ESTABLECIMIENTO DE LAS SERVIDUMBRES AERONÁUTICAS ASOCIADAS A LAS INSTALACIONES RADIOELÉCTRICAS PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA PRESENTES EN LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS DE CASTILLA Y LEÓN, CASTILLA-LA MANCHA, EXTREMADURA Y COMUNIDAD DE MADRID PARA EL CASO EN QUE LAS INSTALACIONES SEAN AEROGENERADORES

2. MEMORIA JUSTIFICATIVA

Elaborado: 12/01/2021

El contenido de este documento es propiedad de Enaire, no pudiendo ser reproducido, ni comunicado total o parcialmente, a otras personas distintas de las autorizadas por Enaire. Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de Enaire.

2. MEMORIA JUSTIFICATIVA

Índice

2.1. BASE LEGAL 3
2.2. ANTECEDENTES 5
2.3. CONTENIDO, ANÁLISIS JURÍDICO Y DESCRIPCIÓN DE LA TRAMITACIÓN 6
2.3.1. Contenido del proyecto 6
2.3.2. Análisis jurídico 6
2.3.3. Descripción de la tramitación 6
2.4. NECESIDAD DE LA MEDIDA 9

ANEXOS

2. MEMORIA JUSTIFICATIVA

2.1. BASE LEGAL

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea (B.O.E. nº 176, de 23 de julio de 1960) capítulo IX, artículo 51, sobre servidumbres aeronáuticas se expone:

«Los terrenos, construcciones, e instalaciones que circunden los aeropuertos, aeródromos y ayudas a la navegación estarán sujetos a las servidumbres ya establecidas o que se establezcan.

La naturaleza y extensión de dichos gravámenes se determinarán mediante Decreto acordado en Consejo de Ministros, conforme a las disposiciones vigentes, en cada momento, sobre tales servidumbres».

En el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas (B.O.E. nº 69, de 21 de marzo de 1972) se definen las servidumbres a establecer en torno a los aeródromos y a las instalaciones radioeléctricas aeronáuticas, para garantizar las diferentes fases de las maniobras de aproximación por instrumentos a un aeródromo o la protección de radioayudas para la navegación aérea.

Mediante el artículo 7.1.j) del Real Decreto 645/2020, de 7 de julio, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, se atribuye a la Dirección General de Aviación Civil la competencia en la tramitación de las servidumbres aeronáuticas no acústicas.

Por otra parte, la Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea (B.O.E. nº 162, de 8 de julio de 2003), en cuyo artículo 6 establece la necesaria coordinación de las actuaciones que, en el ámbito de sus respectivas competencias, corresponden a los Ministerios de Defensa y de Fomento que se realizará a través de una Comisión interministerial integrada por representantes de ambos Departamentos. Como consecuencia de la reestructuración de los departamentos ministeriales establecida en el Real Decreto 2/2020, de 12 de enero, por la que se suprime el Ministerio de Fomento y se crea el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, con las competencias que anteriormente correspondían al primero, resulta necesario adaptar la denominación de la Comisión Interministerial a la nueva situación. Por ello, el pasado 1 de abril de 2020, mediante acuerdo de la Comisión se adoptó el cambio de denominación de la Comisión

2. MEMORIA JUSTIFICATIVA

referida en el artículo 6 de la Ley de Seguridad Aérea, como “Comisión Interministerial entre Defensa y Transportes, Movilidad y Agenda Urbana”, así como la designación mediante siglas que pasará a ser CIDETMA.

Además, el Real Decreto 1189/2011, de 19 de agosto, por el que se regula el procedimiento de emisión de los informes previos al planeamiento de infraestructuras aeronáuticas, establecimiento, modificación y apertura al tráfico de aeródromos autonómicos, y se modifica el Real Decreto 862/2009, de 14 de mayo, por el que se aprueban las normas técnicas de diseño y operación de aeródromos de uso público y se regula la certificación de los aeropuertos de competencia del Estado, el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas y el Real Decreto 2591/1998, de 4 de diciembre, sobre la Ordenación de los Aeropuertos de Interés General y su Zona de Servicio, en ejecución de lo dispuesto por el artículo 166 de la Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social. Este Real Decreto 1189/2011 modifica, atendiendo a las reclamaciones de algunas comunidades autónomas, entre otras normas, el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, con el objeto de abordar los mecanismos de cooperación en el establecimiento de las servidumbres legales impuestas en razón de la navegación aérea y en la emisión de los informes a los proyectos de los instrumentos de planificación territorial y urbanística que puedan afectarlas, para asegurar que, conforme a lo previsto en la disposición adicional única de la Ley 48/1960, de 21 de julio, dichos instrumentos incorporan las limitaciones impuestas por las servidumbres aeronáuticas.

El 17 de mayo de 2013, se publicó en el B.O.E. el Real Decreto 297/2013, por el que se modifica el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, y por el que se modifica el Real Decreto 2591/1998, de 4 de diciembre, sobre la Ordenación de los Aeropuertos de Interés General y su Zona de Servicio, en ejecución de lo dispuesto por el artículo 166 de la Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, al objeto de: revisar y actualizar determinados aspectos técnicos de las servidumbres aeronáuticas para adecuarla a la normativa internacional de OACI; adaptar el texto al régimen competencial y administrativo vigente (dos departamentos ministeriales con competencias en la materia, Defensa y Fomento, creación de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, ejercicio de competencias en materia aeroportuaria por parte de las CCAA, existencia de aeropuertos de interés general de titularidad no estatal, nuevo modelo aeroportuario); incorporar a la regulación sobre establecimiento y modificación de servidumbres, la participación de los interesados, particularmente administraciones y ciudadanos cuyos derechos pueden verse afectados; e incorporar

instrumentos de flexibilidad que permitan maximizar la eficiencia de los servicios técnicos de la administración aeronáutica sin menoscabo de la seguridad operacional.

Por último, el 17 de octubre de 2014 se publicó en el B.O.E la Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, por la que se deroga el Real Decreto Ley 12/1978 y se modifica la Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea, modificando, entre otros aspectos, las competencias de los Ministerios de Defensa y Fomento (hoy Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana), así como de la Comisión Interministerial entre Defensa y Fomento (hoy CIDETMA), atribuyendo a ambos ministerios la competencia conjunta en materia de política y estrategia para la estructuración y gestión del espacio aéreo, así como la adopción de las medidas específicas en este ámbito. Además, al Ministerio de Fomento (hoy Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana) le atribuye la determinación de las condiciones o restricciones de uso del espacio aéreo para la circulación aérea general ante situaciones de crisis ordinarias generadas por fenómenos naturales, accidentes o cualquier otra circunstancia similar, reservando al Ministerio de Defensa las competencias sobre la materia en situaciones extraordinarias o de emergencia declaradas por el Presidente del Gobierno o por el Ministerio de Defensa. Asimismo, a CIDETMA se le atribuyen funciones ejecutivas y decisorias en el ámbito de las competencias compartidas en materia de estructuración y gestión del espacio aéreo que, conforme a lo previsto en el Reglamento (CE) n.º 2150/2005 de la Comisión, de 23 de diciembre de 2005, por el que se establecen normas comunes para la utilización flexible del espacio aéreo, deben adoptarse a través de un proceso conjunto civil-militar.

2.2. ANTECEDENTES

El Real Decreto 297/2013, de 26 de abril, modifica el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, revisando y actualizando determinados aspectos técnicos de las servidumbres aeronáuticas para adecuarla a la normativa internacional de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), de la que España es miembro.

Como consecuencia de ello, y basándose en lo dispuesto en la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, y a lo estipulado en el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, se propone el establecimiento de las servidumbres aeronáuticas asociadas a las instalaciones radioeléctricas para la navegación aérea, exclusivamente para el caso en que las

instalaciones sean aerogeneradores, presentes en las comunidades autónomas de Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Comunidad de Madrid.

2.3. CONTENIDO, ANÁLISIS JURÍDICO Y DESCRIPCIÓN DE LA TRAMITACIÓN

2.3.1. Contenido del proyecto

El proyecto consta de la parte expositiva, y por siete apartados. La parte expositiva describe los antecedentes, así como los motivos que han aconsejado la elaboración de un documento de este tipo.

