



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

**REDISEÑO SOSTENIBLE DE UNA TERMINAL DE
PASAJEROS PARA UN AEROPUERTO DE TRÁFICO
MEDIO**

Trabajo realizado por:

Antonio José Martínez Gandía

Titulación:

Master en Ingeniería Aeronáutica

Director del trabajo:

Pedro Martí Gómez-Aldaraví

*Dedicado a
Fulgencia, mi madre, por estar siempre ahí.*

En primer lugar agradecer su atención y dedicación a Pedro Martí, quien ya guió la realización de mi Trabajo de Fin de Grado, dado que en aquel momento fueron incontables los valores que con altruismo me transmitió. Por ello, y por estar ahora presente durante la realización de mi Trabajo de Fin de Master, muchas gracias. Gracias por tu intachable actitud, pasión por tu Trabajo y apoyo en momentos como éste, en el que cuando necesitaba a alguien para concluir mis estudios, estabas ahí.

A Alba, que desde el día en que la conocí me ha hecho ser mejor persona, convirtiéndose en una de las personas más importantes que conozco. Por eso y por haberme ayudado y animado durante este último año de estudios, gracias.

A mi madre, Fulgen, que siempre y de manera altruista se encuentra presente para celebrar los momentos importantes pero sobretodo para apoyarme en los problemas. Gracias por ser como eres y por estar ahí.

Por último, y no por ello menos importante a mis hermanos y a mi padre. Sin ellos todo esto no habría sido para nada posible.

Muchas gracias a todos.

Resumen

Dada la cada vez más preocupante situación relacionada con el calentamiento global del planeta Tierra debido al aumento de emisiones contaminantes, y gracias al cada vez más usado transporte aéreo, se ha comenzado a dirigir la atención a la transformación de infraestructuras aeroportuarias para hacerlas más sostenibles. El presente documento trata sobre el rediseño de la Terminal de pasajeros e inmediaciones del Aeropuerto de Valencia mediante el uso de técnicas de generación sostenibles. Se pretende analizar las distintas opciones, no sólo arquitectónicas, sino también tecnológicas, que permitan reducir la dependencia de esta infraestructura de otros sistemas de provisión de energía eléctrica generada a través de procesos contaminantes.

Mediante el estudio del concepto de Terminal Sostenible, así como de la forma en que éstas están construidas, se ha descartado la rama arquitectónica como solución, y en su lugar se ha realizado un estudio profundo sobre una serie de medidas consideradas como sostenibles, de distinta índole, que inicialmente se ajustaban a los criterios de utilización del Aeropuerto. Para cada una de ellas, se ha estudiado su capacidad de generación, sus tasas de reducción en consumo, sus capacidades medioambientales, así como todos los campos relacionados con la capacidad de maximizar el Retorno de la Inversión de cada una. Con base en los datos reales de consumo eléctrico del Aeropuerto de Valencia en 2016, se ha realizado un estudio comparativo de los datos obtenidos para cada medida, para tras ello, y mediante un sistema de asignación de puntuaciones multivariable, evaluar, según el resultado del estudio comparativo, cuál era el atractivo de las distintas medidas. Para ello, se ha asignado un Overall Score de cada una de ellas y con base en dicha puntuación, se han descartado las menos atractivas.

Se han obtenido resultados interesantes para cuatro de las nueve medidas analizadas, concretamente una planta de cogeneración, un parque solar, un sistema de losas piezorresistivas y un parque de turbinas de tamaño medio, que finalmente han sido las propuestas para su implantación. Se ha determinado que con la instalación de las medidas anteriormente citadas, el Aeropuerto de Valencia generaría tanta energía limpia, libre de emisiones, como para ser capaz de autoabastecerse si se mantuviesen los datos de consumo eléctrico del año 2016. Con la puesta en marcha de dichas medidas, se recuperaría prácticamente la totalidad de la inversión en un plazo de cinco años desde que empezara a funcionar. Por ello, se recomienda llevar a cabo la transformación del Aeropuerto de Valencia en una infraestructura más limpia y eficiente mediante el uso de sistemas medioambientalmente sostenibles.

Résumé

A cause de l'inquiétante situation liée au réchauffement de la planète dû à l'augmentation des émissions polluantes et de l'utilisation du transport aérien, on a commencé à diriger notre attention vers la transformation des infrastructures aéroportuaires afin de les rendre plus durables. Ce document montre la nouvelle conception du Terminal de passagers de l'Aéroport de Valencia par le biais de l'utilisation de techniques de génération durable. L'objectif est celui d'analyser les différentes options, non seulement architectoniques mais aussi technologiques, qui pourront réduire la dépendance existante de cette infrastructure envers d'autres systèmes d'approvisionnement d'énergie électrique générée grâce à des processus polluants.

A l'aide de l'étude du concept de Terminal Durable, et après avoir vu la façon dont ils sont construits, la branche architectonique a été écartée comme possible solution, et on a donc mené à terme une étude méticuleuse sur les mesures durables qui s'adaptent à celles utilisées par l'Aéroport. Pour toutes ces mesures, on a étudié leur capacité de génération, leurs taux de réduction de la consommation, leurs capacités environnementales et tout ce qui est relié afin de maximiser leur retour sur investissement. Sur la base des données réelles de consommation électrique de l'Aéroport de Valencia en 2016, j'ai réalisé une étude comparative des données obtenues pour chacune des mesures afin d'évaluer, grâce à un système de répartition de ponctuation multivariable, quel était le côté séduisant des mesures. Pour cela, on a donné un Overall Score aux mesures selon leur ponctuation et on a rejeté les moins séduisantes.

Les résultats ont été intéressants pour quatre des neuf mesures étudiées, et elles ont été proposées pour leur mise en place. On a pu déterminer que après leur mise en place, l'Aéroport de Valencia pourrait générer d'autant plus d'énergie verte qu'il pourrait se ravitailler lui-même si on maintient les informations de consommation électrique de l'année 2016. Après la mise en marche de ces mesures, on pourrait récupérer presque tout l'investissement dans une période de cinq ans. Il est donc conseillé de transformer l'Aéroport de Valencia en une infrastructure plus propre et durable grâce à l'usage de systèmes environnementaux durables.

Summary

Due to the alarming situation of global warming caused by the growing number of air pollution emissions, and also the use of aerial transportation, a research is being developed to transform the current infrastructures into a more sustainable system. This paper will present the redesign of the Passenger Terminal at the Valencia Airport using sustainable techniques. The goal is to analyze the different options that exist, not only architectural options but also technological. These solutions will help reduce the existent dependency on electrical energy generated through pollutant processes.

Throughout the concept of Sustainable Terminal and after the study of the way they are built, the architectural branch has been rejected as a possible solution. Instead, a detailed study has been done regarding a series of sustainable measures that initially matched with the standards used by the Airport. The paper studies the generation capacity, consumption reduction rates, environmental capacities, and all the fields aiming to maximize the Return of Investment for those measures. Using data regarding the electrical use at the Valencia Airport in 2016, I elaborated a comparative study using the data for each measure in order to evaluate, using an assignation system of multivariable grading, which of those measures are the most attractive. An Overall Score was assigned to each of them, and based on the scores the less attractive measures were rejected.

Out of the nine studied measures, I obtained interesting results for four of them, the cogeneration plant, the solarsystems plant, the piezorresistive floor and the small turbines. These four were proposed for their implementation. The Valencia Airport would generate so much clean energy, zero emissions, installing those measures, it would be capable of being self-sufficient based on the electrical use data from 2016. Almost the whole investment effort would be recovered after five years post implementation. Thus, it is highly recommended to transform the Valencia Airport into a more clean and efficient infrastructure throughout the implementation of sustainable environmental systems.

Resum

Respecte a la preocupant situació relacionada amb el calfament global del Planeta Terra a causa de l'augment d'emissions contaminants, i gràcies a l'usat transport aeri, s'ha començat a dirigir l'atenció a la transformació d'infraestructures aeroportuàries per a fer-les més sostenibles. El present document tracta sobre el redisseny de la Terminal de passatgers i voltants de l'Aeroport de València per mitjà de l'ús de tècniques de generació sostenible. Es pretenen analitzar distintes opcions, no sols arquitectòniques, sinó també tecnològiques, que permeten reduir la dependència d'esta infraestructura d'altres sistemes de provisió d'energia elèctrica generada a través de processos contaminats.

Per mitjà de l'estudi del concepte de Terminal Sostenible, així com de la forma en què estes estan construïdes, s'ha descartat la branca arquitectònica com a solució, i el seu lloc s'ha realitzat un estudi profund sobre una sèrie de mesures considerades com sostenibles, de distinta índole, que inicialment s'ajustaven als criteris d'utilització de l'Aeroport. Per a cadascuna d'elles, s'han estudiat les seues capacitats de generació, les seues tasses de reducció en consum, les seues capacitats mediambientals, així com tots els camps relacionats amb la capacitat de maximitzar el retorn de la inversió de cadascun. Basant-me en les dades reals de consum elèctric de l'Aeroport de València en 2016, s'ha realitzat un estudi comparatiu de les dades obtingudes per a cada mesura, per a després d'això, i per mitjà d'un sistema d'assignació de puntuacions multivariables, avaluar, segons el resultat de l'estudi comparatiu, quin era l'atractiu de les distintes mesures. Per a ell, s'han assignat un Overall Score de cadascuna d'elles i basant-me en eixa puntuació, s'han descartat les menys atractives.

S'han obtingut resultats interessants per a quatre de les nou mesures analitzades que finalment han sigut les propostes per a la seua implantació. S'han determinat que amb la instal·lació de les mesures anteriorment citades, l'Aeroport de València generaria tanta energia neta, lliure d'emissions, com per a ser capaç d'autoabastir-se si es mantingueren les dades de consum elèctric de l'any 2016. Amb la posada en marxa de les dites mesures, es recuperaria pràcticament la totalitat de la inversió en un termini de cinc anys des que començara a funcionar. Per això, es recomana dur a terme la transformació de l'Aeroport de València en una infraestructura més neta i eficient per mitjà de l'ús de sistemes mediambientalment sostenibles.

Índice general

I	Memoria	1
1.	Introducción	3
1.1.	Contexto general	3
1.2.	Objetivos y metodología	4
1.3.	Estructura del trabajo	5
2.	Estudio del Aeropuerto de Valencia	7
2.0.1.	Clasificación de los Aeropuertos según OACI	7
2.1.	Generalidades del entorno y localización	8
2.2.	Meteorología	10
2.2.1.	Análisis eólicos	10
2.2.2.	Análisis pluviométricos	10
2.2.3.	Análisis termométrico y barométrico	11
2.3.	Subsistema de movimiento de Aeronaves	13
2.3.1.	Pistas	13
2.3.2.	Plataforma de estacionamiento de aeronaves	14
2.3.3.	Helipuerto	16
2.4.	Subsistema de actividades aeroportuarias	17
2.4.1.	Análisis del estado actual de la terminal	17
2.4.2.	Aparcamientos	21
2.4.3.	Zona de carga	21
2.4.4.	Zona de apoyo a la aeronave	22
2.4.5.	Zona de servicios	22
2.4.6.	Zona de abastecimiento	25
2.5.	Consumos energéticos y de agua del aeropuerto	26
2.6.	Infraestructuras de acceso	28
2.6.1.	Accesos por carretera	28
2.6.2.	Accesos por ferrocarril	29
2.6.3.	Accesos por autobús	29
2.7.	Análisis de tráfico del Aeropuerto de Valencia	30
2.7.1.	Evolución del tráfico de pasajeros	30
2.7.2.	Evolución del tráfico de aeronaves	32
2.7.3.	Evolución del tráfico de carga	32
2.8.	Previsiones de crecimiento	35
2.8.1.	Comparativa real de crecimiento	38

3. Diseño de una terminal sostenible: aspectos generales	41
3.1. Definición del concepto	41
3.2. Ejemplo de terminales sostenibles	43
3.2.1. Aeropuerto Ecológico de Galápagos	43
3.2.2. Aeropuerto de Zvartnots	48
3.2.3. Aeropuerto de Río Gallegos	51
3.2.4. Aeropuerto de Heathrow	55
3.2.5. Aeropuerto de Ciudad de México	58
3.2.6. Aeropuerto de Chandigarh	61
3.3. Modificaciones acometidas en el Aeropuerto de Valencia	63
4. Modificaciones acometidas y análisis de viabilidad	65
4.1. Medidas vigentes en el plan actual del Aeropuerto de Valencia	65
4.1.1. Medidas operativas o de procedimiento	65
4.1.2. Medidas de concienciación	66
4.1.3. Medidas de sustitución	66
4.1.4. Técnicas de diseño de sistemas eléctricos	66
4.1.5. Diseño de los sistemas de alumbrado interiores del edificio de aviación regional	66
4.1.6. Medidas de reducción general del consumo eléctrico	67
4.1.7. Gestión de los residuos	67
4.1.8. Gestión de las aguas y prevención de contaminación	68
4.2. Propuestas de medidas con potencial aplicación en el Aeropuerto de Valencia de ámbito sostenible	68
4.2.1. Generadores eléctricos de pila de hidrógeno con cogeneración	69
4.2.2. Generadores eléctricos con un sistema de reducción de velocidad hidráulico	72
4.2.3. Generación de electricidad aprovechando la superficie pavimentada	73
4.2.4. Generación de energía eléctrica a través de turbinas de tamaño medio	76
4.2.5. Climatización geotérmica de la Terminal de pasajeros	78
4.2.6. Generación de electricidad a partir de un sistema de placas solares	78
4.2.7. Sistema generador de energía eléctrica piezorresistivo para peatones	80
4.3. Análisis de las medidas propuestas	82
4.3.1. Sistema de pila de hidrógeno con coogeneración	83
4.3.2. Sistema pila reductores de velocidad hidráulico	88
4.3.3. Sistema de pavimento piezoeléctrico generador de energía eléctrica	94
4.3.4. Sistema de pavimento solar generador de energía eléctrica	98
4.3.5. Sistema de generación con turbinas de tamaño medio	103
4.3.6. Sistema de placas solares	109
4.3.7. Sistema de generación con baldosas para peatones	114
4.4. Resumen comparativo y medidas seleccionadas	118
5. Conclusiones y trabajos futuros.	125
5.1. Conclusiones	125
5.2. Trabajos futuros	127
Bibliografía	128

II Pliego de condiciones.	131
6. Condiciones generales.	3
6.1. General	3
6.2. Real Decreto 488/1977 de abril	4
6.2.1. Artículo 1. Objeto.	4
6.2.2. Artículo 2. Definiciones.	4
6.2.3. Artículo 3. Obligaciones del empresario.	5
6.2.4. Artículo 4. Vigilancia de la salud.	5
6.2.5. Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación.	6
6.2.6. Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores.	6
7. Condiciones de especificaciones técnicas.	9
7.1. Condiciones de garantía y mantenimiento.	11
7.2. Reclamaciones.	11
7.3. Condiciones legales y contractuales.	11
7.4. Revisión de los precios.	11
7.5. Fianza.	12
7.6. Aceptación.	12
III Presupuesto.	13
8. Presupuesto	3
8.1. Introducción	3
8.2. Estado de mediciones	4
8.3. Desglose de costes unitarios.	5
8.3.1. Coste material y software unitario	5
8.3.2. Coste de personal cualificado unitario.	6
8.3.3. Coste de oficina unitario	7
8.4. Desglose de costes totales	7
8.4.1. Coste de material y software total	7
8.4.2. Coste de personal cualificado total	7
8.4.3. Coste de oficina total	8
8.5. Resumen del presupuesto total	8
9. Apéndices.	9

Índice de figuras

1.1. Mapa de aeropuertos de España.	4
2.1. Localización del Aeropuerto de Valencia (Manises)	9
2.2. Rosa de los vientos Aeropuerto de Valencia periodo 1995-2006.	11
2.3. Temperatura a lo largo del año en el Aeropuerto de Valencia.	12
2.4. Presión media a lo largo del año en el Aeropuerto de Valencia.	12
2.5. Pista 12-30 del Aeropuerto de Valencia.	15
2.6. Plataforma de estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto de Valencia . . .	16
2.7. Planta del Edificio Terminal Aeropuerto de Valencia.	18
2.8. Mostradores de facturación regional	19
2.9. Dique de acceso a las aeronaves desde la planta primera de la Terminal. . . .	20
2.10. Representación del nuevo parking en altura P1.	21
2.11. Bloque técnico del aeropuerto de Valencia.	23
2.12. Torre de Control del Aeropuerto de Valencia.	23
2.13. Consumo de agua anual total del aeropuerto de Valencia.	27
2.14. Consumo de electricidad anual total del aeropuerto de Valencia.	28
2.15. Accesos por carretera al Aeropuerto de Valencia	29
2.16. Representación del tráfico de pasajeros en el Aeropuerto de Valencia	30
2.17. Representación del tráfico de aeronaves en el Aeropuerto de Valencia	33
2.18. Representación del tráfico de mercancía en el Aeropuerto de Valencia	34
2.19. Representación del porcentaje de tráfico de aeronaves del Aeropuerto de Valencia	34
2.20. Representación del porcentaje de tráfico de pasajeros del Aeropuerto de Valencia	35
2.21. Representación del porcentaje de tráfico de mercancía del Aeropuerto de Valencia	35
2.22. Representación de los 3 escenarios de tráfico comercial de pasajeros calculados para el Aeropuerto de Valencia	37
2.23. Representación de los 3 escenarios calculados de tráfico del Aeropuerto de Va- lencia aplicados a operaciones Aeroportuarias (Comerciales)	37
3.1. Parque natural de Las Galápagos.	44
3.2. Sistema de autogeneración de electricidad del aeropuerto de Galápagos. . . .	45
3.3. Estructura reciclada instalada en la terminal del aeropuerto de Galápagos. . . .	45
3.4. Sistema de ventilación e iluminación naturales del aeropuerto de Galápagos. .	46
3.5. Terminal de pasajeros del aeropuerto de Galápagos.	47
3.6. Terminal de pasajeros del aeropuerto de Zvartnots.	48
3.7. Sistema de vidriados de la envolvente de la fachada sur del aeropuerto de Zvart- nots.	50
3.8. Sección transversal de la terminal durante su refrigeración. Aeropuerto de Zvartnots.	51

3.9. Representación de la Terminal de pasajeros del aeropuerto de Río Gallego. . .	54
3.10. Representación del Aeropuerto Internacional de Heathrow.	55
3.11. Techado de la nueva Terminal del Aeropuerto Internacional de Heathrow. . .	57
3.12. Interior de la nueva Terminal del Aeropuerto Internacional de Heathrow. . . .	57
3.13. Cubierta del nuevo Aeropuerto proyectado en México.	59
3.14. Consumos de energía del nuevo Aeropuerto de México y emisiones de CO2. .	60
3.15. Consumos de agua del nuevo Aeropuerto de México.	61
3.16. Lucernarias de la Terminal de pasajeros de Chandigarh	62
3.17. Fachada acristalada de la Terminal de pasajeros de Chandigarh	62
4.1. Comparativa de la reducción de consumos en nuevo Edificio de Aviación Re-	
gional del Aeropuerto de Valencia.	68
4.2. Pila de carbonato fundido.	70
4.3. Representación del sistema de reducción de velocidad capaz de generar electri-	
cidad	73
4.4. Representación del fundamento del sistema de generación de electricidad a	
partir de propiedades piezoeléctricas	74
4.5. Representación de un sistema de generación fotovoltaico resistente al tráfico y	
de aplicación en pavimentos	76
4.6. Turbinas Darrieus-Savonius, generadoras de energía eléctrica a partir del mo-	
vimiento de los vehículos.	77
4.7. Sistema de calefacción natural que basa su funcionamiento en la extracción de	
energía natural del suelo.	79
4.8. Sistema On-Grid de generación de energía con inversor a la red eléctrica. . . .	81
4.9. Sistema de generación de energía eléctrica a partir del tránsito de personas. .	81
4.10. Ubicación de la planta de cogeneración dentro del recinto del aeropuerto. . .	87
4.11. Evolución del ROI con la variación del valor del precio del badén y del acceso	
al eropuerto por vehículo.	92
4.12. Emplazamiento de los badenes hidráulicos de reducción de velocidad.	94
4.13. Emplazamiento del pavimento piezoeléctrico generador.	98
4.14. Evolución del ROI con la variación del número de horas de sol aprovechadas,	
así como de la Potencia Nominal del sistema.	102
4.15. Evolución del ROI con la variación de la potencia del sistema, así como de la	
Potencia Nominal.	108
4.16. Emplazamiento del parque de turbinas de tamaño medio en el lado aire del	
Aeropuerto de Valencia.	108
4.17. Evolución del ROI con la variación de lasuperficie cubierta.	112
4.18. Evolución del ROI con la variación de la potencia de la Potencia Nominal. . .	112
4.19. Localización dentro del mapa del Aeropuerto de Valencia del sistema de placas	
solares.	113

Índice de cuadros

2.1. Códigos de clasificación de aeródromos (Número)	8
2.2. Códigos de clasificación de aeródromos (Letra)	8
2.3. Coordenadas de puntos característicos del Aeropuerto de Valencia.	8
2.4. Características de la pista	13
2.5. Dimensiones de CWY, RESA y Franja de pista	13
2.6. Distancias declaradas de pista	13
4.1. Comparativa en términos de emisiones de medidas de generación limpia respecto a MCFC.	71
4.2. Unidades de conversión de MWs a Toneladas de CO ₂ y Ha de bosque.	83
4.3. Datos previos para el cálculo para la pila de hidrógeno con cogeneración.	83
4.4. Cálculos correspondientes a la generación bruta en términos económicos de la planta de cogeneración de 2,8 MW.	84
4.5. Valores correspondiente a la inversión en cada una de las plantas de cogeneración planteadas para el cálculo.	84
4.6. Superficie de instalación necesaria dependiendo del tipo de planta de cogeneración que se instale.	85
4.7. Coste de mantenimiento acumulado a 5 años y valores netos de generación en términos económicos por cada una de las plantas.	86
4.8. ROI asociado a cada planta al 5º año de instalación.	86
4.9. Características de emisión y contribución al medio de la planta de cogeneración de 2,8 MW de potencia.	87
4.10. Datos previos para el cálculo del sistema de badenes hidráulicos.	88
4.11. Valores de generación bruta del sistema de badenes hidráulicos.	90
4.12. Valores correspondiente a la inversión total de instalación los 20 badenes generadores hidráulicos.	90
4.13. Valores de generación neta del conjunto de badenes hidráulicos al 5º año de funcionamiento.	91
4.14. Estudio multivariable del sistema de generación de badenes hidráulicos sobre el precio del badén y el % de acceso por vehículo.	92
4.15. Estudio sobre el efecto de la variable número de vehículos respecto del ROI.	93
4.16. Valores de ahorro de emisiones para el sistema de badenes hidráulicos generadores de energía.	93
4.17. Datos previos para el cálculo del sistema de pavimento generador de energía eléctrica.	95
4.18. Valores de generación bruta del sistema de pavimento piezoeléctrico al 5º año de funcionamiento.	96

4.19. Valores de generación neta del sistema de pavimento piezorresistivo al 5º año de funcionamiento.	97
4.20. Valores de ahorro de emisiones para el sistema de pavimentos piezorresistivos generadores de energía.	97
4.21. Datos a considerar para llevar a cabo los cálculos del sistema de pavimento solar.	99
4.22. Valores de generación bruta del sistema de pavimento fotoeléctrico al 5º año de funcionamiento.	100
4.23. Valores correspondiente a la inversión en el pavimento fotoeléctrico para el Aeropuerto de Valencia.	100
4.24. Estudio multivariable del sistema de pavimento fotovoltaico sobre la potencia nominal y las horas totales de aprovechamiento de luz solar.	101
4.25. Valores de ahorro de emisiones para el sistema de pavimento fotoeléctrico generador de energía.	103
4.26. Datos iniciales del sistema de turbinas de tamaño medio.	104
4.27. Valores de generación bruta del sistema de turbinas al 5º año de funcionamiento.	105
4.28. Valores correspondiente a la inversión en el sistema de turbinas de tamaño medio para el Aeropuerto de Valencia.	106
4.29. Valores de generación neta del sistema de turbinas al 5º año de funcionamiento.	106
4.30. Estudio multivariable del sistema de turbinas sobre la potencia nominal y la potencia del sistema.	107
4.31. Valores de ahorro de emisiones para el sistema de turbinas de tamaño medio.	107
4.32. Componentes del subsistema de placas solares utilizado en el análisis.	109
4.33. Datos iniciales para el cálculo del sistema de placas solares instalado en el Aeropuerto de Valencia.	110
4.34. Valores de generación bruta del sistema de placas solares al 5º año de funcionamiento.	110
4.35. Valores correspondiente a la inversión en el sistema de placas solares para el Aeropuerto de Valencia.	111
4.36. Valores de generación neta del sistema de placas solares al 5º año de funcionamiento.	111
4.37. Valores de ahorro de emisiones para el sistema de placas solares.	113
4.38. Datos inicialmente considerados para el cálculo del sistema de losas piezorresistivas.	115
4.39. Valores de generación bruta del sistema de losas piezorresistivas al 5º año de funcionamiento.	116
4.40. Valores correspondiente a la inversión en el pavimento fotoeléctrico para el Aeropuerto de Valencia.	116
4.41. Valores de generación neta del sistema de losas piezorresistivas al 5º año de funcionamiento.	117
4.42. Valores de ahorro de emisiones para el sistema de losas piezorresistivas.	118
4.43. Pesaje de las distintas variables contenidas en las categorías determinadas para el análisis de selección de las medidas.	122
4.44. Overall Score obtenido para las distintas medidas analizadas.	123
4.45. Datos finales referentes a las medidas seleccionadas	124
8.1. Equipos informáticos y software	4
8.2. Montaje e instalación del equipo informático	4

8.3. Instalación del software específico	4
8.4. Personal específico para el desarrollo del proyecto	5
8.5. Coste de material y software total	7
8.6. Coste de personal cualificado total	7
8.7. Coste de oficina total	8
8.8. Presupuesto total (IVA incluido)	8

Documento I

Memoria

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Contexto general	3
1.2. Objetivos y metodología	4
1.3. Estructura del trabajo	5
2. Estudio del Aeropuerto de Valencia	7
2.0.1. Clasificación de los Aeropuertos según OACI	7
2.1. Generalidades del entorno y localización	8
2.2. Meteorología	10
2.2.1. Análisis eólicos	10
2.2.2. Análisis pluviométricos	10
2.2.3. Análisis termométrico y barométrico	11
2.3. Subsistema de movimiento de Aeronaves	13
2.3.1. Pistas	13
2.3.2. Plataforma de estacionamiento de aeronaves	14
2.3.3. Helipuerto	16
2.4. Subsistema de actividades aeroportuarias	17
2.4.1. Análisis del estado actual de la terminal	17
2.4.2. Aparcamientos	21
2.4.3. Zona de carga	21
2.4.4. Zona de apoyo a la aeronave	22
2.4.5. Zona de servicios	22
2.4.6. Zona de abastecimiento	25
2.5. Consumos energéticos y de agua del aeropuerto	26
2.6. Infraestructuras de acceso	28
2.6.1. Accesos por carretera	28
2.6.2. Accesos por ferrocarril	29
2.6.3. Accesos por autobús	29
2.7. Análisis de tráfico del Aeropuerto de Valencia	30
2.7.1. Evolución del tráfico de pasajeros	30
2.7.2. Evolución del tráfico de aeronaves	32
2.7.3. Evolución del tráfico de carga	32
2.8. Previsiones de crecimiento	35
2.8.1. Comparativa real de crecimiento	38

3. Diseño de una terminal sostenible: aspectos generales	41
3.1. Definición del concepto	41
3.2. Ejemplo de terminales sostenibles	43
3.2.1. Aeropuerto Ecológico de Galápagos	43
3.2.2. Aeropuerto de Zvartnots	48
3.2.3. Aeropuerto de Río Gallegos	51
3.2.4. Aeropuerto de Heathrow	55
3.2.5. Aeropuerto de Ciudad de México	58
3.2.6. Aeropuerto de Chandigarh	61
3.3. Modificaciones acometidas en el Aeropuerto de Valencia	63
4. Modificaciones acometidas y análisis de viabilidad	65
4.1. Medidas vigentes en el plan actual del Aeropuerto de Valencia	65
4.1.1. Medidas operativas o de procedimiento	65
4.1.2. Medidas de concienciación	66
4.1.3. Medidas de sustitución	66
4.1.4. Técnicas de diseño de sistemas eléctricos	66
4.1.5. Diseño de los sistemas de alumbrado interiores del edificio de aviación regional	66
4.1.6. Medidas de reducción general del consumo eléctrico	67
4.1.7. Gestión de los residuos	67
4.1.8. Gestión de las aguas y prevención de contaminación	68
4.2. Propuestas de medidas con potencial aplicación en el Aeropuerto de Valencia de ámbito sostenible	68
4.2.1. Generadores eléctricos de pila de hidrógeno con cogeneración	69
4.2.2. Generadores eléctricos con un sistema de reducción de velocidad hidráulico	72
4.2.3. Generación de electricidad aprovechando la superficie pavimentada	73
4.2.4. Generación de energía eléctrica a través de turbinas de tamaño medio	76
4.2.5. Climatización geotérmica de la Terminal de pasajeros	78
4.2.6. Generación de electricidad a partir de un sistema de placas solares	78
4.2.7. Sistema generador de energía eléctrica piezorresistivo para peatones	80
4.3. Análisis de las medidas propuestas	82
4.3.1. Sistema de pila de hidrógeno con cogeneración	83
4.3.2. Sistema pila reductores de velocidad hidráulico	88
4.3.3. Sistema de pavimento piezoeléctrico generador de energía eléctrica	94
4.3.4. Sistema de pavimento solar generador de energía eléctrica	98
4.3.5. Sistema de generación con turbinas de tamaño medio	103
4.3.6. Sistema de placas solares	109
4.3.7. Sistema de generación con baldosas para peatones	114
4.4. Resumen comparativo y medidas seleccionadas	118
5. Conclusiones y trabajos futuros.	125
5.1. Conclusiones	125
5.2. Trabajos futuros	127
Bibliografía	128

1

Introducción

1.1. Contexto general

En un mundo cada vez más globalizado los aeropuertos juegan un papel indispensable, pues son éstos los principales causantes de que altos niveles de crecimiento, en multitud de países, hayan sido posibles. Los aeropuertos permiten a diario que tanto personas como mercancías se muevan libremente y de manera rápida y eficaz de un punto a otro del mundo.

Dentro de los aeropuertos, las terminales de pasajeros son un elemento indispensable, actuando como corazón de los mismos. Precisamente se encargan de coordinar el tráfico de pasajeros y mercancías dentro del aeropuerto, siendo las responsables, en caso de estar diseñadas de manera ineficiente, de grandes tiempos de esperas, congestiones y problemas derivados de las mismas, que podrían estar causadas entre otros motivos, por la asignación de una capacidad insuficiente. Por ello, el óptimo diseño de las terminales de pasajeros es un factor importantísimo a la hora de reducir tiempos de operación de las aeronaves, entre otros aspectos.

En el Estado Español, **actualmente contamos con 46 aeropuertos y 2 helipuertos**, todos ellos gestionados por AENA (1.1). De esos 46, tres de ellos, se encuentran en la Comunidad Valencia, en concreto en las ciudades de Castellón, Valencia y Alicante, siendo el Aeropuerto de Valencia el que finalmente ha sido escogido para llevar a cabo el estudio. Tanto la información anterior, como lo que se comentará en los párrafos sucesivos queda referenciado en [1].

Los aeropuertos generalmente se rigen por unos documentos denominados *Planes Directores*. En el caso de los aeropuertos españoles, éstos se aprueban por parte del Ministerio de Fomento, y en ellos, como se explicará, entre otros aspectos se determina cuál es la posible capacidad tanto presente como futura de operación de los aeropuertos. En la mayoría de los casos, ésta se cumple. Sin embargo, en el caso del Aeropuerto de Valencia, el Plan Director se modificó en 2010 para reajustar la capacidad y evolución del mismo, pues el incremento del



Figura 1.1: Mapa de aeropuertos de España.

tráfico resultaba ser mayor de lo esperado.

El Plan Director es imprescindible para conocer de manera precisa cuál es la estructura de dicha infraestructura. Estos documentos son necesarios debido a la progresiva globalización de la economía mundial, junto con la liberalización del tráfico aéreo. Tanto es así que dichos factores provocan que los modernos Sistemas Generales Aeroportuarios se hayan en constante evolución. En este sentido, el Plan Director se entiende como una herramienta estrictamente de planificación aeroportuaria y no urbanística, que plantea las actuaciones a realizar para Garantizar:

- 1 La funcionalidad e interdependencia de los diferentes subsistemas aeroportuarios que integran la Zona de Servicio del Aeropuerto.
- 2 Conseguir el nivel de calidad de servicio estipulado por AENA para cada uno de ellos y las zonas que lo componen.

La Zona de Servicio se compone de tres partes; el *Subsistema de Movimiento de Aeronaves*, la *Zona de Reserva Aeroportuaria* y el *Subsistema de Actividades Aeroportuarias*, siendo esta última la parte que concierne al estudio de la terminal de pasajeros representada como punto de intercambio modal entre el transporte aéreo y el sistema terrestre.

1.2. Objetivos y metodología

Con el análisis de documentos como el plan director se es capaz de determinar cual es la configuración actual y las predicciones de crecimiento de una terminal aeroportuaria. Sin embargo, no quiere decir esto que el crecimiento que se estima sea el óptimo o que el diseño de las nuevas partes de la terminal necesarias para el abastecimiento sea el óptimo. Por eso, el objetivo que se ha fijado con la realización del presente proyecto es el de rediseñar la terminal

de pasajeros del Aeropuerto de Valencia de manera teórica, o incluso únicamente algunas partes de la misma, de manera que se adapte la terminal a lo que se conoce como una **Terminal de Diseño Sostenible**. Cuando dichos objetivos se cumplen, y son llevados al extremo, se puede llegar a conseguir una terminal autosuficiente, desde el punto de vista energético.

Para ello, se propondrán soluciones que afecten a la operativa de la terminal e intenten agilizar el funcionamiento y que no generen congestiones o dificulten el funcionamiento normal de la misma, haciendo de ella una terminal mucho más atractiva. A su vez, y teniendo en cuenta el estado del arte en tecnologías que aprovechan los recursos naturales para producir energía, se planteará la sustitución de partes de la terminal por otras que integren las mismas, aprovechando de esa manera los recursos disponibles a máximos, reduciendo la contribución de la terminal al cambio climático.

1.3. Estructura del trabajo

En lo sucesivo, en el **capítulo 2** se analizará cuál es la situación actual del Aeropuerto de Valencia, estudiando las partes que lo componen y en concreto la terminal de pasajeros, que será la base del siguiente estudio, de manera que se identifiquen los aspectos más importantes sobre los que actuar. Así mismo se estudiará las previsiones de crecimiento y tráfico, sirviendo éste como punto de partida para estudios posteriores.

Tras ello, en el **capítulo 3** se introducirá el concepto de terminal sostenible, concepto sobre el que gira el estudio. Tras su planteamiento, se evaluarán rediseños previos de otras terminales, que servirán como base para el presente estudio y se plantearán, en base a ellos, posibles mejoras para la terminal del Aeropuerto de Valencia.

Planteadas las posibles soluciones, en el **capítulo 4**, se escogerá, de entre todas las propuestas, aquellas que resulten más prácticas y realizables, y con ello se procederá a llevar a cabo un estudio de la viabilidad y el impacto de las mismas a fin de cuantificar en qué medida afectan al entorno en que se plantean y si como se pretende, mejoran la calidad de la terminal.

Para terminar, en el **capítulo 5** se analizarán las conclusiones principales obtenidas tras la realización del trabajo.

2

Estudio del Aeropuerto de Valencia

El Aeropuerto de Valencia, como cualquier otro aeropuerto, cuenta con diversas zonas, destinadas a la gestión de los diferentes agentes involucrados en el normal funcionamiento del mismo. En concreto, dado que el objetivo del presente trabajo se focaliza en la terminal de pasajeros, será ésta la que se describa con mayor profundidad en éste y en los siguientes capítulos.

2.0.1. Clasificación de los Aeropuertos según OACI

Antes de comenzar a hablar del Aeropuerto de Valencia, es importante que se conozca a cómo se categoriza dicho aeropuerto.

Los aeropuertos se clasifican con un código según OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) conforme al tipo de aeronaves que pueden operar en sus pistas. Un único aeropuerto puede tener varias instalaciones con diferentes códigos clasificatorios.

Dicho código se compone de dos dígitos: una letra y un número, tal y como se referencia en [2].

- 1 **Número:** hace referencia a la *longitud del campo de referencia del avión*, o lo que es lo mismo, a la longitud mínima necesaria para llevar a cabo el despegue con el máximo peso homologado en condiciones de referencia (a nivel del mar, atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista 0). Puede hacer referencia a la longitud de campo compensado para algunos aviones, y a la distancia de despegue en el resto de los casos.
- 2 **Letra:** que refiere a la envergadura de la aeronave y la distancia externa del tren de aterrizaje principal de la aeronave (vía).

Los valores posibles de que se dispone para la clasificación de los aeropuertos se muestran en las tablas 2.1 y 2.2.

Número	Longitud de campo de referencia (metros)
1	hasta 800
2	de 800 a 1.200
3	de 1.200 a 1.800
4	más de 1.800

Cuadro 2.1: Códigos de clasificación de aeródromos (Número)

Letra	Envergadura de la aeronave (m)	Dist. externa del T. aterrizaje (m)
A	hasta 15	hasta 4,5
B	de 15 a 24	de 4,5 a 6
C	de 24 a 36	de 6 a 9
D	de 36 a 52	de 9 a 14
E	de 52 a 65	de 9 a 14
F	de 65 a 80	de 14 a 16

Cuadro 2.2: Códigos de clasificación de aeródromos (Letra)

2.1. Generalidades del entorno y localización

El Aeropuerto de Valencia es uno de los tres aeropuertos con los que cuenta la Comunidad Valenciana, que representa al 10,75 % de la población de España, es decir, 4.806.908 habitantes.

Como su propio nombre indica, se ubica en la provincia de Valencia, siendo ésta la de mayor extensión de la comunidad autónoma con 10.776 km^2 , y se ubica concretamente a 7 km al oeste de la ciudad de Valencia, en los términos municipales de Manises y Quart de Poblet.

En las inmediaciones del aeropuerto, no sólo se encuentran ciertos núcleos importantes, como las ciudades de Sagunto (35 km) o Torrent (10 km), sino que además se emplaza en un entorno fuertemente industrializado. En la figura 2.1, se muestra la ubicación del aeropuerto sobre el mapa, en el término municipal de Manises.

Algunos de los puntos característicos del aeropuerto, como las cabeceras de la pista con las que cuenta actualmente, son descritas más en detalle en la sección 2.3. Estos valores se referencian en la tabla 2.3:

Punto	Coord. Geográficas WGS 84		Coord. UTM en ED50		
	Latitud (N)	Longitud (W)	X (m)	Y (m)	H (Alt. Geod.)
ARP	39° 29' 21,5"	0° 28' 53,8"	716.684	4.374.315	61
12	39° 29' 46,9"	0° 30' 00,4"	715.072	4.375.052	73
30 (Desp.)	39° 29' 05,2"	0° 28' 11,0"	717.723	4.373.840	53
30	39° 29' 00,9"	0° 27' 59,8"	717.994	4.373.716	5 2

Cuadro 2.3: Coordenadas de puntos característicos del Aeropuerto de Valencia.

Descrito el contexto, la **clasificación** del mismo es la siguiente:

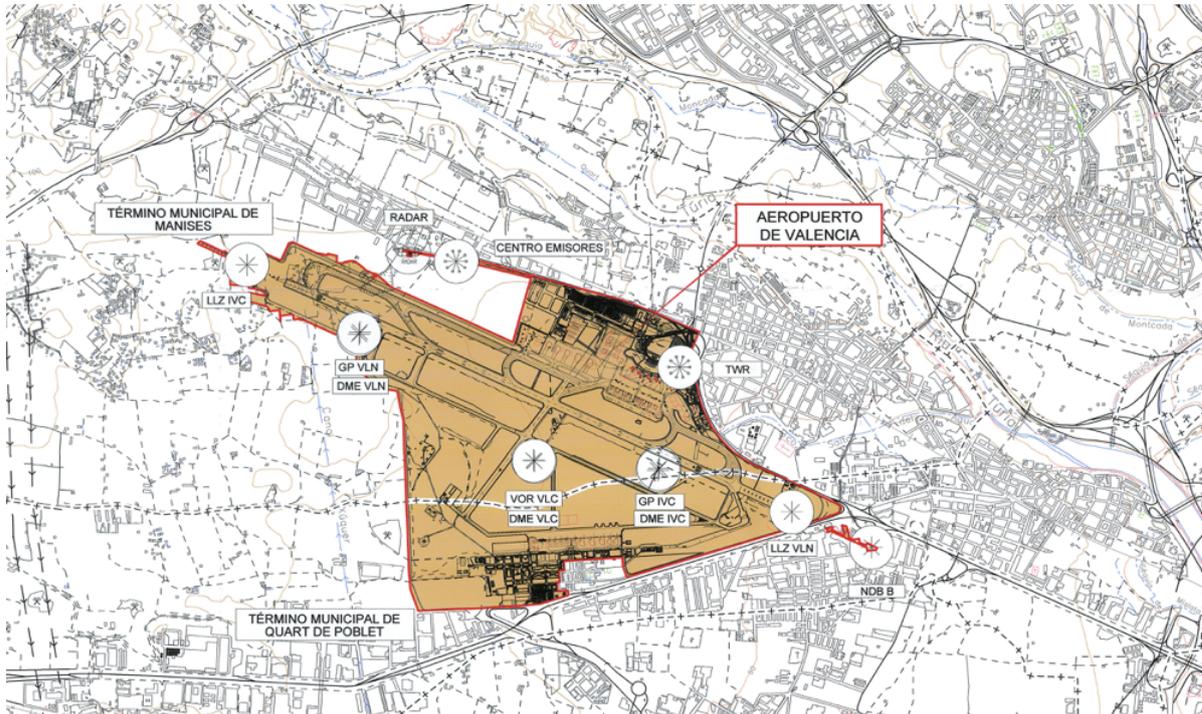


Figura 2.1: Localización del Aeropuerto de Valencia (Manises)

- **Tipo:** Aeropuerto Civil
- **Clase:** Internacional
- **Categoría OACI:** 4-D
- **Categoría Administrativa:** Primera

Atendiendo a la categoría del aeropuerto, 4-D, cabe destacar que **no se permite la operación de aeronaves con envergaduras mayores a 52 metros**, siendo éste el único factor limitante, puesto que dispone de la máxima categoría atribuible en lo que respecta al campo de referencia de las aeronaves. Así, aviones como el A340, Boeing 747, Boeing 777 o el A380 no estarán autorizados a operar en dicho aeropuerto.

En cuanto a la presencia de cursos permanentes de agua cerca del aeropuerto, cabe destacar la no presencia de ninguno importante en las inmediaciones del aeropuerto, a excepción del río Turia, pudiendo ser este considerado como una excepción, siendo su caudal muy variable a lo largo del año. Lo que sí se podría apreciar en las inmediaciones del aeropuerto son una especie de *cárcavas* por las que el agua discurre durante las fuertes precipitaciones.

El nivel freático se encuentra a unos 17 metros por debajo de media, existiendo 2 pozos de aguas subterráneas en los terrenos de la base aérea con el agua completamente potable y por ende en ausencia de contaminación.

El clima de la zona se caracteriza por inviernos suaves con temperaturas entre 7 y 11 °C, y de veranos secos y calurosos con promedios anuales de entre 18 y 26°C. Todo ello debido a las masas de aire del Mar Mediterráneo. Las precipitaciones de la zona son principalmente acontecidas en otoño y en primavera, oscilando entre los 250 mm de las comarcas del sur de la Comunidad, y los 650 del norte de la misma.

La vegetación característica de la zona es básicamente la mediterránea, distinguiendo los bosques de encina y carrasco, en muchos casos degradados y sustituidos por coníferas. En otras zonas de la Comunidad se distingue otro tipo de vegetación como son el alcornoque, las encinas y los madroños; existen también bosques de hayas.

Sin embargo, el mayor dominio es el del pino carrasco, pino marítimo y pino albar. En las tierras bajas domina el matorral, que se va degradando de norte a sur, en función de la aridez del terreno, y en la que en ocasiones se dan especies esteparias como el esparto, la pita o agave, la chumbera o nopal y el palmito. Otras especies se dan también a otras alturas y en otros lugares pero son minoritarios.

Otros aspectos del entorno como la fauna, no son tan importantes para la consecución del proyecto, por lo que no se entrará a describir en detalle qué tipo de animales están presentes en la Comunidad.

Todos los aspectos descritos a cerca de la flora, fauna y, en definitiva, el entorno geográfico en el que se emplaza el aeropuerto quedan referenciados en el Plan Director del Aeropuerto de Valencia (referencia [1]).

2.2. Meteorología

2.2.1. Análisis eólicos

Los estudios eólicos son importantes para determinar los coeficientes de utilización de pista. A parte de su uso principal, éstos pueden ser útiles para determinar si para cualquier rediseño se puede tener en cuenta el viento como elemento de generación de energía. Dichos estudios proceden del observatorio del Instituto Nacional de Meteorología presente en el mismo Aeropuerto, analizando, durante un periodo de 12 años (1995-2006) las componentes de viento, velocidades y orientación, que ha sido registrada en variaciones de 10°.

Con todos esos datos se puede dibujar la *rosa de los vientos*, que se representa en la figura 2.2, y que determina con qué frecuencia cada componente de viento se repite en una determinada dirección.

Donde como se observa, según los datos recogidos en la rosa de los vientos, se es capaz de determinar cuáles son las direcciones predominantes, y por ende la dirección en la que se deben orientar las pistas de aterrizaje y despegue.

