidad económica	24 horas	Lunes 15/06/2015	Lunes 22/06/2015
Redacción	105 horas	Lunes 01/06/2015	Jueves 25/06/2015

Se puede observar una disminución de 148 horas respecto a la planificación inicial (ver Tabla 2.1). Esta se basó en dedicar una media de 6 horas diarias al TFG, simulando así una jornada laboral, el cual daba como resultado un total de 600 horas. Por motivos ajenos al TFG se ha dispuesto de menos horas. También hay ciertos puntos que han requerido menos cantidad de tiempo para realizarse. El estudio del Estado del Arte es uno de ellos, de 180 horas estimadas a 102 reales. Debido a que solo existe un solo aeropuerto con un sistema similar, el tiempo dedicado a la búsqueda fue drásticamente reducido a 30 horas de las 70 estimadas. El estudio de la viabilidad económica también ha sufrido una considerable reducción de tiempo debido a los cálculos sencillos que han sido necesarios para el completo estudio económico pasando de 60 horas estimadas a 24 horas reales. Debido a la falta de experiencia a la hora de realizar un estudio de estas características, las horas estimadas para esta tarea han pasado de 50 horas estimadas a 20 reales. Finalmente, la redacción de la memoria se ha visto incrementada de 6 horas estimadas a 105, eso es debido a las correcciones que se han ido realizando.

Se han marcado en rojo aquellas tareas en los que la diferenciación de tiempo ha sido más significativa.

8.2. Ampliaciones y mejoras

Después de la completa realización del estudio de viabilidad para la implantación de un nuevo sistema de push-back en el aeropuerto de Barajas, se han considerado un seguido de posibles ampliaciones y mejoras:

- En cuanto al estudio de viabilidad económica, sería conveniente hacer un estudio de financiación para el pago de la inversión inicial de la empresa de *handling*, facilitando así, la posibilidad adquirir el nuevo sistema de rodadura.
- Un estudio de viabilidad económico del sistema planteado en el aeropuerto de Frankfurt Main, para realizar comparaciones económicas.
- El estudio de viabilidad para la creación de un sistema extra de plataformas como el planteado en el proyecto Green Airport.
- Junto con el estudio de viabilidad de la creación de un sistema extra de plataformas, estudiar también la posibilidad de una implantación en horario completo del Aeropuerto, tanto diurno como nocturno.
- La realización de un estudio de marketing para la promoción y difusión del nuevo sistema de rodadura a las empresas de *handling* del aeropuerto de Barajas.
- Estudiar la posibilidad de disponer de otros modelos de vehículos remolcadores más pequeños y económicos para dar servicio a las aeronaves de fuselaje estrecho y disminuir así costes en la inversión inicial.
- Como se comentó en el capítulo 4, no hay ningún vehículo remolcador en el mercado que sea eléctrico y pueda empujar a un avión más grande que un B737 o un A321. La idea sería iniciar una licitación para las empresas a diseñar y crear un vehículo que fuera capaz de empujar a un A380 completamente con energía eléctrica (sólo habría que hacerlo más grande y más fuerte). Dado que no había una necesidad de dicho vehículo en el pasado, nunca se consideró construirlo.
- Finalmente, una propuesta para que el Aeropuerto fomentara el uso de este sistema a las empresas de *handling* que proporcionan el servicio de push-back que operan en Barajas.

REFERENCIAS

[1] The World Bank – Air transport, passengers carried:

<http://data.worldbank.org/indicador/IS.AIR.PSGR/countries?display=graph>

[2] European Commission - Climate change: Commission proposes bringing air transport into EU Emissions Trading Scheme:

http://europa.eu/rapid/press-release_IP-06-1862_en.htm?locale=en

[3] Observatorio de la Sostenibilidad en Aviación (OBSA) – Tendencias de futuro 2013:

http://www.obsa.org/PaginasOBSA/Navegacion/indicadores_2013/Indicadores_inicio2.aspx

[4] F.J. González Castillo y F.J. Vega Muñoz (2011). *Derecho aeronáutico y procedimientos ATC*.

[5] Ministerio de fomento:

<http://www.fomento.gob.es/>

[6] *Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA)*:

<http://www.aena.es/>

[7] Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente:

<http://www.magrama.gob.es/>

[8] OACI:

<http://www.magrama.gob.es/>

[9] Eurocontrol:

www.eurocontrol.es/

[10] FAA (Federal Aviation Administration):

<http://www.faa.gov/>

[11] Aeroteca:

www.aeroteca.com/

[12] World Airline News - Lufthansa starts operations with its pilot-controlled LEOS “TaxiBot”:

<http://worldairlinenews.com/2015/02/24/lufthansa-starts-operations-with-its-pilot-controlled-leos-taxibot/>

[13] Rob Gibson (2009). *Green Airport – Tow service at LAX*

[14] B 1200 Aircraft Tow Tractor:

http://www.core-aerospace.com/pdf/JBT_20B1200_201108.pdf

[15] Expediter 400:

<http://www.core-aerospace.com/pdf/JBT%20Brochure%20-%20Expediter%20400%20English%200508.pdf>

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

[16] Iñigo Zubiaga Pagadigorria (2000). *Manual de vuelo VFR*.