En los siete apartados del proyecto se establecen las servidumbres aeronáuticas asociadas a las instalaciones radioeléctricas para la navegación aérea, exclusivamente para el caso en que las instalaciones sean aerogeneradores, presentes en las comunidades autónomas de Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Comunidad de Madrid, se clasifican según el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, se definen las referencias de las instalaciones sobre las que se imponen las servidumbres aeronáuticas y se enumeran los municipios afectados.

2.3.2. Análisis jurídico

Se trata de una propuesta con rango de real decreto.

Conforme a lo señalado por el Consejo de Estado en su dictamen de fecha 31 de enero de 2013, la naturaleza jurídica del establecimiento de servidumbres aeronáuticas no tiene naturaleza normativa, por cuanto el Tribunal Supremo ya vino excluyendo desde 1979 ese carácter normativo al no exigir el preceptivo dictamen del Consejo de Estado.

2.3.3. Descripción de la tramitación

El promotor de este proyecto de real decreto es ENAIRE.

2. MEMORIA JUSTIFICATIVA

Este proyecto de real decreto:

- Ha sido informado favorablemente por CIDETMA, como exige la Ley de Seguridad Aérea, en la Ponencia de Servidumbres Aeronáuticas (PSA) 1/2020, celebrada el 16 de septiembre de 2020. El 17 de noviembre de 2020, en sesión plenaria de CIDETMA, la Comisión acordó informar favorablemente el proyecto de Real Decreto de establecimiento de las servidumbres aeronáuticas asociadas a las instalaciones radioeléctricas para la navegación aérea, exclusivamente para el caso en que las instalaciones sean aerogeneradores, presentes en las comunidades autónomas de Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Comunidad de Madrid y elevar el acuerdo, para conocimiento y conformidad de la Excma. Sra. Ministra de Defensa y el Excmo. Sr. Ministro de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

- Se ha recabado informe de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea con fecha 9 de julio de 2018 en relación con el establecimiento de servidumbres aeronáuticas asociadas a las instalaciones radioeléctricas para la navegación aérea, exclusivamente para el caso en que las instalaciones sean aerogeneradores en la zona Centro, comprobándose que las mismas se han diseñado de acuerdo con los criterios establecidos en el Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, actualizado, según el Real Decreto 297/2013, de 17 de mayo, validándose en consecuencia su diseño técnico.

- Se ha recabado informe del Ministerio de Defensa con fecha 3 de octubre de 2018 en relación a las propuestas de servidumbres citadas, informándose que no existen reparos por parte de ese Ministerio para la continuación de la tramitación del expediente con excepción del proyecto normativo correspondiente a las servidumbres aeronáuticas del VOR BBI y así incluirlas en las de la base aérea de Matacán. Enaire mostró su conformidad, una vez el Ministerio de Defensa aceptó las condiciones exigidas, mediante escrito de 30 de noviembre de 2018.

- Se hace constar que, durante la tramitación de las citadas servidumbres, se han comprobado los términos municipales afectados por las mismas, acorde a lo establecido por el Ministerio de Política Territorial y Función Pública, el Instituto Geográfico Nacional, la Comunidad Autónoma en cuestión y el Ayuntamiento. En caso de discrepancia, ha prevalecido lo establecido en la página web del Ministerio de Política Territorial y Función Pública.

2. MEMORIA JUSTIFICATIVA

- La tramitación de información pública se realizó con anuncio en el BOE de fecha 30 de septiembre de 2019, ajustándose a la tramitación prevista en el artículo 27 del Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, actualizado, según el Real Decreto 297/2013, de 17 de mayo. Asimismo, se llevó a cabo la consulta a las Administraciones Públicas Territoriales afectadas.

- Presentación de las propuestas de servidumbres aeronáuticas de servidumbres aeronáuticas asociadas a las instalaciones radioeléctricas para la navegación aérea, exclusivamente para el caso en que las instalaciones sean aerogeneradores en la zona Centro a los miembros del Comité de Coordinación Aeroportuaria de Castilla-La Mancha el día 17 de junio de 2020, del Comité de Coordinación Aeroportuaria de Madrid el día 2 de diciembre de 2020, del Comité de Coordinación Aeroportuaria de Castilla y León el día 11 de noviembre de 2020 y del Comité de Coordinación Aeroportuaria de Extremadura el 14 de julio de 2020.

- Se emite informe favorable por la Secretaría General Técnica en fecha 24 de marzo de 2021, que considera que el acto proyectado se dicta al amparo de la competencia exclusiva que el artículo 149.1, 20ª de la Constitución atribuye al Estado en materia de aeropuertos de interés general, control del espacio aéreo, tránsito y transporte aéreo, y en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 51 de la Ley 48/1960, de 21 de julio, de Navegación Aérea. Asimismo, entiende que la forma del acto es la adecuada conforme a lo previsto en el artículo 27.1 del Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas.

  Por ello, se informa favorablemente el “proyecto de real decreto por el que se establecen las servidumbres aeronáuticas asociadas a las instalaciones radioeléctricas para la navegación aérea presentes en las comunidades autónomas de Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Comunidad de Madrid para el caso en que las instalaciones sean aerogeneradores”, si bien, es de señalar, que no se entra en la valoración de los requisitos y condiciones técnicas exigidos por el real decreto proyectado, al considerar que están bajo la garantía técnica de los órganos preinformantes.

2.4. NECESIDAD DE LA MEDIDA

Como complemento a los trabajos realizados, Enaire elaboró el documento que figura en el Anexo que recoge argumentos adicionales para justificar la necesidad de establecer estas servidumbres para instalación de aerogeneradores al objeto de mejorar la seguridad y regularidad de las operaciones de las aeronaves.

En dicho documento técnico se explica cómo afectan los aerogeneradores a diferentes centros emisores y receptores de señales radioeléctricas y se exponen ejemplos reales de esas afecciones que se traducen en perdida de seguridad de las operaciones aéreas. Además, se informa sobre las actividades que se están llevando a cabo en Enaire para minimizar este tipo de afecciones, en dos vertientes:

- Por un lado, gracias al Plan PBN, el Plan ADS-B y los servicios de comunicaciones y vigilancia satelitales, que sustituyen a los sistemas actuales basados en tierra, se intenta reducir el número de instalaciones PSR SSR y VOR necesarias; sin embargo, esta reducción nunca va ser total ya que siempre se va a necesitar mantener un número mínimo instalaciones PSR SSR y VOR como back-up ante posibles fallos de las constelaciones satelitales.

- Por otro lado, se está trabajando para sustituir los PSR y SSR con nuevos modelos cuyas señales se ven menos afectadas por los campos de aerogeneradores.

ANEXOS

Afección de los aerogeneradores a la provisión de servicios de navegación aérea

Código interno: DSIS-21-INF-047-1.1
Elaborado: 23/04/2021

Aprobaciones del documento

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Visado en Gestor Documental	Visado en Gestor Documental	Visado en Gestor Documental
Departamento Radioayudas	Paloma Hidalgo Martínez **Jefa Sección Servidumbres Radioeléctricas**	Nicolás Pablo Martín Martín **Jefe de la División de Navegación y Vigilancia**
	Francisca Moreno García **Jefa del Departamento de Radioayudas**	
Departamento Radar	Diego Torres Gallardo **Jefe del Departamento Radar**	
Departamento de Navegación por Satélite	Ana Bodero Alonso **Jefa del Departamento de Navegación por Satélite**	
Departamento de Investigación y Definición de Sistemas Avanzados de N.A.	Mª del Mar Tabernero Serrano **Jefa del Departamento de Investigación y Definición de Sistemas Avanzados de N.A.**	

Control de Cambios

En la siguiente tabla figuran al menos las tres últimas modificaciones efectuadas en el presente documento.