2.2.2. Análisis pluviométricos

Para llevar a cabo los análisis pluviométricos se escoge un abanico temporal de 29 años, yendo del año 1971 al 2000. En los estudios se observa que los meses de máxima precipitación,

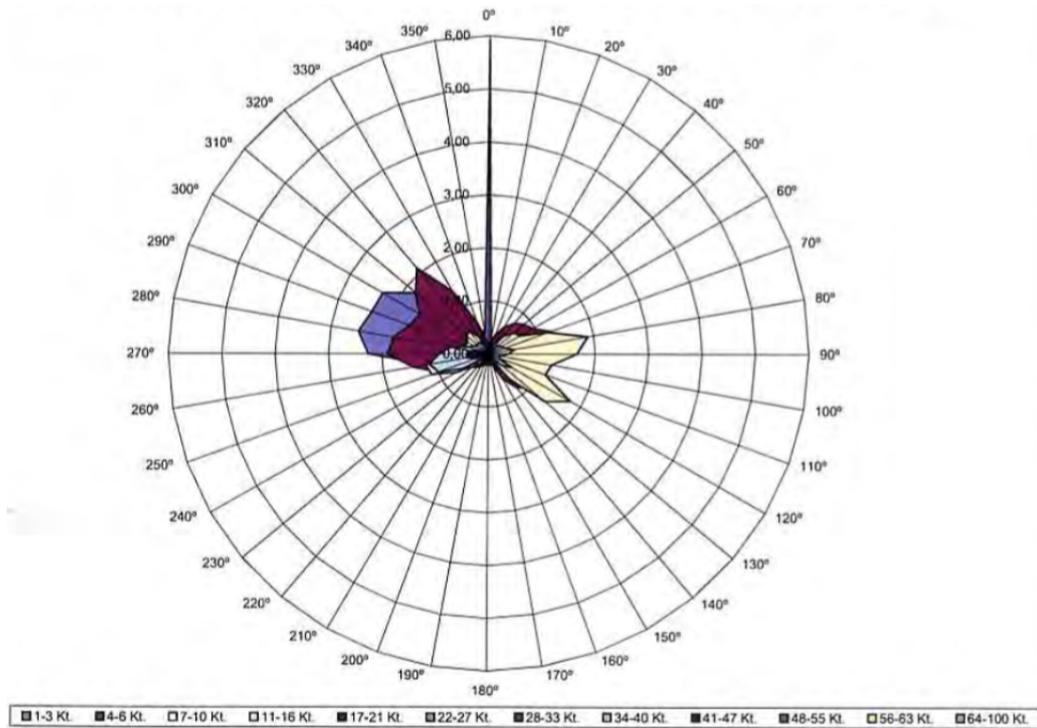


Figura 2.2: Rosa de los vientos Aeropuerto de Valencia periodo 1995-2006.

se corresponden con la estación otoñal, meses comprendidos entre octubre y diciembre. Las cantidades máximas de aguas registradas en las precipitaciones a lo largo de dicho periodo, se corresponden con 374 mm en el mes de Octubre, y en el mismo mes y año, 1971, 187 mm de máximo en un día.

De dichos estudios se concluye con que la zona de emplazamiento del Aeropuerto de Valencia no goza de regularidad en lo que respecta a las precipitaciones a lo largo del año. Tanto es así que, durante un periodo de 29 años en los que se acota el estudio, el máximo de días registrados en lo que existió una **precipitación apreciable** era de **65 días**, el de precipitaciones $\geq 1\text{mm}$ de 43 días por año, el de $\geq 5\text{mm}$ de **21 días por año** y para precipitaciones $\geq 10\text{ mm}$ de **14 días por año** y para $\geq 30\text{ mm}$, tan solo de **1 día al año**.

En cuanto al tipo de fenómeno asociado a las precipitaciones, las lluvias se asocian a la mayoría de los días en que se registran precipitaciones (17,81% de los días del año), las tormentas serían un fenómeno minoritario, con un 4,38 % y la niebla el 1,1%). Por lo tanto, se puede afirmar que la mayor parte de los meses del año, la zona en cuestión es bastante árida y seca, y que por ende, los recursos hídricos son de vital importancia y deben ser controlados tanto en uso como en gasto, y cualquier medida aplicada con dicho fin sería bien recibida.

2.2.3. Análisis termométrico y barométrico

Los datos del estudio termométrico y barométrico han sido referidos, de igual modo, al periodo comprendido entre 1971 y 2000.

Los datos que se llevan a estudio son las temperaturas medias de cada mes, las máximas y las mínimas, a la vez que se recogen datos de presión. Todo ello con el objetivo de obtener la temperatura de referencia del aeropuerto.

La **temperatura de referencia del aeródromo °C**, que se calcula como la media de las máximas de mes más caluroso del año (que es el de mayor temperatura media del año), se establece en 30° y se corresponde con el mes de Agosto.

La evolución de las temperaturas recogidas en dicho estudio se muestra en la figura 2.3, y las presiones medias también recogidas en el aeropuerto, se muestran en la figura 2.4.

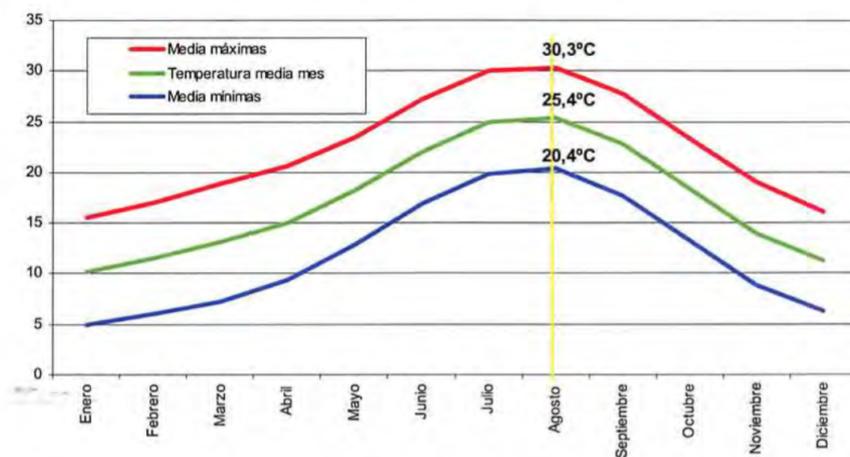


Figura 2.3: Temperatura a lo largo del año en el Aeropuerto de Valencia.

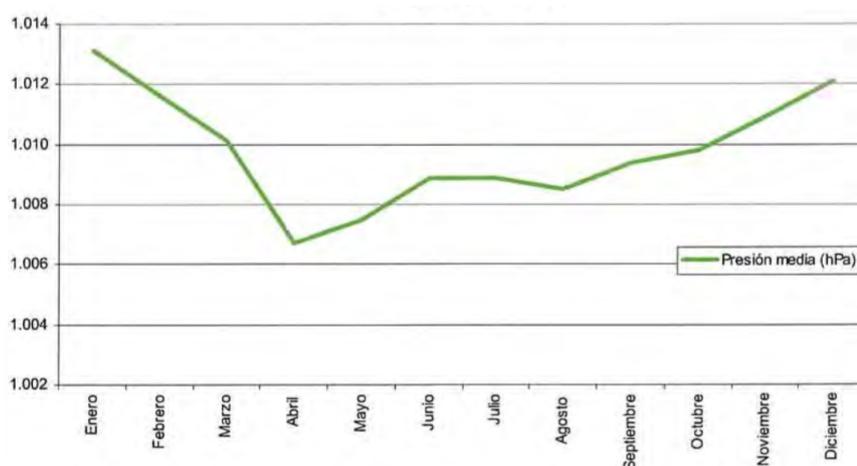


Figura 2.4: Presión media a lo largo del año en el Aeropuerto de Valencia.

La mayor parte de los días la presión se encuentra sobre el valor de 1 atm, lo que indica

que prevalecen los días de sol y buen tiempo. El sol es por tanto un punto estratégico en el uso futuro de posibles energías alternativas.

Todas las informaciones que arroja el estudio meteorológico llevado a cabo en el Aeropuerto de Valencia, se recogen en el Plan Director (referencia [1]).

2.3. Subsistema de movimiento de Aeronaves

El sistema de movimiento de aeronaves se compone de los siguientes subsistemas.

2.3.1. Pistas

El aeropuerto dispone de una pista de 3.215 metros de longitud, con 45 metros de anchura y de orientación 12-30, que mucho tiene que ver con los resultados que arroja la rosa de los vientos tras el estudio. Las características más importantes se indican en la tabla 2.4:

Designación	Orientación	Longitud (m)	Anchura	Pavimento	Operatividad
12	116,16° GEO	3.215	45	Asfáltico	ILS/Cat I
30	296,18° GEO	3.215	45	Asfáltico	ILS/Cat I

Cuadro 2.4: Características de la pista

Ambas cabeceras están dotadas de zona de parada (SWY), aunque no de zona libre de obstáculos (CWY). Además, están dotadas de áreas de seguridad de extremo de pista (RESA) de 230x150 m en la cabecera 12, y 240x150 m en la cabecera 30 además de zonas resistentes al chorro de 300 metros en ambas cabeceras. Todas estas superficies están definidas en la tabla 2.5 y 2.6:

Pista	SWY (m)	CWY (m)	RESA (m)	Franja (m)
12	150x45	NO	240x150	3.610x300
30	240x45	NO	230x150	3.610x300

Cuadro 2.5: Dimensiones de CWY, RESA y Franja de pista

Con todo ello, las distancias declaradas y la longitud equivalente de la pista son las descritas a continuación, en la tabla 2.6:

Distancia Declarada	Pista 12	Pista 30
TORA (m)	3.215	3.215
ASDA (m)	3.265	3.455
TODA (m)	3.215	3.215
ASDA (m)	3.215	2.915

Cuadro 2.6: Distancias declaradas de pista

Donde los parámetros anteriormente descritos en la tabla, refieren a lo siguiente:

- **TORA:** Recorrido de despegue disponible
- **ASDA:** Distancia de aceleración parada disponible

- **TODA:** Distancia de despegue disponible
- **LDA:** Distancia de aterrizaje disponible

Con todo ello la longitud de pista 12-30 se obtiene a parte de la longitud de pista (3.215 m) corregida por elevación (73,02 m), temperatura (30°C) y pendiente longitudinal (0,643%). A partir de ello, la longitud básica de la pista es de 2.572 metros.

La franja de la pista 12-30 tiene unas dimensiones de 3.610x300 metros, y su superficie está pavimentada con hormigón asfáltico y su resistencia está clasificada como PCN 70F/A/W/T.

La pista de aterrizaje se muestra en la figura 2.5:

2.3.2. Plataforma de estacionamiento de aeronaves

La plataforma de estacionamiento de aeronaves está situada al norte de la pista 12-30. es de forma irregular y construida sobre losas de hormigón hidráulico. También dispone de estacionamiento para helicópteros.

La reciente configuración a la que se ha sometido a plataforma ha permitido incluir:

- **9 puestos de aviación civil:** frente al edificio anexo destinados a vuelos de carácter regional.
- **5 puestos para aeronaves de tipo D**
- **Puesto para aeronave de tipo E**

Dicha plataforma se extiende en su lado noroeste, eliminando la separación entre la plataforma antigua y la zona de carga que se ubicaba sobre la antigua pista 04-22 y su franja. Con todo ello, la superficie destinada total a la Aviación Comercial se extiende hasta los 268.755 m^2 , y se muestra en la figura 2.6.

Los puestos de estacionamiento de Aviación General se encuentran en tres plataformas, la *plataforma de Aviación General 1*, la *plataforma de Aviación General 2* y la *plataforma sur*. De todas ellas, la plataforma de **Aviación General 2** es la más extensa y se ubica al oeste de la antigua cabecera 22 disponiendo de *21 puestos de estacionamiento* y un área de 20.695 m^2 . Entre esta plataforma y la comercial descrita, se dispone de un área de 13.370 m^2 que ha sido adecuada para los equipos dedicados al *handling*, dadas las antiguas e inapropiadas condiciones dadas por la presencia de la antigua franja de la pista 04-22.

La conexión entre esta plataforma y la comercial se realiza por medio de una pequeña calle de rodadura que se denomina como **calle J**.

La plataforma sur ha sido ampliada hacia la zona oeste de la antigua plataforma militar, con lo que actualmente es capaz de albergar 28 puestos de estacionamiento en dos dilas paralelas a las aeronaves de Aviación General.

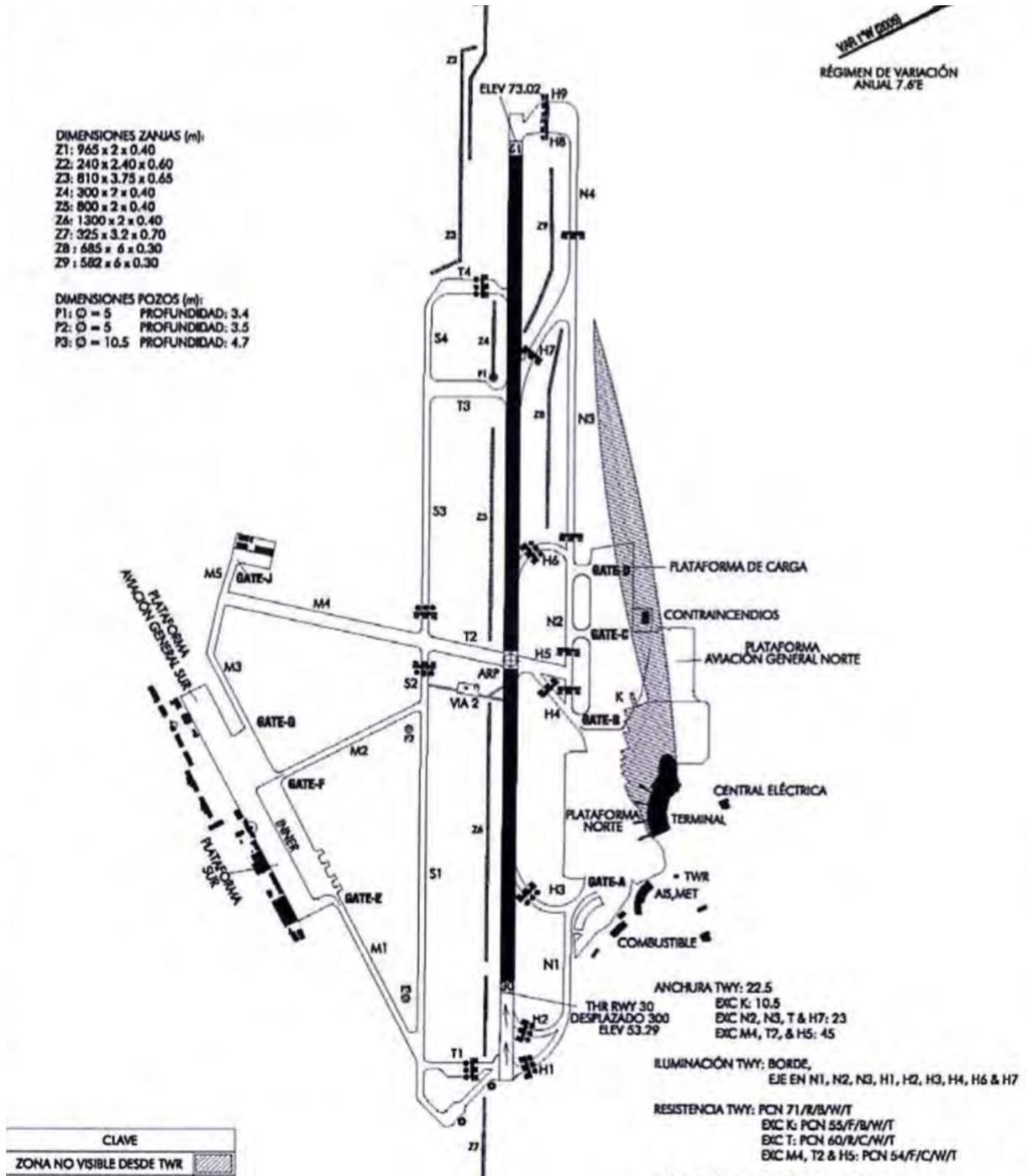


Figura 2.5: Pista 12-30 del Aeropuerto de Valencia.

La plataforma de **Aviación General 1** se sitúa al este de la plataforma de Aviación Comercial y cuenta con 18 puestos de estacionamiento destinadas en su mayoría a la Aviación Ejecutiva. Dispone de un Edificio Terminal propio así como con 10.500 m² útiles.

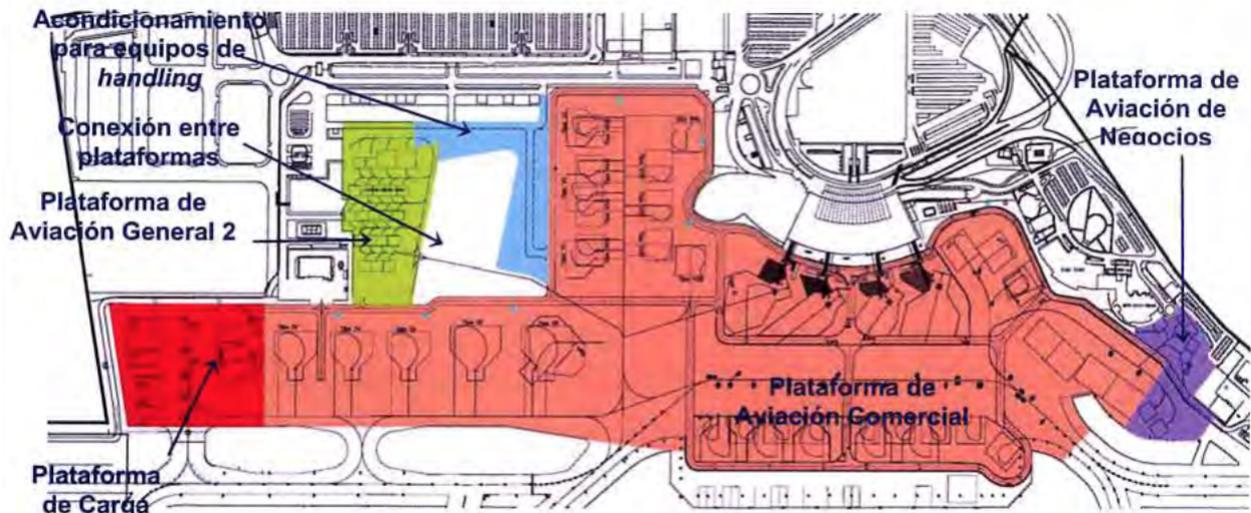


Figura 2.6: Plataforma de estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto de Valencia

Por otro lado, la **plataforma de carga** tiene una superficie aproximada de $26.000 m^2$ y dispone de un puesto para aeronaves de tipo V además de 3 para aeronaves de un máximo de 18 metros de envergadura. El acceso a la misma se realiza a través de la calle D o desde la misma plataforma de Aviación Comercial.

La **plataforma para Aviación Militar**, nombrada con anterioridad tiene una superficie de unos $101.400 m^2$ y consta de 12 puestos designados actualmente como de Larga Estancia.

2.3.3. Helipuerto

Se dispone en el aeropuerto de un Helipuerto para uso en condiciones visuales. Se ubica en la antigua pista 04-22 y está adaptado para vuelo en condiciones meteorológicas de vuelo visual, VMC.

Está diseñado para el Bell 412, no permitiendo el uso de la instalación a helicópteros más grandes. En ese caso se habilita la pista 12-30.

Las condiciones que caracterizan a dicho helipuerto son las siguientes:

- 1 La FATO (Área de Aproximación Final y Despegue) es de 426 metros, con una anchura de 42 metros, para que de esta manera su señal coincida con la señalización horizontal de la pista 04-22.
- 2 Dispone de un área de seguridad de 95 metros de anchura que coincide con el ancho de la franja de la calle de rodadura en la que queda convertida la pista 04-22 y su longitud es igual a la de la FATO más las separaciones de 0,25 veces la longitud/ anchura del Bell 412 por ambos extremos, es decir, 436 metros.

3 Se dispone de un área de toma de contacto y elevación inicial que está definida por un cuadrado de 17 metros de lado, igual a la longitud del Bell 412 y situado en el centro de la FATO.

4 Utiliza como plataforma de estacionamiento la plataforma de Aviación Comercial.

Los subsistemas de movimientos de aeronaves han sido descritos en base a la información recogida en el Plan Director del Aeropuerto de Valencia (referencia [1]).

2.4. Subsistema de actividades aeroportuarias

2.4.1. Análisis del estado actual de la terminal

El *edificio terminal de pasajeros* del Aeropuerto de Valencia fue construido en el año 1983, y es el encargado de atender tanto al tráfico **nacional** como al **internacional**. A principios del año 2007 se incorporó un nuevo Edificio Anexo al Edificio Terminal destinado a la **gestión del tráfico regional**.

Ambas infraestructuras, la antigua Terminal y la nueva, que se destina al tráfico regional, acumulan una superficie total de unos **37.000 m²**, **repartidos en cuatro niveles**: tres de ellos están sobre el nivel de la plataforma y uno de ellos por debajo de la misma.

El edificio que cuenta con las dos Terminales se imprime con forma curva, por lo que las fachadas del lado tierra y el aire difieren en longitud, siendo la del lado tierra mayor que la del lado aire. Dicha forma queda reflejada en la figura 2.7, así como en las imágenes de las cuatro secciones correspondientes a las cuatro plantas con las que cuenta el edificio Terminal en su conjunto, que se incluirá en los anexos.

La parte del Edificio Terminal destinado a aviación regional se sitúa en la parte noroeste, y su anchura media ronda los 62,8 metros. Cuenta con entradas en dos niveles, a través de las cuales se permite la entrada y salida del edificio; ambas con puertas automáticas.

De todas ellas, la planta primera se destina en su mayoría al tratamiento de los pasajeros en salidas, mientras que la última lo está a las superficies comerciales como servicio de cafetería, restaurante y tiendas entre otros, oficinas y dependencias aeroportuarias.

Planta baja

La planta baja, situada a nivel de la plataforma, es la que se destina al tratamiento de los pasajeros de llegadas. Dispone de 4 mostradores de facturación en el extremo este con acceso directo a la plataforma, como se muestra en la figura 2.8. Además de dichas dos puertas, cuenta con otras 5 puertas dobles en el anexo construido en último lugar, que permiten el procesamiento de llegadas y salidas de manera casi simultánea.

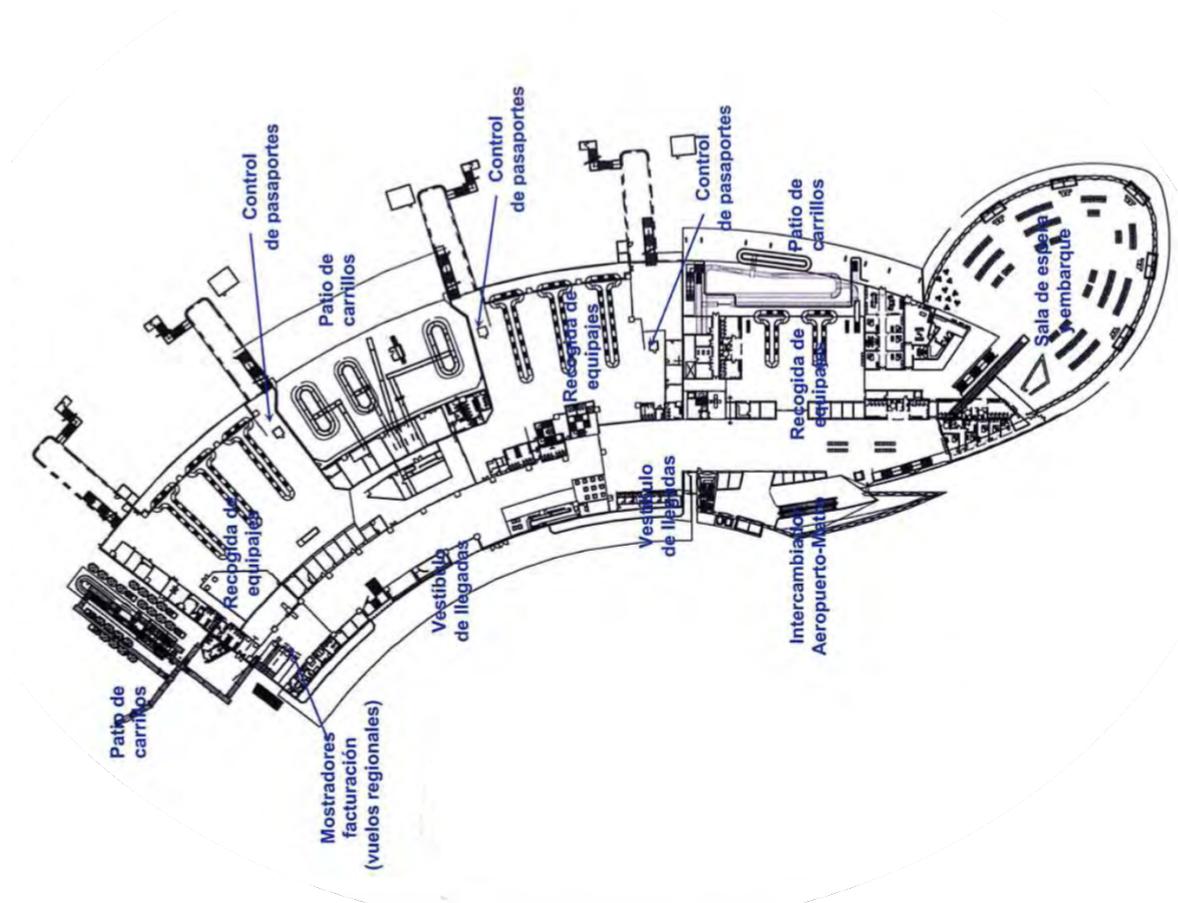


Figura 2.7: Planta del Edificio Terminal Aeropuerto de Valencia.

El Edificio Terminal cuenta con 8 hipódromos destinados a la recogida de equipaje, ubicados 6 de ellos en la parte de vuelos comerciales y los 2 restantes en la parte destinada a vuelos de carácter regional.

Existen en dicha planta varios controles de pasaporte, en concreto 4, con capacidad para dos agentes en cada uno de ellos, además de un servicio de aduanas con un mostrador y un local de registro, teleindicadores, pictogramas, megafonía y aseos.

El acceso a la plataforma desde esta planta del bloque principal se puede realizar desde las 14 puertas con dispositivo antiretorno que sirven a los pasajeros en ambas direcciones, junto a 4 pasarelas y 4 escaleras. por último, se puede acceder utilizando dos ascensores que se prestan para tal fin.

Los accesos desde el lado tierra, se realizan por 4 puertas con detectores de presencia.

Con todo ello, y con ciertas oficinas de servicios al pasajero, la planta baja ocuparía una superficie total de $15.000 m^2$



Figura 2.8: Mostradores de facturación regional

Planta primera

La primera planta se corresponde con la zona de salidas y a ella se puede acceder a través de diversos medios. Desde la acera o desde el distribuidor aeropuerto-metro, en un nivel inferior a través de escaleras mecánicas o igualmente por medio de un ascensor.

Esta planta está dotada de todos los sistemas de información necesarios para el correcto funcionamiento de los vuelos, además de un acceso a la planta superior, ya citada anteriormente, en la que se encuentran las zonas de servicio y restauración, y que se será descrito en la subsecciones sucesivas.

La primera planta cuenta a su vez con todos los controles oportunos de seguridad situados todos ellos antes del acceso a la zona de espera. Concretamente se cuenta con 8, dos de los cuales se encuentran anexos a la zona de vuelos regionales. Otro de ellos se sitúa en la zona este de la planta baja del Edificio Terminal, aunque actualmente se encuentra desmantelado.

Existen salas VIP equipadas de igual modo con todo tipo de comodidades.

Junto al resto de instalaciones, se dispone de 4 puestos de control de pasaportes en la sala de espera y embarque, capaces de procesar ambas colas. Además se dispone de 14 puertas por las que se embarca, siendo 8 de ellas simultáneas que permiten que los pasajeros puedan acceder a las aeronaves o a la plataforma a través de 4 pasarelas.

Junto a todo lo anterior, se dispone de 42 mostradores de facturación con una longitud total de 179 metros.

En la figura 2.9 se muestra uno de los diques por lo que se accede a las aeronaves que se encuentran en pista, desde la Terminal de Pasajeros.



Figura 2.9: Dique de acceso a las aeronaves desde la planta primera de la Terminal.

Planta segunda

La planta segunda del la Terminal de Pasajeros se destina básicamente a la restauración.

Se numeran a continuación el total de puertas de embarque, mostradores de facturación y controles de seguridad en salidas de que se dispone, a modo de resumen, en la Terminal de Pasajeros:

- **42 mostradores de facturación** en la planta del Edificio Terminal, 12 de los cuales están instalados en el anexo de reciente construcción.
- **4 mostradores de facturación** en la planta baja, que actualmente se encuentran en desuso.
- **14 puertas de embarque** accesibles a través de los 4 diques de la planta alta del bloque principal del Terminal 3. De ellos, 3 de los diques disponen de 4 puertas, y el restante de 2. Los diques se encuentran unidos a pasarelas.
- **2 puertas de embarque** en el extremo este de la planta baja del bloque principal del Edificio Terminal, a pie de plataforma, junto al nuevo patio de carrillos y próximamente en desuso.
- **10 puertas de embarque** localizadas en el nuevo anexo del extremo noroeste del Terminal, a pie de plataforma. Dicho anexo estaría principalmente dedicado a la Aviación Regional.
- **7 puestos de control en salidas**, de los cuales 5 se ubican en la planta primera del bloque principal del edificio y 2 en el anexo.

Todos los puestos y mostradores descritos justamente en la enumeración anterior son aspectos clave a tener en cuenta para analizar la capacidad futura y posible rediseño de la terminal al ser puntos de fuerte aglomeración de pasajeros. Gracias a esto, se podría estudiar la viabilidad en la instalación de medidas de reducción de consumos como más tarde se verá.

2.4.2. Aparcamientos

Los aparcamientos destinados al uso de los usuarios del aeropuerto se ordenan con la siguiente configuración:

- **Edificio P1** de tres plantas en altura llamado, que junto con el anexo en superficie, tiene capacidad para unos 2.533 plazas públicas y rent a car.
- **Edificio P4** con 1.570 plazas de larga estancia, abonados y rent a car.
- **Edificio P3** con 86 plazas para abonados (zona Airmed)
- **Edificio P2** con unas 215 plazas destinadas a los empleados de AENA y abonados.
- **Edificio P7** con 519 plazas para los empleados de Air Nostrum (Zona de Servicios).
- Bolsa de taxis en las inmediaciones de la Terminal con capacidad para 76 taxis.

La representación del nuevo parking P1 en altura anexo al superficial, se muestra en la figura 2.10.



Figura 2.10: Representación del nuevo parking en altura P1.

2.4.3. Zona de carga

El Aeropuerto de Valencia cuenta con una zona destinada a la manipulación de mercancías. Abarca la zona que se limita por el lado aire y el límite del SGA por el norte, lindando con la carretera CV-370 y la Avenida de la Cova. Al oeste se ubica el campo de Golf y al este el Aeroclub e instalaciones de abastecimiento, en primera línea de la plataforma de aviación General 2.

Cuenta con una superficie de 80.000 m^2 donde se ubican, un *Edificio de Servicios*, un *Edificio Multifuncional* y el nuevo *Edificio de Carga*.

Con dicha infraestructura se procesan al año como máximo, pues esta es su capacidad, unas 45.000 Toneladas de mercancía.

2.4.4. Zona de apoyo a la aeronave

Con zonas de apoyo a la aeronave, se refiere a la presencia de hangares para el control, mantenimiento y limpieza de las aeronaves. Se dispone de hangares de 839 m^2 , 1.260 m^2 , 525 m^2 , 308 m^2 y 814 m^2 , todos ellos situados en la plataforma de aeronaves de Aviación General, a excepción de Avialsa, que se ubica al suroeste del lado aire.

Entre las empresas que se ubican en dichos hangares se encuentran Symbol, Euro Commander, Servisa, y la ya mencionada Avialsa. Iberia cuenta con un edificio de Campo propio.

Además de los hangares se dispone de una cochera con 442 m^2 de superficie, de uso para el servicio local.

No sólo existen hangares dedicados al servicio de aviones, sino también de helicópteros, como el de la compañía Helisureste.

2.4.5. Zona de servicios

La Zona de Servicios es aquella que presta los siguientes servicios:

- Ayudas a la navegación en aproximación y en salidas.
- Servicios de control de torre
- Comunicaciones aire-tierra
- Coordinación de operaciones
- Servicios de información aeronáutica
- Servicios de información meteorológica y Control

Bloque Técnico

El bloque Técnico es la zona que se encarga de agrupar las dependencias y oficinas de la administración aeroportuaria y los servicios técnicos, encontrándose en mayor medida en el antiguo Edificio Terminal, destinando para ello una superficie total de 9.400 m^2 .

En el edificio se emplaza también la oficina de Información Meteorológica (MET) así como la oficina de Servicio de Información Aeronáutica (AIS).

El bloque técnico tal y como se encuentra en el Aeropuerto de Valencia, se muestra en la figura 2.11.

Existe un edificio de administración de reciente construcción que se sitúa a unos 20 metros de la Torre de Control, constituido por 6 niveles, cuya geometría en planta está formada por dos rectángulos desplazados longitudinalmente.

Los niveles 0 y 1 acumulan en su conjunto un total de $546,97\text{ m}^2$. Los niveles 1E y el 2 acumulan $532,90\text{ m}^2$. Por último, el nivel 2E junto al 3 se ubican en $457,95\text{ m}^2$



Figura 2.11: Bloque técnico del aeropuerto de Valencia.

Torre de Control

La Torre de Control se erige con una altura de 33,6 metros. Se compone de 4 plantas y fanal, siendo la superficie de éste último de $35,29 \text{ m}^2$. Se anexa a la superficie total de la Torre de $117,50 \text{ m}^2$.

Entre las instalaciones que componen dicha infraestructura, se encuentra una sala de equipos, una oficina de control de aproximación, aire acondicionado, ascensores, extintores y un sistema de evacuación.

Desde la torre, como es obvio, se favorece la visión a las cabeceras de pista. Por ello, desde la misma, las pendientes que se barajan son de 0.76% para la cabecera 12, 3.40% para la cabecera 30, 1.12% para la cabecera 04 y 4.63% para la cabecera 22. Existen *zonas de sombra* desde la Torre, como, por ejemplo, la zona de parada desde la cabecera 12 y el tramo de rodadura de la cabecera 30. Una considerable superficie de la plataforma de Aviación Comercial se encuentra fuera del alcance de visión de la Torre, conformándose como parte de la zona de sombra.



Figura 2.12: Torre de Control del Aeropuerto de Valencia.

Fuente: Plan Director A. de Valencia

La Torre de Control se compone de los siguientes sistemas:

- Unidades de control (local y rodadura): 2 unidades
- PSO (Puesto de Supervisión Operativa): 1 Unidad
- PDR (Presentación Datos Radar): 2 Unidades
- Consola SACTA (Planes de Vuelo): 1 Unidad
- Frecuencias T/A, en VHF 121,50 y 121,70, y en UHF 243,00. : 5 Unidades
- Centro de transformación 2x250 KVA 3.000/220-127 V: 1 Unidad
- Sistemas de Alimentación Ininterrumpida 2x20 KVA: 2 Unidades
- Sistemas Eléctricos, climatización e incendios: 1 Unidad
- PST (Puesto Supervisión Técnica): 1 Unidad

Servicio de Extinción de Incendios

El edificio de extinción de incendios es una infraestructura de reciente construcción, y se ubica muy próxima a la nueva plataforma de carga y a unos 560 metros al oeste de la Terminal de Pasajeros, con acceso directo a la plataforma y a la pista de vuelos. Según AIP, presta un servicio de extinción de incendios de categoría 7 y dispone de una dotación de un total de 4 bomberos más un jefe de dotación, que se organizan en turnos de 24 horas.

El edificio es rectangular y tiene unas dimensiones aproximadas de 40x22 metros, lo que conforma una superficie de 540 m^2 distribuidos en dos plantas, una baja y una primera.

La **planta baja** está dotada de aparcamientos para vehículos y, además, contiene servicios como pavimentos de tránsito peatonal en sus interiores, garaje y gimnasio, subestación de transformación, almacenes, talleres para los vehículos, además de dormitorio, aseos, despensa, cocina, aula y comedor. Se añaden los ya citados un vestíbulo, oficinas, instructor, oficina para el jefe de dotación con sus respectivos dormitorios y aseo para el jefe de dotación.

La **primera planta** está distribuida de la forma en que sigue: distribuidor, oficina, despacho del jefe del parque, aseo y sala COA (Centro de Observación y Alarma).

Además de lo anterior, el Servicio de Extinción de Incendios cuenta con equipamiento adicional, como son tres vehículos con una capacidad de 10.000 litros de agua, 1.200 de emulsor y 250 kg de polvo químico con un régimen de descarga de 5.000 l/min. Se dispone también de una motofarola y un remolque con material de emergencia.

No se dispone de equipo de salvamento ni vehículos para la retirada de aeronaves inutilizadas (tractores y barra maestra, equipo de elevación y carro recuperador).

Servicio de control de fauna

El Aeropuerto de Valencia dispone de un servicio de alconero especializado para llevar de manera natural el control de Fauna dentro de las instalaciones.

Zona vallada

El recinto aeroportuario dispone de un vallado perimetral cerrado que rodea al aeropuerto, de unos 15.750 metros de longitud aproximada.

Existen otras zonas externas al perímetro del propio aeropuerto, en las que se localizan radioayudas y otros servicios, que se encuentran correspondientemente valladas.

2.4.6. Zona de abastecimiento

Central eléctrica

La **central eléctrica** se ubica en un edificio de 1.378 m^2 , situada a 250 metros al norte del Edificio Terminal de Pasajeros.

A la Central Eléctrica llegan dos líneas de 20.000 V, siendo únicamente una de ellas la que suministra energía al aeropuerto. Esto se debe a la imposibilidad de abastecer al Aeropuerto con un sistema en paralelo. Entre ellas se realiza una conmutación automática.

A partir de ahí se produce una primera distribución de 20.000 V, donde se alimenta con tres líneas al Centro de Transformación de Plataforma Botiquín, el Centro de Carga y la Zona Industrial.

Desde la mencionada configuración de barras partidas a 20.000 V, se alimentan **dos transformadores** de 20.000/3.000 V **de 2.000 kVA (kW)**, que suministran energía a dos embarrados de 3000 V con cabinas de salida para distribución de 3.000 V en el aeropuerto.

Similar al caso anterior, este embarrado alimenta a **dos transformadores** de 3.000/400 V **de 800 kVA (kW)** cada uno de ellos, para la alimentación en baja tensión de instalaciones cercanas y de la propia Central Eléctrica, incluida la sala de reguladores de intensidad constante.

Los suministros de energía se realizan por medio de dos líneas a 20kV propiedad de la empresa IBERDROLA, existiendo otra línea de las mismas características que las dos anteriores y que es completamente independiente a ambas.

La potencia que se contrara para el suministro es de 4.000 kVA Y 3.200 kW.

Para el suministro de emergencia, se dispone de tres grupos electrógenos de 2.500 kVA. Éstos se activan en las condiciones llamadas de emergencia, y gracias a la potencia de los mismos, ningún servicio queda falto de suministro. El suministro de combustible a los depósitos que alimentan dichos grupos procede de un depósito principal de 30.000 litros de combustible

principal.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los grupos, son encendidos en paralelo y puestos en carga al menos una vez por semana.

Abastecimiento de Agua

Se realiza por medio de la red dispuesta por la compañía de Aguas Potables y Mejoras de Valencia. Su punto de acometida se localiza a un km al noreste del punto de referencia del aeródromo. Además de dicho punto de abastecimiento se dispone de un depósito subterráneo en el Edificio Terminal con capacidad para $1.300 m^3$; ambos destinados a riegos, consumos urbanos y consumos industriales.

El agua es completamente potable y no precisa de tratamiento.

Evacuación de aguas y tratamiento de residuos

El sistema de tratamiento de aguas residuales se realiza mediante un sistema separativo, de funcionamiento mixto y trazado ramificado, siendo la longitud del colector principal de 2.100 metro, con una sección media de $0,4 m^2$.

Con todo ello se depuran aguas con una capacidad de $50 m^3/h$, esto es, unos $438.000 m^3$ al año, utilizando parte de esta agua en labores de riego.

Los residuos se gestionan en base a la norma ISO 14.001 de medioambiente.

Todos los datos y descripciones de las instalaciones con que cuenta el Aeropuerto de Valencia, para llevar a cabo el aprovisionamiento de las actividades que tienen lugar en él, vienen reflejadas en el Plan Director del Aeropuerto de Valencia (referencia [1]).

2.5. Consumos enegéticos y de agua del aeropuerto

De todos los tipos de consumo que se lleva cabo en el Aeropueto de Valencia, los más importantes y reducibles mediante autogeneración o reutilización de recursos naturales, son los consumos de energía eléctrica y de agua.

Gracias a los datos provenientes de aena se pueden obtener los valores exactos de consumo de agua y electricidad, entre otros, ya que en el documento de gestión ambiental dichos datos vienen especificados y referidos en base al consumo por pasajero. El documento recoge datos desde 2002 hasta 2011, además de calcular valores medios de consumos. Conocido el tráfico de pasajeros en dicho periodo de tiempo, se puede calcular el total consumido y ver, hasta ese momento, cuáles eran las tendencias en consumo. Esto permitiría, basándose tanto en los datos de uso del aeropuerto como los de tráfico, extrapolar los consumos a cualquier otro periodo de tiempo.

Dichos datos, junto a otros datos significativos referentes al estado medioambiental del Aeropuerto de Valencia, vienen dados en [3].

Analizando primeramente los valores promedio para ambos tipos de consumo, se pueden destacar **un consumo medio de agua** de $0,041 m^3$ de agua por pasajero, lo que multiplicado por 4.292.736,197 que es la cifra de la media de pasajeros para aquel periodo, arroja un total **de 176.002.184 litros** cada año, o lo que es lo mismo, de $176.002 m^3$. Así mismo, si nos referimos a la potencia media consumida en dicho periodo en el aeropuerto, ésta arroja un dato de 25.666.269,722 kWh, tomando como consumo medio por pasajero un total de 5,979 kWh.

En cuanto al consumo detallado por año, para ambos tipos de suministro, se representan en la figura 2.13 y 2.14.

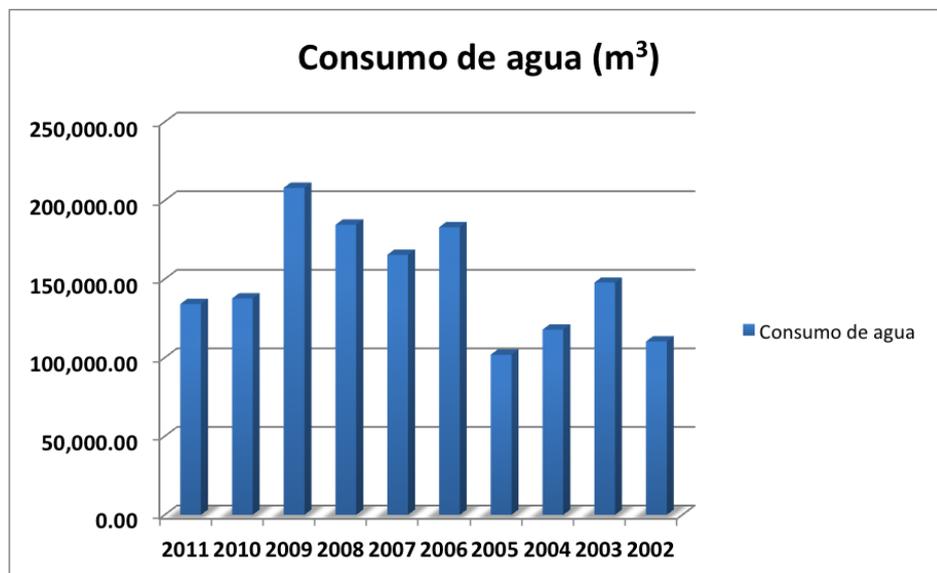


Figura 2.13: Consumo de agua anual total del aeropuerto de Valencia.

Como se puede observar, los **consumos de electricidad máximos** se alcanzaban en torno al año 2009 y 2008, que coinciden con las épocas cercanas al periodo en las que el aeropuerto contaba con su máximo tráfico de pasajeros. En cuanto al **consumo máximo de agua** cabe destacar que se alcanzan paralelamente en el mismo periodo.

Los históricos de dichos consumos anuales describen una curva bastante irregular en los años previos al alcance de los máximos ya mencionados, pese a que en dicho periodo el tráfico de pasajeros y aeronaves se mantenía bastante regular y constante. Dicho efecto puede ser debido al escaso control medioambiental y casi nula concienciación social que se practicaba en aquel momento. De hecho, si se echa un vistazo a los valores de consumo para las fechas posteriores a 2009, se observará como en ambos casos los consumos se reducen y se mantienen estables.

Este hecho se explica con el aumento de la importancia prestada al cuidado del medio

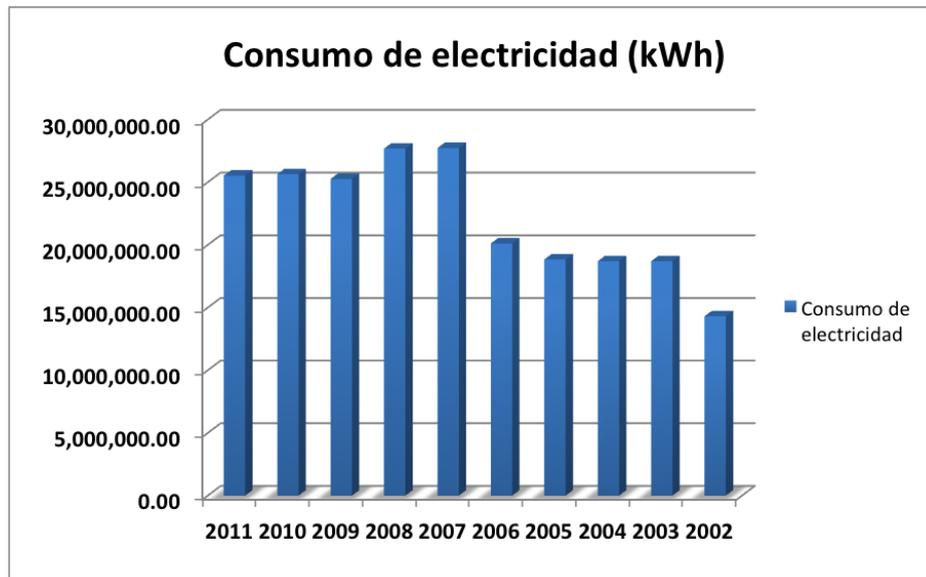


Figura 2.14: Consumo de electricidad anual total del aeropuerto de Valencia.

ambiente no solo por parte de las autoridades aeroportuarias, sino también por parte de los propios usuarios, pues a partir de 2010, se han elaborado varios documentos en los que se recogen medidas a medio y a corto plazo para reducir de manera drástica los usos descontrolados de las energías y elementos de que se dispone. Dichas medidas, junto a las que se nuevas que se propongan serán descritas en capítulos siguientes.

2.6. Infraestructuras de acceso

Los accesos se pueden realizar por medio de diferentes infraestructuras:

2.6.1. Accesos por carretera

El aeropuerto se emplaza a 7 km de la ciudad de Valencia, por lo que el acceso al mismo se realiza por medio de la V-11, autovía que se ubica sobre la antigua N-220. Esta vía une el aeropuerto con la A-3. La distancia entre el enlace con la A-3 y el aeropuerto es de aproximadamente 2 km.

El entorno del aeropuerto está comunicado por carretera a través de las siguientes vías principales:

- **Autovía V-11:** carretera que comunica el aeropuerto con la A-3 a la altura de su punto kilométrico 336.
- **Autovía A-3:** Autovía de levante. Es la encargada de comunicar Madrid con Valencia y el resto de España.
- **Autovía A-7:** Autopista del Mediterráneo. Comunica Valencia con Castellón, Cataluña y la frontera con Francia hacia el norte, y con Alicante y Murcia y Andalucía al sur.

- **Autovía V-30 (N-335):** Vía de circunvalación de Valencia, que la bordea de Noreste a Sureste, arrancando desde la A-7 y terminando en el puerto de Valencia. Es la que da servicio para evitar tener que cruzar la ciudad para ir de un punto a otro, además de ser útil para aquellos vehículos que se dirigen a la A-7.