[17] S.Delgado/M.García/M.García (2002). *La actividad aeroportuaria y el medio ambiente*.

[18] Aeropuerto de Madrid Barajas - Webtrack:

<http://www.aeropuertomadrid-barajas.com/webtrak-aeropuerto-de-madrid.htm>

[19] AENA - Planes de aislamiento acústico:

<http://www.aena.es/csee/Satellite/sostenibilidad/es/Page/1237548017163//Planes-de-aislamiento-acustico.html>

[20] OSAMPOL - La apuesta por la eficiencia energética en el aeropuerto de Madrid Barajas:

<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=NTCS021031ZI44831&id=44831>

[21] AENA - Emisiones atmosféricas:

<http://www.aena.es/csee/Satellite/sostenibilidad/es/Page/1237548018021/Emisiones-atmosfericas.html>

[22] Airports Council International (ACI):

<https://www.aci-europe.org/>

[23] Airport Carbon Accreditation:

<http://www.airportcarbonaccreditation.org/>

[24] Israel Business Arena – New IAI Taxibots to save airlines billions:

<http://www.globes.co.il/en/article-1000620538>

[25] Foro Coches Eléctricos - Motor eléctrico versus motor a combustión:

<http://forococheselectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

[26] Tuch Technologies Corporation:

<http://www.tugtech.com/>

[27] LEKTRO

<http://www.lektro.com/>

[28] Abbott, Patrick (1989). *The British Airship at War, 1914-1918*.

[29] Airlines – The Boeing 727-100:

<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=89>

[30] Wikipedia – Motor Wenkel:

http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_Wankel

[31] Surcando los cielos – ETOPS: Fiabilidad al límite:

<http://surcandoloscielos.es/blog/etops/>

[32] Sr. Juan Carlos Correa, piloto comercial y ex instructor de la escuela de pilotos Barcelona-Sabadell.

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA PUSH-BACK EN EL AEROPUERTO DE BARAJAS

Ferran Martí Soler

[33] Sr. Jordi Manzano, piloto comercial de Air Europa y profesor en la UAB.

[34] Unique – Fixed energy systems for aircraft at Zurich Airport:

http://www.aero-net.info/fileadmin/aeronet_files/links/documents/_UNIQUE/2009-03_ZRH_Aircraft-FES.pdf

[35] Guinault:

http://www.guinault.com/Rub_457/En/Company.html

[36] CORDIS - Nuevos sistemas de combustible a bordo para camiones ecológicos:

http://cordis.europa.eu/result/rcn/92846_es.html

[37] Fuel Cell Based Power Generation (FCGEN):

<http://www.fcgen.com/fcgen/>

[38] Khurmi, R. S. *Material Science*.

[39] FUEL CELLS:

<http://www.fuelcells.org/>

[40] Fuel Cell Energy:

<http://www.fuelcellenergy.com/why-fuelcell-energy/benefits/>

[41] EUR LEX – Protocolo de Kioto sobre el cambio climático:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV:l28060>

[42] PRAGMA Industries:

<http://www.pragma-industries.com/>

[43] Fuel Cell Steering Committee:

<http://en.fcc.gov.ir/FuelCell-Goodness.aspx>

[44] Sr. Víctor Manuel Pérez, ingeniero mecánico en Amador Varas S.A.

[45] M-Field Company:

<http://www.m-field.com.tw/>

[46] Aviación Digital – Reflexiones sobre el SDP en Barajas de un piloto de líneas aéreas:

<http://www.aviaciondigitalglobal.com/mobile/noticia.asp?NotId=18347&NotDesignId=4>

[47] LEMD Charts, Jeppesen.

[49] Ashford/Martin. *Airport operations*.

[50] Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA):

www.seguridadaerea.gob.es

[51] Sr. César Muñoz, jefe de operaciones ATC de Barcelona.

[52] The Dayli Astorian - Lektro: Tugs bound for military can cost \$200,000.

<http://www.dailyastorian.com/20140404/lektro-tugs-bound-for-military-can-cost-200000>

[53] Alibaba – 2015 hydrogen fuel cell factory Price:

http://www.alibaba.com/product-detail/2015-hydrogen-fuel-cell-factory-price_60171765906.html?s=p

[54] Sr. Francisco Cintas, director de almacén en W.T. Grupesa S.A.

[55] EVO Mobile – Acerca del vehículo eléctrico:

<http://www.pcu.es/evomobile/acerca-de.html>

[56] Tarifas Gas Luz:

<http://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh#2>

[57] Motor pasión Futuro - Vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno:

<http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hidrogeno/vehiculos-electricos-de-pila-de-combustible-de-hidrogeno>

[58] El País – Coche eléctrico:

<http://blogs.elpais.com/coche-electrico/2013/01/al-volante-del-hyundai-de-hidrogeno.html>

[59] Mis coches eléctricos – Mantenimiento de un coche eléctrico:

<http://www.miscocheselectricos.com/mantenimiento-coche-electrico-264.html>

[60] Javier Llano Verduras. *Diseño de automóvil ecológico propulsado mediante pilas de combustible – Desarrollo del diseño de la carrocería y planta motriz:*

https://www.ica.es/publicaciones/anales_get.php?id=354

[61] Index Mundi – Precios del mercado para gasolina de avión:

<http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=gasolina-de-aviacion>