Edición	Fecha	Páginas afectadas	Cambios
1.0	14/04/21	Todas	Primera versión del documento
1.1	23/04/21	Todas	Inclusión de anexo de ejemplos

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Hoja de Control de Distribución

Copia	Nombre	Puesto	Organización
1	José Luis Rodríguez Castro	Director de Sistemas	ENAIRE
2	Nicolás Pablo Martín Martín	Jefe de la División de Navegación y Vigilancia	ENAIRE
3			
4			
5			

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Índice

1. Antecedentes 7
2. Afección de los aerogeneradores a las instalaciones para la navegación aérea 7
2.1. Afección a los radares primarios 7
2.1.1. Principio de funcionamiento de los radares primarios 7
2.1.2. Principales afecciones de los aerogeneradores a los radares primarios 9
2.1.3. Medidas de mitigación 10
2.1.4. Tecnología 3D 10
2.2. Afección a los radares secundarios 11
2.2.1. Principio de funcionamiento de los radares secundarios 12
2.2.2. Principales afecciones de los aerogeneradores a los radares secundarios 13
2.2.3. Medidas de mitigación 14
2.3. Afección a las instalaciones VOR 14
2.3.1. Principio de funcionamiento de los sistemas VOR 15
2.3.2. Principales afecciones de los aerogeneradores a los sistemas VOR 15
2.3.3. Medidas de mitigación 16
2.4. Afección al resto de sistemas para la navegación aérea 17
3. Servidumbres Radioeléctricas 17
3.1. Función de las servidumbres radioeléctricas 17
3.2. Normativa aplicable 18
3.3. Servidumbres propuestas para el caso de los aerogeneradores 18
3.4. Estudios de Afecciones realizados por ENAIRE 19
4. Planes de ENAIRE 20
4.1. Plan PBN 20
4.2. Plan de Implantación ADS-B 25
4.3. Provisión de servicios de comunicaciones y vigilancia satelitales 26
4.4. Medidas de mitigación para la red de estaciones en tierra 26

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

4.4.1. Renovación de la red de radares primarios 26
4.4.2. Implantación de radares secundarios modo S 27
4.4.3. Plan de racionalización de radioayudas 27
4.4.4. Plan de racionalización de sistemas de vigilancia 27
4.5. Mejoras en los estudios de afecciones realizados 27
5. Conclusiones 28
6. Anexo - Ejemplos 29
6.1. Ejemplo de Afecciones a Radares Primarios 29
6.2. Ejemplos de Afecciones a Radares Secundarios 35
6.3. Ejemplo de Afecciones a Sistemas VOR 39

Índice de Figuras

Figura 1. Principio de funcionamiento e imagen de antena de un Radar Primario 8
Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema Radar Primario 8
Figura 3. Instalación antena de secundario sobre antena de primario 13
Figura 4. Emplazamiento VOR/DME 14
Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema VOR 15
Figura 6. Ejemplo de estudio de vulneración de servidumbres aeronáuticas. 18
Figura 7. Ejemplo de análisis de línea de vista. 20
Figura 8. Sistema ADS-B 25
Figura 9. Blancos falsos producidos por aerogeneradores en el radar de Gran Canaria. 29
Figura 10. Decorrelación de blancos PSR en las proximidades de parques eólicos en el entorno del Aeropuerto de Gran Canaria. 30
Figura 11. Blancos falsos producidos por aerogeneradores en el radar de Tenerife Sur 31
Figura 12. Decorrelación de blancos PSR y desvío de la traza radar en una maniobra sobre aerogeneradores en las cercanías del Aeropuerto de Tenerife Sur. 32
Figura 13. Decorrelación de blancos PSR en las proximidades de aerogeneradores en el entorno del Aeropuerto de Tenerife Sur. 33
Figura 14. Presentación de blancos no deseados PSR sobre aerogeneradores en las cercanías del Aeropuerto de Tenerife Sur. 34
Figura 15. Plots de PSR sobre aerogeneradores en las proximidades del Aeropuerto de Tenerife Sur. 35
Figura 16. Ejemplo 1 de afecciones sobre Radar Secundario 36
Figura 17. Ejemplo 2 de afecciones sobre Radar Secundario 36
Figura 18. Errores en azimut (izda.) y distancia (dcha.) en el Radar de Valladolid. 37

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Figura 19. Errores en azimut y distancia en los blancos SSR debidos a los parques eólicos existentes en el entorno del Aeropuerto de Gran Canaria. 37
Figura 20. Efectos sobre las señales combinadas 38
Figura 21. Ejemplo de afecciones a un sistema VOR: registros del radial 120 del DVOR MAR. 39
Figura 22. Ejemplo de afecciones a un sistema VOR: registros del radial 046 del DVOR MAR. 40
Figura 23. Ejemplo de afecciones a un sistema VOR: registros del radial 229 del DVOR MAR. 41

Índice de tablas

Tabla 1- Distancias y pendientes que definen las servidumbres para aerogeneradores recogidas en el RD 297/13. 19
Tabla 2 -Objetivos de Implantación PBN conforme al RE (UE) 2018/1048 21
Tabla 3 –Especificación PBN y sensores para las distintas fases de vuelo 24

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

1. Antecedentes

La navegación aérea permite el flujo seguro de las aeronaves de un aeropuerto a otro. Tradicionalmente la navegación aérea se ha basado en instalaciones terrenas que emiten señales radioeléctricas a las aeronaves que permiten su guiado, las comunicaciones y la vigilancia de las mismas. La criticidad de las funciones que realizan estos sistemas en relación con la seguridad aérea, obliga a proteger estas instalaciones y sus emisiones a través de las servidumbres aeronáuticas.

La energía eólica es una de las fuentes de energía renovables más importantes, que en España ha venido teniendo gran desarrollo. Esta fuente de energía se basa en la instalación de aerogeneradores que trasforman la energía cinética del viento en electricidad. Estos aerogeneradores son elementos metálicos de grandes dimensiones que, en ocasiones, presentan afecciones sobre los sistemas de navegación aérea.

Tanto en el caso de los aerogeneradores, como para el resto de obstáculos y construcciones que pueden tener afección a los servicios de navegación aérea, las servidumbres aeronáuticas constituyen la herramienta legal para asegurar la compatibilidad de la prestación de estos servicios con la planificación urbanística e industrial en cada uno de los territorios.

En este documento se describen las principales afecciones que estos elementos producen sobre los sistemas de navegación aérea, así como los planes de ENAIRE para compatibilizar el crecimiento del sector eólico con los procedimientos seguros y eficientes de vuelo.

2. Afección de los aerogeneradores a las instalaciones para la navegación aérea

En este apartado se describen las principales afecciones que los aerogeneradores producen sobre los sistemas, así como las principales medidas de mitigación que se emplean para reducir estos efectos. Las afecciones que se producen afectan principalmente a los servicios de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia, conocidos como servicios CNS. Estos servicios, a su vez, alimentan al servicio de procesado de datos para mostrar al controlador, el servicio de gestión de tráfico aéreo, conocido como servicio ATM.

2.1. Afección a los radares primarios

Los radares primarios son uno de los sistemas que se ven más afectados por la presencia de aerogeneradores.

2.1.1. Principio de funcionamiento de los radares primarios

Los radares primarios son sistemas que detectan a las aeronaves por la emisión de una señal electromagnética y la recepción de la señal reflejada por las superficies metálicas de la aeronave. Mediante cálculos del tiempo que tarda la señal y los ángulos en los que se recibe, permiten proporcionar información de la situación de las aeronaves, sin necesidad de que éstas transmitan ningún tipo de señal. Por ello, este tipo de radares se clasifican dentro de los sistemas de vigilancia no cooperativa.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