Los accesos por carretera al Aeropuerto de Valencia se muestran en la figura 2.15:

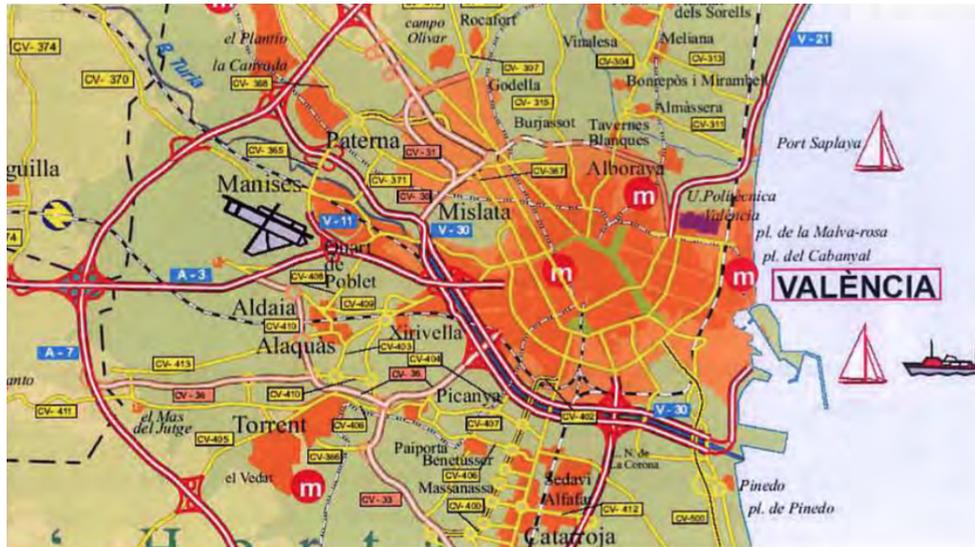


Figura 2.15: Accesos por carretera al Aeropuerto de Valencia

2.6.2. Accesos por ferrocarril

No existe actualmente acceso al Aeropuerto de Valencia por ferrocarril.

Sin embargo, a través de la línea 5 de metro se permite el acceso a la terminal desde cualquier punto de la ciudad.

2.6.3. Accesos por autobús

Actualmente existen dos líneas de autobuses que realizan el trayecto de Valencia al Aeropuerto de Valencia, una de ellas directa y otra de ellas que realiza varias paradas. Las características de ambas se describen a continuación:

- **Aero-Bus:** Realiza el servicio directo Valencia-Aeropuerto de Valencia. Dicha línea tiene salidas desde diversos puntos de la ciudad, entre los que destacan Avenida del Cid, calle Bailén, calle Angel Gimera, además de las terminales de salidas y llegadas del aeropuerto.
- **Línea 150 Valencia:** realiza igualmente el servicio de conexión con el aeropuerto, sin embargo realiza varias paradas. Entre ellas destacan Valencia-Mislata-Quart de Poblet-Manises-Aeropuerto. En el aeropuerto dicha línea se encuentra en la zona de Salidas, mientras que en la ciudad se coge desde la estación de autobuses.

Toda la información referente a las infraestructuras con que cuenta el Aeropuerto de Valencia, son descritas en el Plan Director (referencia [1]).

2.7. Análisis de tráfico del Aeropuerto de Valencia

Los datos utilizados se corresponden con la evolución del tráfico durante el periodo comprendido entre los años 1990 y 2015. Proviene del plan director (referencia [1]) del propio Aeropuerto de Valencia, y de los datos que directamente actualiza el ministerio de fomento para todos los aeropuertos españoles.

Más adelante, se estudiará si la capacidad del aeropuerto para abastecer las demandas actuales (año 2016) y futuras, se corresponden con los escenarios propuestos para la expansión de la terminal de pasajeros del aeropuerto.

La representación de la evolución histórica del tráfico de pasajeros se mostrará más adelante en diversos gráficos explicativos.

2.7.1. Evolución del tráfico de pasajeros

El aeropuerto de Valencia es un aeropuerto que en su mayoría se destina al tráfico de pasajeros de carácter comercial. Tal y como figura en el plan director del Aeropuerto de Valencia, en el año 2006, el porcentaje de operaciones de este tipo sobre el total de ellas representaba el 95,51 %. Dichos datos no han cambiado mucho en la actualidad.

De aquí en adelante, para llevar a cabo el análisis del tráfico de pasajeros se distinguirá entre tráfico de pasajeros total, nacional e internacional.

La representación de la evolución del tráfico de pasajeros desde el año 1990 hasta el año 2015 se muestra en la figura 2.16.

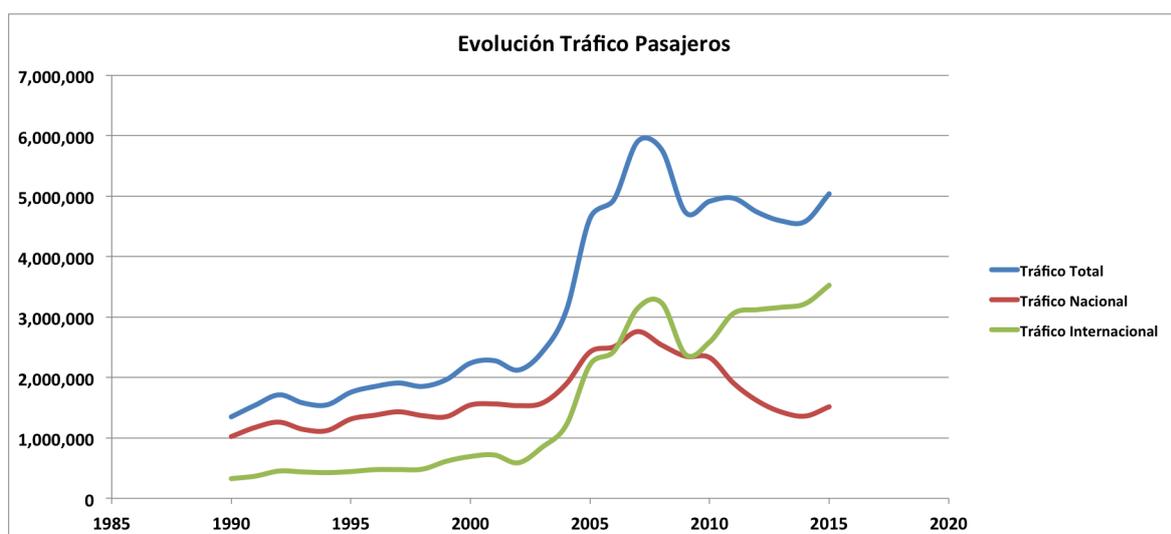


Figura 2.16: Representación del tráfico de pasajeros en el Aeropuerto de Valencia

La evolución del tráfico de pasajeros se mantuvo constante prácticamente hasta el año 2005, entorno a los 2 millones de pasajeros anuales. Hasta ese momento el tráfico de pasajeros nacionales superaba al internacional.

A partir del año 2005, y debido a la inclusión de nuevas compañías de bajo coste, el tráfico de pasajeros internacional comenzó a crecer de manera importante llegando a tener más peso que el tráfico de carácter nacional. En ese momento se alcanzaba el máximo histórico de tráfico total de pasajeros hasta el momento, rondando los 6 millones de pasajeros.

A partir de ese momento, el número de pasajeros totales comenzó a descender por la reducción en tráfico a nivel nacional debido a la crisis económica en la que se encontraba sumido el país. Debido a ella, tanto vuelos de carácter nacional como internacional comenzaron a descender. No sólo la capacidad adquisitiva de las personas que normalmente utilizaban dichos medios de transporte descendió, sino que se comenzaron a buscar alternativas de transporte más económicas. Sobre todo en el caso del transporte nacional, como se explica en este mismo párrafo.

Pese a que no se vuelven a alcanzar niveles de tráfico similares a los máximos alcanzados en el año 2008, se observa un punto de inflexión a partir del año 2010, donde el número de pasajeros nacionales comienza a descender de manera drástica, mientras en número de pasajeros internacionales comienza de nuevo a crecer.

Con todo ello, los niveles de tráfico actuales aproximan el número total de pasajeros a los 5 millones.

Cabe destacar aquí que en lo que respecta al futuro del aeropuerto de Valencia en cuanto a tráfico internacional, hay aspectos a tener en cuenta. El aeropuerto de Valencia en la actualidad basa su sustento en el tráfico de pasajeros de carácter internacional principalmente, a pesar de que no se debe olvidar que también es un importante *hub* para compañías de tráfico de mercancía entre los distintos países de la UE. Por ello, pese a que las estadísticas lanzadas este último año vaticinan un crecimiento todavía mayor del tráfico internacional, y con ello del tráfico total de pasajeros en el aeropuerto, aspectos como la salida de Reino Unido de la Unión Europea se deberían considerar como posibles causas de una pérdida en dichas estadísticas. De hecho, la Comunidad Valencia, y especialmente los Aeropuertos de Valencia y Alicante cada año reciben millares de turistas de Reino Unido, que debido a la salida de la UE, podrían ver reducidos sus movimientos en España, y con ello causar bajadas importantes en el nivel de tráfico de dichos aeropuertos. Este tipo de viajero internacional no es el único con que cuenta el Aeropuerto de Valencia, pues recibe pasajeros de todas las partes del mundo, pero es claramente uno de los predominantes.

Por todo lo anterior, y aunque la salida oficial se hace efectiva para Junio del 2018, ya se empiezan a notar algunos de los efectos de dicha salida de la Unión Europea, al verse, entre otros, reducida la capacidad económica de los ciudadanos ingleses. Por ello, cabe esperar que los datos de tráfico se mantengan estables o incluso decaigan un par de puntos por debajo del tráfico actual.

Paralelamente a los efectos que dicho suceso pueda llegar a causar sobre el tráfico de pasajeros total del aeropuerto de Valencia, se sumarán los que refieren al tráfico total de tráfico de mercancía. En este caso, debido al *Brexit*, multitud de acuerdos de libre comercio y exención de tasas, se verán afectados rebotando inevitablemente a los valores de tráfico total de mercancía.

Todos estos datos están apoyados sobre importantes datos económicos. En el año 2015 casi **16 millones** de personas procedentes de Reino Unido visitaron nuestro país y coparon el 21,1 % del gasto turístico total en ese mismo período. Además, entre 800.000 y un millón de Británicos residen al menos una temporada del año en Española. La mayoría en la Comunidad Valencia.

Dichos datos se ven reflejados en el importante **peso del turismo en el PIB del país**. Por ejemplo, en el año 2014, el turismo representó el **11 % del PIB y el 12,7 % del empleo**. Es por tanto uno de los sectores más importantes en el sustento de la economía española, y por ello, uno de los que tiran del "carro de la recuperación". Su rebote será tan importante tras el *Brexit* que los datos **derecuperación esperados del 3 %** para la economía son ahora puestos en duda.

2.7.2. Evolución del tráfico de aeronaves

De igual modo a como ya se ha hecho con el caso de los pasajeros en la subsección anterior, para las aeronaves se realizará la misma distinción entre categorías.

El aeropuerto de Valencia, tal y como sucedía en los años 90 con el tráfico de pasajeros, era un aeropuerto destinado en su mayoría a realizar vuelos regionales, o de carácter nacional, sirviendo de puente aéreo entre las distintas ciudades españolas. Por ello, el número de operaciones con aeronaves de tipo nacional era muy superior al de carácter internacional durante dicho periodo, con importantes crecidas respecto a éstas últimas hasta principios de los años 2002. Es en ese momento cuando las operaciones, de carácter nacional e internacional, comienzan a crecer, hasta llegar a su máximo de 80.000 operaciones anuales en el año 2008.

Por motivos idénticos a los acontecidos con el flujo de pasajeros en el aeropuerto, a partir de ese año, el número de operaciones en el aeropuerto comienza a descender de manera muy notoria, llegando a equipararse en 2014 a valores alcanzados en años previos a 2004. Esto se debía en gran parte al fuerte descenso de las operaciones nacionales.

Por otra parte, las operaciones internacionales, si bien es cierto que están por debajo de su máximo, se mantienen estables comenzando a crecer a partir del año 2014.

El número actual de operaciones al año se cifra en 49.000, sumando las nacionales e internacionales. Su representación se muestra en la figura 2.17.

2.7.3. Evolución del tráfico de carga

El tráfico de mercancía en el Aeropuerto de Valencia, desde su origen, ha descrito un perfil mucho más irregular que los otros dos tipos de tráfico.

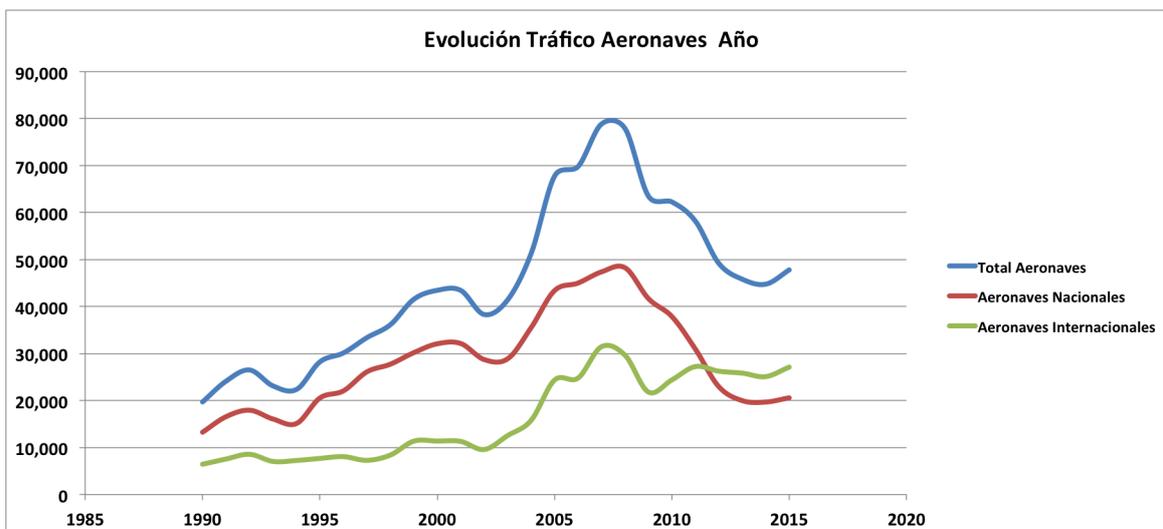


Figura 2.17: Representación del tráfico de aeronaves en el Aeropuerto de Valencia

Partiendo de valores mínimos de trasiego de kg de mercancía en los años 90, ha experimentado momentos en que el tránsito de mercancía procedente del exterior ha sido más importante que el propio tráfico nacional, como en el periodo de 1992 a 1998, momento en el que se da un punto de inflexión que da mayor importancia al tráfico de pasajeros a nivel internacional. En esa línea, se alcanzan niveles máximos hasta ese momento de tráfico de mercancías, rozando los 14 millones de kg.

Durante el periodo de 1998 a prácticamente 2010, el tráfico de mercancía internacional se mantiene generalmente estable, con pequeños picos. Sin embargo, el tráfico nacional se dispara como consecuencia de los años de bonanza económica en España. Ese crecimiento se mantiene hasta ese año, 2010, cuando el tráfico nacional se desploma. Es entonces cuando, mediante el impulso de las exportaciones como manera de subsistencia, se dispara en tráfico internacional, que alcanza valores máximos cercanos a los 8 millones de kg y que por ende, supone el principal soporte para el tráfico total de mercancías en dicho aeropuerto.

Actualmente se trasiegan unos 14 millones de kg al año.

La representación de la evolución del tráfico de mercancía en el Aeropuerto de Valencia se muestra en la figura 2.18.

Por tanto, en lo que respecta al tráfico de mercancías, se puede afirmar que el Aeropuerto de Valencia sirve actualmente de nodo para el tráfico internacional.

A modo de resumen, se incluye en las figuras 2.19, 2.20 y 2.21, las tasas de crecimiento para los tres tipos de tráfico, haciendo distinción para el carácter de cada uno de ellos, de manera que se pueda apreciar claramente cuáles son las tasas exactas de crecimiento o descenso de los valores de tráfico para cada año. Los resultados se muestran porcentualmente y se agrupan en barras por años.

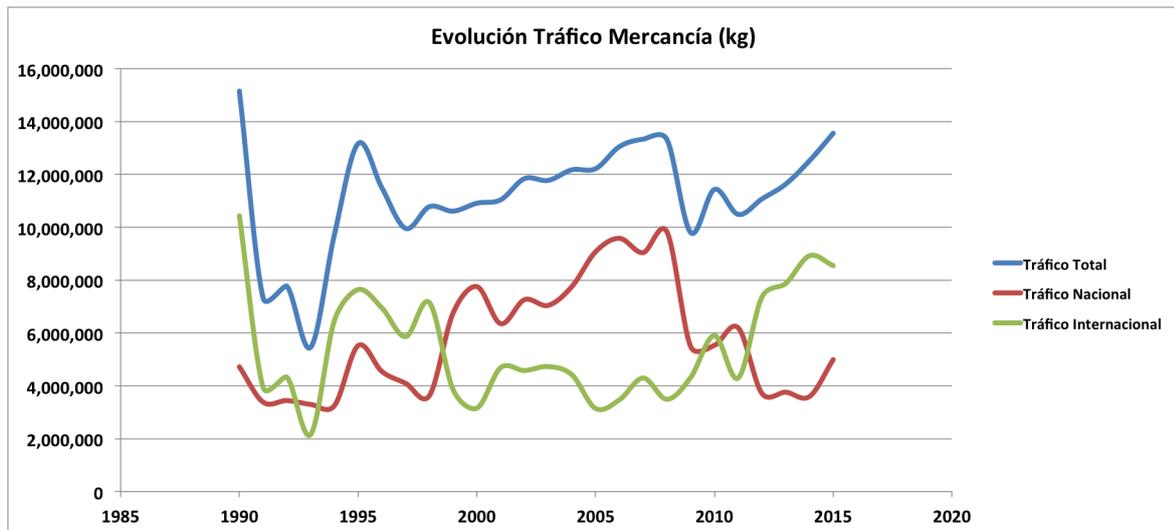


Figura 2.18: Representación del tráfico de mercancía en el Aeropuerto de Valencia

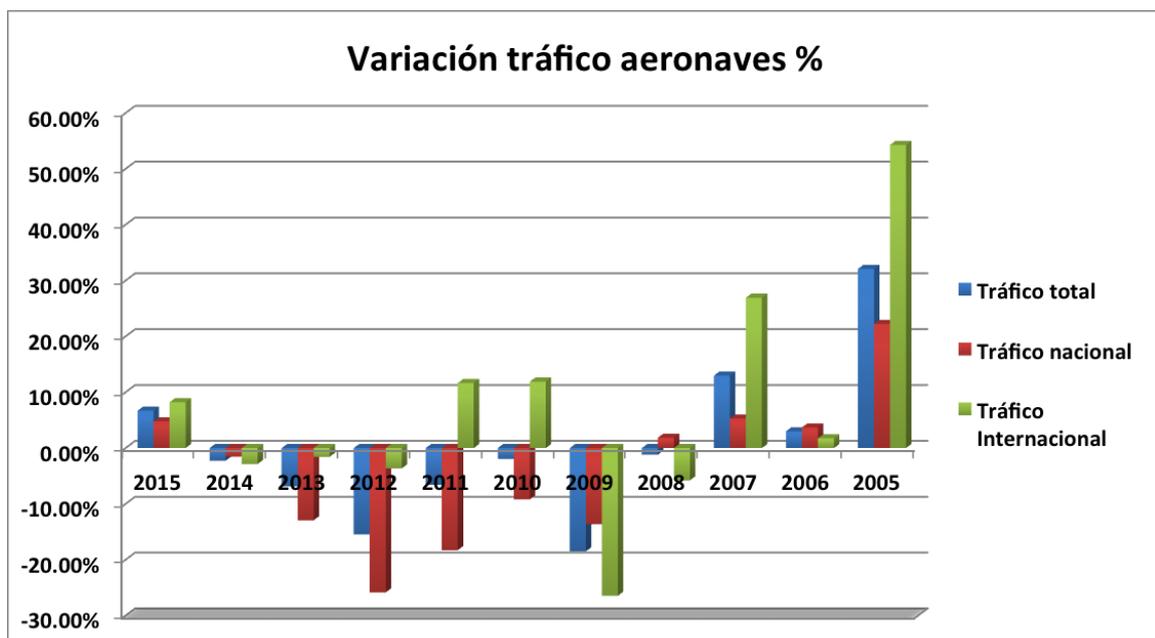


Figura 2.19: Representación del porcentaje de tráfico de aeronaves del Aeropuerto de Valencia

Los valores de tráfico y el análisis de las variaciones sufridas por el aeropuerto dentro de las distintas tipologías, han sido desarrolladas en base a la información presente en el el Plan Director del Aeropuerto ([1]), así como multitud de informaciones y artículos presentes en distintas fuentes (referencias [4], [5]).

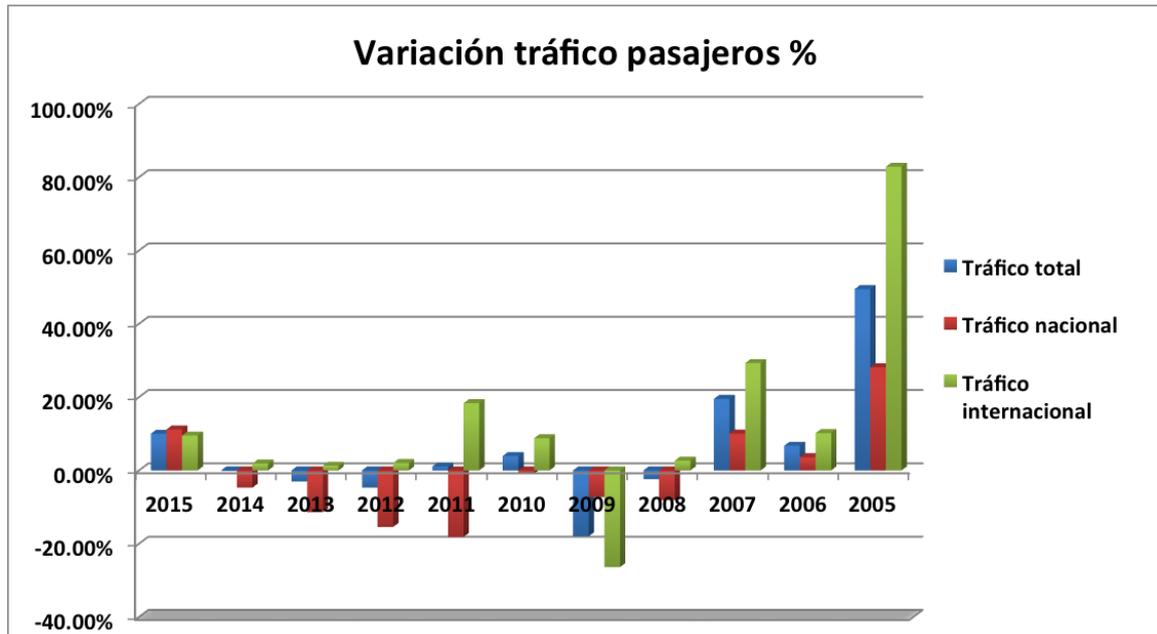


Figura 2.20: Representación del porcentaje de tráfico de pasajeros del Aeropuerto de Valencia

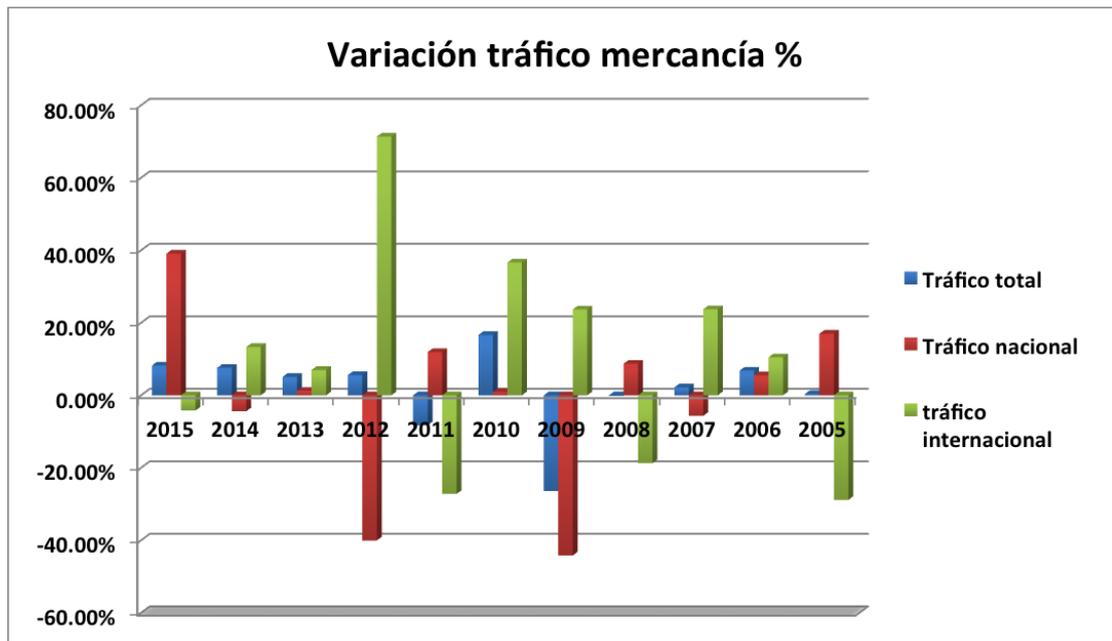


Figura 2.21: Representación del porcentaje de tráfico de mercancía del Aeropuerto de Valencia

2.8. Previsiones de crecimiento

Para analizar cuáles son las posibilidades reales de crecimiento, según el Plan Director, se realizan una serie de estimaciones que tienen como base algunas hipótesis. En el modelo econométrico están implícitos la evolución de variables que afectan al desarrollo del entorno

del aeropuerto, como la oferta de plazas hoteleras o el desarrollo del PIB de Reino Unido.

En efecto, el incremento de la salud económica de Reino Unido es un factor clave al hacer más accesible un turismo clásico como el de sol y playa en la zona de la Comunidad Valenciana, lo que asegura el crecimiento de pasajeros en el aeropuerto.

El establecimiento de la Comunidad Valencia y Valencia como zonas importantes a nivel nacional en la recepción de turistas, mediante el desarrollo sostenible de infraestructura así como mediante la oferta de actividades lo suficientemente variadas para satisfacer las necesidades de los turistas es también el objetivo. Esto se potencia en la Ley 3/1998, de 21 de mayo, en la que entre otros se busca ofrecer alternativas al turismo de sol y playa, como pudiera ser el de interior. Por ello, numerosas actividades se han acontecido en la ciudad de Valencia en los últimos años para dar la ciudad a conocer. Entre ellos destaca la *Americas Cup, en 2007*, el *V Encuentro Mundial de las Familias, en 2006*, el *Campeonato Mundial de Atletismo en Pista Cubierta, en 2008*, momento a partir del cual se lanza la *Unión Hotelera de la provincia de Valencia*.

La influencia de las Aerolíneas de bajo coste se ha tenido en cuenta como un factor importante para el crecimiento del tráfico, ya que, pese a la incertidumbre que en ocasiones generan por la variación de los destinos que ofrecen, las que operan en Valencia, principalmente Ryanair e EasyJet, se consolidan como las principales en volúmenes de tráfico en Europa.

Con todo ello, se han calculado tres escenarios principalmente: alto, medio y bajo. Los factores principales que han llevado a definir cada uno de ellos son:

- **Escenario alto:** se tiene en cuenta que el tren de alta velocidad resta un 17,5 % de pasajeros al tráfico tradicional y que no realiza conexiones de la ruta Madrid-Valencia, un 6 % a Barcelona-Valencia, un 3,5 % a Sevilla-Valencia y un 1,5 % a Bilbao-Valencia, teniendo en cuenta que la presencia del aeropuerto de Castellón no afecta al tráfico. Con ello, se ha supuesto una regularidad de 45 vuelos diarios de carácter internacional diarios en el escenario de 2020.
- **Escenario medio:** se tiene en cuenta que el tren de alta velocidad resta un 35 % de pasajeros al tráfico tradicional y que no realiza conexiones de la ruta Madrid-Valencia, un 12 % a Barcelona-Valencia, un 7 % a Sevilla-Valencia y un 3,5 % a Bilbao-Valencia, teniendo en cuenta que la presencia del aeropuerto de Castellón afecta al tráfico restando un 3,5 %. Con ello, se ha supuesto una regularidad de 41 vuelos diarios de carácter internacional diarios en el escenario de 2020.
- **Escenario bajo:** se tiene en cuenta que el tren de alta velocidad resta un 41 % de pasajeros al tráfico tradicional y que no realiza conexiones de la ruta Madrid-Valencia, un 17 % a Barcelona-Valencia, un 9 % a Sevilla-Valencia y un 7 % a Bilbao-Valencia, teniendo en cuenta que la presencia del aeropuerto de Castellón afecta al tráfico restando un 7 %. Con ello, se ha supuesto una regularidad de 37 vuelos diarios de carácter internacional diarios en el escenario de 2020.

Los tres escenarios se muestran en las figuras 2.22 y 2.23, donde además se mostraría el efecto de dichos escenarios sobre las operaciones de los aviones:

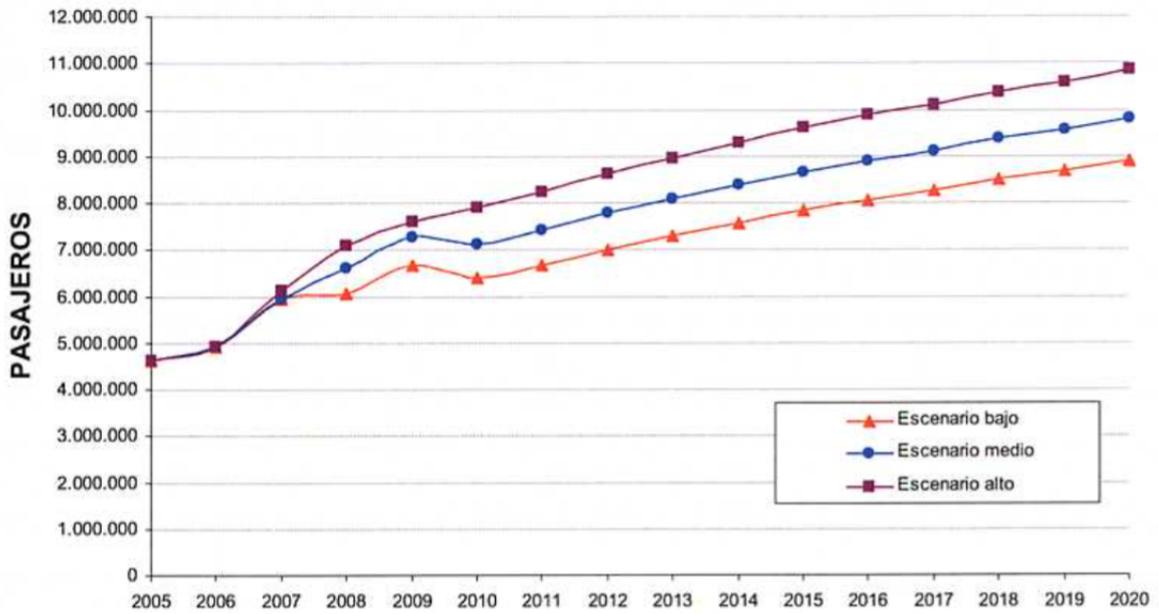


Figura 2.22: Representación de los 3 escenarios de tráfico comercial de pasajeros calculados para el Aeropuerto de Valencia

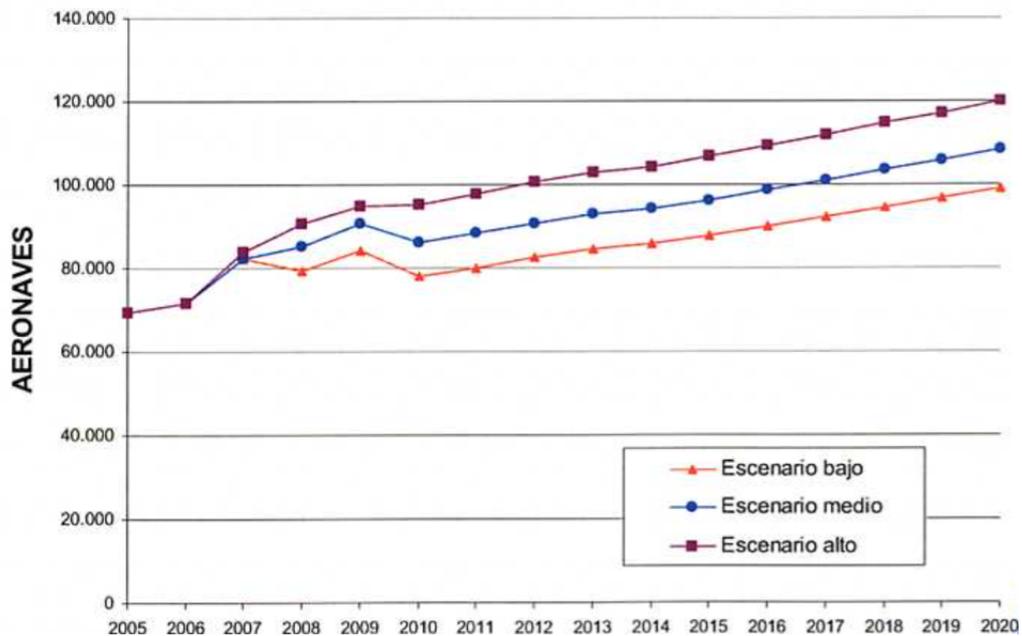


Figura 2.23: Representación de los 3 escenarios calculados de tráfico del Aeropuerto de Valencia aplicados a operaciones Aeroportuarias (Comerciales)

Con todo ello, y habiendo estudiado los tres distintos horizontes, se escenifican dichos horizontes para cada uno de los segmentos analizados durante la sección.

2.8.1. Comparativa real de crecimiento

Tráfico de pasajeros

Comparando el número total de pasajeros obtenido según las estimaciones realizadas en el Plan Director con los obtenidos reales por Aena se tiene lo siguiente:

- **Año 2010**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 7.157.000 cuando el tráfico real del Aeropuerto de Valencia en 2010 sería de 4.915.000 .
- **Año 2015**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 8.689.000 cuando el tráfico real del Aeropuerto de Valencia en 2015 sería de 5.040.861 .
- **Año 2020**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 9.826.000.

Al comparar los datos de tráfico, se observa claramente como las estimaciones que se realizan en el Plan Director están en todo momento por encima de las reales, por lo que se puede decir que se sobredimensionan dichos valores.

Tráfico de aeronaves

Comparando el número total de operaciones de aeronaves obtenido según las estimaciones realizadas en el Plan Director con los obtenidos reales por Aena se tiene lo siguiente:

- **Año 2010**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 103.400 cuando el tráfico real del Aeropuerto de Valencia en 2010 sería de 62.251 .
- **Año 2015**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 115.700 cuando el tráfico real del Aeropuerto de Valencia en 2015 sería de 47.755 .
- **Año 2020**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 130.500.

De nuevo las estimaciones están por muy por encima de los datos reales, y en 2015 los datos se sobredimensionan llegando a ser más del doble de los reales.

Tráfico de mercancía

Por último, comparando el tráfico de mercancías de aeronaves obtenido según las estimaciones realizadas en el Plan Director con los obtenidos reales por Aena se tiene lo siguiente:

- **Año 2010**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de mercancías de 14.000.400 kg cuando el tráfico real del Aeropuerto de Valencia en 2010 sería de 11.427.693 kg.
- **Año 2015**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 15.400.000 kg cuando el tráfico real del Aeropuerto de Valencia en 2015 sería de 13.541.494 kg.

- **Año 2020**, donde según el Plan Director, se tendría un tráfico total de pasajeros de 16.900.000 kg.

En este caso, pese a que los datos estimados son de nuevo mayores que los reales, se puede destacar el hecho de que son mucho más precisos que los anteriores.

Por lo tanto, **el Aeropuerto de Valencia se determina como una estructura destinada en su mayoría al tráfico de pasajeros sobredimensionada.**

Todos los datos de tráfico estimados para el Aeropuerto de Valencia han sido calculados teniendo en cuenta ciertos aspectos del Plan Director del Aeropuerto ([1]).

3

Diseño de una terminal sostenible: aspectos generales

3.1. Definición del concepto

En los últimos tiempos ha proliferado el impulso de lo que actualmente se conoce como **terminales sostenibles**. Aspectos como la *comodidad*, *rapidez* y la *eficiencia* de los servicios prestados son imprescindibles. Todo ello, junto a la necesidad de que las operaciones aeroportuarias sean llevadas a cabo con la máxima fluidez y de la manera más segura posible, hacen que el diseño de la terminal de pasajeros sea un proceso complejo y de vital importancia para su futuro y correcto funcionamiento.

Esto se debe a que actualmente las terminales son infraestructuras en las que las personas cada vez pasan más tiempo.

En el proceso constructivo de una terminal se han de tener algunos aspectos en cuenta a parte de los ya comentados. Según algunos de los autores consultados, estas construcciones han de girar en torno a 3 dimensiones (referencia [5]).

- **La dimensión social**, que se relaciona con la experiencia que el pasajero recibe cuando utiliza los servicios de la terminal. Una buena terminal conseguiría reducir los niveles de estrés asociados a todas aquellas acciones que se suceden en el momento de coger un avión. Las texturas, colores, materiales y otros aspectos como las dimensiones que se den al inmueble y su iluminación, combinados en la medida correcta, deben ayudar a que dicha experiencia sea positiva.
- **La dimensión funcional**, que está directamente relacionada con la planificación y distribución de las áreas de la terminal de la manera más efectiva posible a fin de que los distintos flujos de pasajeros, empleados y aeronaves discurran con la mayor fluidez

posible. Además de eso se debe asegurar que la terminal cumpla en todo momento los máximos criterios de seguridad.

- **La dimensión sostenible**, relacionada con el abastecimiento de energía de fuentes renovables, como por ejemplo, de paneles solares. El objetivo es que se proporcione una mayor sensación de calidez al usuario y que además favorezca el cuidado al medio ambiente.

La última dimensión, **la dimensión sostenible**, es la que da plena definición al concepto de **terminal sostenible**. *Una terminal sostenible es aquella que gracias a su diseño minimiza todos los potenciales impactos medioambientales, permitiendo un uso racional de la energía disponible, insertándose de manera armónica con el entorno.*

Además de usar de manera racional la energía, se incluye en dicho concepto la capacidad de autoabastecerse como uno de los pilares más importantes de dicho concepto. De hecho, ya son muchas las *terminales sostenibles* que incorporan medios en sus instalaciones que producen energía suficiente para autoabastecer la terminal o que en su defecto reducen notablemente la dependencia de la misma respecto de métodos convencionales de generación de energía y que por supuesto, dañan el medio en mayor o menor medida el medio ambiente.

A la hora de construir una *terminal sostenible*, mas allá de las dimensiones ya comentadas que son importantes como concepto, existen líneas a las que ha de ceñirse el diseño. Entre ellas están:

- **Diseño de sistemas.** Se incluyen aquí la evaluación de eficiencia energética de equipos eléctricos y mecánicos, el calentamiento global potencial (GWP) y el análisis de agotamiento de la capa de ozono (ODL) en los sistemas de aire acondicionado además de artefactos de bajo consumo de agua y electricidad.
- **Materiales.** Será preferible el uso de materiales autóctonos o de la propia zona en la que se encuentra la terminal a modo de mitigador de los costos y daños producidos por el transporte de los mismos. Se incluyen también materiales reciclados, recursos renovables y materiales libres de tóxicos como plomo, asbesto o formaldehído.
- **Diseño de la terminal.** El diseño de la terminal deberá llevarse a cabo teniendo en cuenta todos y cada uno de los medios naturales disponibles de manera que se optimicen los usos de los mismos y éstos sean aprovechados. Entre ellos están *el sol, el viento, las características mecánicas y térmicas de los materiales*; todo ello con el fin de conseguir una estrategia óptima del diseño de la terminal para dicha ubicación.

Por tanto, no solo es la utilización de las más novedosas tecnologías y sistemas para la reducción de consumos, sino también la estrategia y el saber cómo utilizar dichos elementos. De hecho, no serviría de nada disponer de dichos recursos si tras terminar la construcción de una terminal la disposición de la misma no es la óptima y requiere de mucha iluminación artificial.

3.2. Ejemplo de terminales sostenibles

En esta sección se describirán algunos de los proyectos de reforma o de nueva construcción de terminales que se consideran *terminales sostenibles*. Se describirán cuáles son los aspectos que las hacen sostenibles y las tecnologías empleadas en las mismas, así como la reducción que consiguen llevar a cabo en lo que refiere a los distintos tipos de consumo de energía.

3.2.1. Aeropuerto Ecológico de Galápagos

El aeropuerto de Baltra (Galápagos) se desarrolló por parte de dos empresas ECOGAL y Helpport Ecuador, empresas pertenecientes a un holding de capitales argentino llamado Corporación América, tal y como se indica en la referencia [6].

El *aeropuerto ecológico o sostenible de Baltra* se localiza a unos 1000 km de la costa del Ecuador continental y fue construido en el año 2012, siendo el primer aeropuerto *ecológico del mundo* gracias a la **certificación LEED nivel ORO**.

El aeropuerto se sitúa en la isla de Baltra, y su tamaño es relativamente pequeño, pues únicamente recibe tráfico de Quito o Guayaquil. No dispone por lo tanto de instalaciones aduaneras. En su lugar dispone de un puesto de control que tiene como principal objetivo evitar el contrabando de plantas y animales. Dicho factor ha sido considerado para su diseño.

La isla en la que se sitúa el aeropuerto tiene una extensión de 5,5 km de ancho y 8 km de largo, y no posee asentamientos cercanos más allá de una pequeña base naval y la estación de suministro de combustible.

La nueva terminal de pasajeros del Aeropuerto de Baltra ha sido diseñada totalmente pensando en reducir lo máximo posible los impactos generados por los incrementos del transporte aéreo internacional, debido a los incrementos de las emisiones de gases de efecto invernadero. Dicha consideración ha sido tomada para cuidar al máximo posible el parque nacional en el que se ubica la infraestructura, declarado Patrimonio Natural de la UNESCO. Una pequeña representación de dicho ecosistema se muestra en la figura 3.1.

Se ha definido un conjunto de puntos estratégicos, para la construcción y planteamiento de dicha terminal sostenible, de diseño pasivo complementario y de bajo consumo de energía, entre los que destacan:

- 1 Evitar el uso de refrigeración mecánica en un sitio que se unifica a nivel del mar en el Ecuador, fomentando en todo momento la ventilación y circulación naturales de aire como contrapartida.
- 2 Utilizar la iluminación natural en la medida de lo posible en todos los lugares de la terminal y oficinas.
- 3 Proteger de la radiación solar directa todos los espacios interiores de la terminal.
- 4 Reducir el consumo de agua, y fomentar el tratamiento y reutilización de la misma.



Figura 3.1: Parque natural de Las Galápagos.

- 5 Reutilizar el máximo material posible, casi el 80 % procede del material del aeropuerto antiguo.
- 6 Reducir el consumo energético y generar la mayor cantidad de energía limpia.

Partiendo de estas premisas estratégicas, la terminal se ha diseñado para optimizar el uso de energías, iluminación y consumo de agua, además de intentar maximizar el aprovechamiento de materiales provenientes de la anterior infraestructura, haciendo además uso de materiales ecológicos. De hecho, la terminal se situó en un lugar estratégico para conseguir que existiera una distancia suficiente entre la terminal y la pista de pasajeros, pero a su vez, conseguir la óptima orientación respecto de las brisas naturales y evitar la exposición directa al sol.

Así pues, para la construcción de la estructura de la terminal, se utilizaron antiguas tuberías de acero recuperadas de los campos de extracción petrolera de la Amazonia Ecuatoriana, siendo el resto de los materiales utilizados para la construcción objeto de una evaluación para elegir sólo aquellos que minimizaran el impacto ambiental. Todo ello respetando al máximo las normativas internacionales.

Entre los materiales utilizados, se encuentran agregados pétreos de canteras locales, así como piedra volcánica de la isla, con un revestimiento exterior de los muros para conseguir que la terminal se mimetizara con el entorno. Maderas y estructuras metálicas se reutilizaron procedentes de la antigua terminal.

El sistema de generación de electricidad limpia a partir de energía solar instalado en el aeropuerto de Galápagos, así como la estructura interior a partir de tuberías de acero, se

muestran en las figuras 3.2 y 3.3.



Figura 3.2: Sistema de autogeneración de electricidad del aeropuerto de Galápagos.



Figura 3.3: Estructura reciclada instalada en la terminal del aeropuerto de Galápagos.

Tal y como se observa en la figura 3.2, la terminal se equipa con un sistema fotovoltaico albergado en los techados de las caminerías que junto a la energía producida por un sistema de molinos eólicos sirtuados en lugares estratégicos y que generan el 65 % de la energía total consumida por la terminal, son capaces de generar el 35 % de la energía restante, haciendo que el aeropuerto funcione en un 100 % con energía renovable. De ese porcentaje del 35 %, el 24 % se utiliza para la terminal mientras que el resto para la demanda restante del aeropuerto.

Por ello, el aeropuerto obtiene la determinación de aeropuerto autoabastecible.

Además de dichos sistemas, a lo largo de toda la terminal se colocan grandes lucernarios

con la inclinación adecuada para permitir que la misma reciba la máxima luz natural suficiente, así como una buena circulación de aire.

Los sistemas de energía renovable no solo generan electricidad, sino que del sol se extrae energía para alimentar la instalación de agua caliente para los bares, restaurantes y duchas.

Dicho sistema de ventilación e iluminación naturales, se muestra en un esquema en la figura 3.4.

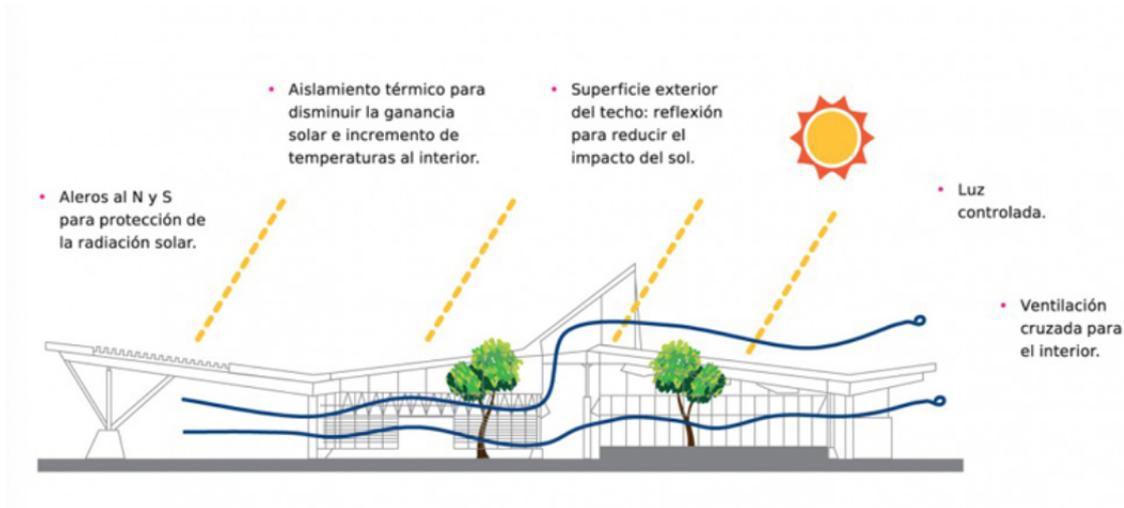


Figura 3.4: Sistema de ventilación e iluminación naturales del aeropuerto de Galápagos.