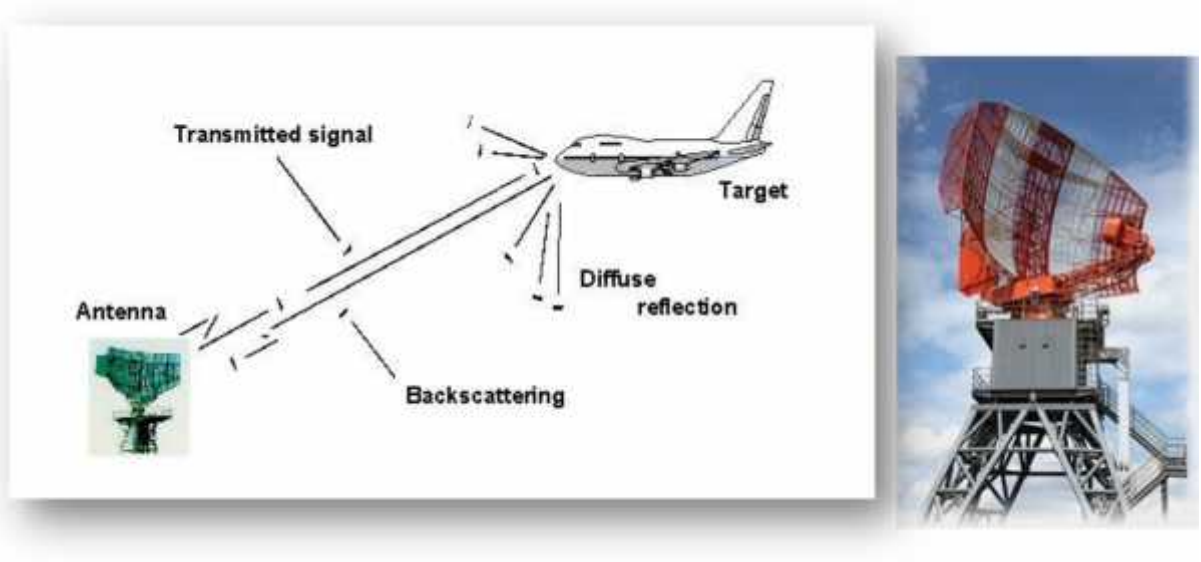

Figura 1. Principio de funcionamiento e imagen de antena de un Radar Primario

Este tipo de radares se coemplazan normalmente con radares secundarios, que detectan a las aeronaves por las respuestas que estas emiten a las interrogaciones del radar. La posición de las aeronaves se calcula por la contribución de las posiciones que proporcionan ambos radares, asociándolas, además de la contribución de otros posibles sensores de vigilancia que pudieran estar viendo esas zonas.

Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema Radar Primario

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

2.1.2. Principales afecciones de los aerogeneradores a los radares primarios

Cuando el radar primario ilumina total o parcialmente un aerogenerador, se producirán varios efectos negativos. Aunque el radar esté bien adaptado al entorno, la cantidad de señal retornada podrá provocar blancos no esperados (blancos falsos) debido a que la señal espectral de las palas en movimiento se asimila a la señal que reflejaría una aeronave en movimiento. Además, según el documento de Eurocontrol "Guidelines for Assessing the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors", dependiendo de la longitud de pala la cantidad de señal retornada podrá ser muy superior a la recibida de aeronaves de tamaño medio en la frecuencia de trabajo de un radar primario banda S.

Un segundo efecto es que los umbrales de detección aumentarán localmente, lo que da lugar a una desensibilización del radar sobre el aerogenerador. Esto provoca pérdidas de blancos por la imposibilidad del radar de distinguir la señal retornada por una aeronave entre los niveles tan elevados de señal en el entorno de los aerogeneradores.

Cuando las aeronaves sobrevuelan los parques eólicos, añadido a la pérdida de la capacidad de detección por el alto nivel de señal local aparece un fenómeno adicional, el seguimiento del radar primario intenta asociar, en su seguimiento interno que se actualiza vuelta a vuelta, la pista perteneciente a la aeronave que ya está formada con la señal del próximo blanco. Al ser el entorno de los aerogeneradores un entorno con mucha señal que además tiene niveles variables, es fácil que la pista radar se mantenga con blancos falsos que aparecen sobre el parque. Esto provoca grandes errores de posición en los blancos reportados.

A la hora de evaluar las consecuencias de estos dos fenómenos (blancos falsos y pérdidas) sobre la seguridad aérea (*safety*), se considera el instante en el que la aeronave se encuentra sobre el aerogenerador y el radar está iluminando a la aeronave. En el caso de un solo aerogenerador, el efecto podría ser despreciable, porque la probabilidad de que ocurra es muy baja. Sin embargo, el despliegue de parques eólicos sobre un área grande de terreno puede causar una pérdida de detección y una pérdida del seguimiento inaceptable. Además, la rotación de las palas genera velocidades en todo el rango de ecos *doppler* debido a la diferencia de velocidad entre el centro de las palas y los extremos. El radar primario utiliza el eco *doppler* para la detección de aeronaves, y también utiliza filtros para eliminar velocidades que una aeronave en vuelo no podría mantener. Las palas en movimiento hacen inútiles estos filtros, por lo que no es posible cancelar de forma eficiente la señal retornada por las palas.

Los aerogeneradores, debido a su envergadura, producen a su vez una zona de sombra. Debido a la difracción de la señal al atravesar las palas, la radiación electromagnética se curva, incrementándose el volumen dentro de la zona de sombra con el aumento de la distancia. Una consecuencia de esta curvatura es que el ángulo en el que se detecta el blanco no coincide con la posición real, produciendo decorrelaciones entre los blancos del radar primario y los del radar secundario.

Además de los efectos referidos, también se puede producir la saturación del receptor debido a la gran cantidad de potencia reflejada por aerogeneradores cercanos o la sobrecarga del procesador de blancos, debido a la gran cantidad de blancos de primario (blancos reales, blancos falsos y reflejos). Ambos problemas producirán una pérdida de detección, en el primer caso en el radial en cuestión y el segundo caso en toda la cobertura.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Resumiendo, los parques eólicos producen en el radar primario: pérdidas de detección (en el entorno del parque eólico y en el resto de la cobertura), blancos falsos, blancos con gran error en azimut y distancia y decorrelación entre los blancos de primario y secundario.

Ejemplos de los efectos que se producen se pueden consultar en el anexo a este documento.

2.1.3. Medidas de mitigación

Con el fin de facilitar la compatibilización y convivencia de la navegación y la energía eólica, ENAIRE lleva años evaluando diferentes alternativas y trabajando en iniciativas tendentes a mitigar los efectos de los aerogeneradores con la utilización de nuevas tecnologías. No obstante, la capacidad mitigadora de estas medidas será siempre finita y muy dependiente de la configuración concreta en la que se encuentren el radar, la aeronave y los aerogeneradores.

Los fabricantes de los radares disponen normalmente de soluciones diseñadas para mitigar la afección de aerogeneradores en sus sistemas. Estas soluciones se basan normalmente en desarrollos software que permiten discriminar las señales generadas por los aerogeneradores de las señales generadas por las propias aeronaves, pero los resultados son limitados y dependen del entorno en el que se aplican.

Otra posible solución es la Instalación de sistemas adicionales tipo *gapfiller*. Es una solución alternativa disponible para mitigar el efecto de los aerogeneradores en el PSR y requiere de la instalación de un radar denominado in-fill. Este es un radar específico con cobertura en el área en el que los aerogeneradores producen las afecciones y en la aplicación de técnicas de procesado de señal complejas para detectar un blanco en presencia de los mencionados aerogeneradores. El uso de este tipo de sistemas complica mucho el tratamiento de la señal de vigilancia, al aparecer más sensores con distintas velocidades de giro y por tanto, distintos intervalos de entrega de datos. Además, estos nuevos sensores conllevan la aplicación de nuevas servidumbres, lo que complica la gestión de las mismas.

2.1.4. Tecnología 3D

A día de hoy, la tecnología de radar 3D ofrece mejores capacidades para proteger a los sistemas de estos problemas que los radares clásicos en 2D, ayudándose de las ventajas que presenta. Este tipo de radar cuenta con una gran variedad de herramientas para adecuar el rendimiento del sistema en entornos tan adversos para un radar primario como aquellos con parques eólicos.

Los radares primarios 3D (PSR 3D) combaten los problemas producidos por los parques eólicos básicamente mediante el uso de una antena activa. La antena activa de los PSR 3D permite la formación de múltiples haces de transmisión/recepción de tipo pincel (en contraposición de los radares convencionales 2D, que únicamente utilizan dos haces en abanico) y moderar la emisión de potencia en su cobertura por sectores. Es decir, permiten controlar la potencia radiada en cada ángulo vertical de la antena, modificando los diagramas de radiación cuando se apunta a obstáculos que de otro modo producirían efectos adversos en la detección.

Se dice que estos sistemas están dotados de una capacidad inherente, por las propiedades que poseen, para distinguir entre aerogeneradores y aeronaves. Dependiendo de la altura a la que se encuentren las palas de los aerogeneradores del parque eólico, se configura la elevación de los haces de transmisión/recepción de la antena activa del radar primario 3D, de forma que:

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- La energía radiada en la dirección de los aerogeneradores sea mínima, y por lo tanto el retorno de señal también lo sea. Mediante esta técnica eliminamos el *clutter* que proviene del suelo, aerogeneradores y obstáculos en general.
- Se maximiza la energía radiada hacia las aeronaves en vuelo. En este caso, el radar primario presentará únicamente la aeronave como blanco, evitando así la detección no deseada procedente de los aerogeneradores.

Por tanto, la tecnología de la antena activa permite que los blancos no deseados (que, por su naturaleza, detectan en mayor o menor medida todos los tipos de radares primarios) no generen apenas retorno de señal (por esta razón, se dice que los mitiga), mejorando así las prestaciones globales de detección y asociación de blancos radar.

Las soluciones militares que desde hace años utilizan como base la tecnología 3D han incorporado la redundancia necesaria para ser utilizados en el mercado civil, y la fiabilidad suficiente como para cumplir con los requisitos que imponen los distintos proveedores de datos de vigilancia aérea.

Por todo ello, ENAIRE ha apostado por esta tecnología para renovar los radares de vigilancia de su red de primarios que estén afectados por entornos con parques eólicos. En cualquier caso, aunque estos radares ayudan a mitigar en gran medida los efectos adversos que los aerogeneradores provocan en este tipo de sistemas, **no consiguen eliminarlos completamente**, y más teniendo en cuenta que los efectos que provocan son **acumulativos** sobre los sistemas y las medidas de mitigación son limitadas. Por ello, es necesario seguir estableciendo protecciones sobre todo en entornos donde los parques eólicos son muy abundantes.

2.2. Afección a los radares secundarios

El radar Secundario de Vigilancia (SSR) es un sistema que transmite una señal de radio a una determinada frecuencia y que recibe la respuesta, a una frecuencia diferente, del equipo transpondedor de la aeronave que recibe la señal. El radar recibe una respuesta codificada, de la que, una vez ha sido procesada, se obtiene información relativa a la posición de la aeronave (acimut y distancia), información de identificación de la aeronave y altitud, permitiendo la localización e identificación de las aeronaves que operan en el área de Control de Tránsito Aéreo. El alcance característico de un radar Secundario es de 250 millas náuticas.

En 2007, los sistemas radar monopulso que componían la red de vigilancia aérea de la antigua Aena (actual ENAIRE), presentaban una serie de limitaciones, inherentes a su tecnología, que se ponían de evidencia en zonas de alta densidad de tráfico. El Aeropuerto de Madrid-Barajas fue un claro ejemplo de entorno agresivo, con elevados niveles de interferencia en radiofrecuencia. Ese año fue considerado el cuarto aeropuerto europeo con más tráfico de pasajeros, colocándose por delante del aeropuerto de Ámsterdam-Schipol. A este entorno radioeléctricamente complicado se le añade la reducción de la separación vertical de las aeronaves, que pasó de 2000 pies a 1000 pies. La solución, mediante la implantación de la tecnología Modo S, era la pieza fundamental en la que se basaron los planes de incremento de capacidad de Eurocontrol. La "S" significa selectivo, es decir, se pregunta a las aeronaves de forma particularizada, con lo que las respuestas de las mismas no se interfieren.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

2.2.1. Principio de funcionamiento de los radares secundarios

Los radares tipo MSSR-S, o MSSR Selectivo, son radares secundarios con capacidad de interrogar selectivamente a las aeronaves, que deberán estar equipadas, a su vez, con transpondedores Modo S.

Desde el punto de vista de la Vigilancia, la solución para gestionar con éxito el incremento de la densidad del tráfico aéreo, y lidiar con una de sus consecuencias, es decir, un entorno radioeléctrico con un elevado nivel de interferencia, viene de la mano de la tecnología Modo S.

Además del hecho de que la Vigilancia Modo S proporciona interoperabilidad con la Vigilancia A/C tradicional, esta solución es posible gracias al uso de los códigos Modo S o direcciones de 24 bits que, al contrario que los códigos Modo A, se asignan de forma permanente a cada aeronave matriculada.

Con las interrogaciones selectivas se logra reducir significativamente el número de interrogaciones y respuestas, pues ya no se lanzan interrogaciones de forma indiscriminada, de acuerdo a una frecuencia de interrogación programada, sino que se planifica, de una forma inteligente, la secuencia de interrogaciones (tipo y periodicidad) para cada una de las aeronaves detectadas e identificadas mediante su Modo S.

Esta forma de trabajar soluciona el problema del GARBLE, ya que dos aeronaves próximas no contestarán simultáneamente a la misma interrogación: el radar lanzará una interrogación a una y otra interrogación a otra, indicando en cada caso la dirección Modo S de destino.

Otro rasgo destacable en la Vigilancia Modo S es que los interrogadores también se identifican a sí mismos. Cada radar Modo S tiene su IC (*Interrogator Code*), que da a conocer a la aeronave que interroga. De este modo, las respuestas de las aeronaves se dirigen al IC que les interrogó, incluyendo esta información en la propia respuesta. De este modo, se ataja el problema de las respuestas falsas asíncronas (FRUIT).

Adicionalmente la Vigilancia Modo S aporta muchas ventajas, ya que no sólo permite realizar una Vigilancia radar inteligente y adaptable al tráfico, sino que permite además obtener mucha más información de la aeronave en tiempo real, pues se contemplan nuevos tipos de interrogaciones solicitando mucha más información.

Otro aspecto a destacar en la Vigilancia Modo S es la mejora de la integridad de los datos, ya que tanto interrogaciones como respuestas incluyen un campo de paridad o un CRC (código de redundancia cíclica), que facilitan la detección e incluso corrección de errores.

Asimismo, hay que tener en cuenta que el mecanismo de interrogaciones y respuestas constituye un enlace de datos, lo que posibilita contar con un canal de comunicación aire-tierra de mayor capacidad.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Figura 3. Instalación antena de secundario sobre antena de primario

2.2.2. Principales afecciones de los aerogeneradores a los radares secundarios

En el caso del radar secundario, lo que principalmente aparecerán debido a la presencia de aerogeneradores serán blancos decorrelados (la aeronave aparecerá reportada en una posición que no es la real), que podrían generar nuevas pistas en la presentación de los datos a ATC. Estos errores de posición aparecen al desviarse el haz de interrogación por la presencia de aerogeneradores. Este efecto se dará en aeronaves lejanas, situadas a más de 150NM del radar (al contrario que en el caso del radar primario, para el que los efectos se manifiestan principalmente en las proximidades del aerogenerador). La afección por lo tanto será menor, porque estará mitigada por la contribución de otros radares secundarios (pistas multiradar). Adicionalmente, debido a las reflexiones de las interrogaciones y las respuestas en la estructura metálica de la torre de los aerogeneradores, aparecerán también reflejos, dando lugar a blancos falsos de secundario por multitrayecto.

En el anexo de Ejemplos se puede consultar algunos ejemplos reales de afecciones a estos sistemas.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

2.2.3. Medidas de mitigación

El tener una red de vigilancia con el adecuado nivel de redundancia puede mitigar los efectos de los parques de aerogeneradores, aunque para ello será necesario filtrar la información de los radares en su integración al sistema ATC. Será necesario filtrar las zonas donde los aerogeneradores influencien de forma negativa en la precisión de los radares secundarios, siempre que haya información redundante en la capa de vigilancia.

Además, la actualización de los radares Modo S dotándoles de receptores de extended squitter permite al radar tener un método alternativo para adquirir por primera vez el blanco. Esta información, aunque pueda ser corrompida, no dará lugar a posiciones erróneas, sino a mensajes que se descartarán. Es decir, el proceso de adquisición del blanco se verá reforzado con una entrada adicional de información.