En cuanto al *tratamiento de agua*, cabe destacar que la terminal cuenta con su propia planta desalinizadora. Este sistema permite que el agua que de desaliniza, una vez se ha utilizado, puede volver a ser tratada en una especie de ciclo cerrado que permite así reducir los consumos de agua. Los urinarios funcionan sin agua, evitando el uso de agua y también la contaminación.

Las temperaturas en la zona, así como la humedad son bastante altas. Éstas se combaten con un sistema de ventilación natural cruzada, ayudados del efecto moderador de la masa térmica conseguido a partir de materiales autóctonos como se comentaba en esta misma sección.

Con todo ello se consigue que el turista que visita la isla, no solo disfrute y reciba una experiencia única en el exterior de la isla, sino también durante su estancia en la terminal. Dentro de la misma se cuidan detalles como las vistas al exterior del paisaje, o evitar al máximo que predomine un ambiente regulado artificialmente como sucede en la mayor parte de las terminales convencionales.

El edificio terminal cuenta con una serie de recursos *bioclimáticos*, que tienen el objetivo de reducir en la mayor medida los impactos climáticos externos desfavorables y promover la comodidad de los pasajeros. Por ejemplo, las largas fachadas de la terminal se orientan en la dirección N-S, en lugar de E-O, evitando así la exposición directa al sol.

Además de ello, y a pesar de que como se comentaba la terminal ha sido diseñada para

evitar en lo máximo posible la exposición directa al sol, ésta ha sido diseñada para conseguir el máximo aprovechamiento de la luz diurna. Por ello, cuenta con una apertura o lucerna que atraviesa el centro del edificio y que distribuye la luz difusa en el espacio lineal, a fin de enfatizar el eje central de circulación. Dicha apertura central está protegida con parasoles horizontales y mosquiteras que hacen además las veces de sistema de extracción de aire, contribuyendo a la ventilación de la terminal.

Otro sistema adicional de claraboyas, utilizadas para introducir más luz natural en la terminal, se ubica en la zona de facturación, con orientación sur.

La terminal se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5: Terminal de pasajeros del aeropuerto de Galápagos.

Los sistemas de iluminación externos de fachada han sido suprimidos, para preservar el daño que ésta podría causar en el entorno y únicamente cuenta con un par de puntos de luz situados en el exterior que se accionarían en caso de emergencia.

En el interior de la terminal se cuenta con sensores de luz natural para proceder al apagado de los sistemas artificiales cuando no hay nadie en la zona y para la reducción de la misma en caso de que haya suficiente luz natural.

Más allá de los sistemas ya citados, el aeropuerto cuenta con otras medidas de protección y reducción del impacto, como por ejemplo en el ámbito de la **accesibilidad**. El aeropuerto cuenta con un pequeño desnivel de 1,5 metros a lo largo de los 200 metros de largo de que dispone entre los 2 extremos. El techo sin embargo se dispone de manera horizontal, y los pequeños desniveles se suplen con pequeñas rampas que además permiten a las personas con movilidad reducida el acceso a todas las áreas de la terminal.

La **estructura** era reciclada en su mayor parte, y los módulos de la misma han sido estructurados en cuerpos de 12 metros para facilitar el transporte con los barcos disponibles.

El **aislamiento** se realiza con una serie de paneles ubicados en el techado y los muros de piedra no se han levantado más de 3 metros desde el suelo.

Para la **integración** de las oficinas, todas las oficinas y despachos son abiertas al exterior por medio de acristalados que dan al mar o a la pista, así como a la vegetación.

Con todo ello, se acota el posible crecimiento futuro del aeropuerto como manera de control del posible impacto ambiental a la flora y fauna del parque.

Toda la información a cerca de la Terminal de Baltra ha sido obtenida a partir de las fuente [6] y [7].

3.2.2. Aeropuerto de Zvartnots

El Aeropuerto Internacional de Zvartnots está ubicado cerca de Zvartnots, a unos 10 km al oeste de Ereván, capital de Armenia. Fue inaugurado en 1961 y renovado en la década de los años 80 con el desarrollo de una nueva terminal, habilitando una terminal extra dedicada a carga en el año 1998.

Dicho aeropuerto se muestra en la figura 3.6.



Figura 3.6: Terminal de pasajeros del aeropuerto de Zvartnots.

El proyecto que se describe consta de la construcción de una nueva terminal sostenible en el único aeropuerto internacional que existe en Armenia. La misma cuenta con una superficie de $17.000 m^2$ y la terminal, tras haberse llevado a cabo un estudio en el que se tenían en cuenta no solo condiciones de localización, capacidad, etc, ha sido proyectada teniendo en cuenta un diseño que contrarestase las condiciones meteorológicas que imperan en la zona.

Condiciones extremas tanto en invierno como en verano.

Para conseguir que la terminal haya sido considerada como una terminal sostenible, **la envolvente** que se proyecta ha sido un aspecto clave. Está compuesta por una doble piel de vidrio ventilada, cuyo objetivo es el de obtener el máximo ahorro de energía posible, al mismo tiempo que conseguir las mejores condiciones de habitabilidad y confort en el interior de la terminal.

Con la implantación de la doble piel de vidrio se consigue una drástica reducción de las temperaturas en el interior de la terminal en días calurosos, así como un importante aporte de calor en el interior de la misma en días en los que el termómetro marca temperaturas hostiles. Así mismo, actúa de colchón térmico, pues reduce las pérdidas de calor a través de la fachada en días de frío como en invierno.

La doble piel de vidrio se compone de los siguientes elementos:

- **El lado exterior**, que consta de un vidrio laminado, gris 5mm + gris 5mm con PVV incoloro.
- **Cámara de aire**, que se coloca entre la doble piel de vidrio y que cuenta con un espesor de 1 m. Dicha anchura permite que la cámara sea transitable gracias a las pasarelas que se ubican en su interior facilitando así el mantenimiento.
- **El lado interior**, compuesto por un doble vidriado hermético (DVH) compuesto por un vidrio incoloro de 6 mm, cámara de aire de 12 mm estanca y un vidrio laminado LOW-E 4mm + incoloro de 4 mm.
- **Rejas de apertura mecánica**, con control inteligente que actúa según cuales sean las condiciones de confort interiores de la terminal, así como la época del año en que se encuentre.

Con dicho sistema se consigue lo siguiente. En épocas como en invierno en las que se necesita calefacción para calentar el interior de la terminal, se aprovecha la radiación solar para calentar el aire dentro de la cámara existente entre los dos vidriados. De esta manera, y gracias a la reja de apertura, se consigue que esas condiciones de invernadero alcanzadas en la cámara, se transmitan al interior de la terminal, consiguiendo una calefacción natural. De lo contrario, en verano se consigue una refrigeración gracias a que la masa de aire caliente ubicada en la cámara se expulsa al exterior, como si se tratase de una chimenea. Durante las noches se introduce aire más frío del exterior evitando así la refrigeración artificial.

Dicho sistema posee multitud de ventajas:

- Consigue una reducción de infiltración.
- Reduce las pérdidas de calor por conducción y radiación, al tener una fachada aislada por la piel de vidrio.
- La iluminación de la terminal se produce gracias a la presencia de luz natural a través de la fachada vidriada. Ésto evita la presencia de sistemas luminosos, que no sólo consumen electricidad, sino que además añaden calor al edificio por a radiación de los aparatos, requiriendo así ventilación extra.

- Gracias al sistema la ventilación de que se dota a la terminal, la aclimatación es natural.
- Se mejora el aislamiento acústico del ruido producido por las aeronaves.
- Produce un importante ahorro de energía, disponiendo así de una terminal mucho más eficiente y económica en sus costes de operación diarios.
- Hace uso de las energías naturales y renovables, reduciendo su impacto ambiental en gran medida.
- Se prevee que en 25 años las reducciones conseguidas en consumos energéticos puedan llegar a ser del 65 % respecto a históricos.

El esquema del sistema de doble piel de vidrio, se muestra en la figura 3.7.

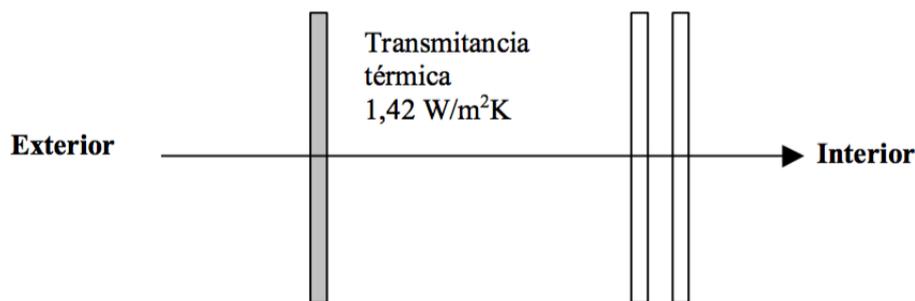


Figura 3.7: Sistema de vidriados de la envolvente de la fachada sur del aeropuerto de Zvartnots.

La iluminación es otro aspecto clave. Dicha iluminación está controlada a través de un sistema de automatismos que rigen el apagado y encendido de las luces artificiales, programándolos según la época del año. Con él se consigue un importante ahorro de energía, así como un excelente servicio.

La nueva terminal ha contado además con la instalación de la última tecnología de iluminación, aportando esfuerzos para conseguir un ahorro extra añadido al ya conseguido gracias a la envolvente. Dichos sistemas se componen de luces de bajo consumo y escaso mantenimiento. Se consigue con ello tener en cuenta **la instalación eléctrica**.

Se han utilizado **materiales autóctonos** como, por ejemplo, en la fachada ventilada construida a partir de roca de la zona conocida como 'Tofu'. Además de todo ello, todas aquellas partes de la terminal que lo permitían se han construido a pie de obra para intentar reducir los traslados hasta la zona. Se estaría eliminando así el riesgo potencial derivado de los mismos.

Para reducir el **consumo de agua** se instalaron válvulas de tipo pressmatic, que permiten personalizar los caudales de agua en cada punto de consumo.

En cuanto al **sistema de climatización artificial**, se proyectó una planta de frío utilizando refrigerante respetuoso con la capa de ozono (134-A) y se descartó por completo de la instalación termomecánica el empleo de gases que son nocivos con la capa de ozono, como el R-22. Todos los sistemas o Unidades de Tratamiento de Aire cuentan con economizadores en términos de funcionamiento para reducir así la contaminación atmosférica.

Por último, a modo esquemático, se muestra en la figura 3.8 una sección transversal de la terminal en la que se aprecia cómo funciona el sistema de vidriados que ayuda a la refrigeración de la terminal tanto de día como de noche.

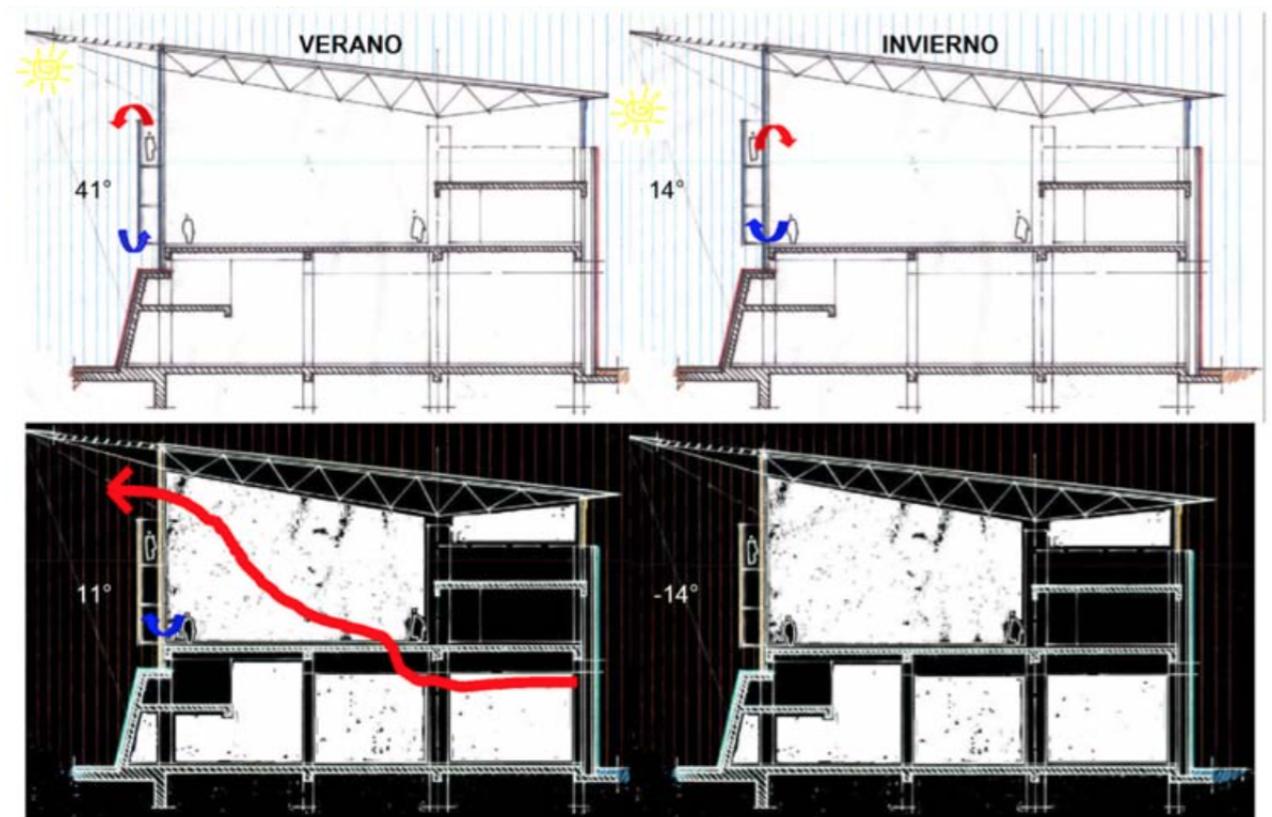


Figura 3.8: Sección transversal de la terminal durante su refrigeración. Aeropuerto de Zvartnots.

La información con que se llevó a cabo el estudio del Aeropuerto de Zvartnots queda referenciada en [8].

3.2.3. Aeropuerto de Río Gallegos

El Aeropuerto Internacional Piloto Civil Norberto Fernández, es un aeropuerto que se encuentra ubicado a unos 8 km hacia el noroeste del centro de la ciudad de Río Gallegos, en la provincia de Santa Cruz, Argentina.

El proyecto de la terminal de Río Gallegos consiste en la remodelación y ampliación de la terminal de pasajeros existente en el Aeropuerto Internacional de dicha ciudad, mediante la incorporación de dos mangas telescópicas.

En un principio la Terminal de pasajeros contaba con una serie de características que hacían de la misma un lugar no apto para su correcto funcionamiento. Por el mismo motivo, tras la realización de un estudio en el que se tenían en cuenta las características climáticas de la zona en que se ubicaba la terminal, se establecieron las características que tras esta nueva remodelación, la terminal debía tener para estar en concordancia con el clima de la zona.

Con todo ello se pretendía maximizar por completo el uso de la luz natural, así como aumentar la protección de los usuarios mientras se encuentren en alguna de las instalaciones con que cuenta la terminal.

Las reformas fueron acometidas tanto la en la parte exterior del edificio, como en los alrededores del mismo.

Zonas exteriores

Las reformas en esta zona se destinan a la remodelación de la parte destinada a parking. Actualmente, tanto los estacionamientos, veredas de acceso y los propios accesos a la terminal, se encuentran expuestos al viento, que predomina del Oeste. Las velocidades de los mismos son moderadas, de entorno a los 30 km/h, pero muy frecuentes durante todo el año, representando una verdadera molestia para los pasajeros. La situación se acentúa en verano, que es la estación del año con mayores vientos, con rachas que en ocasiones pueden alcanzar los 160 km/h o incluso más.

El viento secundario viene del SO y los días de calma representan un 10% del total de los días en los que los vientos son fuertes.

Todo lo anterior hace necesaria una protección ante los vientos en dicha zona.

En primer lugar se proyectaron **pantallas contraviento** en áreas exteriores como, por ejemplo, en la zona de parking y los viales de acceso a la misma. Dichas barreras se diseñan como paneles perpendiculares a las direcciones predominantes de vientos del Oeste y su superficie se materializa con chapas perforadas, actuando como elemento tamizador y obteniendo así áreas protegidas de mayor alcance.

Por otra parte, **los accesos se organizan** para evitar que queden enfrentados al Oeste y para tratar de que la volumetría del edificio pueda crear sombrajes en las zonas de acceso al mismo. De igual modo, se cambiará la **orientación de los aparcamientos** en 90°, de manera que los vehículos queden en dirección oblicua al oeste. Este problema solucionaría la presión que el viento ejercía sobre las puertas de los vehículos al querer abrirlas.

Se **amplían las zonas de semicubiertas** con 1.200 m^2 nuevos, con la marquesina de acceso y en los patios de equipaje, para evitar que existan zonas expuestas.

Se proyecta una barrera de árboles en todo el perímetro O-SO del estacionamiento, para tamizar la acción del viento y crear áreas protegidas.

Junto a las medidas anteriores, y debido a la escasez de lluvias locales, se proyecta un sistema de riego por aspersión que utilizará además aguas tratadas provenientes de un sistema de cloacas que se instala en la reforma de la terminal.

Reformas del edificio Terminal

La terminal actual se configura con una disposición enfrentada al viento al igual que el resto de las estructuras del aeropuerto. Con la configuración actual, se ubican muros con independencia de la disposición de la terminal respecto al sol.

En el caso de la terminal, se sabe que la fachada NE debería contar con mayores aperturas, mientras que la fachada SO, actualmente cuenta con grandes paños innecesarios por los que constantemente se pierde energía de manera constante.

Por ello, y por otros aspectos como que por ejemplo, la temperatura promedio a lo largo del invierno está en niveles bajo cero, así como que la radiación del sol es más bien escasa por la baja posición del sol, unido a la baja frecuencia de días soleados respecto de los nublado hacen plantearse la configuración actual. Cabe destacar además que en dicha terminal, la utilización de la máxima cantidad de energía solar es importante ya que los periodos de sol están por debajo de 8 horas diarias en invierno. Por ello, es importante asegurar la iluminación natural del edificio siempre que sea posible así como la utilización de la energía del sol.

La representación de la terminal de pasajeros del aeropuerto de Río Gallegos se muestra en la figura 3.9.

Por todo ello, en el edificio Terminal se llevan a cabo las siguientes acometidas.

En primer lugar sobre la **envolvente de la terminal**. Sobre la fachada NE de la misma, que es la más extensa y a la vez la que más horas de exposición directa de sol recibe se van a ubicar la mayor parte de las aperturas, mientras que en la SO, en la que se albergaban paños innecesarios por los que se pierde energía, y en la que se ubican las áreas comerciales, se van a eliminar los paños de gran tamaño, sustituyéndolos por vidriados de tamaño reducido y controlado en el extremo del edificio.

De esa manera se pretende favorecer que las instalaciones de calefacción tengan una menor intensidad de uso, gracias al aporte de calor natural del sol. Todas las aperturas vidriadas serán de doble vidrio hermético, y la cantidad y tamaño de las mismas estará directamente relacionado con la orientación respecto al sol que tenga la fachada sobre la que dicho vidriado se disponga, como se mencionaba anteriormente.

De todas las superficies vidriadas, se establece el mínimo posible indispensable, para permitir la posible ventilación en verano en aquellos lugares que dispongan de cubiertas vidriadas, y a su vez, al ser cubiertas herméticas, éstas favorecerían el aislamiento para los meses



Figura 3.9: Representación de la Terminal de pasajeros del aeropuerto de Río Gallego.

más fríos.

Otro aspecto importante es el empleo de **materiales con características aislantes**, para que ayuden a mantener la temperatura de confort interior. Para ello, los muros exteriores se componen de mampostería hueca de 18 cm hacia el exterior, con una cámara de aire de 3 m y mampostería común hacia el interior. De esa manera, la masa en el interior ayuda a conservar la temperatura interior, mientras que las cámaras de aire ayudan actuando como colchones térmicos aislando respecto al exterior.

Los techados con que contaba la terminal estaban hechos de hormigón. Las filtraciones eran frecuentes además de los problemas de condensación. Dado que se considera un techo inadecuado, se sustituye directamente por uno de metal mucho más liviano, que favorece el rápido escurrimiento del agua y, al incorporar una barrera de vapor en su cara inferior, impide las filtraciones debidas a condensación. Reduce además el uso de los sistema de calefacción artificiales.

El **diseño del edificio**, se ejecuta para hacerlo todavía más compacto reduciendo su perímetro al menor posible, para conseguir una terminal más mantenible y para la que se necesite menos energía.

La iluminación es un aspecto fundamental debido a la baja frecuencia de días soleados. Por ese motivo se diseña un sistema de lucernarias corridas para llevar la luz a aquellos sitios con mayor profundidad de planta. Esto permite uniformar las intensidades de la luz natural en sectores próximos a fachadas y otros más internos, así como reducir lo máximo posible el uso de iluminación artificial. Todo ello va acompañado de paredes pintadas de colores claros para reflejar en la medida posible la mayor cantidad de luz difusa.

La información ha sido estudiada de diversas referencias, pero la más importante queda descrita en [9].

3.2.4. Aeropuerto de Heathrow

El Aeropuerto de Londres Heathrow, también conocido como Aeropuerto de Heathrow simplemente es el aeropuerto más importante y con más tráfico y conexiones de Reino Unido. Tanto es así que en el 2014 dicho aeropuerto recibió más tráfico internacional de pasajeros que cualquier otro aeropuerto del mundo.

Además de eso, en ese mismo año fue el aeropuerto con mayor actividad en Europa respecto del tráfico total de pasajeros (un 31,5% más de pasajeros que el Aeropuerto Internacional Charles de Gaulle de París o el mismo Aeropuerto Internacional de Frankfurt).

Se emplaza en Heathrow, en el distrito de Hillingdon, en el área Oeste de Londres. Dicho aeropuerto se muestra en la figura 3.10.



Figura 3.10: Representación del Aeropuerto Internacional de Heathrow.

La remodelación de una de las terminales es la que otorga al proyecto la etiqueta de aeropuerto sostenible. En concreto, se trata de la Terminal de pasajeros 2, que se abrió por primera vez en el año 1955. Tras su apertura estuvo en funcionamiento durante 54 años, cerrando sus puertas en primera vez en el año 2009 y demoliéndose para dar paso a la nueva Terminal sostenible de pasajeros en el año 2010. Originalmente se conocía como Edificio Eurora, y su diseño estaba pensado para poder soportar una demanda máxima de 1,2 millones de pasajeros cada año, aunque en el momento de su cierre y renovación ya contaba con más de 8 millones de pasajeros al año.

Para llevar a cabo el proceso de reconstrucción de la Terminal 2 ha contado con más de 2.500 millones de libras para la infraestructura, de la que no sólo se espera que sea eficiente, sino también sostenible. Dicha Terminal contará con un edificio principal que dispone de una terminal satélite, que juntas suman 28 plataformas de estacionamiento y embarque. Además de esto, se le une un nuevo parking para 1.300 vehículos, un centro de energía, 60 stands de facturación rápida y otros 56 de facturación tradicional.

Los aspectos que hacen sostenibles a dicha nueva Terminal 2 de pasajeros son los siguientes.

Los **movimientos de tierra** han sido controlados de manera que el total de tierra excavada se recicla, siendo empleada en otras partes de la construcción, de manera que se redujera el impacto a mínimos. Concretamente, la tierra se ha empleado en crear nuevos paisajes y colinas cercanas a la Autopista M-25, que linda con el aeropuerto.

Se emplean **energías renovables** para poder cubrir el 20 % de la demanda total esperada de la Terminal 2, en lugar de fuentes de energía tradicionales. Con todo ello, el edificio Terminal 2 nuevo, tendrá emisiones de CO₂ inferiores en un 40 % respecto del edificio anterior.

De todas las fuentes de energía renovable que se emplean en la nueva Terminal 2 de pasajeros, se emplearán unos 1.000 m² de paneles solares que serán instalados en la cubierta del edificio.

Se utiliza un **sistema de lucernarias** y paneles de vidrio que ayudan a aumentar en gran cantidad la luz natural que entra dentro del edificio Terminal. De hecho, se diseña para que la luz natural acompañe al viajero desde el momento en que factura hasta que embarca dentro del avión, reduciendo así el uso de luz artificial. Por ese motivo, éstos se orientan al norte. Además, funciona como aislante térmico, ayudando a mantener la temperatura constante en el interior del edificio, sin necesidad de aumentar el consumo de energía destinada a refrigerar la misma. No añaden calor al edificio, gracias a su orientación. Junto a ello, se instala un **sistema de apagado y control de la iluminación artificial** en el interior, que detecta el nivel de iluminación necesario teniendo en cuenta las condiciones de luz natural existentes en el interior, así como la presencia de pasajeros en las diferentes estancias.

El nuevo techado con aperturas por las que se maximiza la iluminación natural se muestra en la figura 3.11.

El **95 % de los edificios de la antigua Terminal fueron reutilizados**, ayudando a mantener el criterio de sostenibilidad.

El interior de la Terminal de pasajeros se muestra en la figura 3.12.

En cuanto a las plataformas de estacionamiento y plataformas de carga de los aviones cabe destacar que han sido rediseñadas. Las **plataformas de aparcamiento son más eficientes**, pues se han rediseñado para permitir el estacionamiento de manera sencilla y simple, agilizando los tiempos de estacionamiento y con ello las emisiones potenciales.

Las **plataformas de carga** de los aviones instalan un **sistema de carga auxiliar** que nutre a los aviones de electricidad para las operaciones necesarias cuando las aeronaves están estacionadas, de manera que se hace innecesario mantener encendido el motor auxiliar de la aeronave (APU) cuando éstas están en la plataforma.

La calefacción del edificio está alimentada por una **caldera de 12 MW de biomasa**, además de un sistema de 12 núcleos repartidos por todo el edificio donde hay 100 unidades de tratamiento de aire. Dichas unidades reducen al máximo la toma de aire desde el exterior, pues logran reciclar en gran medida el aire interior y disminuir por tanto la emisión de CO₂ a



Figura 3.11: Techado de la nueva Terminal del Aeropuerto Internacional de Heathrow.

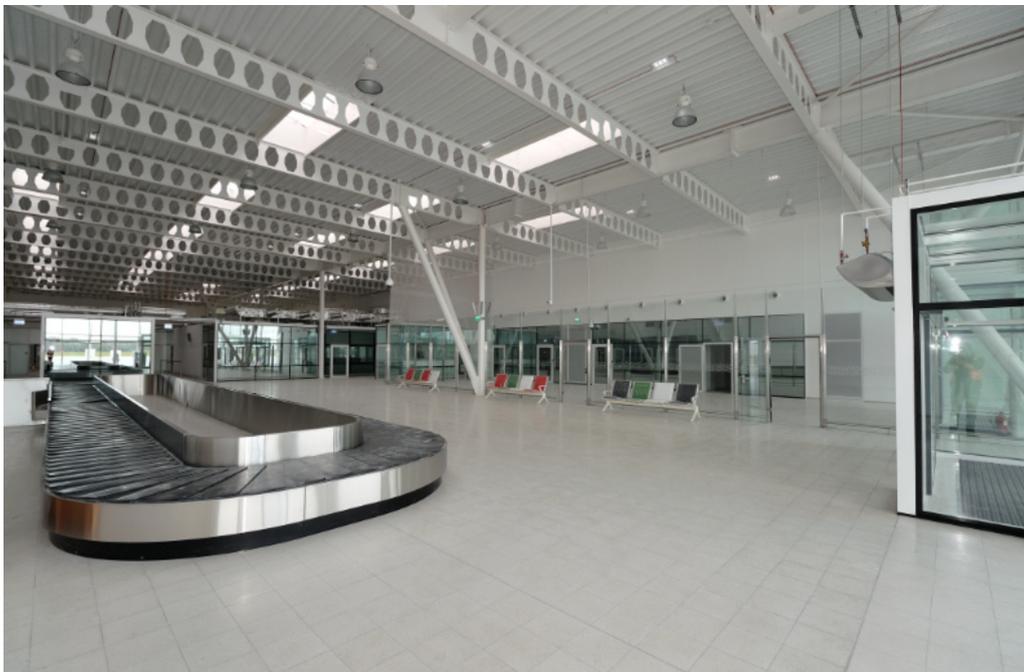


Figura 3.12: Interior de la nueva Terminal del Aeropuerto Internacional de Heathrow.

la atmósfera. Junto a este sistema, se ha diseñado otro que se encarga de recoger el agua de la lluvia y la del suelo para emplearla en las cisternas, mantenimiento y limpieza de la Terminal.

Además de todos estos aspectos, se ha intentado reducir el impacto al medio ambiente también durante la construcción. Por ello, más del **80 % del hormigón** necesario para construir la nueva Terminal, que se cifraba en un total de $70.000 m^3$, fue **reutilizado** a partir del obtenido de la demolición de la antigua Terminal. Toda la estructura de la Terminal fue unida mediante tornillos de manera que se redujera o **eliminara casi por completo la soldadura**, y con ello las emisiones.

Las pinturas utilizadas, así como los pegamentos utilizados en la construcción han sido seleccionados cumpliendo los criterios más exhaustivos, para que fueran lo más ecológicos o incluso biodegradables.

El edificio se diseñó en módulos que llegaban a la zona de construcción ya montados, con medidas razonables y que permitían ser transportados de manera sencilla, con el objetivo de facilitar el montaje de los mismos en la estructura principal. Este aspecto ayudó a reducir notablemente los tiempos de construcción y planificación a 6 años, en lugar de los 15 años que por ejemplo se emplearon en el Aeropuerto de Barajas, Terminal 4.

El resultado es un edificio Terminal Eficiente que pudiera en ocasiones recordar a la Terminal 4 de Barajas, aunque sin embargo sean distintos. En este caso **se trata de un edificio cuadrado perfecto** que se diseña para evitar al viajero largas caminatas durante todo el tiempo que pasa en el Aeropuerto. En concreto, el diseño se realiza para que el viajero tarde más o menos unos **40 minutos desde que hace el check-in hasta que llega al avión**. Además de ello, el techado de la Terminal, que como se ha visto en la figura 3.11 es ondulado, se diseña no solo para cumplir una misión estética y de iluminación natural, sino también para que en las zonas de bajada de dichas ondas se reduzca el volumen del interior del edificio y con ello la energía necesaria para calentarlo.

Los datos presentados sobre la nueva Terminal de pasajeros del Aeropuerto de Heathrow han sido referenciados en [10].

3.2.5. Aeropuerto de Ciudad de México

El nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México se proyectó para ser no sólo uno de los más grandes del mundo, sino también el más sustentable que se haya construido hasta ahora. Es por ello un referente para los aeropuertos en América, donde se sitúa, pero también para los aeropuertos europeos.

El aeropuerto cuenta con una estructura gigante envuelta en una especie de capa que permite dejar pasar la luz y el aire natural, recolectar el agua de la lluvia, además de contar con un aspecto estético importante, que seguro sirve de reclamo a turistas.

Dicha estructura se compone de paneles translúcidos y varios opacos, además de una serie de paneles fotovoltaicos, de manera que se promueva por una parte la sombra y el aislamiento térmico por una parte, pero que a la vez se permita la vista hacia el exterior, dejando a su vez que se difumine la luz hacia el interior, manteniendo las distintas áreas iluminadas de manera natural. Se reduciría por una parte la utilización de luz artificial y con ello el consumo energético .

La cubierta del nuevo Aeropuerto de México se muestra en la figura 3.13.



Figura 3.13: Cubierta del nuevo Aeropuerto proyectado en México.

Junto a los paneles solares ya citados, se ubicarán todavía más en ciertos edificios de los alrededores, y todos ellos serán capaces de generar unos 50 MW de energía. Esta funcionará junto con la propia central del edificio principal.

Pensando en el transcurso cotidiano de los pasajeros por los aeropuertos, el Aeropuerto de México **se compone únicamente de una terminal de pasajeros**, para evitar así la construcción de trenes que vayan de una a otra, ahorrando recursos, tiempo y dinero. Los pasajeros serán capaces por tanto de caminar fácilmente entre las puertas de embarque y hacer sus conexiones.

Se proyecta por tanto una gran y única Terminal que durante la mayor parte del tiempo no necesitará del uso de aire acondicionado, aprovechando la gran elevación de la ciudad de México para obtener aire fresco del exterior de la Terminal. Junto a esto, la infraestructura será capaz de reciclar el agua que gasta para que ésta vuelva a ser reutilizada. Todo ello con reducir lo máximo posible el consumo energético y de recursos, y a ello se le suma que la misma será construida con materiales locales que no sólo reducen el tiempo de construcción, sino que simplifican el montaje de la estructura.

El Aeropuerto, como se ha dicho, será construido para representar el concepto de eficiencia de los aeropuertos a nivel mundial. Con el conjunto de medidas que se plantean, la mayoría enfocadas a la reducción y al control de gasto introduciendo energías verdes, ha sido puntuado con un valor de 88/110 puntos en la escala LEED.

Algunas de las medidas que hasta ahora no han sido citadas, contemplan el **tratamiento de las aguas residuales**, el **calentamiento del agua con energía solar**, el uso de

electricidad generada con biogas y el uso y plantación de vegetación autóctona para evitar gastos extra de agua.

Con todo ello, el Aeropuerto de México será el primero fuera de Europa en tener una huella de carbono neutra al reducir un 40 % su consumo eléctrico y abastecerse de energía limpia. Dichos datos quedan expresados en la figura 3.14.

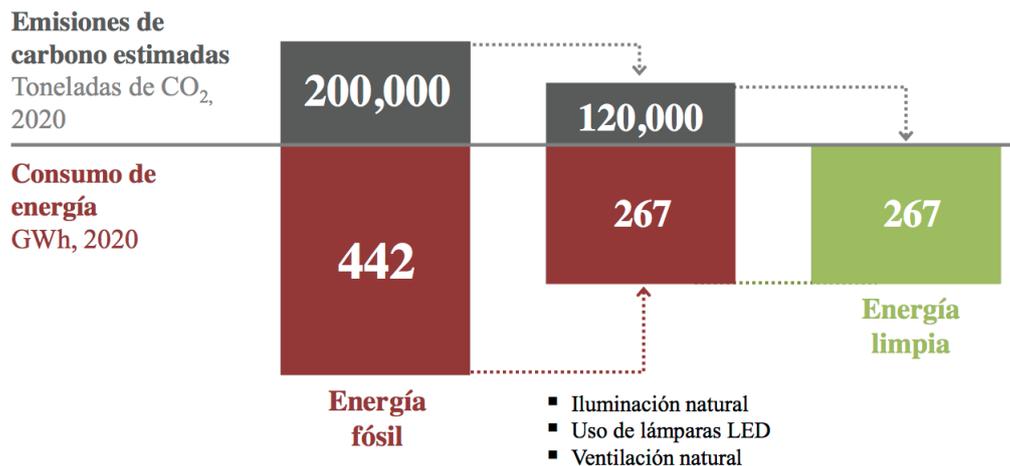


Figura 3.14: Consumos de energía del nuevo Aeropuerto de México y emisiones de CO₂.

Donde como se observa, con la reducción de los consumos energéticos y su producción de energía limpia se consigue eliminar por completo la emisión de gases de efecto invernadero.

De igual modo, la electricidad que la Terminal necesita para funcionar con normalidad 267 GWh, que serán obtenidos a partir de instalaciones de placas solares, capaces de producir 25 GWh y de las reservas de los rellenos sanitarios de los que se permite la generación de Biogás. En este caso se prevee que se pueda generar unos 242 GWh, supliendo así el hueco energético hasta llegar a la cantidad de electricidad necesaria.

Gracias a la construcción del Aeropuerto, se rescatarán zonas desprovistas de vegetación mediante un programa de restauración ecológica para crear un conjunto de áreas verdes y arboladas con una superficie de unas 3.000 ha., y además, dado que los recursos hídricos de la zona se han visto mermados con el paso del tiempo, se introduce un programa de reutilización de agua en el aeropuerto, en el que de los 8.000 m³ de agua que se estima se necesitarán en 2020 por día, se reduzca el consumo en torno a un 32 %, concretamente, unos 2.600 m³/día, y que de la cantidad con la que finalmente se abastezca el aeropuerto, únicamente 1.700 m³/día sean potables y los 3.700 m³/día restantes no lo sean, pudiendo ser esta agua reciclable. Dichas cantidades vienen expresadas de manera más clara en la figura 3.15.

Con todo ello, se prevee que el Aeropuerto de México sea el más ecológico y sustentable del mundo.

En la referencia [11] se encuentra gran parte de la información analizada para conocer las medidas acometidas en el Aeropuerto de Nuevo México.

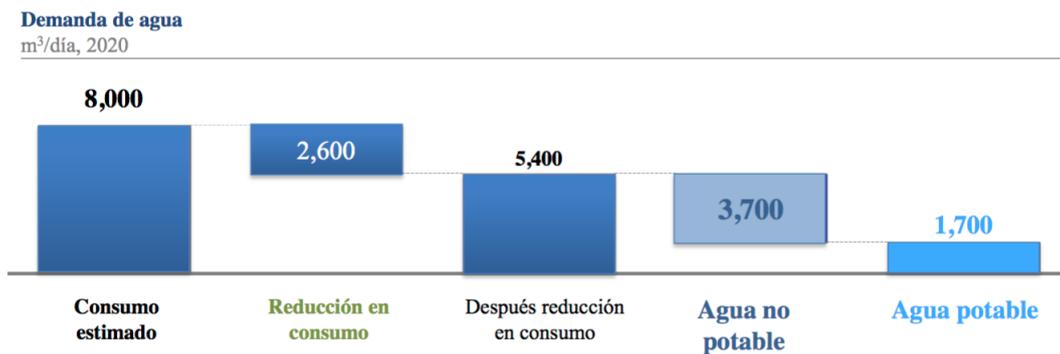


Figura 3.15: Consumos de agua del nuevo Aeropuerto de México.

3.2.6. Aeropuerto de Chandigarh

El Aeropuerto Internacional de Chandigarh, en India, cuenta con una nueva Terminal de pasajeros Sostenible, siendo el primer aeropuerto del país que es completamente verde. Dicha Terminal de pasajeros representa el comienzo de lo que podría marcar el futuro rediseño de las Terminales de pasajeros del país.

El aeropuerto de Chandigarh se encuentra en la ciudad de Chandigarh, estado de Punjab, Haryana and Himachal Pradesh. La Terminal de dicho aeropuerto, se diseñó desde el primer momento como una Terminal verde, y con ello, se consiguió poner a punto una superficie de unos 53.000 m² en los que no solo se realizan vuelo nacionales, sino también internacionales.

Como algunos de los ya citados aeropuertos en este mismo capítulo, la Terminal del Aeropuerto de Chandigarh trata de eliminar todos aquellos dispositivos y tecnologías que no sólo hacen más artificial el entorno, sino que también lo dañan. Por ejemplo, las grandes superficies de focos artificiales son reemplazados por lucernarias naturales. Con ello, se consigue que dichas luces artificiales no sean necesarias durante el periodo diurno.

Las grandes aperturas con que cuenta la Terminal se muestran en la figura 3.16.

Sin embargo, la característica principal que hace de esta Terminal una eficiente, es la gran fachada de cristal de la que dispone el edificio. Una gran fachada que permite que la luz pueda atravesar el murado y con ello iluminar perfectamente la Terminal, pero que además se caracteriza por ser un cristal con una baja conducción térmica, que sirve de aislante y reduce la necesidad de utilizar la climatización en gran medida. Se elimina así uno de los principales problemas asociados a los edificios que usan fachadas acristaladas. Dicha fachada se muestra en la figura 3.17.

Junto a todo esto, en el interior de la Terminal se han plantado zonas verdes para así hacer del habitáculo uno más atractivo y verde. Por otro lado, y para suplir las necesidades energéticas del edificio, todo el techado de la Terminal se ha cubierto con un sistema fotovoltaico que genera 200 kWh, suficiente para abastecerse por completo. Junto a esto, las luces de la Terminal, así como del aeropuerto en su conjunto, se han sustituido en un 40% por luces tipo LED, y los aparatos de refrigeración, como el aire acondicionado, se han sustituido por máquinas eficientes, con el objetivo de reducir el impacto en lo máximo posible.



Figura 3.16: Lucernarias de la Terminal de pasajeros de Chandigarh

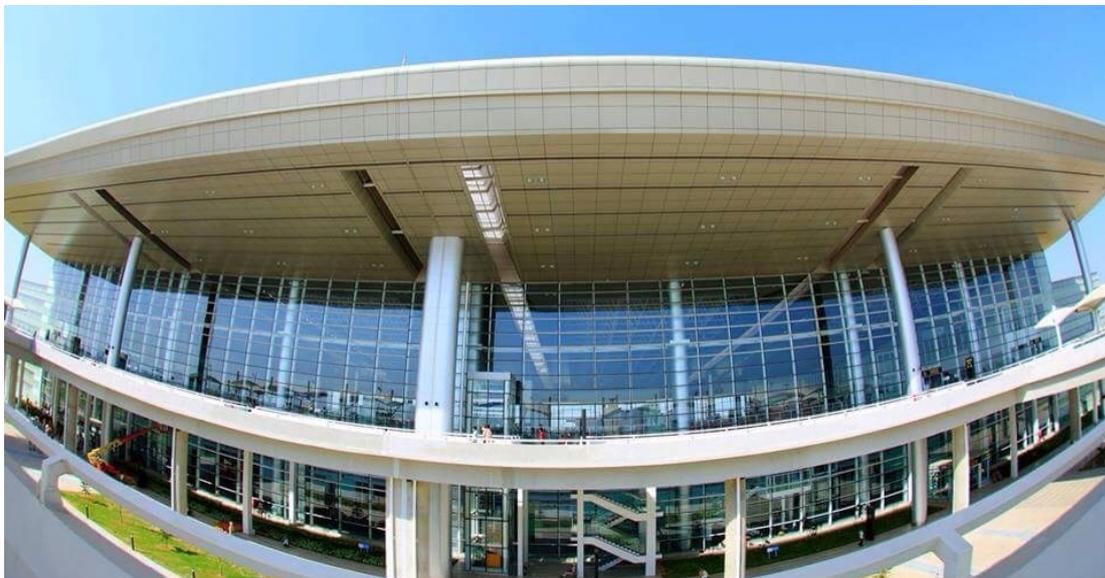


Figura 3.17: Fachada acristalada de la Terminal de pasajeros de Chandigarh

Con la instalación de la planta fotovoltaica, una vez se le permita funcionar al 100 % será capaz de generar 8,4 millones de unidades de energía, y en contrapartida, eliminar más de 8.000 toneladas de Dióxido de Carbono anualmente. Con todo ello, se conseguirá reducir el coste de la energía que necesita el aeropuerto en un 20 %. El sistema en su totalidad generará

5 MWh de potencia eléctrica.

La Terminal representa un nuevo estandar para aquellos aeropuertos que decidan renovarse mediante la utilización de tecnologías verdes. Por ejemplo, y a parte de las ya comentadas tecnologías, se utilizan bloques de ceniza del 55, paredes huecas, techos aislantes, así como sensores de lluvia para poner en marcha un sistema de recolección de agua de lluvia que será tratada en la planta de tratamiento de agua de que dispone la Terminal, como se cuenta en la referencia [12].

3.3. Modificaciones acometidas en el Aeropuerto de Valencia

Conocidas algunas de las medidas que se utilizan de manera habitual en algunas de las terminales catalogadas como eficientes o sustentables, se estudiarán no solo las ya citadas, sino también algunas otras medidas que también pueden servir para obtener energía a partir de los recursos naturales que están a disposición de todos en el medio. Todo ello en el siguiente capítulo, pero antes es imprescindible conocer cuál es el estado actual, en lo que a reformas que ayudan al consumo de energía y emisiones se refiere, del Aeropuerto de Valencia.

4

Modificaciones acometidas y análisis de viabilidad

Para comenzar con la evaluación de las medidas a aplicar en el Aeropuerto de Valencia para conseguir la reducción de consumos deseada, se ha de estudiar si actualmente se están aplicando medidas sostenibles en el Aeropuerto de Valencia. Para ello, se analizará en detalle el documento de gestión ambiental del mismo, y con ello, las medidas que actualmente se están aplicando, así como las que ya se encuentran en fase de planificación, en caso de que existan.

4.1. Medidas vigentes en el plan actual del Aeropuerto de Valencia

Las medidas se pueden clasificar atendiendo a la siguiente tipología: Medidas operativas, medidas de concienciación y medidas de sustitución de los viejos sistemas por otros.

Todas estas medidas, que en su mayoría hacen referencia a actuaciones sobre los consumos eléctricos, de una u otra manera, se están aplicando en la parte exterior del aeropuerto. Éstas se detallan a continuación.

4.1.1. Medidas operativas o de procedimiento

Las medidas operativas o de procedimiento son aquellas en las que se corrigen ciertos aspectos operacionales en la parte exterior de la Terminal y plataformas. Algunas de las medidas aplicadas son las siguientes:

- Procedimientos que reduzcan el consumo de energía en el área de maniobras del Aeropuerto de Valencia.
- Procedimientos para la reducción del consumo de energía en las plataformas del Aeropuerto de Valencia.

4.1.2. Medidas de concienciación

Las medidas de concienciación son aquellas que tienen que ver con medidas más de aplicación a nivel de usuario, que a nivel estratégico. En este subtipo se han englobado las siguientes medidas:

- Apagados parciales del Edificio Terminal de forma manual.
- Instalar indicativos para incitar al uso racional de la energía.

4.1.3. Medidas de sustitución

Las medidas de sustitución de dispositivos por otros de bajo consumo son aquellas medidas que tienen que ver con la sustitución de equipos obsoletos con alto impacto energético. Entre éstas, se han adoptado las siguientes medidas:

- Instalar reductores de flujo unitario y globales en el alumbrado exterior no aeronáutico. Con ellos se consiguen dos cosas, primeramente, equilibrar la tensión de alimentación de los equipos y, en segundo lugar, reducir las tensiones de los mismos a fin de reducir el consumo en ciertos periodos.
- Instalar reductores de flujo unitarios en el alumbrado interior de la Terminal de Pasajeros.
- Instalar lámparas de bajo consumo en lugar de las antiguas lámparas.

Se han llevado a cabo otras medidas como, por ejemplo, **medidas de diseño**.