Sin embargo, como para el caso de los radares primarios, aunque estas medidas ayudan a mejorar las prestaciones de los radares en entornos de parques eólicos, no consiguen eliminar completamente las perturbaciones que estos provocan. Teniendo en cuenta que además estos efectos son acumulativos, es necesario proteger el entorno de estos equipos mediante la **publicación de las servidumbres radioeléctricas específicas para aerogeneradores.**

2.3. Afección a las instalaciones VOR

A continuación, se describen las principales afecciones que los aerogeneradores producen sobre los sistemas VOR.

Figura 4. Emplazamiento VOR/DME

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

2.3.1. Principio de funcionamiento de los sistemas VOR

El equipo VOR (radiofaro omnidireccional de VHF) es un equipo de ayuda a la navegación aérea en distancias medias clasificado como de transmisión direccional. La información de guiado suministrada por este equipo es singular en cada dirección de tal manera que, una vez decodificada, permite conocer el radial en que está ubicado el receptor respecto de una dirección de referencia que generalmente es el norte magnético de la estación VOR.

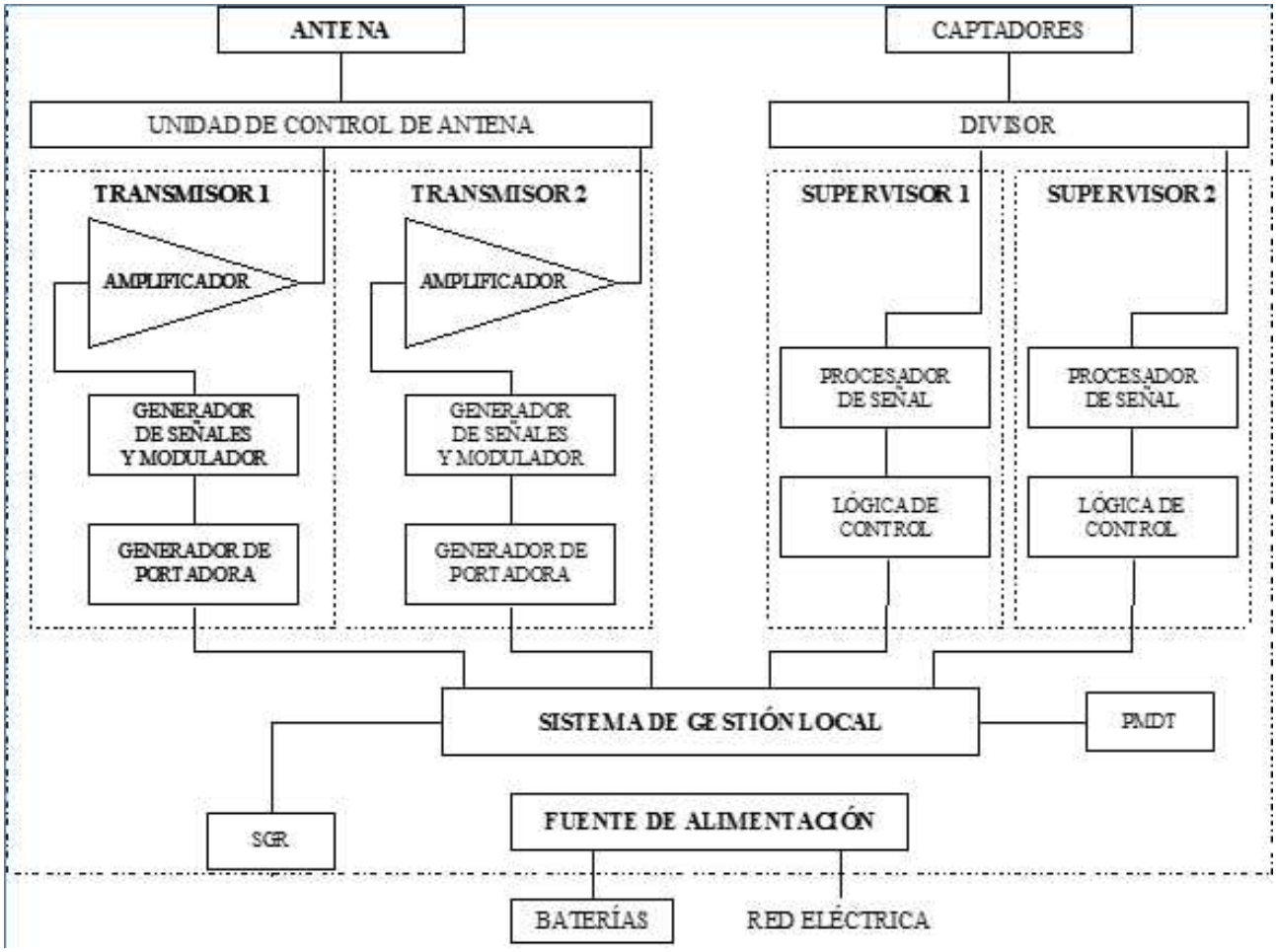

Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema VOR

2.3.2. Principales afecciones de los aerogeneradores a los sistemas VOR

En un Sistema VOR, la presencia de construcciones y/o elementos en sus inmediaciones puede dar lugar principalmente a dos tipos de afecciones:

- Afecciones causadas por el fenómeno de multitrayecto, es decir, por las señales generadas al incidir las ondas electromagnéticas radiadas por el Sistema en los obstáculos o elementos existentes en su entorno. Estas señales, al sumarse con la señal directa, producen distorsión e introducen un error en la información de navegación que este equipo proporciona a las aeronaves.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- Afecciones causadas por apantallamiento de la señal directa de un Sistema VOR en la zona situada por detrás de un obstáculo. Este apantallamiento conlleva un debilitamiento de la señal directa en algunas zonas situadas por detrás del mencionado elemento, donde la información de navegación que extrae el receptor de la aeronave podría contener distorsiones relevantes debido a otras reflexiones provocadas por el resto de elementos del entorno.

En el caso particular de los aerogeneradores se tiene constancia, a través de mediciones registradas en vuelos de calibración, de que **la proliferación de parques eólicos en el entorno de los equipos VOR puede provocar un deterioro relevante en la calidad de las señales de guiado de los mismos**.

Un ejemplo de estas afecciones se puede consultar en el anexo de ejemplos de este documento.

Las afecciones causadas por los aerogeneradores en los equipos VOR presentan peculiaridades que dificultan prever las afecciones reales mediante la realización de estudios detallados teóricos. Esto es debido a que las afecciones por multitrayecto obtenidas en las simulaciones realizadas para un único parque eólico, analizando los aerogeneradores de forma aislada y en un entorno ideal, no permiten determinar el efecto acumulativo de todos los aerogeneradores instalados en las proximidades del equipo, ni la combinación de los mismos con el relieve del entorno, ni el agravamiento de las afecciones como consecuencia de pequeñas cancelaciones en la señal directa, por afección en las modulaciones, etc.

En consecuencia, se considera necesario proteger el entorno de estos equipos mediante la **publicación de las servidumbres radioeléctricas específicas para aerogeneradores que establece el marco normativo en materia de servidumbres aeronáuticas**, con el fin de poder **garantizar su correcto funcionamiento y en consecuencia la seguridad y regularidad de las operaciones en el futuro,** evitando la proliferación de parques eólicos en torno a emplazamientos VOR, especialmente en aquellos equipos cuyas señales ya se encuentren afectadas por este tipo de elementos o en cuyo entorno existan ya parques eólicos incumpliendo las limitaciones establecidas en el citado Real Decreto.

2.3.3. Medidas de mitigación

En el caso de los sistemas VOR, a excepción de la sustitución de los equipos VOR convencional por los VOR de tipo Doppler, **no existen otras medidas técnicas de mitigación de las afecciones** que pueden causar los aerogeneradores.