4.1.4. Técnicas de diseño de sistemas eléctricos

Éstas son todas aquellas medidas que tienen que ver con la instalación de sistemas que hacen a los sistemas eléctricos convencionales más inteligentes. Entre ellas, se destacan:

- Encendidos automáticos de alumbrados exteriores por órdenes de actuación de dispositivos instalados que reconocen el ocaso y el orto.
- Encendidos automáticos de alumbrados interiores por órdenes de actuación de dispositivos que reconocen presencia humana o movimiento.
- Apagados automáticos de alumbrados interiores por órdenes de actuación de dispositivos programables.
- Apagados automáticos de alumbrados exteriores no aeronáuticos por órdenes de actuación de dispositivos programables.

4.1.5. Diseño de los sistemas de alumbrado interiores del edificio de aviación regional

De nuevo se trata de medidas que tienen la finalidad de hacer del sistema de alumbrado un sistema más autónomo e inteligente:

- Sistema autómatas programable de última generación de la marca Schneider (modelo TWIDO).
- Uso de una fotocélula para el control de la iluminación de todas las zonas.

4.1.6. Medidas de reducción general del consumo eléctrico

Aparte de las medidas ya mencionadas, se han aplicado otras medidas que aplican a una reducción general del consumo energético en la Terminal y alrededores. Entre estas medidas se encuentran las siguientes:

- Completar la red de contadores e integrar su medición y gestión.
- Mejorar los factores de potencia (de 0,95 a 0,97).
- Optimizar los servicios de climatización (control de temperaturas en espacios de uso público y administrativo).
- Separación física del acceso al metro desde el edificio terminal.

Las medidas más destacadas son las correspondientes a la sustitución por luminarias LED las bombillas del edificio administrativo, la incorporación de señalización iluminada con LED en la T2, y en el cartel de la puerta principal de llegadas a la T1, así como la instalación de sensores monitorizados de temperatura y humedad en el edificio terminal.

Con todas estas medidas se han conseguido reducciones del consumo de energía bastante considerables hasta el momento. Concretamente, una media de ahorro o reducción del 28% mensual, que equivaldría a unos 349.400 kWh anuales sólo en el nuevo Edificio Terminal de Aviación Regional. La comparativa entre el consumo anterior y el nuevo consumo se muestra en la figura Comparativa 4.1.

4.1.7. Gestión de los residuos

Junto a las medidas anteriores, destinadas a la reducción de consumos energéticos, actualmente se han aplicado otras medidas que hacen del aeropuerto una infraestructura más respetuosa con el medio ambiente. Entre estas medidas se encuentran:

- Un uso más racional del papel que ha llevado a la utilización de papel reciclado en un 100% desde el año 2011, eliminando el uso del papel virgen.
- Se ha optado también por llevar a cabo una mejora de la segregación y gestión de los residuos, tanto de los peligrosos como de los no peligrosos, ya que, gracias a la correcta gestión de los mismos, se puede evitar o incluso reducir en gran medida el impacto ambiental.

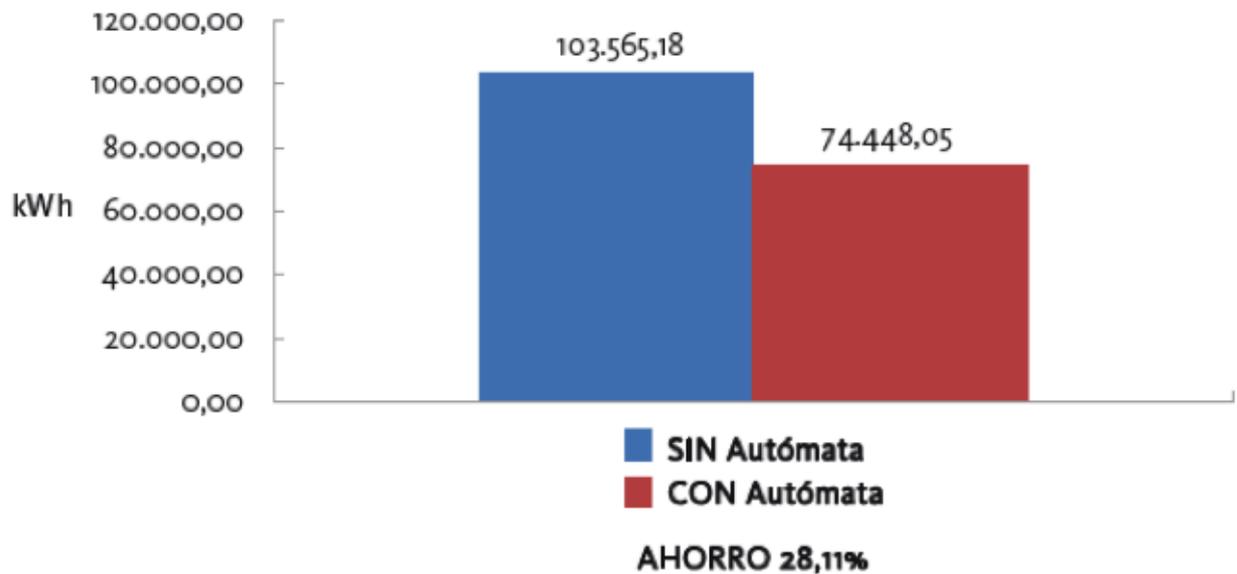


Figura 4.1: Comparativa de la reducción de consumos en nuevo Edificio de Aviación Regional del Aeropuerto de Valencia.

4.1.8. Gestión de las aguas y prevención de contaminación

El aeropuerto de Valencia cuenta con 10 separadores de hidrocarburos en sus instalaciones. Gracias a ello, más de las dos terceras partes de las superficies construidas e impermeables del aeropuerto disponen de una zona de recogida de agua de escorrentía y de las aguas de lavado que pudieran arrastrar aceites y grasas para que puedan ser correctamente aisladas y tratadas. Con ello se ha conseguido que casi el 70 % de la superficie de plataforma esté equipada con dichos sistemas, mientras que únicamente el 30 % restante no lo esté. En estos porcentajes se incluye la ampliación de la superficie de la plataforma que se llevó a cabo en el año 2011.

Por otro lado, y desde el año 2009, se habilitó una nueva estación depuradora de aguas residuales que permite dar cumplimiento a los parámetros de vertido a dominio público hidráulico.

Todas las medidas vigentes actualmente aplicadas en el Aeropuerto de Valencia, tanto en la Terminal de pasajeros, como en el resto de la infraestructura, se recogen detalladamente en el Plan director del Aeropuerto de Valencia (Referencia [1]).

4.2. Propuestas de medidas con potencial aplicación en el Aeropuerto de Valencia de ámbito sostenible

Una vez se han estudiado la situación actual y las medidas que se están aplicando en el Aeropuerto de Valencia, se propondrán medidas que ayuden a generar energía o reducir el consumo principalmente en las inmediaciones de la Terminal de pasajeros, aunque puedan

afectar a la Infraestructura de manera global.

Dichas medidas versarán **principalmente sobre la capacidad de generar electricidad limpia para reducir la dependencia del Aeropuerto respecto del consumo de electricidad producida externamente.**

Tras la descripción de todas las medidas que se propongan, se estudiará cuál es la posible idoneidad de cada una de ellas, y para decidirlo, se detallará un listado de Indicadores o Key Performance Indicators (KPI en adelante), con los que se estudiará no sólo la cantidad potencial de energía que dichos sistemas pueden llegar a producir, sino también la cantidad en % de energía que conseguirían ahorrar, el coste de aplicación y amortización de dicha tecnología. En definitiva, el impacto total que producen en el entorno.

En base a un estudio comparativo de dichos KPIs, se establecerá un criterio de idoneidad y se establecerán cuáles serían las más apropiadas y por tanto las medidas que finalmente serán aplicadas.

4.2.1. Generadores eléctricos de pila de hidrógeno con cogeneración

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos en los que se suministra un oxidante de manera continuada, favoreciendo que se produzca una reacción entre el oxidante y el reductor de manera controlada, dando así lugar a los productos. Con estos productos se da suministro de manera directa a un circuito externo. Este circuito es el que se conecta a la pila para ser alimentado.

El funcionamiento del dispositivo es bastante similar al de una batería, con la única diferencia de estar diseñada para permitir el abastecimiento continuo, sin que la energía suministrada cese, a no ser que deje de introducirse oxidante. Es por tanto una batería de flujo continuo. De esta manera se elimina la limitación que las baterías tienen en almacenamiento, además del carácter inestable de los electrones presentes en las mismas, que cambiarían de estado o comportamiento dependiendo de cómo de cargada se encuentre la batería.

En contrapartida, en la pila de hidrógeno, los electrodos presentes en las celdas de combustible son catalíticos y relativamente estables.

Por otro lado, dado que no se produce ningún tipo de reacción química en el proceso, se puede considerar como una reacción limpia y eficiente. Tanto es así que, comparado con una máquina térmica, donde los rendimientos pueden llegar a oscilar entre el 40 % y el 50 %, en el caso de las pilas de combustible las eficiencias oscilan en torno al 60 % pero pueden incluso llegar a ser del 90 %, cuando se emplea la **cogeneración**.

Con este sistema no sólo se optimiza el proceso de generación de energía, reduciendo al máximo las emisiones de contaminantes a la atmósfera, sino que también ofrecen cierta flexibilidad a la hora de poner el sistema en marcha, pues a la hora de suministrar el oxidante, éste puede ser cualquier sustancia que se reduzca en el cátodo, y el reductor, cualquier sustancia que se oxide de manera controlada en el ánodo.

Existen varios tipos de pilas de combustible que se utilizan dependiendo del uso para el que esté destinada. Para la alimentación de la Terminal de pasajeros del aeropuerto de Valencia, dado que se trata de una infraestructura estática, un ejemplo de pila utilizable sería la de **carbonato fundido (MCFC)**, que permite generar potencias suficientes como para pensar que puede llegar a ser útil en la instalación en el Aeropuerto. Están formadas por un electrolito de carbonatos alcalinos sobre una matriz cerámica, y un catalizador. Las temperatura de operación son superiores a 600°C e inferiores a los 800°C . Sin embargo, uno de los aspectos negativos que tiene este tipo de sistemas es que, debido a las elevadas temperaturas de operación, pueden ocasionarse problemas de corrosión.

La representación de las pilas que se han descrito en el párrafo anterior, se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2: Pila de carbonato fundido.

El principio básico de operación de este tipo de pilas se basa en la transformación del combustible en hidrógeno dentro de la propia pila, debido a dichas temperaturas de operación y generar como único residuo agua, tras un proceso en el que se interactúa con oxígeno como comburente. Además, estas pilas pueden llegar a utilizar como combustibles óxidos de carbono, lo que las hace propicias para poder ser alimentadas con gases que provengan del carbón.

Pero lo realmente interesante en este tipo de pilas, las de carbonato fundido (MCFC), es que, gracias a sus temperaturas de operación **se pueden utilizar conjuntamente con sistemas de cogeneración**. Por ello, el sistema conjunto permite dos cosas:

- Reutilizar el calor que se genera en el proceso; resulta mucho más eficiente, generar electricidad y reutilizar el calor sobrante en el mismo proceso, que hacerlo por separado

a través de dos sistemas independientes.

- Utilizar combustibles no tan ricos en hidrógeno como los que necesitan otro tipo de pilas.

Este tipo de pilas de combustible son escalables, por lo que pueden instalarse para que generen potencias que vayan desde los 300 kW, hasta los 2,8 MW, viéndose reducidos los costes de instalación por kW cuanto mayor sea la potencia del módulo. Sin embargo, cuando se construye una planta de esta índole, tienen una configuración que es común, disponiendo de tres partes que dan soporte a la pila en sí:

- **Módulo mecánico**, que es el encargado de adecuar el combustible utilizado a las necesidades termoquímicas de la pila.
- **Módulo eléctrico**, que adecúa la salida del sistema a las necesidades eléctricas del sistema al que se alimenta.
- **Sistema de Control de Planta**, que es el encargado de integrar y gobernar los distintos módulos, así como de gestionar el aprovechamiento energético del sistema.

Estos sistemas poseen una serie de capacidades y características que los hacen atractivos, como su fiabilidad y sus largos períodos de vida útil. Además, permiten que la energía pueda ser generada en el mismo lugar en que se quiera suministrar la misma, consiguiendo grandes eficiencias y gozando de unas bajas emisiones acústicas y de efecto invernadero. Pero la más importante, es que permiten un funcionamiento continuado, no intermitente, ya que esto además favorece la vida del sistema.

Para hacerse una idea de los órdenes de magnitud que se consiguen, en la tabla 4.1 se muestra una comparativa de varios sistemas de generación de electricidad.

Variable de Análisis	MCFC	Fotovoltaica	Eólica
Potencia Instalada (MW)	2,8	16	18
Factor de Capacidad	98 %	27,5 %	25 %
Energía Generada (MWh/año)	38.700	38.544	38.700
Superficie Ocupada (ha/MW)	0,0179	5	25
Emisiones Evitadas (ToneqCO ₂ / Año / MW)	6.178	530	473

Cuadro 4.1: Comparativa en términos de emisiones de medidas de generación limpia respecto a MCFC.

Donde como se observa, por motivos de disponibilidad y bajas emisiones, las pilas de combustible con cogeneración pueden llegar a ser mucho más interesantes que otras medidas de generación verde (120 ToneqCO₂ = 1ha de Bosque).

Toda la información referente a las pilas de combustible de carbonato fundido, con sistemas de cogeneración, ha sido obtenida de diversas fuentes, entre las que se han seleccionado las referencias [13], [14], [15] y [16].

4.2.2. Generadores eléctricos con un sistema de reducción de velocidad hidráulico

Otra de las medias que se proponen para generar energía sostenible son **los reductores de velocidad hidráulicos**. En este caso, se trata de reductores como los que se utilizan en las carreteras convencionales destinados a obligar al conductor a reducir la velocidad, pero con la singularidad de que estos pueden aprovechar el paso de los coches por encima para generar impulsos eléctricos que carguen una batería o bien que suministren corriente a un circuito cerrado, gracias a un sistema hidráulico que instalan en el interior con alta resistencia a fatiga.

Este sistema de reductores desarrolla todo su potencial en zonas de alto tránsito de vehículos como pueden ser las zonas destinadas al acceso y salida de vehículos en las inmediaciones del aeropuerto. En estas zonas, gracias al continuo flujo tanto de taxis como de vehículos privados, así como al tráfico de vehículos que acceden a las zonas de parking colindantes a la terminal, se estaría contribuyendo a la utilización de dichas cantidades de energía que previamente estarían siendo desaprovechadas. Otras zonas como la zona interior de los parkings, o incluso en las líneas de acceso a las plazas de parking pueden resultar interesantes para una potencial colocación. Las carreteras que conducen hacia las distintas zonas e infraestructuras del aeropuerto, podrían ser también zonas aptas para la colocación de dichos sistemas.

El sistema funciona como una especie de balancín, que cambia de posición vertical con el paso del vehículo, siendo dicho movimiento individual para cada una de las placas que conforman el sistema. Concretamente son cuatro. Las placas superiores están conectadas con el resto del sistema a través de cilindros que funcionan con aceite. Tras el paso del vehículo, el aceite disponible en el circuito hidráulico se almacena a presión en el acumulador hidráulico, que una vez se encuentra lleno, se manda hacia una válvula direccional, que controla el motor hidráulico, interactuando además válvulas check. Dicho motor es el que finalmente acciona el generador eléctrico del sistema, que trabajará con una intensidad directamente proporcional al peso del vehículo y la deformación sufrida.

Tras todo ello, una vez el vehículo pasa por el reductor de velocidad, y el sistema ha realizado su función, gracias a dos resortes, uno colocado en cada una de las patas del balancín, éste retoma su posición inicial y queda listo para que el sistema pueda ser accionado de nuevo. El sistema de reducción de velocidad se muestra en la figura 4.3.

Hablando en términos de capacidad de producción energética, el sistema es capaz de convertir el simple paso de un vehículo por los balancines en energía suficiente para encender una bombilla de 100 W durante 30 segundos. Escalado a la potencia capaz de consumir en una hora, rondaría 12 kWh, funcionando de manera continua.

Su instalación es simple, de hecho para instalarlo es únicamente necesario hacer un pequeño hueco en la calzada del tamaño del sistema, que por otro lado vendría montado en una única pieza, y conectarlo a la batería o a los sistemas que se quisiera alimentar. Además, el sistema es capaz de almacenar datos acerca del tipo de tráfico que pasa por la zona en que el mismo se instala, como, por ejemplo, del peso del vehículo, del tamaño y del tiempo de paso por el badén, así como la energía que dicho paso ha generado. En casos de emergencia, donde por dichos motivos los vehículos tengan que circular a mayor velocidad y por ende el



Figura 4.3: Representación del sistema de reducción de velocidad capaz de generar electricidad

sistema pueda dificultar el paso o incluso retrasar cualesquiera que fueran las operaciones a ejecutar, el sistema cuenta con la opción de ser desactivado y colocado al nivel de la calzada. Se recordará que el sistema cuenta con con las capacidades de todos los sistemas hidráulicos, y por consiguiente, de variar su altura.

La información referente a los sistemas de generación de energía por medio de reductores de velocidad, se referencian en [17].

4.2.3. Generación de electricidad aprovechando la superficie pavimentada

Sistemas piezoeléctricos generadores

Las carreteras capaces de aprovechar el tránsito de los vehículos para generar electricidad es otra de las medidas puestas en el punto de mira para su análisis. Aunque pudiera parecer en cierta manera similar al sistema de reducción de velocidad anteriormente descrito, no guardan relación alguna, pues en este caso, la escalabilidad de la medida es mucho mayor.

Dicho sistema se basa en la instalación de unos subsistemas de generación sobre una capa debajo del asfalto, y a una profundidad media de unos 5 centímetros. Todo ello con el fin de que con el paso de los vehículos, y gracias a la presión que éstos ejercen sobre el asfalto por la acción de la gravedad, se accionen los subsistemas de generación piezoeléctricos, y dicha presión se convierta en energía eléctrica que pueda ser reutilizada.

El sistema basa su funcionamiento en las propiedades elásticas de los materiales que lo conforman. Comúnmente se les conoce como propiedades piezoeléctricas, y gracias a ellas, cuando se aplica presión sobre los mismos, estrujando físicamente el cristal, éstos mismos cristales sufren una polarización contraria a la inicial en todo su volumen, produciendo una diferencia de potencial y por tanto de cargas eléctricas.

La versatilidad del sistema es amplia, pues permite que dicha electricidad pueda ser directamente vertida al circuito al que se decida alimentar, o de lo contrario, a una batería que pueda almacenar dicha energía para ser utilizada con posterioridad.

En términos de generación, la tecnología es capaz de generar una cantidad de potencia por kilómetro de carretera lo suficientemente grande para alimentar a 8 vehículos eléctricos. Unos 400 kWh por kilómetro.

Para hacerse una idea de cuál es el **coste medio de dicha tecnología**, cabe destacar que, para cubrir un kilómetro de carretera con este sistema, se necesitaría una media de 6250 generadores con un coste medio de seiscientos mil dólares. Éste podría ser uno de los principales elementos limitadores.

Estos datos, comparados con los consumos medios de un hogar que al año necesita 4000 kWh, según IDEA, hacen de la tecnología una tecnología muy interesante.

Una vez instalados, si se contase con un tráfico medio de 600 vehículos a la hora, viajando a una velocidad de 72 km/h, el sistema sería capaz de generar alrededor de 200 kWh.

Como ventajas suplementarias a las ya citadas, la energía que se produce puede ser inmediatamente almacenada o consumida, eliminando el proceso de transporte de la misma que es, de todos, el proceso que más pérdidas ocasiona. Además, aspectos como el casi nulo mantenimiento de la tecnología, ya que la vida de los generadores ronda los 30 años de utilidad, se suma a la imposibilidad de que el sistema pueda ser sustraído o a que se dé un deterioro.

La representación del sistema viene dada en la figura 4.4.

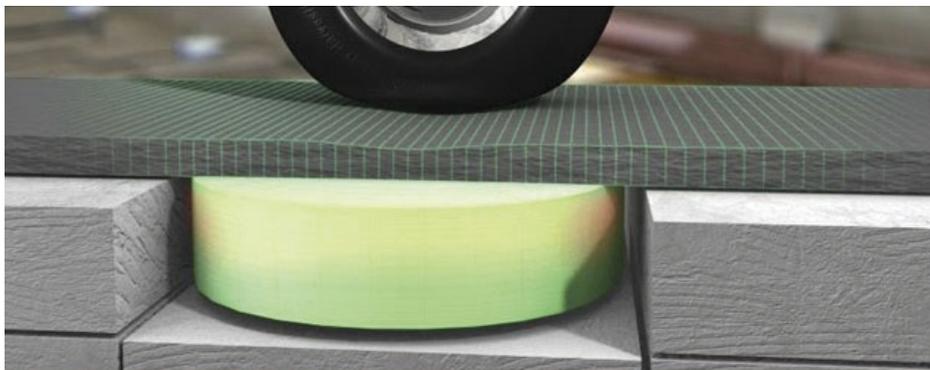


Figura 4.4: Representación del fundamento del sistema de generación de electricidad a partir de propiedades piezoeléctricas

Sistemas de generación fotovoltaicos instalados en pavimentos

Esta tecnología se fundamenta en el accionamiento de un sistema fotovoltaico, principio idéntico al de las placas solares. Sin embargo, con el desarrollo de dicha tecnología, muchas de las superficies que en principio se disponen únicamente para el tránsito de vehículos, se convertirían en superficies generadoras de energía eléctrica a partir del sol.

La sistemática de dicha aplicación es sencilla, pues se trata de instalar placas solares en el pavimento, ya sea sobre el propio pavimento, o bien en un subsistema donde éstas conformen una parte del mismo.

Cuando el sistema se instala sobre el pavimento, éste se compondría de celdas de 30x30 cm que recogerían la energía del sol proveniente de la radiación. En este caso las placas estarían compuestas de tres capas: la primera capa, que sería la capa en contacto con todos aquellos vehículos que circularan por dicho pavimento, estaría fabricada de un material resistente y rugoso pero lo suficientemente translúcido para dejar pasar la luz del sol, evitando así reducir drásticamente el rendimiento. Esta capa incluye además elementos calefactores para que en caso de tener temperaturas demasiado bajas, donde se formasen capas de hielo que redujesen la adherencia o que incluso incapacitaran el transcurso normal por el mismo, pudieran ayudar a devolver unas condiciones óptimas de circulación. A este sistema se le sumaría la presencia de sistemas de iluminación LED, que ayudarían a la correcta iluminación de las señalizaciones sobre el pavimento.

Bajo la primera capa, encontraría una segunda donde residirían las células solares. Esta capa sería la encargada de aprovechar toda la radiación anteriormente filtrada a través de la primera capa y transformarla en electricidad aprovechable. Ésta se protege además gracias a la primera capa.

Por último, se encuentra la tercera capa, donde se albergan los sistemas que hacen posible la distribución de la energía acumulada a la red eléctrica la que se encuentre conectado el sistema.

Pese a considerarse una tecnología costosa en cierta medida, por los altos costes de producción, en términos de generación eléctrica, pueden llegar a ser lo suficientemente potentes si se tiene en cuenta la superficie pavimentada disponible, así como las horas de sol con las que se cuenta para que dicho sistema aproveche las radiaciones.

Dicho sistema se representa en la figura 4.5.

Cuando dicha tecnología se dispone para ser instalada en el pavimento, se distribuye de tal manera que se conforma con módulos de pavimento tipo sándwich, compuestos por varias capas. Dichos módulos gozan de unas medidas de 4 metros de ancho por 4 de largo, donde sus capas se caracterizan por ser especiales en cuanto a sus propiedades. La primera capa, aunque transparente, es lo suficientemente robusta como para soportar las cargas provocadas por el paso de los vehículos. Dicha capa además se caracteriza por gozar de propiedades antideslizantes para permitir el paso del tráfico rodado en condiciones de total seguridad. La segunda capa permite el paso de la radiación solar. La tercera capa es la que contiene las placas solares como tal. La cuarta capa se compondría de una caja que integra los componentes y que distribuye la fuerza mecánica al suelo.

Para cada módulo, con las medidas anteriormente expuestas, se debe tener en cuenta que de manera aproximada son capaces de arrojar unos valores de producción de 7,6 kW/h al día, dando un total de 2,774 MW por año y panel. Todo ello teniendo en cuenta que los paneles tendrían un funcionamiento equivalente al 100% durante 4 horas, dentro de un equivalente

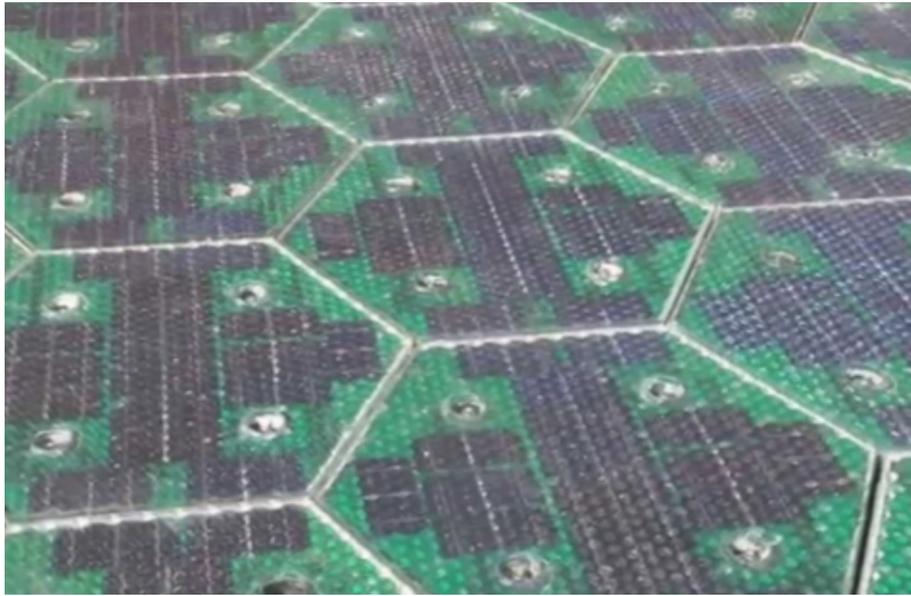


Figura 4.5: Representación de un sistema de generación fotovoltaico resistente al tráfico y de aplicación en pavimentos

de 20 horas de sol aprovechables al día en total

Con estas cifras, se estima que el coste medio por kilómetro de carretera, se podría acercar a los 3 millones de euros.

4.2.4. Generación de energía eléctrica a través de turbinas de tamaño medio

En aquellos lugares caracterizados por grandes tasas de tráfico rodado, es mucha la energía desperdiciada fruto del movimiento de los vehículos, pues las estelas turbulentas que dejan a su paso pueden ser aprovechadas para generar energía eléctrica.

Partiendo de esta premisa nace la idea de aprovechar la energía proveniente del movimiento a través de la colocación de pequeñas turbinas.

Colocadas en pilones de 2.4 a 6 metros, dependiendo del tamaño, y con una pequeña turbina giratoria con forma helicoidal en el extremo de la misma, éste sistema es capaz de generar energía limpia.

La configuración del sistema es algo singular, se compone de dos cuerpos de aspas independientes, que tienen el objetivo de aprovechar tanto las rachas de alta velocidad, como las rachas de menores intensidades. **Este sistema se denomina Darrieus-Savonius**, y el precio del sistema por unidad ronda los 1.000 euros. Algunos de estos sistemas son capaces de recuperar unos 300euros al año.

Según estimaciones y pruebas iniciales, obteniendo tasas de generación anuales del orden de 5kW de energía por unidad al año, aunque nuevamente dependerá del tamaño del sistema. Con dichas tasas de producción, su ratio de **amortización ronda los cuatro años**, siendo de 10 años la tasa de vida útil media. Por lo tanto, El 60 % de su vida útil sería un generador de energía limpia a coste nulo.

El sistema está diseñado no sólo para aprovechar el viento proveniente del movimiento de vehículos, sino también ráfagas de intensidad menor.

Para hacerse una idea de la escalabilidad del sistema, en términos de inversión, si se llevase a cabo un proyecto en la autovía de Madrid a Barcelona, y se colocasen molinos cada 10 metros, el coste del mismo ascendería a unos 72 millones de euros, y la cantidad invertida podría ser recuperada en menos de 5 años. Gracias al proyecto se podrían entregar unos 325 MW a la red eléctrica al año, siendo una cifra bastante considerable.

El sistema en cuestión se muestra en la figura 4.6.

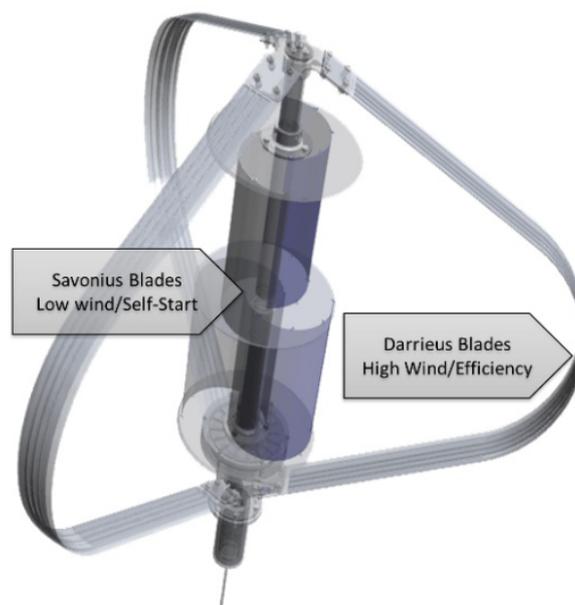


Figura 4.6: Turbinas Darrieus-Savonius, generadoras de energía eléctrica a partir del movimiento de los vehículos.

Por otro lado, el ruido que este tipo de sistemas emiten es prácticamente nulo, por lo que la contaminación acústica es inexistente, si se compara con el impacto que genera el tráfico de vehículo o de aeronaves.

Ambos sistemas se han estudiado en base a varias referencias recogidas en la bibliografía, al final del proyecto (referencias [18], [19] y [20]).

4.2.5. Climatización geotérmica de la Terminal de pasajeros

Se plantea el uso de un sistema alternativo a los tradicionales de refrigeración, mediante el aprovechamiento de la energía proveniente del interior de la tierra. Éste es el principio básico en que se basa un modo de refrigeración que puede llegar a conseguir reducciones en consumos energéticos de hasta el 80 %, como siempre, dependiendo de la aplicación.

Esto se debe gracias a que bajo tierra, parte de la radiación y energía del sol es almacenada. Por ello, si se excavase, a partir de un par de metros, se vería cómo la temperatura es prácticamente constante durante todo el año, rondando los 15 grados.

La bomba de calor es un sistema que se compone de un conjunto de tuberías por las que transcurre el líquido refrigerante que transporta la energía de un punto a otro, además de contar con un evaporador y un compresor.

El funcionamiento de dicho sistema es sencillo. El sistema cerrado se introduciría a varios metros bajo el suelo, como se comentaba, recogería la energía acumulada y la transportaría hacia arriba. Gracias a dicha energía se calienta el agua contenida en los tubos, que en la parte superior del sistema cedería toda esa energía al líquido refrigerante, provocando su ebullición. En estado ya gaseoso, el refrigerante sería absorbido por un compresor que elevaría la presión y temperatura del mismo y a continuación, pasando por un condensador, se enfriaría y cedería todo ese calor al agua que finalmente transcurriría por los tubos distribuidos por la instalación. El refrigerante sería pues introducido en una válvula de expansión para comenzar con el ciclo de nuevo.

Cuando las temperaturas son altas, en época estival, el ciclo se invierte, y lo que sucedería sería que el calor es absorbido por los tubos desde el exterior, para liberarlo bajo tierra, donde la temperatura es constante.

El sistema de bombas, calderas y tubos del cual se describía el funcionamiento en los párrafos anteriores, se muestra en la figura 4.7.

Su instalación es compleja, pues requiere de movimiento de tierras. Además, para que dicho sistema sea efectivo, se ha de tener en cuenta que por cada m^2 de superficie a climatizar, se incorporen 1.5 m^2 de sistema bajo tierra, como se indica en la bibliografía (referencias [21] y [22]), junto al resto de información relacionada con dicha medida.

El sistema de **climatización geotérmica** pensado para su posible aplicación dentro de la Terminal de pasajeros del Aeropuerto de Valencia, resultaba ser a priori interesante. Sin embargo, ante la imposibilidad de encontrar información fiable para llevar a cabo los cálculos de capacidad de generación del sistema posteriormente, así como las costosas labores de instalación del mismo, se ha decidido no incluir directamente dicho sistema dentro del análisis que se llevará a cabo de manera posteriormente del resto de las medidas.

4.2.6. Generación de electricidad a partir de un sistema de placas solares

Existen multitud de soluciones relacionadas con este tipo de sistemas. En el caso de la Terminal, se han de tener en cuenta una serie de consideraciones.

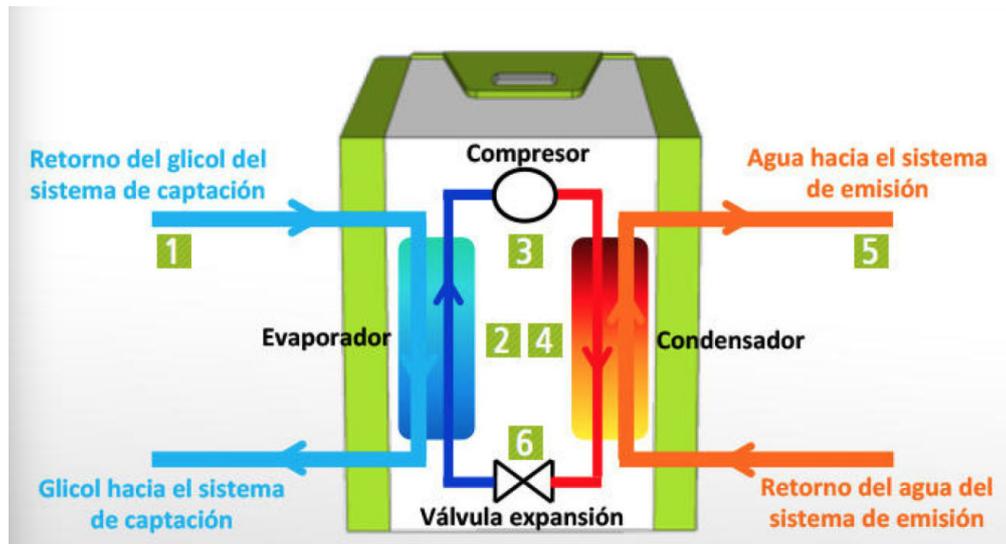


Figura 4.7: Sistema de calefacción natural que basa su funcionamiento en la extracción de energía natural del suelo.

- Primeramente, se trata de un entorno en el que las horas de sol son abundantes, durante todo el año, por lo que se debería aprovechar lo máximo posible dicha condición instalando un sistema con gran capacidad generadora.
- Son muchas las superficies disponibles para instalar este tipo de sistemas.
- Interesa pensar en un sistema que no sólo reduzca el consumo actual de la infraestructura, sino que además otorgue flexibilidad permitiendo que el sistema eléctrico al que se conecta pueda, siempre que así se requiera, funcionar de manera convencional.

Existen varias soluciones disponibles en lo que respecta a sistemas de generación de energía limpia solar, tanto para el consumo de la misma, como para su almacenamiento. Entre ellos, se encuentran los siguientes:

- **Sistemas on-grid:** sistemas compuestos de dos patas. Por un lado, gozan de una parte destinada a la generación de energía a partir del sol y por otro lado, se mantienen conectados a la red eléctrica, de manera que la solución final de lugar a un sistema que intente aprovechar lo mejor de cada una de las fuentes.

Dicho sistema goza de un inversor que permite que, en los momentos en que la generación de electricidad solar sea lo suficiente, el sistema sea capaz de dar alimentación por sí sólo gracias a su capacidad generadora, aunque siempre con la ayuda de la carga acumulada en la batería. En el caso opuesto, cuando la demanda de consumo es superior a la capacidad generadora del sistema, el restante se extrae de la red eléctrica.

En ausencia de sol, la función del inversor es la de permitir el suministro o bien desde la batería o bien desde la red eléctrica. Con la instalación de un sistema on-grid, y

contando con los inversores, que manejan potencias que pueden oscilar desde 1kW a 20kW, pudiendo ampliarse en paralelo, y con 9000 Wh/día de generación promedio de máximo.

- **Sistemas off-grid:** son sistemas que no cuentan con ningún tipo de anclaje a la red eléctrica, sino que se instalan con la idea de generar toda la electricidad a partir de la energía proveniente del sol.

El funcionamiento del sistema es algo más sencillo pues está compuesto únicamente por un sistema de generación y una batería de almacenamiento donde se almacena la energía que se produce.

El uso de estos sistemas se considera interesante para zonas en las que se desee un autoabastecimiento total de energía que provenga del sol, así como donde las potencias de suministro requeridas no sean demasiado grandes. Con todo ello, y dado que el funcionamiento del sistema se basa en alimentar la red a la que se conecta por medio de una batería cargada con la energía que se ha generado, en ocasiones la onda de suministro puede no ser de máxima calidad, llegando a sufrir variaciones, ya que los inversores que se instalan en este tipo de sistemas generan ondas sinusoidales modificadas, a diferencia de un sistema on-grid de manera ocasional.

Las potencias generadas con estos sistemas son menores y rondan como máximo los 2600 Wh/día.

- **Sistemas T-Grid:** son sistemas que tiene como propósito la generación de energía eléctrica limpia utilizando el sol, para después venderla.

Teniendo en cuenta la aplicación de dichos sistemas en condiciones de contorno reales, en este caso sobre una terminal de pasajeros de la que se desea que sea más sostenible, y que no se trata de una propiedad privada, de los tres tipos de sistemas comentados, el primero de ellos es el que se consideraría más idóneo. El sistema **On-Grid**. Instalando un sistema on-grid, no sólo se podría generar energía durante el día, sino que también podría utilizarse en aquellos momentos en los que fuera necesario la energía proveniente de la red eléctrica, como en épocas de alto tránsito o picos de abastecimiento.

La representación del esquema de funcionamiento de dicho sistema muestra en la figura 4.8.

4.2.7. Sistema generador de energía eléctrica piezorresistivo para peatones

En infraestructuras con grandes cantidades de tasa de tráfico de pasajeros, mucha de la energía proveniente de dicho tráfico es desperdiciada.

Con la instalación de un sistema de baldosas capaces de poder aprovechar el tráfico de pasajeros, se pueden conseguir cantidades de energía aceptables para ser destinadas a la explotación de la infraestructura.

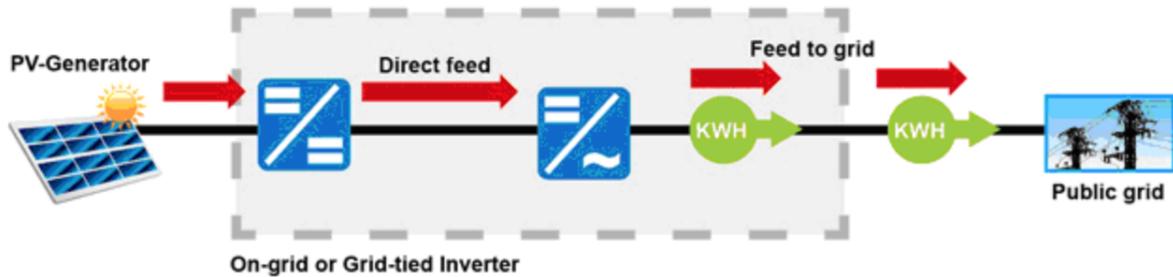


Figura 4.8: Sistema On-Grid de generación de energía con inversor a la red eléctrica.

El sistema se compone de baldosas fabricadas en material especial, con unas medidas de 45x50 cm, con propiedades resistentes a fenómenos y elementos como el agua de lluvia, nieve y hielo. Además, cuentan con una duración mayor a 5 años, siempre dependiendo del uso que dichos elementos tengan. En el mejor de los casos, pueden llegar a durar unos 20 años.

Los materiales que componen dichos sistemas son reciclados en su mayoría, todo ello con el fin de minimizar la huella de carbono. Tanto es así, que el revestimiento de las baldosas se fabrica en goma reciclada de neumáticos, con el fin de permitir que las mismas se deformen unos 5 milímetros cada uso, y, aproximadamente el 80 % de los polímeros utilizados para el resto de los componentes puede ser reciclado tras su vida útil.

En términos de generación de energía, cada una de las baldosas, puede llegar a generar una cantidad de energía de entre 5 y 7 vatios, siempre dependiendo del peso de la persona que las acciona.

Según los cálculos, estos sistemas, correctamente instalados, pueden llegar a generar hasta 20kWh, siempre dependiendo del tránsito.

La representación del sistema de generación de energía a partir del peso de los peatones gracias al sistema de losas piezogeneradoras, se muestra en la figura 4.9.



Figura 4.9: Sistema de generación de energía eléctrica a partir del tránsito de personas.

La información referente a dicho sistema ha sido recogida y referenciada en la bibliografía del documento (referencia [23] y [24]).

4.3. Análisis de las medidas propuestas

En el año 2016, en el Aeropuerto de Valencia se contabilizó un tráfico total de pasajeros de 5.799.104 a lo largo de todo el año. Teniendo en cuenta que cada uno de ellos se estimó que consumió de media 5 kWh, es posible calcular un **consumo eléctrico estimado durante dicho periodo de 28.995.520,00 de kWh** (según fuentes del Ministerio de Fomento).

Sobre los datos de consumo energéticos reales obtenidos desde el Ministerio de Fomento se han llevado a cabo los cálculos en términos de generación energética de cada una de las medidas propuestas, siguiendo con un procedimiento de cálculo en el que se ha obtenido como valor final cuál sería el retorno de la inversión a 5 años de cada una de las medidas. Se ha calculado el ROI de todas las medidas a 5 años, pues a pesar de poder llegar a ser restrictivo, permite conocer cuál es el atractivo de cada medida en función de lo capaces que sean de recuperar la inversión en un periodo de tiempo tan ajustado.

La metodología que se ha seguido para calcular los diferentes parámetros ha sido similar para cada una de las medidas. Con la salvedad de que, dado que la procedencia de los datos técnicos y la diversidad de las medidas eran remarcable, se han llevado a cabo cálculos distintos para obtener las cantidades de energía que cada una produce. Sin embargo, se entrará en detalle en lo referente a dichos cálculos en las subsecciones sucesivas.

Se ha partido de los datos generales de cada sistema, entre los que se encuentran factores de potencia, entendidos como el tiempo en el que un sistema está trabajando a su máxima potencia (potencia nominal), temperaturas de operación, vida útil del sistema, ratios de conversión, capacidad de generación unitaria o superficie a pavimentar. Tras ello, se ha comenzado calculando cuál es la capacidad de generación anual del sistema al año, y, con la misma metodología, se ha calculado la generación desde los años 2 al 5. Sumando dichas cantidades, se consigue un valor de generación a los 5 años.

Por otro lado, teniendo en cuenta el precio del MWh de electricidad en euros, se ha calculado para cada medida cual sería la capacidad de generación de energía eléctrica a los 5 años de operación, expresada en euros. Con dichos valores, y teniendo en cuenta los costes asociados a la operación y mantenimiento anual de cada uno de los sistemas estudiados, es posible obtener el valor neto generado en términos económicos por cada medida en el 5 año de operación.

A parte de la generación de energía, dado que se habla de medidas consideradas sostenibles, se ha calculado para cada uno de los sistemas analizados la cantidad de toneladas de CO2 directamente evitadas o no vertidas a la atmósfera, así como las hectáreas de bosque a las que dicha cantidad de toneladas equivalen. Todo ello gracias a unas variables de conversión referenciadas en [16]. Todo ello, junto a diversidad de datos técnicos, han servido para calcular finalmente el ROI de cada medida, expresado en la ecuación 4.1.

$$ROI(\text{Return of Investment}) = \frac{\text{Generación al 5º año}(e)}{\text{Inversión Inicial}(e)} \quad (4.1)$$

En cuanto a los datos anteriormente mencionados, y que han permitido llevar a cabo el cálculo de tanto las toneladas de CO2 no vertidas, como la superficie total de bosque que se habría evitado devastar, se han utilizado conversores directos que permiten obtener dichas magnitudes a partir de MWh de potencia. Dichos valores son comunes a todos los cálculos, independientemente de la medida analizada, y se muestran en la tabla 4.2.

Conversor MW - Tons CO2 [Tons CO2/ MW]	0,75
Conversor MW - Ha de bosque [Ha/MW]	0,08333
Precio del MWh [€/MWh]	70,3

Cuadro 4.2: Unidades de conversión de MWs a Toneladas de CO2 y Ha de bosque.

4.3.1. Sistema de pila de hidrógeno con coenergación

Los datos iniciales que han ayudado a llevar a cabo el cálculo completo del sistema del que se habla, se muestran en la tabla 4.3.

Factor de capacidad (%)	98
Temperatura Mínima (°C)	600
Temperatura Máxima (°C)	800
Pérdida de eficiencia anual (%)	2
Vida útil del sistema (años)	30

Cuadro 4.3: Datos previos para el cálculo para la pila de hidrógeno con coenergación.

Capacidad de generación

Con los datos iniciales se ha comenzado calculando la capacidad de generación anual del sistema. En este caso, dado que se disponía de dos tipos de pila diferentes, se ha llevado a cabo el cálculo para ambos sistemas. Concretamente, se trata de **una planta de coenergación de 2,8 MW de potencia** por un lado, y por **una con la mitad de capacidad; de 1,4 MW de potencia**.

Para comenzar con los cálculos, se ha definido una potencia máxima anual de la planta, para cada una de ellas, que dependerá de la pérdida de potencia de generación anual afectada en un 2%. De esta manera, al finalizar el año 5 se habría producido una degradación total de un 10% sobre la potencia máxima nominal de cada una de las plantas consideradas. Tras ello, se ha calculado el número de horas que cada una de las plantas estarían produciendo al 100% de su capacidad, gracias al dato de **factor de potencia** que se detallaba anteriormente. En este caso, se ha multiplicado el número de horas totales contenidas en un año, por un 98%, para ser multiplicadas a continuación por los valores de **capacidad de generación anual por planta**, obteniendo así la generación por año en MWh/Año. La ecuación utilizada para llegar hasta el dicho punto del cálculo, agrupada, vendría representada en la ecuación 4.2.

$$Generacin(MW \cdot h/ao) = \frac{Potencia(MW) \cdot \eta_{Mecnico} \cdot F_{pot} \cdot Horas}{Ao} \quad (4.2)$$

Por otro lado, para poder calcular qué supone la energía total generada en términos económicos, se ha calculado el equivalente en euros de las cantidades obtenidas en MWh para cada uno de los años, al igual que para el total generado al 5º año. Con todo ello, se obtiene el total bruto generado al 5º año de funcionamiento de cada una de las plantas, teniendo en cuenta el parámetro de equivalencia presente en la tabla 4.2, para más tarde calcular el valor neto, una vez se sustraen los costes asociados a mantenimiento de las plantas durante los periodos de funcionamiento estipulados. Los datos correspondientes al cálculo de las distintas variables que llevan a obtener la generación bruta en euros, se muestran en la tabla 4.4.