En consecuencia, para evitar las afecciones sería necesaria la anulación de los radiales de la radioayuda afectados por los parques eólicos, siempre y cuando los procedimientos de vuelo basados en esta radioayuda no estuvieran afectados. Si esto no fuera posible, habría que analizar la posibilidad de rediseñar los procedimientos que se apoyan en estos sistemas, principalmente entradas y salidas de los aeropuertos, así como de las maniobras de aproximación instrumental. Estos procesos de rediseño son muy complejos y dilatados en el tiempo. Como última alternativa sólo quedaría la reubicación de la estación en otra localización, si bien esta opción **tampoco es siempre posible, ni puede siempre solventar los problemas de las afecciones**. Como ejemplo de ello, en el caso del DVOR LPC de Gran Canaria, la División de Navegación y Vigilancia de ENAIRE ha llevado a cabo estudios detallados en diversas ocasiones, que han demostrado reiteradamente que no existe una ubicación alternativa para el equipo, ni dentro ni fuera del Aeropuerto de Gran Canaria, donde se pueda garantizar el funcionamiento del mismo con las mismas prestaciones que posee actualmente.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

2.4. Afección al resto de sistemas para la navegación aérea

Para el resto de sistemas de navegación aérea la afección de los aerogeneradores es equivalente a cualquier otro obstáculo convencional. Las afecciones vienen determinadas por la disminución de cobertura debido a la pérdida de línea de vista, al interrumpir las señales radioeléctricas que transmiten o reciben los sistemas, y a los efectos de multitrayecto, debidas a las reflexiones producidas por las palas del aerogenerador. Cuando estas pérdidas de cobertura o afecciones afectan a volúmenes donde se tienen que prestar los servicios, tiene impacto en la operación de las aeronaves.

3. Servidumbres Radioeléctricas

Las servidumbres radioeléctricas son unas limitaciones a las construcciones y obstáculos que se establecen a través de unos volúmenes de protección en torno a las instalaciones radioeléctricas aeronáuticas para garantizar su correcto funcionamiento, del que dependen la regularidad y seguridad del tráfico aéreo.

3.1. Función de las servidumbres radioeléctricas

La finalidad de las servidumbres aeronáuticas es garantizar el correcto funcionamiento en el espacio de los Sistemas de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS) que proporcionan los servicios de soporte para la gestión del tráfico aéreo.

Las servidumbres aeronáuticas permiten identificar aquellos elementos que pudieran afectar a los servicios anteriores para evaluar su posible afección y compatibilidad, asegurando que las obras y las nuevas construcciones se llevan a cabo garantizando la regularidad y la seguridad de la operación de las aeronaves y preservando la disponibilidad en un futuro de las Instalaciones Radioeléctricas.

La normativa aplicable establece como necesaria la autorización del Ministerio de Fomento (AESA/DGAC) para cualquier nuevo elemento bajo la proyección en planta de SSAA, aunque no haya vulneración de las mismas. En este proceso de autorización se determina, a través de un estudio aeronáutico, si los elementos que vulneran las Servidumbres Radioeléctricas podrían afectar al correcto funcionamiento en el espacio de las Instalaciones Radioeléctricas para la navegación aérea. En el caso de que se llegue a la conclusión de que existe afección a los servicios de navegación aérea, **desde ENAIRE, se proporciona el valor añadido de analizar posibles alternativas para compatibilizar los elementos objeto de estudio con el correcto funcionamiento de las Instalaciones Radioeléctricas**.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

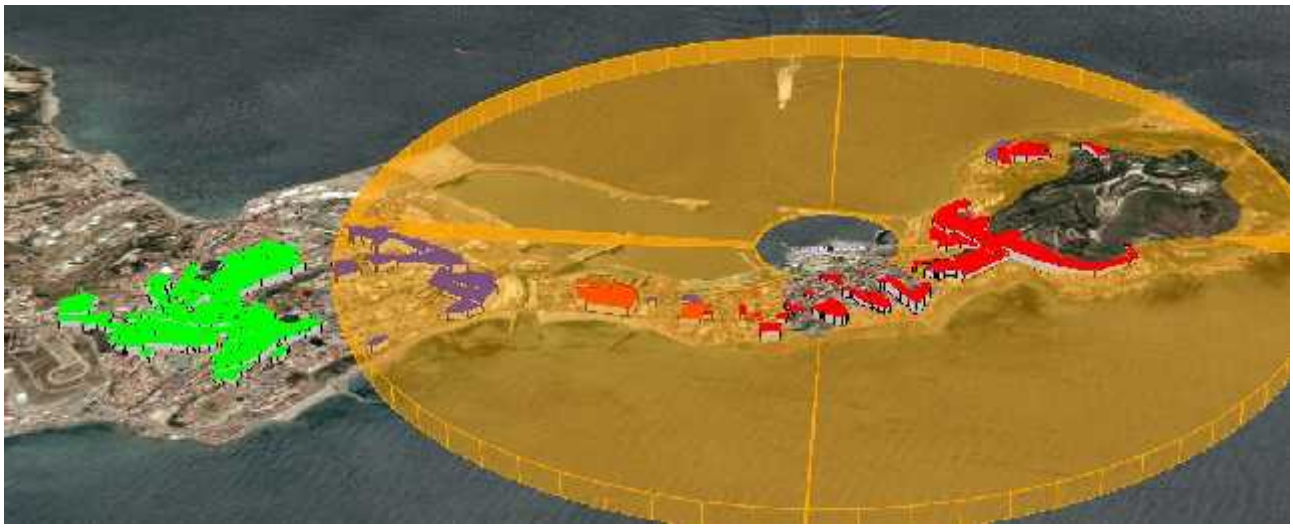

Figura 6. Ejemplo de estudio de vulneración de servidumbres aeronáuticas.

3.2. Normativa aplicable

La normativa en España que regula las servidumbres aeronáuticas está compuesta por el Decreto 584/72, de 24 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, y el Real Decreto 297/2013, de 26 de abril, por el que se modifica el anterior. Esta normativa describe las servidumbres aeronáuticas aplicables en cada caso, la forma de tramitación y regulación de las servidumbres, así como el proceso para conseguir las autorizaciones pertinentes.

El R.D. 297/13 introdujo, entre otros conceptos, las servidumbres radioeléctricas para obstáculos tipo generador, por las especiales afecciones que estos sistemas imponen a los sistemas de navegación aérea.

El R.D. 297/13 establece como necesaria la autorización del Ministerio de Fomento (AESA/DGAC) para cualquier nuevo elemento bajo la proyección en planta de SSAA, aunque no haya vulneración de las mismas (art. 30).

La normativa aplicable en materia de servidumbres aeronáuticas es antigua y no contempla los nuevos sistemas de navegación aérea que han venido apareciendo estos últimos años. Hay establecidos grupos de trabajo para la revisión de esta normativa en los que ENAIRE ha venido participando activamente con el objetivo de adecuar la misma a los nuevos escenarios de provisión de servicios de navegación aérea.

3.3. Servidumbres propuestas para el caso de los aerogeneradores

Se recogen a continuación las servidumbres radioeléctricas publicadas en el Real Decreto 297/13 para el caso concreto de los aerogeneradores, para los equipos VOR, TACAN y Radar. En los tres casos se trata de una servidumbre omnidireccional, constituida por una zona de seguridad y una superficie de limitación de alturas:

- La zona de seguridad se define como un cilindro de eje vertical, centrado en la instalación radioeléctrica, en cuyo interior deben someterse a estudio todos los aerogeneradores independientemente de su altura, ubicación concreta y cota relativa respecto a la instalación radioeléctrica.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- La superficie de limitación se alturas se define como un tronco de cono, cuyo borde interior coincide con el borde exterior de la zona de seguridad, que no debe ser superado en altura por ningún aerogenerador, salvo que de un estudio aeronáutico de afección se infiera que no afectará a la seguridad, ni a la regularidad de las operaciones.

Las dimensiones de la zona de seguridad y de la superficie de limitación de alturas, para este tipo concreto de elementos, se recogen en siguiente Tabla.

Instalación	Zona de seguridad – metros	Zona de limitación de alturas – metros	Superficie de limitación de alturas – Pendiente (%)
Radiofaro omnidireccional VHF (VOR) y TACAN	600	10.000	1,60
Radar de vigilancia primario (PSR)	300	30.000	1,75
Radar de vigilancia secundario (SSR)	300	30.000	1,75

Tabla 1- Distancias y pendientes que definen las servidumbres para aerogeneradores recogidas en el RD 297/13.