Valores de generación totales al 5º año				
Año	Pot. 2,8 MW	Gen. (MWh/Año)	Reduc. vs 2016	Prod. / Año (€)
1	2.8	24037.44	82.90053084 %	1,689,832.03
2	2.744	23556.6912	81.24252022 %	1,656,035.39
3	2.688	23075.9424	79.58450961 %	1,622,238.75
4	2.632	22595.1936	77.92649899 %	1,588,442.1
5	2.576	22114.4448	76.26848837 %	1,554,645.47
6	2.52	21633.696	74.61047776 %	1,520,848.83

Cuadro 4.4: Cálculos correspondientes a la generación bruta en términos económicos de la planta de cogeneración de 2,8 MW.

En cuanto a los datos correspondientes a la generación en términos económicos de la planta en bruto, al 5º año de funcionamiento, se obtienen datos de generación de 8.111.193,75 €. En cuanto al correspondiente a la planta de menor potencia, la de 1,4 MW, destacar que se consigue generar en términos brutos una cantidad de 4.055.596,88 €. Dicha cantidad se corresponde con la mitad de de la obtenida con la de mayor potencia, al haber considerado que los factores de rendimiento son idénticos durante el periodo de cálculo.

Inversión económica total inicial

Calculados los datos de generación bruta, se estiman las inversiones pertinentes para cada una de las plantas de cogeneración. Para ello, se han tenido en cuenta tres variables: **coste de instalación, coste de la planta e inversión inicial total**; todas ellas presentadas en euros. En este caso, se han presentado valores idénticos respecto de los costes de instalación de las dos plantas, siendo únicamente diferentes los costes de cada una de las plantas. De igual modo, los valores de inversión total difieren considerablemente. Los datos asignados a cada una de las variables comentadas, se muestran en la tabla 4.3.1.

Inversión Inmediata Media			
Planta (MW)	Instalación (€)	Coste Planta (€)	Inv. Inicial (€)
2,8	1.000.000	8.000.000	9.000.000
1,4	1.000.000	4.000.000	5.000.000

Cuadro 4.5: Valores correspondiente a la inversión en cada una de las plantas de cogeneración planteadas para el cálculo.

Superficie equivalente de instalación

En cuanto a las superficies necesarias para llevar a cabo la instalación de las plantas, se ha de tener en cuenta que son directamente proporcionales a la potencia de las mismas. Por ello, para calcular la superficie necesaria se ha utilizado un coeficiente de equivalencia que permite obtener la superficie en metros cuadrados a partir de MW de potencia de la planta. Con todo ello, se han obtenido los siguientes valores para cada una de las dos plantas propuestas, la de 2,8MW de potencia y la de 1,4 MW (tabla 4.3.1.

Coef. de Superficie (m^2/MW)	179
Sup. Instalación - 2,8MW (m^2)	501.2
Sup. Instalación - 1,4MW (m^2)	250.6

Cuadro 4.6: Superficie de instalación necesaria dependiendo del tipo de planta de cogeneración que se instale.

Como se puede observar, la relación existente entre las superficies necesarias para cada tipo de planta no sólo es directamente proporcional respecto de su potencia, sino que es lineal con la misma. Por dicho motivo, se obtienen un valor de $501.2 m^2$ para la de mayor potencia, y uno de $250.6 m^2$, que es la mitad del anterior, para la planta de menor potencia. Con dicho cálculo no se determina más que la superficie necesaria. Sin embargo, todavía quedaría por determinar cuál sería el enclave propuesto para la ubicación de la planta finalmente seleccionada.

Costes asociados a la planta y generación neta

Todos los sistemas mecánicos son susceptibles de sufrir cualquier problema que merme su funcionamiento. Tanto si se trata de un mantenimiento correctivo como de uno preventivo, se añade un coste adicional previamente no considerado. Sea el que fuere, ambos tipos de mantenimiento son importantes a la hora de calcular los valores netos generados por el sistema en cuestión. De hecho, a partir de los valores de generación en términos energéticos brutos, posteriormente pasados a términos monetarios, se ha calculado el valor de los costes de mantenimiento preventivos de cada una de las plantas, y con dichos valores, se ha calculado el valor de la generación neta en términos económicos por planta, sustrayendo el mantenimiento, que se ha calculado anualmente, de la generación bruta.

Pese a que las plantas de cogeneración son sistemas que no precisan de un mantenimiento excesivamente alto, se ha tenido en cuenta que el mismo se cifra en un 1% anual respecto del coste de la planta. La hipótesis quedaría fundamentada si se asume que se trata de un mantenimiento preventivo y de poca profundidad.

Con todo ello, se han obtenido valores de mantenimiento y generación bruta al 5º año de funcionamiento de las plantas, sumando los valores anuales para cada una de las variables comentadas. Los valores obtenidos, se muestran en la tabla (4.3.1.

Donde como se observa, una vez se han sustraído los costes asociados a mantenimiento para cada una de las dos plantas, se obtienen valores de generación neta suficientemente interesantes. En el caso de la planta de 2,8 MW, la capacidad de generación es concretamente el doble a la obtenida por la planta de 1,4 MW. Sin embargo, dado que los costes de la

Planta	Coste mantenimiento (€)	Generación neta (€)
1,4 MW	200.000	3.855.596,88
2,8 MW	400.000	7.711.193,75

Cuadro 4.7: Coste de mantenimiento acumulado a 5 años y valores netos de generación en términos económicos por cada una de las plantas.

planta son también mayores, en términos de amortización, seguramente no sean muy dispares. Concretamente, los valores que se obtienen para una y otra al 5º año de funcionamiento están referenciados en la tabla 4.3.1.

ROI al 5º Año	
Planta 1,4 MW	77 (%)
Planta 2,8 MW	86 (%)

Cuadro 4.8: ROI asociado a cada planta al 5º año de instalación.

Con los valores obtenidos, se puede afirmar que, pese a que los costes de la planta de mayor potencia son más elevados, y teniendo en cuenta que por ende, los costes de mantenimiento también lo son, al obtener un valor de ROI mayor al 5º se convierte a priori en la planta más interesante de las dos para ser instalada en el aeropuerto, ya que la cantidad total invertida se recupera antes que la cantidad que pudiera ser invertida en la planta de menor potencia. Concretamente, y gracias al alto valor de ROI obtenido, se recuperaría a partir del sexto año de funcionamiento.

Características sostenibles y de cuidado del medio

La generación de electricidad por cualquiera de las maneras tradicionales, tiene implícita una serie de acciones negativas para el entorno que nos rodea. Sin embargo, cuando se utiliza cualquiera de los métodos que se consideran sostenibles, se lleva a cabo una reducción que puede ser más importante o menos, o incluso llegar a la eliminación de las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, siempre dependiendo con qué compares dicha medida.

Se ha calculado la reducción de emisiones de CO2 llevada a cabo durante los 5 años transcurridos después de la instalación. Esto ha sido posible gracias al coeficiente de conversión encontrado en la bibliografía ([16]), que permite pasar de MWh producidos a Toneladas de CO2 vertidas para dicha cantidad de energía consumida. Además, es posible calcular, a partir de las toneladas de CO2 no vertidas, el equivalente en Hectáreas de bosque para dicha medida. De esta manera, en función del a cantidad de energía producida, se puede tener una idea de lo sostenible que una medida puede llegar a ser con el medio ambiente, y por ello, determinar su atractivo medioambiental.

En este caso, las cantidades estipuladas para la planta de 2,8 MW de potencia, tras haber estado funcionando 5 años, se muestran en la tabla 4.3.1.

A pesar de haber expuesto únicamente los datos referidos a la planta de 2,8 MW de potencia, se han calculado también los parámetros de la planta de 1,4 MW de potencia. De los mismos se destaca que, si bien se ha demostrado que el atractivo de la misma no era el

Aspectos medioambientales (Planta 2,8 MW)	
Toneladas de CO2	86534,78
Ha de bosque	721,1232

Cuadro 4.9: Características de emisión y contribución al medio de la planta de cogeneración de 2,8 MW de potencia.

suficiente si se comparaba con la de 2,8 MW, se consiguen datos interesantes si de lo que se habla es de evitar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Localización de la medida en el Aeropuerto

Para encontrar una localización adecuada a la planta que se desea instalar, se ha tenido en cuenta que debía ser un lugar que:

- Dispusiera de superficie suficiente para instalar la medida sin problemas de espacio
- Que no interfiriera con las operaciones rutinarias del aeropuerto, no comprometiendo la seguridad
- Que fuera un espacio de fácil accesibilidad
- Que no se encontrara en un lugar demasiado visible para los pasajeros del Aeropuerto

Por ese motivo, dado que la infraestructura ocupaba una superficie de $501 m^2$, y gracias a que se dispone de dos parcelas en el lado izquierdo del Aeropuerto, junto a la infraestructura dedicada a las operaciones de DHL, se propone para la ubicación de la planta una de las dos parcelas, en concreto la que cuanta de unos $4.500 m^2$.

Dicho enclave se considera idóneo ya que se mantiene lejos de las pistas, y por ende, lejos de interferir en las operaciones de despegue y aterrizaje de las aeronaves, desapareciendo la limitación en altura de la infraestructura. La representación sobre el mapa de dónde se ubicaría la planta en cuestión, se muestra en la figura 4.10.



Figura 4.10: Ubicación de la planta de cogeneración dentro del recinto del aeropuerto.

4.3.2. Sistema de reductores de velocidad hidráulico

Los datos iniciales con los que se ha calculado la rentabilidad del sistema que se analiza en este apartado, los badenes generadores de electricidad eléctrica gracias al paso de vehículos, se muestran en la tabla 4.10.

Factor de Capacidad (%)	10 %
Generación por unitaria (Wh)	0.833333333
Vida útil del sistema (años)	20
Superficie por baden (m^2)	9
Factor de acceso al aeropuerto	50 (%)
Coefficiente de utilización por vehículo	0.5
Tráfico de Salidas	40 %
Tráfico de Llegada	40 %
Tráfico de Parking	20 %
Precio unitario Badén (€)	1,000.00
Número de badenes (Uds.)	20
Pasajeros en coche o vehículo de ruedas	2899552
Número total de vehículos estimado/año	1449776

Cuadro 4.10: Datos previos para el cálculo del sistema de badenes hidráulicos.

Se han considerado multitud de parámetros anteriormente no considerados. En este caso, se ha debido llevar a cabo un estudio previo del tráfico de vehículos que transcurriría por el aeropuerto de Valencia para, con ello, ser capaces de calcular los valores de generación de tráfico que se podrían llegar a conseguir de utilizar el sistema propuesto en la Infraestructura. Esto se debe a que los datos unitarios de generación del sistema vienen dados en Wh por vehículo. Con ello, a parte de los datos de vida útil del sistema, su superficie o el precio unitario de la tecnología, se han considerado otros que directamente se enfocan al cálculo de dicho tráfico.

Partiendo del **tráfico anual de pasajeros real del año 2016 del Aeropuerto de Valencia**, que tiene en cuenta el tráfico total de pasajeros de salidas y llegadas, **igual a 5.799.104**, se ha supuesto que de todos ellos, únicamente la mitad de los pasajeros accede por vehículo al aeropuerto (Factor de acceso al aeropuerto), para determinar el número de potenciales vehículos. Tras ello, se ha establecido un coeficiente de uso de 0,5 para fijar el **número de pasajeros por vehículo de media a 2**. Tras ello, y pese a que se abordará con más detalle en la sección correspondiente, se ha debido determinar por donde pasarán los vehículos que acceden a las inmediaciones del Aeropuerto. De ese modo, en función de del número de vehículos de que se disponga al año y de las veces que atraviesen las superficies generadoras según los cálculos, se puede llegar a determinar de manera aproximada la generación procedente de los sistemas estudiados. Concretamente, se ha definido un punto de paso inicial que es único para los tres caminos establecidos. Dicho punto se ha situado a la salida de la N220, que dispone de 4 carriles de acceso, y que representa el punto por el que todos los coches han de pasar para acceder a la Terminal del Aeropuerto.

Como aclaración, se ha de resaltar que todos los badenes situados en cada uno de los 3 flujos definidos, han sido situados en puntos en los que anteriormente existían badenes que

obligaban a reducir la velocidad.

Dado que el acceso a la zona principal se realiza a través de cuatro carriles, se ha situado un badén en cada uno de los carriles, para asegurar que, sea cual sea el flujo de coches, hacia cada uno de los flujos del aeropuerto, se pase por dicho punto. Éste el punto de partida común a los tres flujos. A partir de ahí, donde se instalan 4 badenes, se instalarán más sistemas a lo largo de los flujos que se han definido para cada uno de los caminos:

- **Flujo de salidas (40 %):** aquellos que se dirijan hacia la zona de salidas a través de la pasarela que conduce a la puerta de acceso a la Terminal, que dispone de 2 carriles, tendrán que pasar los 2 badenes allí situados. Una vez los coches se alejan de la zona de salidas para salir de la zona del aeropuerto, y llegando a la bifurcación allí presente, en la que cada una de las salidas cuenta con dos carriles, se dispondrá de un badén en cada carril, sumando 4 al total.
- **Flujo de llegadas (40 %):** los vehículos que transcurran hacia el area de llegadas, pueden acceder por los 3 carriles que se habilitan para ello. En este caso se tendrían que atravesar 3 badenes situados al comienzo del área reservada para ello, para atrevar 2 más al dirigirse a la salida del aeropuerto, antes de atravesar la rotonda de salida.
- **Flujo de parking (20 %):** aquellos que se dispongan a entrar al parking principal situado enfrente de la Terminal de pasajeros, han de pasar por la zona de control, donde se dispondrá de 4 badenes (uno por cada uno de los puntos), además de 5 badenes que estarán situados en la salida al parking situado en la zona sur del parking (ubicando 3 badenes), y 2 en la zona norte, en la salida que se habilita y que se dirige hacia la V-11.

Con todo ello hace un total de 20 badenes situados en las inmediaciones de la Terminal. De este modo, conociendo el número de badenes, y el total de viajes realizados al aeropuerto con vehículo, se es capaz de dar un peso a cada uno de los tres flujos, tal y como se muestra en la tabla 4.10, y calcular el total generado por cada uno de los flujos del aeropuerto al año.

Capacidad de generación

Para calcular el total de energía producida después del 5º año de funcionamiento se ha dividido el cálculo en tres partes, calculando de manera independiente cada uno de los flujos determinados para el tráfico de automóviles. Para cada uno de los tres flujos calculados, se ha determinado la cantidad de energía generada anualmente por cada uno de ellos, para con el total anual, determinar el acumulado al 5º año de funcionamiento.

Se ha comenzado determinando, para cada flujo, el número de veces que se pasa por encima de un badén generador.

Pese a que se hayan dispuesto varios badenes (uno por cada carril) en cada uno de los 3 puntos de que dispone cada uno de los flujos, el paso de un vehículo equivaldría a pasar por cada uno de esos puntos una vez, es decir, 3 veces en total cuando se ha recorrido cada flujo. De esta manera, el hecho de haber posicionado varios badenes en cada punto se debe a que se quería asegurar que fuera cual fuere la trayectoria que un vehículo pudiera llevar, se asegurase que al pasar por los puntos de control, se contabilizara la generación de energía.

Tras ello, es decir, tras calcular la generación anual de cada uno de los años y de los flujos, se ha calculado el **equivalente en términos económicos** de la cantidad generada por año, gracias al precio equivalente anteriormente considerado de 70,3 €/MW, y con ello, la reducción anual por flujo respecto al total consumido en el aeropuerto en el año 2016. Dicha operación se ha repetido para los 3 flujos, y una vez sumados los valores obtenidos para cada uno de ellos, se ha obtenido unos valores acumulados de generación por flujo después de 5 años, así como un valor total acumulado que se muestra en la tabla 4.11.

Valores generados totales al 5º año	
Flujo de llegadas	509,60 €
Flujo de salidas	509,60 €
Flujo de Parking	254,80 €

Cuadro 4.11: Valores de generación bruta del sistema de badenes hidráulicos.

Con los datos brutos anteriores, se consigue, sumados, al 5º año una generación bruta de 1.273,99 €.

Inversión económica total inicial

Calculados los datos de generación bruta, se estiman las inversiones pertinentes para la instalación de los veinte badenes de generación hidráulicos en las inmediaciones de la Terminal de pasajeros. Para ello se han tenido en cuenta varios tipos de coste, como el **conste de instalación** de los 20 badenes, **el precio total de cada uno** de ellos y el **total de la inversión inmediata**. Cabe destacar que como se aprecia en la tabla 4.3.2, se ha considerado un precio bastante reducido de instalación ya que se instalan en lugares en los que anteriormente había badenes de reducción de velocidad, además de que la instalación es sencilla.

Inversión Inmediata Media		
Instalación (€)	Coste badenes (€)	Inv. Inicial (€)
4.000	20.000	24.000

Cuadro 4.12: Valores correspondiente a la inversión total de instalación los 20 badenes generadores hidráulicos.

Superficie equivalente de instalación

Cada uno de los badenes, como se detalla en la tabla 4.10, ocupa una superficie total de $9m^2$, teniendo en cuenta que la morfología de cada badén está pensada para adaptarse a los carriles en los que se dispone su instalación. De esa manera, se ha tenido en cuenta el número de badenes a instalar, y con ello, se ha calculado la superficie necesaria para poder instalar el conjunto de los mismos. Con todo ello, se ha considerado que se ha de disponer de una superficie total de $180 m^2$ en total.

Costes asociados a la tecnología

En el caso de los badenes hidráulicos que se analizan en este apartado, se ha de destacar que no sólo su coste de instalación es lo suficientemente reducido, sino que también sus costes

de mantenimiento o reparación en los 5 primeros años de uso de la tecnología son prácticamente nulos, pues el sistema es lo suficientemente sencillo como para presentar problemáticas asociadas a desgaste o reparación. De esta manera, para llevar a cabo el cálculo, se ha considerado un **coste de mantenimiento nulo** durante el período de análisis.

Como se ha explicado con la medida anterior, una vez calculados los costes de operación de cada tecnología, es posible calcular el ingreso total neto al 5º año de funcionamiento. En este caso, dado que no se han contemplado costes asociados a funcionamiento o mantenimiento del sistema, el valor anteriormente obtenido de generación bruta, se correspondería con el de generación neta. Por tanto, los valores obtenidos de generación neta se muestran en la tabla 4.3.2.

Generación bruta (€)	Coste mantenimiento (€)	Generación neta (€)
1.273,99	0	1.273,99

Cuadro 4.13: Valores de generación neta del conjunto de badenes hidráulicos al 5º año de funcionamiento.

Dado que el ROI es muy bajo, es igual a 5%, se ha realizado de sensibilidad multivariable, para intentar determinar si alguna de las variables ha sido definida con valores excesivamente conservadores, o si por el contrario, la medida es insuficientemente viable para el entorno en el que se plantea.

Estudio de sensibilidad multivariable

Los valores obtenidos para el ROI permiten obtener la conclusión de que la medida que se analiza no es lo suficientemente rentable. Por ese motivo, se ha llevado un estudio multivariable donde lo que se analiza es cuál es la influencia del **precio unitario del badén**, y del aumento o disminución del **acceso por carretera al aeropuerto**. Con la variación dentro de un rango controlado, se calcula cuál es el ROI. De esa manera se puede llegar a interpretar si los valores que se han fijado para llevar a cabo el estudio son demasiado conservadoras en valor, o si bien la capacidad de generación del propio baden es insuficiente.

El resultado del estudio multivariable para el sistema de badenes generadores se muestra en la tabla 4.14.

Es posible apreciar cómo con un mayor precio del y para un mismo porcentaje de acceso por carretera al aeropuerto, el ROI de la medida se reduce, debido a que la cantidad total inicial de inversión se eleva. Por otro lado, para un precio fijo del sistema, la tendencia es creciente si se varía el porcentaje de acceso, lo que significa que, con dicho aumento, la cantidad de vehículos que transitan es mayor.

En ninguno de los casos expuestos se supera un ROI del 8%. Por este motivo, se estudia si existe alguna otra variable con mayor influencia sobre el ROI que las anteriormente estudiadas. La gráfica en la que muestra la tendencia del ROI en función de las variables anteriormente estudiadas, se muestra en 4.11

Factor de acceso por carretera al aeropuerto (%)	ROI
Precio Unitario (1.000 €)	
30 %	4 %
40 %	4 %
50 %	5 %
60 %	7 %
70 %	7 %
80 %	8 %
Precio Unitario (2.000 €)	
30 %	2 %
40 %	2 %
50 %	3 %
60 %	3 %
70 %	4 %
80 %	4 %

Cuadro 4.14: Estudio multivariable del sistema de generación de badenes hidráulicos sobre el precio del badén y el % de acceso por vehículo.

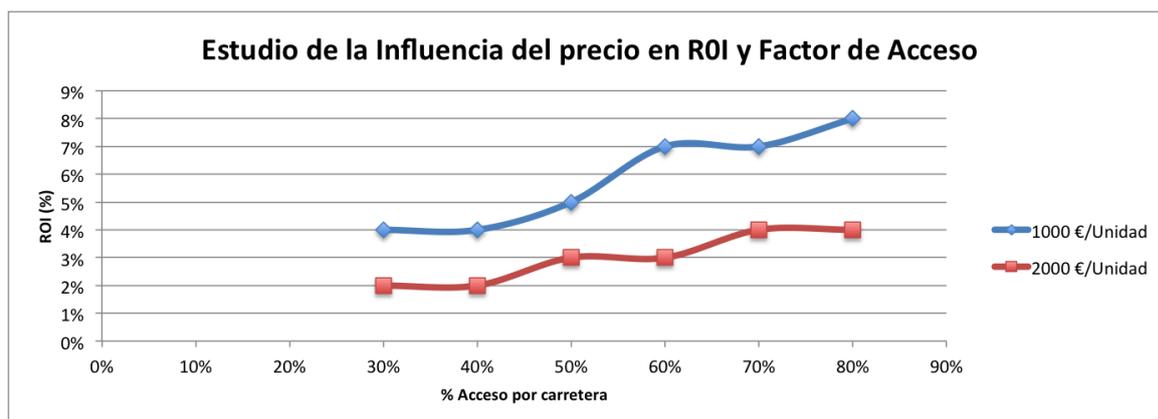


Figura 4.11: Evolución del ROI con la variación del valor del precio del badén y del acceso al eropuerto por vehículo.

Escogiendo como variable el **número de vehículos que acceden al aeropuerto**, se ha aumentado el número desde un 30 %, hasta un 80 % (desde 869.865 vehículos al año, hasta 2.319.641). Con ello, se ha tratado de comprobar cuál debería ser el número de vehículos para que, con la inversión a realizar y el número de badenes que se desea instalar, en este caso 20, se pudiera determinar si la infraestructura es viable. El resultado se muestra en la tabla 4.15.

El ROI no crece de manera significativa al aumentar el número de vehículos. Por ello, se ha determinado que el problema no reside en dicha variable, sino en otros aspectos como, por ejemplo, el número de badenes. Por ello, se ha realizado el cálculo equivalente al ROI a 5 años multiplicando el número de badenes por 3, es decir, pasando de 20 a 60. Sin embargo, teniendo en cuenta que al aumentar el número de badenes no sólo se incremente la capacidad de generación del conjunto, sino que también aumenta la inversión inicial, se ha de comprobar qué peso tiene el peso de la inversión por badén sobre el ROI de la medida. Podría darse

Estudio de sensibilidad	
Incremento en número de Vehículos (%)	ROI
30 %	7 %
40 %	7 %
50 %	8 %
60 %	8 %
70 %	9 %
80 %	10 %

Cuadro 4.15: Estudio sobre el efecto de la variable número de vehículos respecto del ROI.

el caso de que, debido al precio del mismo, a pesar de aumentar la cantidad generada, la inversión pesase más y con ello, no se consiguieran datos atractivos.

Con estas hipótesis, el resultado es un **ROI del 5 %**, lo que efectivamente confirma que con las características del sistema actuales, la rentabilidad del mismo es limitada. Con todo ello, se puede determinar que:

- O bien los costes asociados a la compra e instalación son demasiado altos en comparación a la capacidad de generación por unidad.
- O la capacidad de generación por vehículo es demasiado baja para su viabilidad en dicha infraestructura.

Se puede considerar como un sistema a priori poco atractivo. Sin embargo, se determinará su instalación cuando se compare con el resto de sistemas.

Características sostenibles y cuidado del medio

Se ha calculado el equivalente a emisiones de CO₂ no vertidas a la atmósfera durante los 5 años transcurridos después de la instalación. Se ha utilizado la misma metodología que con el sistema anterior, y se han utilizado los mismos coeficientes de equivalencia. En este caso se han conseguido valores mucho inferiores a los que se obtenían en el apartado anterior, ya que, como es obvio, cuanto mayor es la capacidad de generación del sistema, mayor número de toneladas de CO₂ dejarían de vertirse. El resultado obtenido para el sistema que se analiza, se muestra en la tabla 4.3.4.

Aspectos medioambientales (Planta 2,8 MW)	
Toneladas de CO ₂	13,59165
Ha de bosque	0,11326375

Cuadro 4.16: Valores de ahorro de emisiones para el sistema de badenes hidráulicos generadores de energía.

Localización del sistema en el Aeropuerto

La localización del sistema en el entorno del aeropuerto ha debido ser definida al comienzo del cálculo para ser capaces de obtener valores de generación reales. Ya se ha descrito el

enclave propuesto para colocar los distintos badenes en los tres flujos de tráfico propuestos. En cuanto al lugar exacto de colocación de los badenes, se muestra en la figura 4.12

Los puntos de colocación de los badenes, han sido dibujados con distintos colores para ser capaces de distinguir entre cada uno de los flujos de tráfico establecidos. De esa manera, se tiene:

- **Flujo de llegadas:** color rojo
- **Flujo de salidas:** color amarillo
- **Flujo de parking:** color verde

Se ha dibujado junto a los puntos en que se ubican los badenes (expresados como líneas, al ser instalados ocupando la anchura del carril completo en que se ubican). Se ha dibujado en el mismo color tanto los badenes como el trayecto que los vehículos siguen a su paso por el aeropuerto.

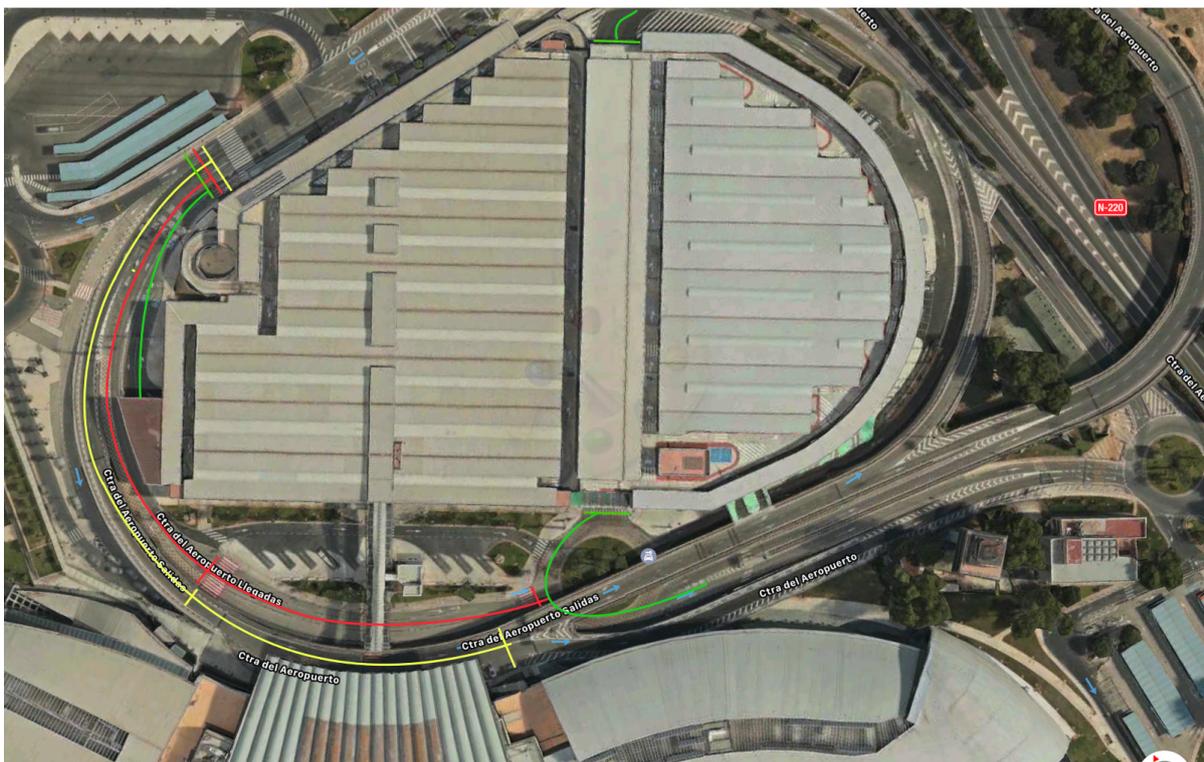


Figura 4.12: Emplazamiento de los badenes hidráulicos de reducción de velocidad.

4.3.3. Sistema de pavimento piezoeléctrico generador de energía eléctrica

En esta sección se analizará uno de los dos sistemas que se consideraban anteriormente para ser instalados en el pavimento. Concretamente el sistema de generación piezoeléctrico.

Capacidad Máxima por Km (kWh)	400
Precio medio por km	600.000,00 €
Vida útil (años)	30
Generación por vehículo a 70 km/h por km (kWh)	0,333333333
Factor de acceso aeropuerto	50 %
Coefficiente de utilización por vehículo (1 a 2 pasajeros)	0,5
Bolsa de taxis aeropuerto	76
Pasajeros en coche	2899552,00
N. de vehículos estimado/año	1449776
Factor de pavimentado en entrada al aeropuerto	95 %
Factor de pavimentado en salida de aeropuerto	45 %

Cuadro 4.17: Datos previos para el cálculo del sistema de pavimento generador de energía eléctrica.

El primero de los aspectos que se llevará a análisis es la capacidad de generación eléctrica del sistema en cuestión. Para ello, se han definido los datos a tener en cuenta para comenzar con los cálculos. Éstos se muestran en la tabla 4.17.

Se ha recogido información referente a la capacidad máxima del sistema en kWh y su precio por kilómetro medio, tal y como se muestra en la tabla 4.17. Además de ello, se ha definido la vida útil del sistema en 30 años, utilizando para determinar el número de vehículos que pasan por el aeropuerto al año las mismas premisas establecidas en el apartado anterior (sección 4.3.2). Con ello, se ha fijado en número de vehículos que transitan al año por el aeropuerto, y junto a unos coeficientes de pavimentación que se detallarán más adelante, se ha comenzado a llevar a cabo el cálculo de la generación del sistema.

Capacidad de generación

Para comenzar a calcular cuál es la generación del sistema, tal y como se ha venido haciendo, primeramente se ha de fijar cuál es el lugar de instalación del mismo.

En primer lugar se ha realizado un estudio para determinar dónde se llegaría a utilizar dicha medida de manera más eficiente. Para ello, se ha tenido en cuenta que con los datos obtenidos de la bibliografía, donde afirma que por kilómetro, y con 600 vehículos por hora de media circulando a 70 km/h durante su circulación, se pueden llegar a generar unos 200 kWh. De esta manera, las circunvalaciones existentes de acceso y salida al aeropuerto que conectan con Valencia, serían lugares potencialmente idóneos.

Se proponen por ello como lugares de localización de dicha medida las carreteras de salida y acceso al aeropuerto, en concreto de la V-11. Se propone para su construcción dos tramos:

- Tramo de la V-11 que da acceso al aeropuerto, del que se pavimentarían 950 metros con el sistema de generación piezoeléctrico.
- Tramo de la V-11 de salida del aeropuerto, del que se pavimentarían 450 metros con el sistema de generación piezoeléctrico.

Dado que los datos de que se dispone son por km, se han definido dos coeficientes en la tabla 4.17 para cada uno de los tramos. De manera que se cubra en el cálculo únicamente la distancia contemplada para la instalación de las medidas.

En dichos tramos, las velocidades superarían los 70 km/h. Junto a dicha asunción, se tendrá en cuenta que todos los vehículos que lleguen al aeropuerto, saldrán del mismo, teniendo un número de vehículos de salida y llegada idéntico. Se ha excluido del cálculo la energía producida por vehículos que no realicen operaciones en el aeropuerto mediante la instalación de la medida en dicho enclave. Asegurando que únicamente dichos vehículos van a generar electricidad, se elimina el problema de la contabilización de dicha cantidad, de la que a priori no sería posible su cálculo.

Con todo ello, se ha calculado la **cantidad generada anual tanto para el tráfico de salidas como para el de llegadas**, y se ha sumado para calcular el total producido al 5º año de funcionamiento, tal y como se ha hecho con las medidas anteriores. Los resultados se muestran en la tabla 4.18:

Valores generados totales al 5º año	
Llegadas (MWh)	1087,33
Salidas (MWh)	2295,478
Total bruto (€)	258.073,91

Cuadro 4.18: Valores de generación bruta del sistema de pavimento piezoeléctrico al 5º año de funcionamiento.

Se ha calculado el equivalente en euros de la energía generada al 5º año de funcionamiento de la medida, teniendo en cuenta que con la capacidad de la medida en cuestión, se consiguen ahorros frente al valor de consumo en 2016, utilizado para todos los cálculos como referencia, del 2,33 %.

Inversión económica total

Al comienzo de la sección se incluía un **precio de 600.000 euros para la instalación por kilómetro de carretera**. Dado que así se especifica en la bibliografía y especificaciones del sistema, dentro del precio por kilómetro de carretera, se incluyen todos los costes derivados de la instalación. Este dato se correspondería por tanto el coste total por kilómetro. Por ello, **no se han considerado costes de instalación por separado, dentro del proceso de cálculo que se ha llevado a cabo**.

Dado que se contaba con un total de 1,4 km de carretera en total, ya que se contaba con un tramo de 950 metros en llegadas y otro de 450 metros para salidas, se ha calculado el coste total de la instalación de la medida como el producto del precio del km por el total de la distancia considerada. **Este valor es igual al importe total de la inversión. Dicho importe es de 910.000 €.**

Superficie total de instalación

Como se ha comentado, para calcular la superficie total de instalación de la medida únicamente se ha considerado la longitud en km a cubrir. Esto se debe a que, cuando se habla de coste por kilómetro de carretera, se está teniendo en cuenta que la carretera dispone de dos carriles con medidas convencionales. Se considera, por tanto un total de **1,4 km**.

Costes asociados a la tecnología

El sistema de pavimento piezorresistivo se considera por su bajo coste de mantenimiento. En el caso del sistema en cuestión, se ha considerado que por la alta resistencia del sistema, y por su funcionalidad, su coste asociado a mantenimiento resultaba ser del 0,5% del coste total de instalación. Aplicando dicho porcentaje a la generación total anual bruta, se ha calculado la generación anual neta, siendo capaces de obtener la generación total al 5º año. Dichos datos están referenciados en la tabla 4.3.3.

Generación bruta (€)	Coste mantenimiento (€)	Generación neta (€)
258.073,91	22.750,00	237.811,59

Cuadro 4.19: Valores de generación neta del sistema de pavimento piezorresistivo al 5º año de funcionamiento.

Con todo ello, se han obtenido valores de Retorno de la Inversión (ROI) bastante por debajo de lo esperado para una tecnología como la que se analiza. El valor ROI para el sistema es del 24%.

Respecto a valores anteriormente obtenidos, se considera un ROI aceptable, sobretodo teniendo en cuenta que la vida útil del sistema es lo suficiente como para permitir que la inversión total se amortice de manera efectiva. Por ello, a priori, se podría considerar que se trata de una medida que sí podría ser tenida en cuenta para su posible instalación tras el análisis de todas las medidas.

Características sostenibles y cuidado del medio

Se ha calculado el equivalente a emisiones de CO2 no vertidas a la atmósfera durante los 5 años transcurridos después de la instalación. Utilizando la metodología hasta ahora empleada, en este caso se han conseguido valores mucho más interesantes a los que se obtenían en el apartado anterior, ya que, como es obvio, cuanto mayor es la capacidad de generación del sistema, mayor número de toneladas de CO2 dejarían de vertirse. El resultado obtenido para el sistema que se analiza, se muestra en la tabla 4.3.3.

Aspectos medioambientales	
Toneladas de CO2	2537,108
Ha de bosque	21,142

Cuadro 4.20: Valores de ahorro de emisiones para el sistema de pavimentos piezorresistivos generadores de energía.

Localización del sistema en el Aeropuerto

Pese a que ya se ha explicado con detalle cuál es la ubicación de la medida que se considera, no se ha ubicado sobre el mapa. El detalle de la ubicación del sistema en el aeropuerto se muestra en la figura 4.13.

Los puntos de localización han sido representados en dos colores diferentes:

- Flujo de Llegadas en Azul
- Flujo de Salidas en Rojo



Figura 4.13: Emplazamiento del pavimento piezoeléctrico generador.

4.3.4. Sistema de pavimento solar generador de energía eléctrica

En esta sección se llevará a cabo el estudio del sistema de pavimentación con células fotovoltaicas descrito anteriormente.

Los datos iniciales considerados para el sistema en cuestión se muestran en la tabla 4.21. En este caso, pese a que el sistema se instala también en el pavimento, al igual que el sistema

anteriormente analizado, las diferencias entre ambos son verdaderamente sustanciales. Ésto se debe a que, tanto el funcionamiento como el proceso constructivo y de instalación de la medida son distintos a los de la medida descrita en la sección 4.3.4 .

Factor de capacidad (%)	27,5
Capacidad máxima por panel (MWh/Año)	2,774
Superficie por panel (m^2)	16
Pavimentación total (km)	1,4
Pavimentación total (m^2)	5.600
Número de paneles	350
Horas de sol aprovechadas (h/día)	18
Coste por kilómetro (€)	3.000.000,00

Cuadro 4.21: Datos a considerar para llevar a cabo los cálculos del sistema de pavimento solar.

El sistema que se analiza es capaz de funcionar con un aprovechamiento supuesto de 18 horas al día, de las cuales, únicamente el 27,5 % lo hace con un funcionamiento óptimo. Se ha tenido en cuenta de igual modo la capacidad máxima de generación al año por panel, así como las medidas de cada uno de los paneles a instalar, la longitud total de carretera a pavimentar, la superficie equivalente, y con ello, el número de paneles en total a ser instalados. Por último, se ha considerado un precio por kilómetro pavimentado a fin de calcular más adelante el coste de la instalación.

Como se comentaba anteriormente, se ha considerado la misma superficie de pavimentación que en la medida anterior a fin de, dentro de lo posible y teniendo en cuenta las diferencias entre ambas medidas, comparar las mismas de cara a la selección de las más interesantes.

Se pasa a continuación a detallar el cálculo de la capacidad de generación de la medida.

Capacidad de generación

Para llevar a cabo el cálculo de la capacidad de generación energética de que dispone el sistema que se analiza, primeramente se ha de definir la que será la ubicación del mismo. En este caso, se ha optado por localizar la medida en el mismo punto donde se ubica la medida anteriormente analizada.

Con ello, se tiene un sistema ubicado en los accesos y salidas de la Terminal del aeropuerto, en dos puntos:

- Tramo de la V-11 que da acceso al aeropuerto, del que se pavimentarían 950 metros con el sistema de generación piezoeléctrico.
- Tramo de la V-11 de salida del aeropuerto, del que se pavimentarían 450 metros con el sistema de generación piezoeléctrico.

Con todo ello, y definidas las distancias a pavimentar, se ha calculado la **cantidad generada anual, así como la producida al 5º año de funcionamiento**, tal y como se ha

hecho con las medidas exteriores. Los resultados se muestran en la tabla 4.22.

En este caso, el proceso de cálculo ha sido algo diferente. Dado que se dispone de la capacidad de generación por panel (cada panel dispone de $16 m^2$), así como de las horas aprovechadas de sol al año en función de capacidad del sistema, previamente especificado, se ha calculado la energía generada en MWh/año teniendo en cuenta que se conocía el número total de paneles.

El total de paneles ha sido calculados gracias a los datos de superficie de los mismos, así como de la superficie total cubierta en m^2 , obtenida a partir de la anchura de la calzada y de su longitud; ambos datos conocidos. Con ello, se ha determinado y prefijado el número total de paneles a un total de **350 unidades**, y con ello, junto a la capacidad de generación por unidad, así como las horas de funcionamiento, se ha obtenido la energía generada por año. Multiplicando por 5 dicha cantidad, se ha obtenido el total generado tras el 5º año de funcionamiento, asumiendo condiciones meteorológicas y de funcionamiento del sistema mayormente invariables.

Los datos de reducción anuales respecto del consumo real del Aeropuerto en el año 2016 se corresponde con un 4,5%.

Valores generados totales al 5º año	
Total neto (€)	422.323,30 €

Cuadro 4.22: Valores de generación bruta del sistema de pavimento fotoeléctrico al 5º año de funcionamiento.

Se pasa a detallar los costes asociados a la inversión para instalar el sistema.

Inversión económica total

Para calcular la inversión total se ha de tener en cuenta el coste por kilómetro asociado a la tecnología. Dado que se va a pavimentar un total de 1,4 km, se ha calculado el coste asociado considerando que los costes de instalación se corresponden con un 1% del coste de la inversión en la tecnología. Los datos correspondientes al sistema que se analiza en este apartado, se muestran en la tabla 4.3.4.

Inversión Inmediata Media		
Instalación (€)	Coste sistema (€)	Inversión total (€)
42.000,00	4.200.000,00	4.242.000,00

Cuadro 4.23: Valores correspondiente a la inversión en el pavimento fotoeléctrico para el Aeropuerto de Valencia.

Costes asociados a la tecnología

Por la naturaleza del sistema, los costes que han sido considerados y asociados a mantenimiento del sistema han sido muy reducidos. Concretamente, se ha considerado un coste

asociado a mantenimiento de la instalación del 0,5 % del total del coste de la inversión. Con dicho porcentaje, la cantidad asciende a 4.200 € anuales, haciendo un total al 5º año de funcionamiento de 21.000,00 €.

Calculado el coste de mantenimiento, se puede extraer del valor obtenido en el apartado correspondiente a la generación bruta, obteniéndose así el neto generado al 5º año de funcionamiento. En este caso, se obtiene un valor neto de generación de 401.323,30 €.

Del siguiente modo, se puede calcular el ratio de amortización de la tecnología. **El ROI al 5º año de funcionamiento, fruto del cociente entre el total generado y el total invertido en la tecnología, se cifra en un 9 %.**

Estudio de sensibilidad multivariable

Dado que el ROI es bastante ajustado, no se considera mucho más atractivo que el sistema con el que se pretendía compararlo. Por ello, dado que no se conoce cuál es el motivo, a simple vista, que pueda haber provocado la obtención de un valor tan ajustado, se ha procedido a llevar a cabo un estudio de sensibilidad que pueda arrojar luz respecto de las variables más críticas para el funcionamiento del sistema. **Se ha llevado a cabo un estudio de dos de las variables propias del sistema. Potencia nominal y horas de sol aprovechadas.** El resultado obtenido se muestra en la tabla 4.24, así como en la figura 4.14.

18 horas de sol	
Potencia Nominal(%)	ROI
20 %	8 %
22,5 %	8 %
25 %	9 %
27,5 %	9 %
30 %	10 %
32,5 %	11 %
20 horas de sol	
Potencia Nominal(%)	ROI
20 %	9 %
22,5 %	9 %
25 %	10 %
27,5 %	12 %
30 %	12 %
32,5 %	13 %

Cuadro 4.24: Estudio multivariable del sistema de pavimento fotovoltaico sobre la potencia nominal y las horas totales de aprovechamiento de luz solar.

A partir de los datos obtenidos del estudio, se observa que, cuanto mayor es la potencia nominal del sistema, mayor es el ROI obtenido. Esto se debe a que, al aumentar la potencia nominal, para un mismo número de horas de sol aprovechable, el rendimiento se incrementa,

aumentando por tanto la generación del sistema en términos energéticos, y con ello, aumentando el ROI. Se recordará que la inversión económica seguiría siendo la misma.

Tal y como se observa en la gráfica, para la variable **Potencia Nominal** se ha estudiado el intervalo de valores de 20 a 32,5 % pues que se considera que serían valores dentro de lo razonable, si se compara con sistemas similares en el estado del arte. Más allá de ahí, el estudio carecería de sentido ya que no se consideraría ningún valor propio de los sistemas de generación fotovoltaicos. Dentro de dicho intervalo, el valor más próximo a la realidad sería el de 27,5 %.

Respecto a la segunda variable inmersa en el cálculo, la **cantidad de luz aprovechada en horas**, que a su vez está directamente relacionada con el ROI a obtener, se observa que, para la misma potencia nominal, se obtienen valores de generación mayores y por ende, valores de ROI mayores. Esto no es de extrañar puesto que estamos asumiendo que la cantidad de horas en las que el sistema produce al 100 % de capacidad es mayor.

Con todo ello, y dado que el fabricante especifica que el sistema sólo produce a potencia máxima 4 de las 20 horas de sol aprovechables ($PN = 20\%$), se ha concluido con que el sistema, pese a no ser el más rentable hasta el momento analizado, en comparación con el sistema con el que se compara, es más interesante, pues se alcanzan picos de ROI más altos, como se observa en la figura 4.14.

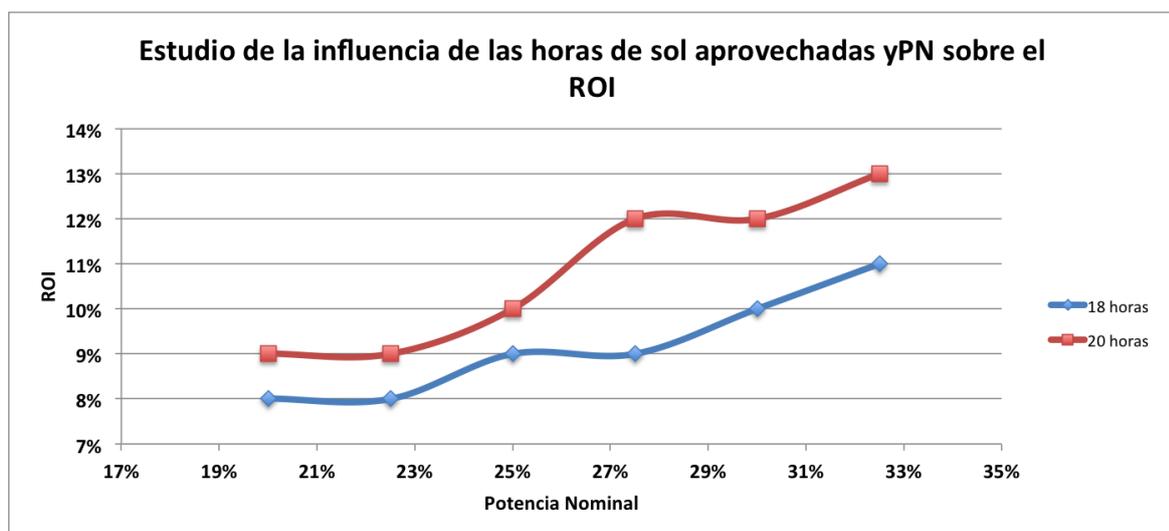


Figura 4.14: Evolución del ROI con la variación del número de horas de sol aprovechadas, así como de la Potencia Nominal del sistema.

Tras el estudio se ha fijado como valor final para el cálculo del ROI una potencia nominal del sistema de 27,5 %, por las razones comentadas en este apartado.

Analizadas las posibles interacciones de las variables más importantes del sistema con el ROI, se ha pasado al cálculo de las características sostenibles del medio.

Características sostenibles y cuidado del medio

Se ha calculado el equivalente a emisiones de CO₂ no vertidas a la atmósfera durante los 5 años transcurridos después de la instalación. En este caso se han conseguido valores prácticamente del doble de los obtenidos con el sistema anteriormente analizado, ya que, como es obvio, cuanto mayor es la capacidad de generación del sistema, mayor número de toneladas de CO₂ dejarían de vertirse. El resultado obtenido para el sistema que se analiza, se muestra en la tabla 4.3.4.

Aspectos medioambientales	
Toneladas de CO ₂	4505,58
Ha de bosque	37,55

Cuadro 4.25: Valores de ahorro de emisiones para el sistema de pavimento fotoeléctrico generador de energía.

Localización del sistema en el Aeropuerto

El sistema que se analiza comparte ubicación con el sistema anteriormente analizado, ya que el objetivo es finalmente poder elegir uno de ellos dos. Por tanto, la ubicación sobre el mapa del aeropuerto se muestra en la figura 4.13.

4.3.5. Sistema de generación con turbinas de tamaño medio

Para comenzar con el análisis de las turbinas generadoras de tamaño medio, se ha de comenzar por la localización de las mismas. Pese a que al final del apartado de análisis del sistema se analizará más exactamente cuál es su ubicación, determinando la posición sobre el mapa del Aeropuerto de Valencia, esta se ha de conocer, ya que de ella depende el número de turbinas a utilizar. Sin este paso previo, es imposible comenzar con el análisis.

Se ha determinado la posición del sistema dentro del lado aire del Aeropuerto de Valencia, lo que implícitamente y a priori, plantea varios problemas. Entre ellos, se ha de tener en cuenta cuáles son las características de seguridad y configuración de los aeródromos según su clave. **En el caso del aeropuerto de Valencia, que únicamente dispone de una pista de aterrizaje, la clave es conocida e igual a 4-D.** Esto significa que, todas aquellas aeronaves que pudieran superar los 52 metros de envergadura, no podrían operar en dicho aeropuerto, al no estar permitido por la FAA (Federal Aviation Administration), tal y como se muestra en la bibliografía [25].

Las dimensiones transversales mínimas de la pista vienen determinadas, y van en consonancia con el tamaño de los aviones que allí quieran operar. Existen varias maneras de determinar dicha distancia. En este caso, se ha escogido la siguiente:

- Minimum runway width determined by OACI Aerodrome Reference Code (ARC)

Dado que se conoce el código de Referencia de OACI, 4-D, se determina que la mínima distancia para que se mantenga dicha clasificación es la de 45 metros de ancho de pista. En el caso del aeropuerto, la pista con la que se cuenta posee 45 metros de ancho, aunque a pesar

de eso, se prolonga a ambos lados, alcanzando un total de 59 metros de ancho.

Por la categoría del aeropuerto, no está permitida la operación de aeronaves que tengan más de 52 metros de envergadura, por lo que con la zona libre de obstáculos situada a cada uno de los extremos de pista, se elimina cualquier tipo de problema de seguridad.

Se ha planteado, por lo tanto, el emplazamiento a cada uno de los dos lados de pista, de una serie de turbinas de tamaño medio, situados en la dirección paralela a la misma, que es la dirección de los vientos predominantes, a una distancia más que suficiente del centro de la pista, haciendo su operación segura.

Con ello, se ha contado con una longitud total cubierta de 5626 metros de largo, gracias a la ubicación en paralelo de 4 filas de turbinas, dos a cada lado, para dar un total de 1125 unidades separadas 10 metros cada uno de ellos.

El conjunto de los datos iniciales utilizados para el cálculo se muestran en la tabla 4.26.

Datos Generales del sistema	
Factor de Capacidad (%)	30.0%
Potencia por unidad (kW)	1.5
Distancia entre Unidad (m)	10
Vida útil (años)	10
Distancia Total cubierta (m)	5626.0
Número de Uds (Ud)	1125.0
Número de filas	2.00
Precio por Ud (€)	1,000.00
Diametro (m)	2.80
Altura (m)	2.90
Torre (m)	4.00
Toral Altura (m)	6.90
Area frontal (m²)	6.60

Cuadro 4.26: Datos iniciales del sistema de turbinas de tamaño medio.

Se ha definido la potencia de cada una de las turbinas, en kW por unidad, así como los valores de vida útil, precio por turbina, y la geometría de cada uno de los aparatos. Junto a ellos, se ha definido la distancia a cubrir, como ya se ha comentado, así como la distancia a la que se coloca cada una de las turbinas. Tras ello, se ha continuado con el cálculo de la energía generada.

Capacidad de generación

Es bien sabido que la capacidad generadora de las turbinas es directamente proporcional a la superficie frontal equivalente o mojada. Por ello, por norma general, las turbinas de eje horizontal, suelen tener mayor capacidad de generación, aunque ocupan mayor espacio, ya que al poseer mayores diámetros, representan mayores áreas. Los sistemas de eje vertical, se ha de destacar que para conseguir las mismas superficies equivalentes, deben resultar ser mucho mayores en altura, por lo que las tensiones que sufren los postes, para las mismas tasas de

generación llegan a ser mayores. Este aspecto supone una desventaja.

Sin embargo, estos sistemas no son instalados por su eficiencia, sino por su versatilidad y por su poco mantenimiento, ya que los sistemas de eje vertical no necesitan sistemas de conexión torre-sistema tan complejos como los horizontales. De ahí que su vida útil ronde los 10 años sin a penas mantenimiento.

Aunque las turbinas de este tipo no superan el 25 % de Potencia Nominal, se ha considerado lo siguiente:

- Dado que la cantidad de aeronaves que utilizan la pista del Aeropuerto es de 49.000 en el año 2016, y los periodos de operación se han supuesto de las 6 horas a las 24 horas del mismo día, se ha estimado un ratio de operación de **7,45 aeronaves por hora**, o lo que es lo mismo, 8 minutos /aeronave.
- Se ha tenido en cuenta un tiempo de depegue de 1,5 minutos por aeronave, o lo que es lo mismo, un 18 % de uso continuado de la pista sobre el tiempo total dentro del horario de operaciones contemplado anualmente.
- A parte de la cantidad de energía generada por las operaciones de aeronaves se ha de tener en cuenta la cantidad generada por las rachas de viento libre. La orientación de las turbinas se ha supuesto en la dirección de los vientos predominantes.

El alto valor de potencia nominal tomado para el sistema se ha justificado como anteriormente se ha descrito.

Por otra parte, dado que se dispone de la capacidad de generación por cada una de las turbinas, se ha calculado en primer lugar la **energía generada en MW por el conjunto de las turbinas a instalar**. Este dato se ha obtenido multiplicando el número de ejemplares por la capacidad de generación (ecuación 4.3).

$$Gen(MW) = 1,5(kW) \cdot N^{\circ}Turbinas \quad (4.3)$$

Tras ello, multiplicando por el número de horas produciendo a máxima potencia al año, obtenido tal y como se describía en la introducción a la sección, se ha calculado el total generado por año en MWh. Con la cantidad obtenida, **4436,01 MWh/año**, se conseguiría una reducción total de un 15,30 % respecto del total de energía consumida por el Aeropuerto de Valencia en el 2016.

Para obtener un valor bruto de la energía producida al 5º año de funcionamiento del sistema, se ha multiplicado la cantidad anual bruta y se ha obtenido el siguiente resultado (4.27):

Valores generados totales al 5 año	
Total (MWh)	22180,06
Total bruto (€)	1.559.258,02

Cuadro 4.27: Valores de generación bruta del sistema de turbinas al 5º año de funcionamiento.

Con dichos valores, se ha continuado con la obtención de la inversión inmediata del sistema.

Inversión económica inmediata

Para calcular la inversión total necesaria para poner en marcha el sistema en el Aeropuerto, se ha tenido en cuenta un coste de instalación del 10 % del precio total del conjunto de las turbinas. Con dicha cantidad se han tenido en cuenta no sólo las labores de instalación, sino también los materiales utilizados (cableados, herramienta, etc).

Por otro lado, se ha calculado el importe de compra de las turbinas, pues se disponía del precio unitario. Dicho importe se ha fijado en 1.000 €. Con ello, sumando tanto el importe de instalación como el de compra mencionado en último término, se ha obtenido el importe de inversión total.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 4.3.5

Inversión Inmediata Media		
Instalación (€)	Coste sistema (€)	Inversión total (€)
112.532,00	1.125.320,00	1.237.852,00

Cuadro 4.28: Valores correspondiente a la inversión en el sistema de turbinas de tamaño medio para el Aeropuerto de Valencia.

Costes asociados a la tecnología

Precisamente debido a la configuración de las turbinas, el sistema se plantea mecánicamente más sencillo que las turbinas de eje horizontal. Esto se traduce directamente en una reducción del mantenimiento durante la vida útil del sistema. Por ello, se ha considerado únicamente un porcentaje del 1 % del coste total del sistema, anualmente, para mantener el parque en correctas condiciones de funcionamiento.

Con todo y con ello, se ha extraído la cantidad total destinada a mantenimiento tras el 5º año de la cantidad total de energía generada y expresada en euros, para obtener el total neto al 5º año.

Generación bruta (€)	Coste mantenimiento (€)	Generación neta (€)
1.559.258,02	56.266,00	1.502.992,02

Cuadro 4.29: Valores de generación neta del sistema de turbinas al 5º año de funcionamiento.

Con todo ello, se ha obtenido un valor de Retorno de la Inversión (ROI) de 121 %, bastante por encima de los anteriormente obtenidos.

Estudio de sensibilidad multivariable

Pese a que el valor obtenido es más que suficiente para asegurar la recuperación de la inversión inicialmente dispuesta, se ha realizado un estudio de sensibilidad para estudiar si los valores de las variables supuestas son los más apropiados para maximizar el rendimiento del parque de turbinas.

El resultado obtenido se muestra en la tabla 4.30, así como en la figura 4.15.

Potencia del sistema (1,5 kW)	
Potencia Nominal(%)	ROI
20 %	79 %
30 %	121 %
40 %	163 %
50 %	205 %
60 %	247 %
70 %	289 %
Potencia del sistema (0,75 kW)	
Potencia Nominal(%)	ROI
20 %	35 %
30 %	54 %
40 %	74 %
50 %	93 %
60 %	113 %
70 %	133 %

Cuadro 4.30: Estudio multivariable del sistema de turbinas sobre la potencia nominal y la potencia del sistema.

Se ha definido un rango para dicha variable que oscila entre el 20 % y el 70 %. A partir de los datos obtenidos del estudio, se observa que, cuanto mayor es esta variable, mayor es el ROI obtenido.

Para ambos sistemas, el aumento del ROI obtenido es directamente proporcional al aumento de la potencia del mismo. Sin embargo, se observa como al doblar la potencia de 0,74 kW a 1,5 kW, la pendiente de dicha recta aumenta de manera notable. Esto viene a decir que en este caso, manteniendo el precio de la turbina, sin importar la potencia de salida de la misma, el ROI que se obtiene con la de mayor potencia es muchísimo más interesante que el que se obtendría con la de menos potencia. Debido a la gran diferencia que se observa en el resultado, la selección de la de 1,5kW quedaría justificada.

Características sostenibles y cuidado del medio

Se ha calculado el equivalente a emisiones de CO₂ no vertidas a la atmósfera durante los 5 años transcurridos después de la instalación. En este caso se han conseguido valores prácticamente cuatro veces superiores a los obtenidos con el sistema anteriormente analizado, ya que, como es obvio, cuanto mayor es la capacidad de generación del sistema, mayor número de toneladas de CO₂ dejarían de vertirse. El resultado obtenido para el sistema que se analiza, se muestra en la tabla 4.3.7.

Aspectos medioambientales	
Toneladas de CO₂	16635,04
Ha de bosque	138,6253575

Cuadro 4.31: Valores de ahorro de emisiones para el sistema de turbinas de tamaño medio.

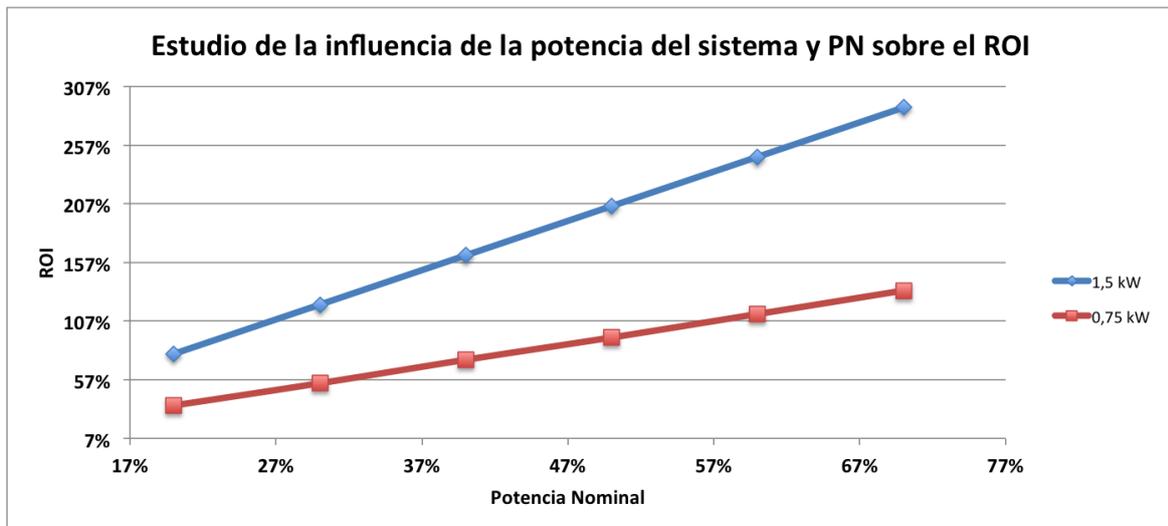


Figura 4.15: Evolución del ROI con la variación de la potencia del sistema, así como de la Potencia Nominal.

Localización del sistema en el Aeropuerto

Como ya se ha comentado al inicio de la sección, el parque de turbinas ha sido instalado en las inmediaciones de la pista. Concretamente en los claros que quedan disponibles entre la pista principal y las carreteras de rodaje.

En la figura 4.16 se muestra la ubicación exacta de las turbinas a través de una línea de color rojo. Pese a que la línea se ha dibujado de manera continua, se ha recordado que las turbinas han sido dispuestas con una separación de 10 metros entre ellas.

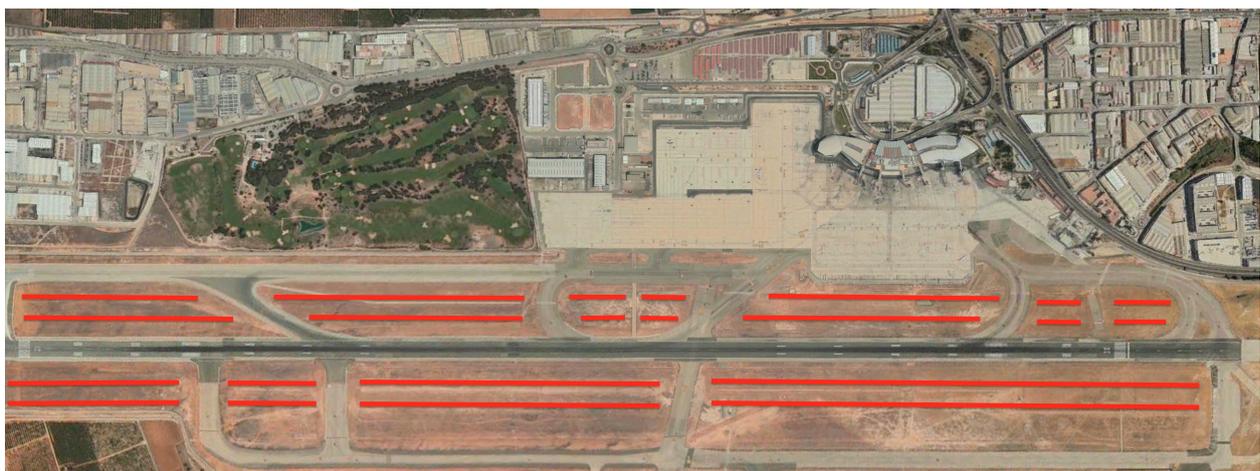


Figura 4.16: Emplazamiento del parque de turbinas de tamaño medio en el lado aire del Aeropuerto de Valencia.

Como se observa en la figura, las hiladas de turbinas han sido colocadas a distancia más que suficiente para no interferir en las operaciones normales de las aeronaves del Aeropuerto.

4.3.6. Sistema de placas solares

Otra de las opciones que se han barajado para la instalación de un sistema de generación verde dentro de los objetivos del proyecto es el de la instalación de una planta solar con funcionamiento On-Grid.

Para comenzar con el análisis del sistema, se ha determinado en primer lugar la ubicación del sistema dentro de las inmediaciones del Aeropuerto. En este caso, se necesitaba disponer de una superficie que cumpliera con los siguientes atributos:

- Que fuera lo suficientemente amplia como para ubicar el extenso parque que se planteaba
- Que no pudiera llegar a suponer un obstáculo para las operaciones aeroportuarias que se llevan a cabo de manera continuada en el Aeropuerto

Con todo ello, y en base a los requerimientos planteados, se ha elegido finalmente, para el emplazamiento del sistema, la azotea del parking principal del Aeropuerto.

Es importante conocer previamente a los cálculos de capacidad de generación del sistema el emplazamiento definitivo, ya que como en otros sistemas, la capacidad de generación del mismo será, en parte, directamente proporcional a la superficie empleada. Esto se debe a que cuanto mayor sea la superficie disponible, mayor cantidad de metros cuadrados se pueden llegar a cubrir. En el caso que nos ha ocupado, se ha decidido cubrir un total de 15059,15 m² de la cubierta total del parking.

El sistema que se pretende instalar, un sistema de plazas solares On-Grid, cuenta con 60 placas solares, con medidas de 2,43 m² cada una de ellas, lo que equivale a un total de **146 m² por cada conjunto de placas**. Dado que se ha establecido la cantidad total a cubrir, se ha determinado que el número total de placas a emplear es de 6188 unidades, lo que equivale a la **instalación de un macrosistema compuesto por 103 subsistemas de 60 placas cada uno**.

El objetivo final es el de aprovechar la máxima superficie para, como ya se ha dicho, disponer de un sistema con el mayor output posible de cara a la generación de energía limpia. Dado que cada sistema cuenta con una potencia de 15kW de máximo, con la instalación del sistema completo, **se pretende conseguir una potencia de 1,5 MW de output**.

El precio del sistema, así como los componentes del mismo se han resumido en la tabla 4.3.6.

Componentes del subsistema	
Placas solares de policristalina	60
Inversores de onda(4000W / 48V)	6
Baterias 390 Ah / 6V	32
Paneles de placas solares	6
Precio del subsistema (€)	25.792,88

Cuadro 4.32: Componentes del subsistema de placas solares utilizado en el análisis.

Los datos utilizados para el cálculo, algunos de ellos expuestos en este mismo apartado, han sido recogidos en la tabla 4.3.6. Con todo lo anteriormente descrito, se ha pasado al cálculo de la capacidad de generación total.

Datos Generales del sistema	
Factor de Capacidad (%)	30.0 %
Potencia por unidad (kW)	15
Superficie Cubierta Parking (m^2)	15.059
Vida útil (años)	35
Número de subsistemas (Ud)	103
Número de placas (UDS)	6188
Potencia celda(w)	260.00
Área por placa (m^2)	2.43
Superficie por sistema (m^2)	146.02
Placas por sistema	60

Cuadro 4.33: Datos iniciales para el cálculo del sistema de placas solares instalado en el Aeropuerto de Valencia.

Capacidad de generación

Se ha comenzado calculando la capacidad de generación del sistema que, en conjunto, alcanza los 1,5MW en total. Con dicha capacidad potencial, y gracias la Potencia Nominal del sistema, que se ha fijado en 30 %, se ha calculado el total de horas al año en que el sistema estaría produciendo a máxima capacidad, para, con ello, obtener la generación en MWh/año.

Teniendo en cuenta la energía consumida por el aeropuerto de Valencia en el Año 2016, y con los 4065,52 MWh/año generados por el sistema en cuestión, se estaría consiguiendo una reducción total de consumo del 14 %.

Sumando las cantidades anualmente producidas, se ha obtenido la cantidad bruta de energía generada al 5º año, para con ello, obtener el equivalente en euros. Las cantidades a las que se refiere se reflejan en la tabla 4.34.

Valores generados al 5º año	
Total (MWh)	20327,67
Total bruto (€)	1.429.032,37

Cuadro 4.34: Valores de generación bruta del sistema de placas solares al 5º año de funcionamiento.

A continuación se han tratado los costes de instalación e inversión.

Inversión económica total inicial

El precio cada uno de los subsistemas que se han propuesto en esta sección incluye, de manera simplificada, los precios de instalación de los mismos. Por dicho motivo, no se han

considerado costes extra asociados a dichas tareas.

A parte de los costes de instalación, para calcular la inversión se ha considerado el precio total de los 103 subsistemas instalados de manera conjunta. Dado que se conoce el precio por subsistema, se ha multiplicado dicha cantidad por el total de ellos y con ello, se ha definido la cantidad a invertir inicialmente. Dichos datos han sido incluidos en la tabla 4.3.6.

Inversión Inmediata Media		
Instalación (€)	Coste sistema (€)	Inversión total (€)
0	2.660.112,19	2.660.112,19

Cuadro 4.35: Valores correspondiente a la inversión en el sistema de placas solares para el Aeropuerto de Valencia.

La inversión, pese a ser considerable, no dista mucho de las cantidades anteriormente calculadas para los sistemas que mayores ROI han obtenido. De todos modos, hasta no analizar los datos de ROI para este sistema no es posible determinar el atractivo de la inversión.

Costes asociados al sistema

Tal y como sucedía con el sistema anteriormente analizado, los costes de mantenimiento para este tipo de sistemas, a priori, no son significativos. Esto es debido a la manera que tienen de trabajar, así como a la ausencia de grandes mecanismos que puedan aumentar las probabilidades de avería o rotura. Por ello, **se ha fijado un valor anual fijo equivalente al 1 % del precio total del sistema, de manera que se tenga en cuenta toda labor efectuada en el sistema para asegurar su funcionamiento óptimo.**

Se ha extraído el precio total acumulado para el mantenimiento al 5º año de funcionamiento, y se ha restado a la capacidad de generación bruta obtenida en la parte inicial del análisis. De esta manera se ha obtenido la generación neta al 5º año, y con ello el ROI del sistema.

Los datos relevantes referidos a generación neta se muestran en las tablas 4.3.6. **El ROI obtenido es del 49 %.**

Generación bruta (€)	Coste mantenimiento (€)	Generación neta (€)
1.429.032,37	133.005,61	1.296.026,76

Cuadro 4.36: Valores de generación neta del sistema de placas solares al 5º año de funcionamiento.

Pese a que se ha destacado como que el valor de la inversión inicial era abultado, queda demostrado como, para este sistema en particular, y debido en gran parte al ROI obtenido, no se descarta la opción de instalarlo ya que, en principio, podría llegar a recuperarse la inversión total dentro del rango de vida útil de que goza. **Concretamente, el valor de ROI ha resultado ser del 49 %.**

Estudio de sensibilidad multivariable

Se ha llevado a cabo un estudio de sensibilidad para determinar si, en caso de modificar alguno de los parámetros que caracterizan el sistema, el ROI se pudiera ver aumentado. Por ello, se ha variado la potencia nominal en primer lugar, manteniendo la potencia del sistema. se ha observado que cuanto mayor es la potencia nominal del sistema, mayor es el retorno de la inversión.

Dado que las conclusiones obtenidas a partir del estudio son similares a las obtenidas para otros sistemas, se ha determinado continuar con el estudio del aumento de la superficie a cubrir. De esta manera se ha pretendido determinar si con el aumento de la superficie se superaría la barrera del precio y se vería aumentado el ROI. Los resultados obtenidos del estudio se plasman en la figura 4.17 4.18.

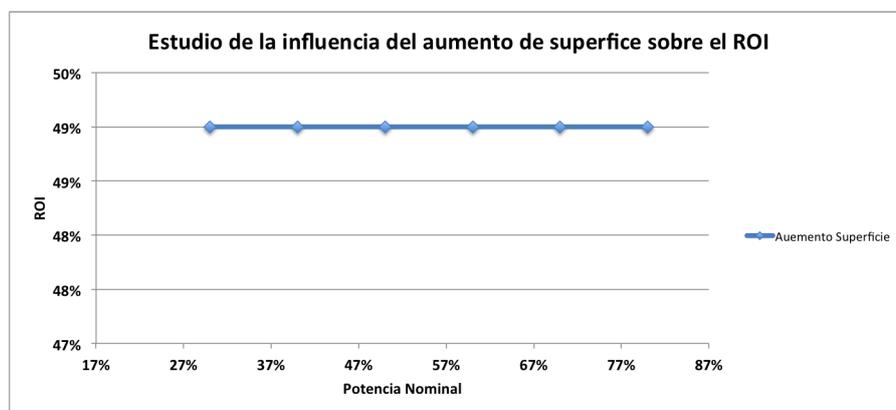


Figura 4.17: Evolución del ROI con la variación de la superficie cubierta.

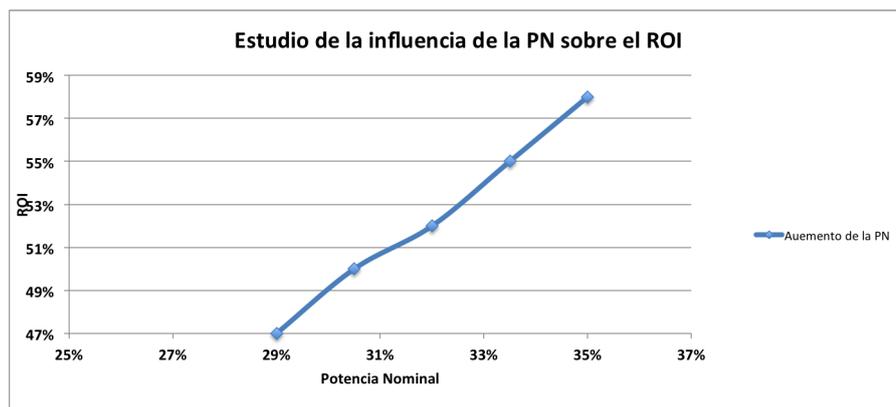


Figura 4.18: Evolución del ROI con la variación de la potencia de la Potencia Nominal.

Como se observa, el efecto del aumento de la superficie cubierta sobre el ROI de la media no es efectivo, pues la tendencia es plana. Esto viene a decir que el precio del sistema no es el más adecuado si lo que se pretende es, para la misma potencia, generar más beneficio con el

sistema. No se consigue superar el handicap del precio.

En cuanto a la potencia nominal del sistema, si se comprueba como efectivamente, con su aumento, se pueden conseguir valores muy interesantes de ROI. Sin embargo, éste se ha fijado en 30 % para todo el cálculo.

Características sostenibles y cuidado del medio

Se ha calculado el equivalente a emisiones de CO₂ no vertidas a la atmósfera durante los 5 años transcurridos después de la instalación. El resultado obtenido para el sistema que se analiza, se muestra en la tabla 4.3.6.

Aspectos medioambientales	
Toneladas de CO ₂	15245,72
Ha de bosque	127,047

Cuadro 4.37: Valores de ahorro de emisiones para el sistema de placas solares.

Tras la obtención de las cantidades correspondientes, se ha establecido la superficie a cubrir sobre el mapa del Aeropuerto de Valencia.

Localización del sistema en el Aeropuerto

El sistema ha sido finalmente ubicado en la zona delimitada en verde dentro de la figura 4.19, en la azotea del parking principal del Aeropuerto. Los detalles han sido ya descritos al comienzo de la sección.



Figura 4.19: Localización dentro del mapa del Aeropuerto de Valencia del sistema de placas solares.

4.3.7. Sistema de generación con baldosas para peatones

Para llevar a cabo el análisis del sistema de generación basado en losas piezorresistivas, se ha de tener en cuenta que, como se ha hecho con otros de los sistemas que han sido ya analizados, es necesario definir los lugares en los que las losas serán instaladas.

En este caso, se han tenido en cuenta varias cosas. La primera de ellas es la siguiente:

- Cada una de las losas genera unos 5 a 7 W cuando son pisadas y tienen una vida útil de 20 años.

Para continuar con el análisis, en este caso, se ha dispuesto del dato de generación unitaria de cada losa, para que, sumado con el número de pasajeros del Aeropuerto, se pueda llegar a obtener la energía que se busca. Dado que no se conoce la cantidad de pasajeros por horas que transitan el aeropuerto, se ha calculado de manera estimada la cantidad de veces que cada uno de los pasajeros podría pasar por cada losa situada dentro de la Terminal, y para ello, de manera similar a como se ha hecho con el pavimento para vehículos, se han definido varios puntos de control por los que los pasajeros deberían estar pasando de manera obligada. Concretamente, se han establecido tres flujos de pasajeros diferenciados por plantas; considerando así la zona de llegadas, zona de salidas y accesos desde el metro:

- **Zona acceso al metro:** se ha asumido que el 50 % de los pasajeros acceden o se van del aeropuerto usando el transporte en metro. Por ello, se ha decidido colocar 16 m² de pavimento ocupando las dos puertas disponibles para el acceso a la plataforma de metro, de manera que todos los pasajeros que quisieran acceder al metro, estarían pisando el sistema allí instalado y, en última instancia, generando electricidad.
- **Zona de llegadas:** se ha considerado como puntos de paso obligados los 8 pasillos en los que existen puntos de control. Por cada uno de los puntos de control (se dispone de 4 de ellos) se ha instalado en cada uno de los 2 pasillos de que dispone un pavimento compuesto por losas, con unas medidas de un metro de ancho y unos 10 de largo, situando en total 10 m² de losas en cada uno, sumando 80 m² en total.
- **Zona de salidas:** donde se dispone de la zona de seguridad y de escaner y, que cuenta con 8 pasillos. En este caso, tal y como se ha hecho en la zona destinada a llegadas, se ha situado de nuevo una superficie de 10 m² en cada uno de los pasillos. El conjunto de los sistemas allí instalados habrían sumado otros 80 m². Además de los 8 pasillos pertenecientes a los puntos de control, existen 8 más en la parte de control de pasaportes. De esta manera se asegura que los viajeros que pasan por los puntos de control 1, pasen también por el 2.

Para las plantas de salida y de llegadas se ha estimado que el tráfico total de pasajeros se reparte entre ambas plantas de manera equitativa, es decir, la mitad ha ido a salidas y la otra mitad a llegadas.

Dado que se ha instalado el sistema en los pasillos de la Terminal, al menos en dos de las 3 ubicaciones propuestas, **se ha establecido un coeficiente de rendimiento del sistema descrito que mide la cantidad de losas pisadas por cada viajero que transita sobre las losas.** Como son pasillos de 10 metros de largo, y cada losa mide sobre el medio metro de

largo, y las zancadas de media son de 1 metro por persona, se ha supuesto un coeficiente del 50 %, suponiendo que cada persona únciamente pisa la mitad de las mismas.

Con ello, se ha procedido al cálculo de la energía generada al año por el conjunto de los sistemas instalados.

Los datos considerados para ser utilizados en el cálculo, se resumen en la tabla 4.3.7.

Datos Generales del sistema	
Potencia por unidad (Wh/pax)	6
Sup. por losa (m^2)	0.225
Vida útil (años)	20
Distancia Total cubierta (m^2)	256.00
número adoquines	1137.78
Precio por Unidad (€)	100.00
Planta primera (m^2)	160.00
Planta baja (m^2)	80.00
Acceso y salida metro (m^2)	16.00
Factor de pisada (%)	50
Diemnsiones de cada losa (cm)	50x45

Cuadro 4.38: Datos inicialmente considerados para el cálculo del sistema de losas piezorresistivas.

Capacidad de generación

Una vez se han analizado los distintos datos iniciales que han permitido comenzar con el cálculo, se ha continuado calculando la capacidad generación de cada uno de los subsistemas que han sido instalados. Se han calculado por separado los datos correspondientes a los 3 puntos de generación definidos en los distintos puntos de la Terminal. Sin embargo, la metodología que se ha seguido para obtener dichos valores ha sido la misma.

Teniendo en cuenta el dato de pasajeros totales del Aeropuerto, en cada uno de los puntos se ha calculado la generación mediante la multiplicación de dicho número, por el ratio de pasajeros destinados a pasar por dicho punto, además de por la capacidad de generación por pisada y por el conjunto de veces que en dicho punto cada viajero es susceptible de pisar dicha losa. Esta ecuación se muestra en 4.4.

$$Generacin(MWh) = 6 \cdot 10^{-6} \cdot Ratiopasaj.(%) \cdot N^{\circ}.Baldosas \cdot RatioPisada(%) \quad (4.4)$$

Con ello, se ha obtenido la cantidad generada al año en MWh para cada uno de los subsistemas. Sumando las tres componentes para cada uno de los años, se ha obtenido el total generado al año por el conjunto del sistema, y tras ello, el total generado por el sistema tras el 5º año de funcionamiento. **Cabe destacar que, con el valor obtenido de generación**

al año por el sistema, se podría llegar a conseguir una reducción del 1,86 % respecto del consumo del aeropuerto total anual.

Utilizando el coeficiente de equivalencia, se ha obtenido el valor de generación bruta, en euros, del sistema tras el 5º año de funcionamiento.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.39.

Valores generados totales 5º año	
Accesos a metro (MWh)	86,98
Zona de Llegadas (MWh)	869,86
Zona de Salidas (MWh)	1739,73
Total generado (MWh)	2696,58
Total bruto (€)	189.569,81

Cuadro 4.39: Valores de generación bruta del sistema de lasas piezorresistivas al 5º año de funcionamiento.

Pese a que el valor de generación bruta en euros pueda parecer algo bajo en comparación a otros sistemas anteriormente analizados, se ha de tener en cuenta que el coste de cada una de las lasas de que se compone el sistema tienen es reducido. Por ello, hasta que no se analice el resto de valores del cálculo, no sería posible determinar si la medida es resntble desde el punto de vista económico.

Inversión económica inmediata

Como se ha comentado con anterioridad, el coste de cada una de las lasas es bastante ajustado, unos 100 euros la unidad. Con dicho dato se ha comenzado a calcular el coste total del sistema así como los costes de instalación del sistema, a fin de calcular la inversión total económica asociada.

Para calcular el **coste total del sistema** se ha multiplicado el número total de lasas de que se compone el sistema, por el coste de cada una de ellas.

Por otro otro lado, el importe dedicado a la instalación del sistema, se ha considerado que asciende a un total del 15 % del total del coste del sistema. En este caso, el importe fijado ha resultado ser algo más alto dado que las labores de instalación del sistema son algo más arduas. Se debe levantar el pavimento dentro de la terminal para instalarlo.

Con todo ello, los valores obtenidos para dichas variables, se muestran en la tabla 4.3.7.

Inversión Inmediata Media		
Instalación (€)	Coste sistema (€)	Inversión total (€)
17.066,67	113.777,78	130.844,44

Cuadro 4.40: Valores correspondiente al sistema de lasas piezorresistivas para el Aeropuerto de Valencia.

El importe total a invertir de manera inmediata para la puesta en marcha del sistema asciende a un total de 130.844,44 €.

Se ha continuado con el cálculo del coste asociado al mantenimiento de la tecnología durante el tiempo establecido para calcular el ROI.

Costes asociados al sistema

Debido a la naturaleza de la tecnología, se ha considerado un coste asociado a mantenimiento muy reducido. Ésto se debe a que, una vez la tecnología está instalada, no se ha de realizar ninguna labor de mantenimiento, más que las estrictamente necesarias cuando alguna de las piezas falle y deba ser sustituida antes de que se cumpla la vida útil total del sistema, de 20 años. Todo ello ha hecho que se defina un coste total asociado a la tecnología de un 1 % del coste total de la tecnología.

Con todo ello, se ha obtenido el coste total al 5º año de funcionamiento, obtenido de sumar el coste anualmente destinado a las labores ya descritas. Con dicho valor, y una vez extraído del valor de generación bruta, se ha obtenido el valor de generación neta tras el 5º año de funcionamiento, para con ello obtener el ROI de la medida. Los datos referentes a costes y a valor de generación neta se muestran en la tabla 4.3.7.

Generación bruta (€)	Coste mantenimiento (€)	Generación neta (€)
189.569,81	5.688,89	183.880,92

Cuadro 4.41: Valores de generación neta del sistema de losas piezorresistivas al 5º año de funcionamiento.

Tal y como se ha comentado, a pesar de que los valores de generación no sean demasiado altos comparados con otras de las medidas analizadas, debido en parte a los ceñidos costes de mantenimiento y de instalación, se ha obtenido un ROI superior al 100 % que asegura que la medida sería rentable como para recuperar el dinero invertido en tan solo 5 años. **El dato de ROI obtenido es de 141 %.**

De esta manera, nos encontramos ante una medida con una alta versatilidad ya que gracias a la manera en que está construida, es posible ubicarle en multitud de lugares. Todo ello, contando con que la inversión que se pudiera llevar a cabo, se recuperaría en un periodo de tiempo suficientemente razonable. Como lugares alternativos de instalación, se tiene:

- Lugares o pasillos en los que actualmente se dispone de cintas que permiten transportar a los viajeros. En estos, se podría instalar, por ejemplo, un sistema de visualización al final de los trayectos en que se ubique para indicar la cantidad generada.
- Salas de espera o incluso lugares de acceso y salidas de la terminal.
- Aceras o lugares externos a la Terminal, por los que los viajeros han de pasar para acceder al resto de instalaciones del Aeropuerto.
- Lugares de recreo o destinadas a los niños, tanto en el interior de la Terminal como en cualquier lugar externo de la misma.

Características sostenibles y de cuidado del medio

Se ha calculado el equivalente a emisiones de CO₂ no vertidas a la atmósfera durante los 5 años transcurridos después de la instalación gracias al uso de la tecnología. El resultado obtenido para el sistema que se analiza, se muestra en la tabla 4.3.7.

Aspectos medioambientales	
Toneladas de CO ₂	2022,43
Ha de bosque	16,85

Cuadro 4.42: Valores de ahorro de emisiones para el sistema de losas piezorresistivas.

Como se muestra en la tabla, los datos obtenidos para el sistema que se analiza son bastante ajustados. Esto se debe a que las cantidades directamente evitadas a la atmósfera son directamente proporcionales a la cantidad de energía producida, ya que se estaría teniendo en cuenta qué cantidad de emisiones un sistema traccional, como los de combustión interna, estaría emitiendo para producir dicha cantidad de energía.

Localización del sistema en el Aeropuerto

Tal y como se ha descrito al inicio del análisis, el sistema de losas piezorresistivas ha sido instalado en interior de la Terminal de pasajeros, a lo largo de las distintas plantas. De esta manera, el objetivo que se ha perseguido es el de aprovechar la máxima cantidad de energía de la que actualmente no se aprovecha, gracias al gran tráfico de pasajeros de que se dispone.

4.4. Resumen comparativo y medidas seleccionadas

Tras haber llevado a cabo el análisis individual de las distintas medidas, donde se ha analizado de manera completa tanto los aspectos y capacidades energéticas, aspectos económicos y características sostenibles, se ha de seleccionar el conjunto de medidas que finalmente serán instaladas en el Aeropuerto.

El resumen comparativo que se ha propuesto tiene en cuenta los aspectos más importantes de cada una de las medidas analizadas, de modo que se puedan comparar dichas medidas entre ellas mismas, y que, finalmente, se pueda otorgar una valoración a cada una de ellas que justifique claramente si la medida ha de ser instalada y por qué.

Para ello, se ha tenido en cuenta que el análisis tenga su base en variables de distinto ámbito, ya que pese a que aquellas de índole económico puedan resultar muy atractivas al estar dando soporte al ROI obtenido, las medioambientales también lo son, al tratarse éstas de medidas sostenibles de generación energética. Además, para dichas variables, o las más importantes, se ha calculado el valor promedio, para, de manera individual, ser capaces de ver dónde se encuentra cada medida respecto de dichos valores.

De esta manera, las variables que se han tratado para las 7 medidas finalmente analizadas son:

- ROI obtenido al 5º año y la desviación de cada medida frente al valor medio
- Toneladas de CO2 evitadas y la desviación de cada medida frente al valor promedio
- Ha de bosque conservadas y la desviación de cada medida frente al valor medio
- Años para la amortización completa de la medida
- Cantidad invertida (€) por Hectárea conservada y la desviación respecto al valor promedio
- Cantidad invertida (€) por Tonelada de CO2 no vertida y la desviación respecto al valor promedio
- Cantidad de la vida útil produciendo a coste 0

Con estas variables, se pretende establecer directamente cuál es el atractivo de los sistemas analizados, a través de un Overall Score de los mismos. Esta puntuación está basada en la nota que cada sistema obtenga de manera individual en todos los ámbitos que se incluyen en la evaluación.

Tras determinar el valor de las distintas variables analizadas, tal y como se muestra en la tabla del anexo [?], que no ha sido incluido aquí debido a las dimensiones de la misma, se han determinado una serie de aspectos enunciados a continuación.

Análisis de ROI

Tras analizar el ROI de las medidas, se ha determinado lo siguiente:

- 1 Se ha fijado primeramente un ROI a cinco años como un periodo en el que, tratándose del tipo de inversión e infraestructura, sería más que razonable que se comenzara a recuperar la cantidad invertida.
- 2 Se ha considerado que en este caso, un valor de ROI del 45 % tras el 5º año sería más que razonable para cada una de las medidas. En caso de ser inferior a dicho valor la medida deja de ser atractiva desde el punto de vista económica. Este valor ha sido considerado teniendo en cuenta que el valor medio del conjunto es del 36 %. Según este criterio, **únicamente 4 de las 7 medidas que se analizan podrían considerarse a priori como medidas de potencial apicación, a saber: planta de cogeneración, planta de placas solares, parque de turbinas de tamaño medio y losas piezoresistivas.**
- 3 De las 4 anteriores, únicamente la planta de cogeneración, la planta de turbinas de tamaño medio y las losas piezoresistivas, superan con creces más del el doble del ROI mínimo exigido para ser consideradas como medidas atractivas, superando incluso el 100 % de ROI a 5 años. Para estas medidas, se asegura por lo tanto que **la mayor parte de su vida útil estarán produciendo electricidad a coste 0**. Concretamente, tienen tasas de generación a coste 0 sobre su vida útil del 80 %, 60 % y 80 % respectivamente.

Para las medidas mencionadas en este punto, tras calcular el tiempo necesario para amortizar la inversión al 100 %, se obtienen periodos cercanos a los 5 años, o incluso

inferiores, como en el caso de las plantas de generación de turbinas y el sistema de losas piezorresistivas.

- 4 El parque de placas solares, arroja un valor de ROI del 49 %, que está muy cercano al límite propuesto. De esta medida cabe destacar que dispone de una tasa de generación a coste 0 del 71 % de su vida útil, lo que la hace una tecnología lo suficientemente interesante para su aplicación, a pesar de dar un ROI cercano al límite.
- 5 Los sistemas de reducción de velocidad, así como los de aplicación en pavimentos para vehículo obtienen valores de ROI muy bajos al 5º año, incluso por debajo del valor medio propuesto. Por otro lado, si se presta atención al tiempo de su vida útil que estarían produciendo a coste 0, **se observa como las medidas el sistema de badenes y el de pavimento fotovoltaico necesitarían tiempos muy superiores a su vida útil para ser completamente amortizadas.** El otro de los sistemas, **el sistema de pavimento piezorresistivo, obtendría un valor del 23 % de su vida útil a coste 0.** Por ello, pese a disponer de un ROI bajo, si se tuviera que decidir entre uno de los dos sistemas de aplicación en pavimentos, éste último se puede considerar discutible.

Análisis de toneladas de CO2 evitadas

Tras analizar el volumen de emisiones de CO2, para las distintas medidas, se ha determinado lo siguiente:

- 1 Se observa como la cantidad de toneladas de CO2 no vertidas va en consonancia con la capacidad generadora de cada uno de los sistemas. Cuanta más energía limpia se genere, mayores cantidades de CO2 habrán sido no vertidas a la atmósfera.
- 2 Se ha calculado un valor promedio de las emisiones evitadas por medida, **obteniendo un valor medio de 3.534,85 Tons de CO2.** De esta manera, se ha comprobado como, de nuevo, **la planta de cogeneración y la planta de turbinas de tamaño medio están muy por encima de la media,** pero sin embargo esta vez el sistema de losas generadoras se encuentra un 43 % por debajo. Esto seguramente se debe a la baja capacidad generadora del sistema.
- 3 De igual modo, el sistema de reducción de velocidad, así como la carretera piezorresistiva, por lo que nuevamente se erigen como las menos atractivas dentro de las propuestas en base al criterio de emisiones. Sin embargo, la medida con la que ésta última se compara, la carretera solar, así como el parque de placas solares, están por encima de la media en un 27 % y 331 %. **Estos datos hacen de la planta solar una de las más atractivas respecto del resto de medidas en base al criterio de emisiones.**

Análisis de las Hectáreas de bosque conservadas

La equivalencia en Ha de bosque conservadas, respecto de la energía verde generada se ha calculado del mismo modo que las toneladas de CO2. Ambas variables están directamente relacionadas. Por dicho motivo, no se observa desviación en los resultados respecto de la medida anteriormente analizada.

Las medidas que mejores resultados obtenían en la reducción de las emisiones de CO2, son ahora las que consiguen mayores equivalencias en hectáreas de bosque conservadas.

Análisis del precio invertido por hectárea

Se ha calculado cuál es el precio medio que ha de invertirse por hectárea de bosque conservada, para el conjunto de las medidas, obteniendo un promedio de 16.431,13 €. A partir de ahí, se ha calculado cuál es la desviación de cada una de las medidas respecto a dicho valor, teniendo siempre en cuenta que, en este caso y dado que se está tratando un coste, las medidas que pudieran resultar más atractivas son aquellas con menores costes de inversión por unidad analizada. Con ello se tiene:

- 1 La mayor parte de las medidas obtienen valores por debajo del valor medio. Este es un dato positivo, ya que significa que excepto la medida de reducción de velocidad, que obtiene un valor muy alto de inversión por hectárea, el resto estarían empleando poco dinero para conservar una hectárea de bosque. Este aspecto es debido a que las hectáreas conservadas son directamente proporcionales a la capacidad de energía verde de que se dispone.
- 2 En este caso, **las medidas que mejores datos obtienen son los sistemas de las generadoras, la planta de turbinas de tamaño medio, el parque de placas solares, y los sistemas de aplicación en carretera.** Todas ellas con valores similares y por debajo del 30 % del valor medio. **La medida que, con diferencia, peores datos obtiene para la variable que se analiza es la de reductores de velocidad, en la que el precio por hectárea alcanza los 211.894,8 €; un 1190 % por encima de la media.**

Análisis del precio invertido por tonelada invertida

Se ha analizado cuál es el coste medio que se ha de pagar por medida, cuando se quiere evitar vertir una tonelada de CO₂. **Para ello, lo primero que se ha hecho ha sido calcular cuál es el coste medio por tonelada no vertida de CO₂. Éste ha resultado ser igual a 136,93 €.**

Tras el análisis se ha observado que:

- 1 De nuevo es la medida de reducción de velocidad la que peores datos arroja. El precio medio que para esta medida se ha de invertir para dejar de verter una tonelada de CO₂ asciende a 1.765,79 €. Esta cantidad es un 1190 % superior al valor medio, por lo queda como la peor parada frente al análisis.
- 2 El resto de medidas se encuentran por debajo del precio medio, por lo que en principio, no saldrían mal paradas respecto del análisis en torno a esta variable.

Valoración de las medidas

Tras el análisis de las distintas variables, llega el momento de determinar cuáles son las que finalmente han sido seleccionadas. Para ello, se tendrá en cuenta el conjunto de las variables analizadas en este apartado, de índole medioambiental, económico y funcionales, a modo de ser capaces de obtener una puntuación sobre 10 para cada una de las medidas; **se pretende**

obtener un Overall Score que determine cuáles se van a instalar finalmente y cuáles no.

Primeramente, se ha definido un conjunto de variables agrupadas dentro de las 3 categorías anteriormente mencionadas, y se les ha otorgado un peso, no sólo a las tres categorías, sino a cada una de las variables contenidas en cada una de las 3 categorías. Con todo ello se ha obtenido la puntuación total para cada una de las medidas estudiadas en el presente capítulo.

Por otro lado y previamente a la referencia a los pesos de las variables, se ha determinado el peso de las 3 categorías centrales, a saber:

- **Variables medioambientales**, a las que se les ha otorgado un peso total sobre el cálculo del del 40 %. En este caso, se ha incluido cualquier que afectase directamente a la conservación del medio ambiente
- **Variables económicas**, a las que se les ha otorgado un peso total del 40 %, haciendo en este caso referencias a todas aquellas variables directamente relacionadas con la generación económica de la medida, así como con la recuperación de la inversión y los aspectos relacionados con la misma
- **Variables funcionales**, a las que se les ha otorgado un peso menor a las anteriormente citadas, un 20 %. En este caso, se han incluido variables que tienen que ver con aspectos no relacionados con lo económico o lo medioambiental

Cabe destacar que los distintos pesos otorgados en cada una de las categorías se ha definido en base a la importancia que cada una de las mismas tenía con respecto a los objetivos del proyecto. Dado que se pretendía encontrar fuentes de generación sostenibles, pero a la vez que fueran económicamente viables, se ha otorgado el mismo peso a ambos aspectos. El carácter funcional no es tan importante como los anteriormente comentados, y por eso se le ha dado un peso equivalente de la mitad.

Los distintos pesos asignados a las variables contenidas en las categorías citadas, se muestran en la tabla 4.4.

Variables medioambientales	
Toneladas CO2 evitadas 5º año	60 %
Ha conservadas 5º año	40 %
Variables económicas	
Inversión total	20 %
Vida útil a coste nulo	20 %
Coste de la Ha (€/ha)	20 %
Precio de la Ton CO2 (€/CO2)	20 %
ROI 5º año	20 %
Variables funcionales	
Reducción consumo vs Año 2016	70 %
Impacto del sistema en ecosistema	30 %

Cuadro 4.43: Pesaje de las distintas variables contenidas en las categorías determinadas para el análisis de selección de las medidas.

Con todo ello se ha otorgado una puntuación a cada una de las medidas en cada uno de los campos cobtenidos en la tabla 4.4. Dicha puntuación, que más tarde ha sido pesada para hallar su contribución directa a la nota final, ha sido asignada en función de cuál era el valor más óptimo de entre todas las medidas analizadas para la variable en cuestión. Para cada una de las variables analizadas, se ha otorgado una puntuación de 10 sobre 10 a aquella medida que ontenía el dato más favorable frente al resto en dicha categoría, y el resto ha sido promediadas en base a la misma. De esa manera el estudio se ha basado totalmente en el el conjunto de las medidas.

Cuando cada una de las categorías ha sido estudiada para todas las medidas, se ha calculado la contribución de cada una de las mismas dentro de sus correspondientes categorías y, tras ello, se ha calculado la puntuación final de cada una de ellas sobre 10.

Las puntuaciones obtenidas se muestran en la tabla 4.4.

Overall Score	Overall Score Normalizado	
Planta Cogeneración	8,05	10
Reductor de Velocidad	1,08	1,34
Carretera Piezoeléctrica	2,44	3,03
Carretera Solar	2,27	2,82
Turbinas Tamaño Medio	4,21	5,22
Placas Solares	3,96	4,92
Losas Generadoras	4,12	5,115

Cuadro 4.44: Overall Score obtenido para las distintas medidas analizadas.

Como se observa en la tabla, no sólo se ha incluido el Overall Score, sino también un valor normalizado del mismo: **Overall Score Normalizado**.

Debido a la manera en que se ha calculado la puntuación para cada una de las medidas, la medida 1, la Planta de Cogeneración, es la que más reforzada ha resultado, obteniendo una puntuación más alta que las del resto. Esto se ha debido a que, tal y como se ha venido observando a lo largo de los distintos análisis y comparaciones, ésta es la medida con mayor potencia generadora, y, por lo tanto, es la que ha obtenido valores más alto de generación, y de emisiones y hectáreas conservadas, siendo el único campo de los analizados en que salía mal parada, el campo de inversión necesaria. Debido a esto, el resto se encuentran bastante por debajo de la misma.

Para ser capaces de determinar finalmente qué medidas serán las que serán seleccionadas, se ha decidido normalizar las puntuaciones del Overall Score en base a la Planta de Cogeneración. De esta manera, para la misma, el valor obtenido ha pasado a ser de 10, y en base a la misma, se ha obtenido el resto de puntuaciones normalizadas.

Finalmente, se ha considerado que, debido a la gran distancia en términos de generación que guarda la Planta de cogeneración con el resto de medidas, todas aquellas que obtuvieran valores normalizados cercanos a 5 o superiores, serían aptas para ser incluidas dentro de la renovación del Aeropuerto de Valencia. Por ende, finalmente se han seleccionado las siguientes

medidas:

- **Planta de Cogeneración**
- **Parque de Turbinas**
- **Parque de Placas Solares**
- **Sistema de Losas Generadoras**

El resto de las medidas consideradas no han llegado a cumplir el estándar propuesto tras el exhaustivo análisis y, por lo tanto, han quedado fuera de la selección final.

Para terminar con la sección, se ha determinado cuál sería la inversión necesaria para instalar el conjunto de las medidas incluidas en la selección, cuál sería el ROI conjunto al 5º año de proyecto, y por ende, cuál sería el ROI anual de la medida, así como cuál podría ser la cuota de energía finalmente ahorrada frente al consumo en el año 2016. Todos estos datos se muestran en la tabla 4.4.

La valoración de cada una de las medidas y las puntuaciones otorgadas para cada variable, se muestra en la última tabla incluida en los anexos del final del documento.

Datos de interés del conjunto seleccionado	
Inversión total (€)	13.028.808,64
ROI anual (%)	16
ROI al 5º año (%)	82
Cuota de ahorro anual vs 2016 (%)	109,89

Cuadro 4.45: Datos finales referentes a las medidas seleccionadas

Como se observa, con el conjunto de medidas obtenidas se podría llegar a cubrir la demanda total del Aeropuerto de Valencia si se conservasen los datos de consumo del año 2016. Se dispondría de energía limpia suficiente como para abastecer de manera completa todas las labores realizadas y todas las áreas presentes dentro de la infraestructura, con un valor de Retorno de la Inversión anual del 16 % de la inversión total.

5

Conclusiones y trabajos futuros.

5.1. Conclusiones

Recordando el objetivo del presente trabajo, rediseñar el sistema de abastecimiento energético de la Terminal de pasajeros del Aeropuerto de Valencia, considerado de tráfico medio, en base a la generación de energía de manera limpia, eficiente y sostenible, se van a enumerar las conclusiones globales que se han obtenido tras haberlo llevado a cabo.

- Con la realización del presente trabajo sobre el Aeropuerto de Valencia, se ha podido llegar a conocer con detalle cuáles son las características funcionales de este tipo de infraestructuras a nivel de sistemas, capacidades y especificaciones técnicas, de manera generalizada, forjando una idea mucho más nítida que la que se tenía previamente a la realización del mismo.
- Se ha llegado a la conclusión de que el objetivo que se ha fijado para la realización del trabajo, tiene la suficiente importancia como para ser considerado como una tendencia cada vez más extendida a nivel mundial, buscanso siempre infraestructuras más eficientes de lo que se tienen hoy en día.
- Se ha estudiado y entendido cuál es el significado de Terminal de Pasajeros Sostenible, descubriendo que para llevar a cabo una transformación completa y adaptada a dicha condición de una Terminal, hay dos corrientes principales. La arquitectónica y la Tecnológica.
- Ha sido posible conocer con detalle multitud de Terminales de pasajeros en todo el mundo consideradas como sostenibles, entendiendo cómo habían sido construidas o adaptadas, y cómo se han utilizado la vertiente arquitectónica y tecnológica para conseguir infraestructuras atractivas desde el punto de vista medioambiental.

- Se concluye con el Aeropuerto de Valencia, hasta el momento del análisis, únicamente había llevado a cabo pequeñas labores de sustitución de dispositivos de alto consumo por otros tecnológicamente más avanzados, así como la puesta en marcha de labores de reciclaje y gestión de residuos, que han dado cabida y sentido al estudio que se ha llevado a cabo en el presente trabajo con el fin de ir más allá del punto de partida.

- Se ha podido estudiar el amplio mercado de medidas en desarrollo y ya en funcionamiento con la etiqueta de sostenible, observando cómo solo una pequeña cantidad de las mismas eran aptas para su estudio en profundidad y posterior aplicación y puesta en marcha.

- Se ha optado por el desarrollo del objetivo siguiendo una de las dos soluciones citadas anteriormente, la solución tecnológica. Se han propuesto 8 medidas sostenibles desde el punto de vista de generación de energía y de emisiones, con las que se ha perseguido la sustitución de la energía consumida en 2016 proveniente de sistemas tradicionales, por la generada gracias a las medidas estudiadas.

- Gracias al análisis de cada una de las medidas, ha sido posible determinar las propiedades de generación, económicas, de inversión y medioambientales de cada una de ellas, basando dichos estudios finalmente no sólo en la capacidad de recuperación de la inversión al 5º año, sino en la huella de carbono que éstas dejan en el medio ambiente.

- Se ha realizado un estudio comparativo del conjunto de medidas analizadas previamente, a través de multitud de variables de distinta índole, determinando finalmente el conjunto de medidas a aplicar dentro de la Terminal de pasajeros del Aeropuerto y en las inmediaciones del mismo. Para ello, se ha confeccionado un sistema de asignación de puntuación multivariable (Overall Score) con base en tres categorías: medioambientales, económicas y funcionales.

- Se han seleccionado 4 medidas del total de las nueve medidas analizadas al ser consideradas las más aptas tras el análisis llevado a cabo. Se ha determinado que con el conjunto de las medidas, y para los mismos valores de consumo energético del año 2016, se podría llegar a cubrir la demanda de energía gracias a la cantidad producida de manera sostenible, recuperando prácticamente la totalidad de la inversión al 5º año desde su puesta en marcha.

- Las medidas que finalmente se han propuesto para la instalación son la planta de cogeneración, el parque de placas solares, el parque de turbinas de tamaño medio y el sistema de generación basado en losas piezorresistivas.

5.2. Trabajos futuros

Para la futura continuación del presente trabajo, se sugieren tres líneas de desarrollo fundamentalmente:

- Dado que finalmente se ha obtenido por el desarrollo del proyecto a través de la introducción de medidas tecnológicas que permitieran aprovechar energía hasta ahora desaprovechada, se propone como vía alternativa el desarrollo de un plan de transformación del Aeropuerto, así como de su Terminal desde el punto de vista arquitectónico. De esta manera se podría estudiar si la configuración de las distintas partes del Aeropuerto es la más idónea si lo que se pretende es optimizar el funcionamiento y ser capaces de aprovechar la mayor cantidad de energía disponible en el entorno. Se podría, en caso de no ser así, proponer mejoras y cambios que pudieran aumentar la sostenibilidad del Aeropuerto.
- Otra de las posibles vías de desarrollo del trabajo se correspondería con la de, con base en la información recogida y analizada, así como las medidas estudiadas y finalmente contempladas para el abastecimiento del Aeropuerto, plantear una alternativa con otras medidas presentes en el mercado, o incluso buscar una alternativa que combinase tanto soluciones tecnológicas, contempladas a través de sistemas de generación, como soluciones arquitectónicas. Todo ello con el fin de conseguir determinar cuál es la opción más eficiente de todas las posiblemente planteables.
- Como última vía, se podría plantear el desarrollo de un plan completo de desarrollo del proyecto y aplicación en el Aeropuerto, que contemple no sólo las medidas y las capacidades conseguidas con la aplicación de las mismas, sino que se diseñasen las fases del proyecto que se propone, en términos de desarrollo, y los requerimientos técnicos que cada una de las fases del proyecto pudiera requerir. Además, sería interesante plantear un plan de financiación para poder acometer la instalación de las medidas planteadas buscando la manera más eficiente y controlando el gasto del proyecto.

Bibliografía

- [1] Ministerio de Fomento de España. *Plan Director del Aeropuerto de Valencia*. Ministerio de Fomento, 2011.
- [2] OACI: Organización de Aviación Civil Internacional. Airports categorization reference code'. *Airports and aeronautical infrastructures*, –.
- [3] Aena Aeropuertos. *Título genérico Memoria de Medio Ambiente del Aeropuerto de Valencia*. Madrid : Aena: Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, 2007.
- [4] Teresa Lázaro. Efectos inmediatos del brexit en el turismo español a pesar de la desadhesión a 2 años. *Voz Pópuli*, 2016.
- [5] Joaquín Blanco Serrano. *Ingeniería Aeroportuaria: Edificación y equipos aeroportuarios*. Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
- [6] Travelista. Un aeropuerto con diseño sostenible: aeropuerto de baltra. *Negocios y tecnología de la industria turística*, 2013.
- [7] Marta Mompó García. Galapago's airport: The very first sustainable airport in the world. *Arquitectura y empresa*, 2015.
- [8] ceads.org. Aeropuerto zvartnots - yerevan, armenia. *Terminales de diseño sostenible*, 2015.
- [9] aeropuertos del mundo. Aeropuerto de río gallegos. *aeropuertos del mundo*, 2016.
- [10] María Muñoz. Cómo hacer más verde un aeropuerto. *eldiario*, 2006.
- [11] Gobierno de la República de México. Nuevo aeropuerto de ciudad de méxico: Sustentabilidad y restauración ambiental. *kpesic*, 2012.
- [12] Nalin Rai. India has a new eco friendly airport terminal. *The better in India*, 2015.
- [13] EnergíasRenobablesInfo. Pilas de combustible: tipos. *EnergíasRenobablesInfo*, 2014.
- [14] Octavio. Ventajas y desventajas de las pilas de combustible. *Kerchak*, 2015.
- [15] ABC Motor. Toyota instala la pila de combustible para reducir las emisiones de sus edificios. *ABC Diario*, 2016.
- [16] Paula Sánchez Sobrini; Verónica Mesa Vélez-Bracho. Sistema de cogeneración basado en un sistema de pila de combustible de carbonatos fundidos para abastecer las necesidades de edificios y distritos. *Construible.es*, 2014.

- [17] Ministerio de Agricultura y alimentación y medio ambiente. Energy harvesting system: Energía eléctrica generada por el paso de vehículos en la carretera. *Ecourbuna*, 2010.
- [18] The Brand Studio. A new spin on efficiency. *The New York Times*, 2016.
- [19] Marcos Martinez. Carreteras que generan electricidad con los coches: electricidad a 120 km/h. *Ferrovial*, 2016.
- [20] xflashpoint. *xflashpoint*.
- [21] La Sexta. Las alternativas ecológicas para la sostenibilidad del hogar pueden hacer ahorrar hasta un 80 *La Sexta*, 2016.
- [22] Geothermalinnovation.org. Climatización geotérmica: la alternativa subterránea para ahorrar en calefacción. *El Confidencial*, 2015.
- [23] Medio ambiente. Innovación en el metro de tokyo. *Ferrovial*, 2008.
- [24] National Geographic. Unas baldosas generan energía con nuestras pisadas. *National Geographic*, 2012.
- [25] Federal Aviation Administration. *Minimum Runway Width – for aeroplanes engaged in RPT and Charter operations with a maximum take-off weight greater than 5700 kg*. Federal Aviation Administration, 2013.

Documento II

Pliego de condiciones.

Índice general

6. Condiciones generales.	3
6.1. General	3
6.2. Real Decreto 488/1977 de abril	4
6.2.1. Artículo 1. Objeto.	4
6.2.2. Artículo 2. Definiciones.	4
6.2.3. Artículo 3. Obligaciones del empresario.	5
6.2.4. Artículo 4. Vigilancia de la salud.	5
6.2.5. Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación.	6
6.2.6. Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores.	6
7. Condiciones de especificaciones técnicas.	9
7.1. Condiciones de garantía y mantenimiento.	11
7.2. Reclamaciones.	11
7.3. Condiciones legales y contractuales.	11
7.4. Revisión de los precios.	11
7.5. Fianza.	12
7.6. Aceptación.	12

6

Condiciones generales.

6.1. General

Cualquier puesto de trabajo en el que habitualmente y durante una parte relevante del trabajo se utilice un equipo con pantalla de visualización (ya sea un ordenador o vigilancia con pantallas) está sujeto a unos riesgos bien definidos y se deben prevenir. El trabajo con pantallas de visualización de datos es quizás el ejemplo más característico de cómo una nueva tecnología puede suponer la introducción de unos nuevos riesgos: problemas en ojos y visión, posturales y lesiones por movimientos repetidos y estrés.

Para mitigar estos efectos, el Real Decreto 488/1997 de 14 de Abril establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización donde se aplican las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales [?].

Se debe prestar atención a cuatro variables principalmente para prever el tipo de riesgos a los que el trabajador puede encontrarse en la realización del proyecto:

- Tiempo de permanencia requerida ante la pantalla, el cual puede ser de manera continua o discontinua.
- Tiempo de trabajo con la pantalla de visualización.
- Exigencia y grado de complejidad de la tarea que el operario tiene que realizar ante la pantalla de visualización.
- Necesidad de obtener información de manera rápida y precisa.

Los factores generales a tener en cuenta para la prevención de riesgos laborales son:

- Seguridad (debido a contactos eléctricos, caída o golpes en el puesto de trabajo).

- Higiene industrial (iluminación, ruido y condiciones termohigrométricas, transmisiones de virus en el ambiente de trabajo o bacterias nocivas a través del contacto en el teclado que podría acumular una gran cantidad de estas)
- Ergonomía (fatiga visual, picores, percepción borrosa. Fatiga física y mental: ansiedad, irritabilidad o insomnio).

6.2. Real Decreto 488/1977 de abril

6.2.1. Artículo 1. Objeto.

1. El presente Real Decreto establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización.
2. Las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado anterior.
3. Quedan excluidos del ámbito de aplicación de este Real Decreto:
 - Los puestos de conducción de vehículos o máquinas.
 - Los sistemas informáticos embarcados en un medio de transporte.
 - Los sistemas informáticos destinados prioritariamente a ser utilizados por el público.
 - Los sistemas llamados portátiles, siempre y cuando no se utilicen de modo continuado en un puesto de trabajo.
 - Las calculadoras, cajas registradoras y todos aquellos equipos que tengan un pequeño dispositivo de visualización de datos o medidas necesario para la utilización directa de dichos equipos.
 - Las máquinas de escribir de diseño clásico, conocidas como máquinas de ventanilla.

6.2.2. Artículo 2. Definiciones.

A efectos de este Real Decreto se entenderá por:

1. Pantalla de visualización: una pantalla alfanumérica o gráfica, independientemente del método de representación visual utilizado.
2. Puesto de trabajo: el constituido por un equipo con pantalla de visualización provisto, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona/máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato.
3. Trabajador: cualquier trabajador que habitualmente y durante una parte relevante de su trabajo normal utilice un equipo con pantalla de visualización.

6.2.3. Artículo 3. Obligaciones del empresario.

1. El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización no suponga riesgos para su seguridad o salud o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo.

En cualquier caso, los puestos de trabajo a que se refiere el presente Real Decreto deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo del mismo.

2. A efectos de lo dispuesto en el primer párrafo del apartado anterior, el empresario deberá evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta en particular los posibles riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, así como el posible efecto añadido o combinado de los mismos.

La evaluación se realizará tomando en consideración las características propias del puesto de trabajo y las exigencias de la tarea y entre éstas, especialmente, las siguientes:

- El tiempo promedio de utilización diaria del equipo.
 - El tiempo máximo de atención continua a la pantalla requerido por la tarea habitual.
 - El grado de atención que exija dicha tarea.
3. Si la evaluación pone de manifiesto que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización supone o puede suponer un riesgo para su seguridad o salud, el empresario adoptará las medidas técnicas u organizativas necesarias para eliminar o reducir el riesgo al mínimo posible. En particular, deberá reducir la duración máxima del trabajo continuado en pantalla, organizando la actividad diaria de forma que esta tarea se alterne con otras o estableciendo las pausas necesarias cuando la alternancia de tareas no sea posible o no baste para disminuir el riesgo suficientemente.
 4. En los convenios colectivos podrá acordarse la periodicidad, duración y condiciones de organización de los cambios de actividad y pausas a que se refiere el apartado anterior.

6.2.4. Artículo 4. Vigilancia de la salud.

1. El empresario garantizará el derecho de los trabajadores a una vigilancia adecuada de su salud, teniendo en cuenta en particular los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, el posible efecto añadido o combinado de los mismos, y la eventual patología acompañante. Tal vigilancia será realizada por personal sanitario competente y según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención. Dicha vigilancia deberá ofrecerse a los trabajadores en las siguientes ocasiones:

- Antes de comenzar a trabajar con una pantalla de visualización.
- Posteriormente, con una periodicidad ajustada al nivel de riesgo a juicio del médico responsable.

- Cuando aparezcan trastornos que pudieran deberse a este tipo de trabajo.
2. Cuando los resultados de la vigilancia de la salud a que se refiere el apartado 1 lo hiciese necesario, los trabajadores tendrán derecho a un reconocimiento oftalmológico.
 3. El empresario proporcionará gratuitamente a los trabajadores dispositivos correctores especiales para la protección de la vista adecuados al trabajo con el equipo de que se trate, si los resultados de la vigilancia de la salud a que se refieren los apartados anteriores demuestran su necesidad y no pueden utilizarse dispositivos correctores normales.

6.2.5. Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación.

1. De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos derivados de la utilización de los equipos que incluyan pantallas de visualización, así como sobre las medidas de prevención y protección que hayan de adoptarse en aplicación del presente Real Decreto.
2. El empresario deberá informar a los trabajadores sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad y la salud en su puesto de trabajo y sobre las medidas llevadas a cabo de conformidad con lo dispuesto en los artículos 3 y 4 de este Real Decreto.
3. El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación adecuada sobre las modalidades de uso de los equipos con pantallas de visualización, antes de comenzar este tipo de trabajo y cada vez que la organización del puesto de trabajo se modifique de manera apreciable.

6.2.6. Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores.

La consulta y participación de los trabajadores o sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el apartado 2 del artículo 18 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Anexo. Disposiciones mínimas.

Por todo lo dispuesto anteriormente, se va a definir el puesto de trabajo específico para la prevención de riesgos laborales y seguridad.

1. Equipo.
 - Observación general.
La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.
 - Pantalla. Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara, y tener una dimensión suficiente, disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones. La imagen de la pantalla deberá ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad. El

usuario de terminales con pantalla deberá poder ajustar fácilmente la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, y adaptarlos fácilmente a las condiciones del entorno. La pantalla deberá ser orientable e inclinable a voluntad, con facilidad para adaptarse a las necesidades del usuario. Podrá utilizarse un pedestal independiente o una mesa regulable para la pantalla. La pantalla no deberá tener reflejos ni reverberaciones que puedan molestar al usuario.

- Teclado. El teclado deberá ser inclinable e independiente de la pantalla para permitir que el trabajador adopte una postura cómoda que no provoque cansancio en los brazos o las manos. Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos. La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos. La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización. Los símbolos de las teclas deberán resaltar suficientemente y ser legibles desde la posición normal de trabajo.
- Mesa o superficie de trabajo. La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio. El soporte de los documentos deberá ser estable y regulable y estará colocado de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y los ojos. El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda.
- Asiento de trabajo. El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable. La altura del mismo deberá ser regulable. El respaldo deberá ser reclinable y su altura ajustable. Se pondrá un reposapiés a disposición de quienes lo deseen.

2. Entorno.

- Espacio. El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio para permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.
- Iluminación. La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado. El acondicionamiento del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la situación y las características técnicas de las fuentes de luz artificial, deberán coordinarse de tal manera que se eviten los deslumbramientos y los reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.
- Reflejos y deslumbramientos. Los puestos de trabajo deberán instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla. Las ventanas deberán ir equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable para atenuar la luz del día que ilumine el puesto de trabajo.

- Ruido. El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra.
 - Calor. Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores.
 - Emisiones. Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores.
 - Humedad. Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.
3. Interconexión ordenador/persona. Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así como para la definición de las tareas que requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta los siguientes factores:
- El programa habrá de estar adaptado a la tarea que deba realizarse.
 - El programa habrá de ser fácil de utilizar y deberá, en su caso, poder adaptarse al nivel de conocimientos y de experiencia del usuario; no deberá utilizarse ningún dispositivo cuantitativo o cualitativo de control sin que los trabajadores hayan sido informados y previa consulta con sus representantes.
 - Los sistemas deberán proporcionar a los trabajadores indicaciones sobre su desarrollo.
 - Los sistemas deberán mostrar la información en un formato y a un ritmo adaptados a los operadores.
 - Los principios de ergonomía deberán aplicarse en particular al tratamiento de la información por parte de la persona.

7

Condiciones de especificaciones técnicas.

Al ser este un proyecto principalmente de búsqueda bibliográfica, no requiere de grandes dimensiones espaciales o equipos físicos complejos. Básicamente se necesita hardware, software (y su documentación, licencias, manuales), conexión a internet, conocimientos previos de índole ingenieril y aeroportuarios, cierta experiencia con equipos informáticos, acceso a material adicional relacionado con el la planificación de aeropuertos sostenibles (tesis doctorales, proyectos previos, estudios similares, etc), y personal cualificado para la supervisión del mismo. A continuación se especifica en detalle los requisitos establecidos.

Hardware.

El Hardware deberá ser poco exigente pues no se requiere más que la búsqueda y análisis de la información obtenida a través de los diferentes motores de búsqueda. Debido a la complejidad del proyecto, serán necesarias gran cantidad de simulaciones para intentar detectar los parámetros claves en el tiempo de simulación, precisión de los resultados y aplicabilidad. Se ha utilizado un ordenador portátil durante la realización del proyecto que permitía utilizar los editores de texto, a la vez que se recopilaba la información.

Software.

Para llevar a cabo el proyecto no se ha utilizado ningún tipo de programa que requiriera licencia más allá de los de Microsoft®.

Los programas utilizados para la elaboración del proyecto han sido:

- Safari for MAC.
- TEX TexMaker versión para 64 bits.
- PDF reader.
- Vista previa app.

- Paintbrush.
- Dropbox.
- Línea de comandos terminal Mac versión 2.4 (326).
- Microsoft Excel, Microsoft Powerpoint, Microsoft word.

Conexión a internet.

Mantener una conexión estable a internet es sido crucial por varios motivos:

- La mayor parte de los artículos en los que se contenía la información se han encontrado a través de la Web, por lo que era de vital importancia disponer de una conexión ágil que permitiera llevar a cabo una búsqueda exhaustiva de la información necesaria.
- Para la transferencia de archivos es necesaria una conexión a internet constante ya sea para la transferencia de archivos o para archivos más pequeños como artículos o manuales a través de Dropbox.
- La búsqueda de bibliografía en internet, descarga de artículos, foros de ayuda, comunicación vía email con los miembros del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos implicados directa o indirectamente con el proyecto.

Conocimientos previos.

Se necesita cierta formación enfocada a la ingeniería aeroportuaria: concepto de Terminal y elementos que la componen, aspectos importantes en el análisis del tráfico de aeropuertos, elementos prescindibles de los antiguos aeropuertos.

Personalmente es recomendable tener predisposición, cierta autonomía, capacidad analítica y de síntesis, paciencia y perseverancia.

Material adicional.

Se necesita acceso a documentos específicos del tema a tratar debido a la concreción del tema a tratar. Se recomienda que el usuario tenga conocimientos de otros idiomas, principalmente inglés ya que gran parte de este material se encontrará escrito en esta lengua. Manejar la bibliografía con cierta soltura será un factor clave para el avance del proyecto.

Supervisión.

El supervisor encargado de la dirección del proyecto deberá tener experiencia demostrada y contrastada en la ejecución de proyectos de ámbito ingenieril. Además, un porcentaje importante, al menos un 90 % de dichos proyectos deberán haber sido llevados a cabo de forma satisfactoria tanto en lo que se refiere a plazos, presupuesto, cumplimiento de especificaciones y aceptación por parte del cliente.

7.1. Condiciones de garantía y mantenimiento.

La empresa contratada para la realización del proyecto garantiza durante el periodo de dos años el producto final, de tal forma que se compromete a solventar cualquier problema surgido en el uso cotidiano de éste, así como ofrecer un servicio de ayuda sobre el manejo del mismo. El plazo de garantía comenzará a ser efectivo desde el momento de la recepción provisional del sistema. La garantía quedará invalidada en el caso que no se hayan seguido las pautas de uso que se indica en las instrucciones del mismo, así también como las condiciones que se deben de cumplir para que la garantía sea válida.

En el caso del presente producto no hará falta un mantenimiento específico para su uso. Solo un uso adecuado evitando los riesgos explicados en el tutorial de la garantía solventa con mayoría el buen funcionamiento del mismo.

7.2. Reclamaciones.

Solo se atenderán las reclamaciones formuladas por escrito en un plazo de quince días hábiles a partir del momento de la entrega de la herramienta al contratista. El plazo anteriormente citado se prolongará por espacio de un mes en el caso de que la entrega se realice fuera de España. En el caso de que alguna de las mercancías entregada resulte defectuosa el vendedor únicamente se compromete a la sustitución de las mismas declinando así cualquier otra responsabilidad.

Ante envíos equivocados o la ausencia de los mismos, el vendedor igualmente únicamente se compromete al suministro de la mercancía estipulada en las condiciones establecidas por el cliente, siendo ajeno a cualquier otra responsabilidad.

7.3. Condiciones legales y contractuales.

En el hipotético caso de que durante la ejecución del proyecto, el comprador quisiera extender el contrato a otros suministros, estos serían objeto de nuevo presupuesto. En el caso de modificaciones, variaciones u otras causas que implicasen la suspensión temporal del suministro o retraso en el periodo de entrega, se podrá solicitar una prórroga equivalente del término del ejecutivo contractual, a condición de que adelante tal solicitud antes de que el término haya caducado. Los aumentos o disminuciones que en el suministro tuvieran que verificarse serían valorados sobre la base de los precios vigentes.

7.4. Revisión de los precios.

Los precios que se muestran en el presupuesto son flujos e invariables, cualesquiera que sean las variaciones del coste de los materiales o mano de obra.

7.5. Fianza.

El contratista se compromete a obtener aval bancario a favor del comprador, en concepto de fianza por el 10% del valor total del contrato, para responder del cumplimiento de todas y cada una de las obligaciones previstas en el mismo. Dicho aval deberá mantenerse desde el inicio del trabajo hasta el término del periodo de garantía. La fianza será devuelta al contratista una vez firmada la recepción definitiva de la aplicación.

7.6. Aceptación.

La aceptación, referida a los puntos objeto de la presente compraventa, será cumplida mediante el uso de procedimientos de prueba, o programas establecidos por el vendedor. Cuando la obligación de instalación corresponda al vendedor, como es el caso, por estar incluido este servicio en el precio de los productos, la aceptación se producirá en el lugar de la instalación al demostrar el vendedor que, tanto los procedimientos de diagnóstico como los de prueba funcionan correctamente o que, resulta probado que el producto se encuentra en condiciones normales de funcionamiento. Si la instalación fuese programada o demorada por el comprador más de treinta días con posterioridad a la fecha de entrega, entonces el vendedor considerará que los productos han sido aceptados con efectividad del trigésimo primer día, contado a partir de la fecha de entrega.

Documento III
Presupuesto.

Índice general

8. Presupuesto	3
8.1. Introducción	3
8.2. Estado de mediciones	4
8.3. Desglose de costes unitarios.	5
8.3.1. Coste material y software unitario	5
8.3.2. Coste de personal cualificado unitario.	6
8.3.3. Coste de oficina unitario	7
8.4. Desglose de costes totales	7
8.4.1. Coste de material y software total	7
8.4.2. Coste de personal cualificado total	7
8.4.3. Coste de oficina total	8
8.5. Resumen del presupuesto total	8
9. Apéndices.	9

8

Presupuesto

8.1. Introducción

En este documento se muestran los costes que ha supuesto la realización del proyecto *RE-DISEÑO SOSTENIBLE DE UNA TERMINAL DE PASAJEROS PARA UN AEROPUERTO DE TRÁFICO MEDIO*. A lo largo del capítulo se presentan los gastos de material, software, personal y de oficina. Éstos forman parte de los presupuestos parciales que, en conjunto, constituyen el presupuesto total del proyecto. Los precios aplicados a los grupos de coste corresponden a tarifas legales vigentes, habiéndose realizado, en caso de necesidad, estimaciones coherentes y siéndoles aplicado su IVA correspondiente. En este caso se ha aplicado un IVA por un valor del 21 % al no pertenecer ninguno de los trabajos realizados durante el periodo de realización a las categorías a las que se aplica el IVA reducido o el superreducido. Por otra parte, si los resultados obtenidos fueran para un trabajo encomendado por alguna empresa externa al Departamento, sí que se hubieran añadido gastos generales.

El coste de amortización se calcula como:

$$a = \frac{VC - VR}{n} \quad (8.1)$$

$$t_h = \frac{a}{h} \quad (8.2)$$

donde:

a : amortización en euros/año.

VC : valor de compra, en euros.

VR : valor residual al cabo del periodo de amortización, en euros.

n : periodo de amortización, en años.

t_h : tasa horaria, en euros/hora.

h : horas trabajadas al año.

Los precios unitarios correspondientes al personal se calcula como :

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = \left(\frac{\text{sem}}{\text{año}} - \frac{\text{sem}_{\text{vacaciones/ festivos}}}{\text{año}} \right) \frac{\text{horastrabajadas}}{\text{sem}} \quad (8.3)$$

$$\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}} = (52 - 7)40 = 1800 \frac{\text{hora}}{\text{año}} \quad (8.4)$$

$$\text{Coste horario} = \frac{\text{Salario bruto anual}}{\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{año}}} \quad (8.5)$$

8.2. Estado de mediciones

Se definen a continuación los recursos que han sido necesarios para la correcta realización del presente Trabajo Fin de Master, que son básicamente de carácter informático:

- Conjunto de los equipos informáticos y software (tabla 8.1).

Descripción	Unidades
Ordenador portátil Apple Macbook Pro Retina	1
Licencia Microsoft Office 2007 Mac	1

Cuadro 8.1: Equipos informáticos y software

- Montaje e instalación del equipo informático (tabla 8.2).

Descripción	Unidades
Ordenador portatil Apple Macbook Pro Retina	1
Técnico informático	1

Cuadro 8.2: Montaje e instalación del equipo informático

- Instalación del software específico (tabla 8.3).

Descripción	Unidades
Microsoft Office 2007 Mac	1

Cuadro 8.3: Instalación del software específico

- Personal específico para el desarrollo del proyecto (tabla 8.4).

Descripción	Unidades
Becario	1
Ingeniero Superior	1
Técnico de laboratorio	1

Cuadro 8.4: Personal específico para el desarrollo del proyecto

- Alquiler de una oficina para la ubicación de los elementos y desarrollo del proyecto.

Descripción	Unidades
Oficina	1
Permisos oficina	1
Seguro oficina	1

8.3. Desglose de costes unitarios.

Para un buen entendimiento de hacia donde se han destinado los fondos necesarios para el proyecto, y en qué medida se ha hecho, se va a proceder a descomponer todos ellos en las secciones existentes, en los siguientes apartados.

8.3.1. Coste material y software unitario

Equipo informático.

- **Portátil.** Para el equipo que se ha utilizado, se ha estimado un valor residual del 5% a lo largo del uso total que se le ha dado y un periodo de amortización del mismo de 6 años.

$$a = \frac{2273 - 113,65}{6} = 359,891 \text{ €/año} \quad (8.6)$$

$$t_h = \frac{359,891}{1800} = 0,199 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad (8.7)$$

Software. El coste anual de software se consideran amortizado en ese año de licencia y sin valor residual:

Los programas que se han utilizado bajo utilización de licencia durante el proyecto son:

- Licencia de Microsoft Office Mac. El valor de una licencia anual estándar es de 153 €.

$$t_h = \frac{153}{1800} = 0,085 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad (8.8)$$

8.3.2. Coste de personal cualificado unitario.

- **Coste unitario al becario**

Dado que el becario ha tenido una duración de 2 meses, el coste horario se calcula utilizando los valores correspondientes a un mes y no a un año. Por tanto, para el calculo asociado a un becario se obtienen las horas trabajadas a lo largo de un mes y el coste horario se calcula a partir del salario bruto mensual.

$$\text{Salario bruto mensual} = 370 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \quad (8.9)$$

$$4 \frac{\text{sem}}{\text{mes}} \cdot 40 \frac{\text{horas}}{\text{sem}} = 160 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \quad (8.10)$$

$$\text{Coste horario} = \frac{370}{160} = 2,31 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad (8.11)$$

- **Coste de un Ingeniero Superior** El tutor del proyecto posee el título de Ingeniero Superior Aeronáutico, siendo por tanto este un apartado importante pues este ha dedicado una cantidad de horas importantes a la supervisión del mismo.

$$\text{Salario bruto anual} = 21000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (8.12)$$

$$\text{Coste horario} = \frac{21000}{1800} = 11,67 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad (8.13)$$

- **Coste asociado al Catedrático de la Universidad.** Se ha estimado en base al estudio realizado por la Universidad Politécnica de Valencia sobre complementos retributivos autonómicos y a los méritos de investigación.

$$\text{Salario bruto anual} = 42000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (8.14)$$

$$\text{Coste horario} = \frac{42000}{1800} = 23,34 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad (8.15)$$

- **Coste asociado al técnico informático.**

$$\text{Salario bruto anual} = 18000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (8.16)$$

$$\text{Coste horario} = \frac{18000}{1800} = 10 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad (8.17)$$

8.3.3. Coste de oficina unitario

El lugar en el que se ha desarrollado el proyecto está ubicado en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, en la Universidad Politécnica de Valencia. El coste del alquiler de la oficina se ha estimado en base a la media de alquiler de oficinas en la ciudad de Valencia, siendo de 900 € el valor usual o medio. Además los costes se dividen entre 3 personas que la ocupan ajenas al proyecto:

$$\text{Coste mensual de la oficina} = \frac{900}{3} = 300 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \quad (8.18)$$

$$\text{Coste total} = 300 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 2,5 \text{ meses} = 750\text{€} \quad (8.19)$$

Los costes incluyen los permisos necesarios, gastos de luz y agua, calefacción, material de oficina y el seguro correspondiente.

8.4. Desglose de costes totales

A continuación se muestran los costes totales y el valor impuesto a cada uno de los precios por separado referente al impuesto del IVA.

8.4.1. Coste de material y software total

La tabla 8.5 es la que contempla el gasto de material.

Descripción	Horas	Importe €	IVA (21 %) €
Ordenador portátil	405	80.55	16.91
Licencia de Microsoft Office	405	25.3	5.31
Total		105.85	22.22

Cuadro 8.5: Coste de material y software total

8.4.2. Coste de personal cualificado total

Los costes de personal cualificado total se muestran en la tabla 8.6.

Descripción	Horas	Importe €	IVA €
Becario	405	700.81	147.17
Ingeniero Superior	20	233.4	49.01
Catedrático de Universidad	3	70.02	14.70
Técnico informático	1.5	15	3.15
Total		1019.23	214.03

Cuadro 8.6: Coste de personal cualificado total

8.4.3. Coste de oficina total

Los costes totales de oficina se detallan en la tabla 8.7.

Descripción	Meses	Importe €	IVA €
Alquiler oficina	2.5	750	157.5
Total		750	157.5

Cuadro 8.7: Coste de oficina total

8.5. Resumen del presupuesto total

Por último, en la tabla 8.8 se muestra el resumen del presupuesto total, que suma los DOS MIL CUATROCIENTOS CUATRO EUROS CON NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

Concepto	Subtotal€
Coste de material y Software	128.07
Coste de personal cualificado	1233.26
Coste oficina	907.5
Beneficio Industrial (6%)	136.12
Coste total del proyecto	2404.95

Cuadro 8.8: Presupuesto total (IVA incluido)

9

Apéndices.

Año 2016	Aeropuerto de Valencia	28995,82
	(MWh)	
	Numero de pasajeros año	5799104,00

Datos Generales del Sistema	
Factor de Capacidad (%)	0,98
Capacidad Máxima por Km (L/W)	400
Peso medio km	€ 600.000,00
Vida útil (años)	30
Generación por cada vehículo a 70 km/h en 1 km (kWh)	0,33333333
From ha to m2	10000
Fuente de datos: Sost. Trans. CO2 / MWh	0,75
Conversiones en la Hoja de	0,00833333

Otros datos	
Horas / Día	24
Día / Año	365
Horas Año	8760
Coste de la electricidad (€/kWh)	50€
Coste de los costes de mantenimiento	0,5
Coefficiente de utilización por vehículo (1 a 7 pasajeros)	76
Basas de taxis aeropuerto	289952,00
Pasajeros en coche	144976
Numero total de vehículos estimados/año	98%
Factor de mantenimiento en entrada al aeropuerto	45%
Factor de mantenimiento en salida de aeropuerto	

Año	Generación de Ingresos (MWh/Año)	Generación de Salidas (MWh/Año)	Generación al Año (MWh/Año)	Capacidad de Reducción de emisiones 2016	Precio Energía generada / Año (€)
1	459.0657333	217.4664	676.5621333	2.33333333	47.562,32 €
2	459.0657333	217.4664	676.5621333	2.33333333	47.562,32 €
3	459.0657333	217.4664	676.5621333	2.33333333	47.562,32 €
4	459.0657333	217.4664	676.5621333	2.33333333	47.562,32 €
5	459.0657333	217.4664	676.5621333	2.33333333	47.562,32 €
6	459.0657333	217.4664	676.5621333	2.33333333	47.562,32 €
Total Generando Ingresos 5 años					237.811,59 €

Coste de Instalación (€)	-	Coste de la sistema (€)	910.000,00 €	Inversión Inmediata Media	910.000,00 €	ROI (Retorno de Inversión) - 5º año	2,4%
Superficie necesaria (ha)	1,4	Superficie instalada en llegadas (m)	590 metros	Superficie instalada en salidas (m)	450 metros	ROI (Retorno de Inversión) - 6º año	2,8%

Año	Costos de mantenimiento anual - 0,5% Coste sistema	Ingreso Neto/año (€)	Ingreso Neto/año (€)	Otros Costes
1	4.550,00 €	43.012,32 €	43.012,32 €	43.012,32 €
2	4.550,00 €	43.012,32 €	43.012,32 €	43.012,32 €
3	4.550,00 €	43.012,32 €	43.012,32 €	43.012,32 €
4	4.550,00 €	43.012,32 €	43.012,32 €	43.012,32 €
5	4.550,00 €	43.012,32 €	43.012,32 €	43.012,32 €
6	4.550,00 €	43.012,32 €	43.012,32 €	43.012,32 €
Neto Total (€)		227.800 €	215.061,59 €	288.073,91 €

Año	Cantidad de Toneladas de CO2 evitadas (Tons CO2)	Ha de bosque no ruidas (Ha)
1	507,4216	4,28513333
2	507,4216	4,28513333
3	507,4216	4,28513333
4	507,4216	4,28513333
5	507,4216	4,28513333
6	507,4216	4,28513333
Total (Tons of CO2)		21142,6667

2298,473667
1087,332

Resumen Comparativo							Valores medios	
	1 - Planta Cogeneración	2 - Reductor de Velocidad	3.1 - Carretera Piezoeléctrica	3.2 - Carretera Solar	4 - Turbinas Tamaño	6 - Solar Placas	7 - Losas Generadoras	
ROI Año 5	86%	5%	24%	9%	121%	49%	141%	36%
ROI vs Average (+ / -)	49,29%	-31,08%	-12,76%	-26,93%	85,03%	12,33%	104,14%	
Tons CO2 Evitadas	86534,78	13,59	2537,11	4505,582813	16635,0429	15245,72228	2022,43752	3534,85
Tons CO2 Evitadas vs Average (+/- %)	2348%	-100%	-28%	27%	371%	331%	-43%	
Ha bosque conservadas	721,12	0,11	21,14	37,54652344	138,6253575	127,0476856	16,853646	29,46
Ha bosque conservadas vs Average (+/- %)	2348%	-100%	-28%	27%	371%	331%	-43%	

Cuadro de rentabilidad							Valores medios	
	Medida 1. Planta Cogeneración 6	Medida 2. Reductor de Velocidad 100	Medida 3.1. Carretera Piezoeléctrica 23	Medida 3.2. Carretera Solar 55	Medida 4. Turbinas Tamaño 4	Medida 6. Solar Placas 10	Medida 7. Losas Generadoras 4	
Año de ROI=100%	€ 12.480,53	€ 211.894,80	€ 10.497,84	€ 10.270,89	€ 11.161,85	€ 10.468,95	€ 9.704,46	€ 16.431,13
Precio de la ha (€/ha) vs Average	-24%	1190%	-36%	-37%	-32%	-36%	-41%	
Euro Invertido por Ton CO2 evitada (€/Ton)	€ 104,00	€ 1.765,79	€ 87,48	€ 85,59	€ 93,02	€ 87,24	€ 80,87	€ 136,93
Euro Invertido por Ton CO2 evitada (€/Ton) vs Average	-24%	1190%	-36%	-37%	-32%	-36%	-41%	
% Vida útil a coste 0	80%	> Vida útil	23%	> Vida útil	60%	71%	80%	

Aquellos valores que están por encima de la media en dinero invertido por Ha o por Tonelada están dentro de los cuadros rojos

Aquellos valores que están por debajo de la media de Toneladas evitadas de CO2, ROI a los 5 años y Ha de bosque están dentro de los cuadros rojos de verde

Reducción consumo Anual (%)	82,90053084	0,005	2,333333333	4,143704786	15,2989546	14,021221	1,86
-----------------------------	-------------	-------	-------------	-------------	------------	-----------	------