3.4. Estudios de Afecciones realizados por ENAIRE

ENAIRE, dentro del marco de actividades que realiza como proveedor de servicio de navegación aérea certificado por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea en España, realiza estudios de afecciones radioeléctricas de los distintos proyectos que recibe.

El contenido de los informes de afección radioeléctricas sigue el siguiente esquema:

- Descripción general del escenario
- Análisis de vulneración de las Servidumbres Radioeléctricas
- Simulaciones de los distintos casos de vulneración por cada sistema
- Estudios detallados para aquellos sistemas que no se simulan
- Estudios de compatibilidad para el resto de sistemas en el escenario
- Conclusiones del estudio

En los estudios de afección para parques eólicos, los análisis de afecciones se dividen a su vez en obstáculos de tipo aerogenerador y los obstáculos restantes. Para los obstáculos tipo aerogenerador, además se realizan cálculos de las líneas de vista desde cada equipo hacia cada uno de los aerogeneradores, para estimar cuánta parte del obstáculo se ve desde el sistema.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

El objetivo de estos estudios es determinar si los elementos que se sitúan bajo la proyección en planta de las Servidumbres Radioeléctricas **podrían afectar al correcto funcionamiento en el espacio de las Instalaciones Radioeléctricas para la navegación aérea**. En los casos en los que se llega a la conclusión de que existen afecciones relevantes para los sistemas, **se proponen medidas mitigadoras y alternativas encaminadas a la compatibilización de las nuevas construcciones con los servicios de navegación aérea que ENAIRE presta**. Estas alternativas van, desde la modificación de las propias instalaciones, hasta proponer modificaciones sobre el elemento (características, orientación, ubicación). Además, para los elementos temporales se proponen limitaciones a las zonas de actuación o restricciones en las condiciones operativas, como compatibilizar horarios de actuación, limitación en operaciones con baja visibilidad, etc.

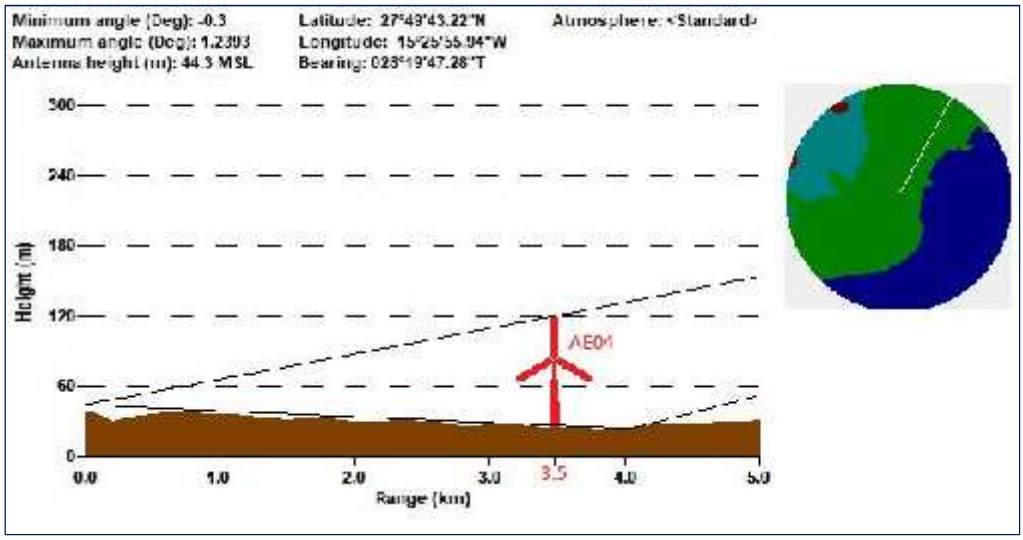

Figura 7. Ejemplo de análisis de línea de vista.

4. Planes de ENAIRE

A continuación, se describen las principales actuaciones que ENAIRE está llevando a cabo que pueden mejorar o ayudan a compatibilizar la prestación de los servicios de navegación aérea con los parques eólicos y otros elementos afectados por las Servidumbres Aeronáuticas.

4.1. Plan PBN

El concepto PBN representa el paso de una navegación basada en sensores a una navegación basada en las prestaciones. Los requisitos a satisfacer por la aeronave (prestaciones y funcionalidad necesarias) y por la tripulación se identifican en especificaciones de navegación, asociadas a las distintas fases de vuelo y basadas en el concepto de navegación de área (RNAV).

Las especificaciones, a su vez, identifican, aunque no prescriben, la elección de los sensores y del equipo de navegación que podrían utilizarse para satisfacer dichos requisitos. Pueden ser de dos tipos:

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- Especificación RNP: incluye el requisito de monitorización y alerta autónomas de las prestaciones a bordo de la aeronave; ésta es capaz de monitorizar las prestaciones a bordo (precisión, integridad y continuidad) y de alertar a la tripulación cuando se degradan por debajo de los requisitos establecidos.

- Especificación RNAV: no incluye tal requisito.

La implantación PBN a medio plazo (10-20 años) está orientada fundamentalmente por la Estrategia de Navegación Aérea de la Comisión Europea.

El principal facilitador de la implantación PBN son los sistemas de navegación por satélite, lo que permitirá reducir en gran medida la dependencia de la navegación de estaciones en tierra.

La Comisión Europea promulgó en 2018 el Reglamento de Ejecución (UE) 2018/1048, de 18 de julio, por el que se establecen los requisitos de utilización del espacio aéreo y los procedimientos operativos en relación con la PBN (Reglamento PBN).

Operaciones	03 DIC 2020	25 ENE 2024	06 JUN 2030
RNP APCH en cabeceras instrumentals sin precisión	X		
RNP APCH en todas las cabeceras instrumentales		X	
RNAV 1 o RNP 1 (+RF) en al menos una SID/STAR por cabecera		X	
RNAV 1 o RNP 1 (+ RF) en todas las SID/STAR			X
Rutas RNAV 5 a partir de FL150	X		
Rutas RNAV 5 por debajo de FL150		X	
Helicópteros: RNP 0.3 o RNAV 1/RNP 1 (+RF) en SID/STAR, una por cabecera		X	
Helicópteros: RNP 0.3 o RNAV 1/RNP 1 (+RF) en todas las SID/STAR			X
Helicópteros: RNP 0.3 o RNAV 1 / RNP 1 (+RF) en rutas ATS (excl. SID/STARs) por debajo de FL150		X	

Tabla 2 -Objetivos de Implantación PBN conforme al RE (UE) 2018/1048

Para los usuarios del espacio aéreo, el despliegue de la PBN permitirá explotar plenamente las prestaciones de los equipos de navegación embarcados disponibles actualmente. Ello hará posibles rutas más directas, flexibles y eficientes, a la vez que se reduce la necesidad de mantener rutas y procedimientos en función de sensores específicos, con sus consiguientes costos asociados:

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- Procedimientos más flexibles, que permiten: ahorros significativos de combustible, mejoras en los perfiles de subida y descenso, la posibilidad de transiciones entre los puntos del recorrido mediante trayectorias curvas (p.ej. funcionalidades RF).

- Reemplazo de procedimientos de aproximación de no precisión basados en radioayudas convencionales por procedimientos RNP más directos y con guiado vertical.

- El vuelo de maniobras APV supone, en general, una disminución significativa de la carga de trabajo para los pilotos en comparación con algunas aproximaciones de no precisión (NPAs) basadas en radioayudas convencionales, y, en particular, frente a las maniobras NDB publicadas actualmente en España.

- Realización de trayectorias predecibles y repetitivas al pasar a un entorno sistematizado.

Adicionalmente, se prevén mejoras de la capacidad y de la eficiencia en costes, en su aplicación general al espacio aéreo y a los aeropuertos:

- Aumento de la capacidad del espacio aéreo, así como un uso más eficiente del mismo mediante el empleo de trayectorias más directas.

- **Posibilidad de racionalización de la infraestructura disponible de radioayudas convencionales basadas en tierra**, para una mayor eficiencia económica.

- Mayor accesibilidad a los aeródromos, mediante la reducción de los mínimos de operación en aquellas pistas no equipadas con ILS. Se podría mejorar la operación en aeródromos regionales de uso público e incluso, aeródromos de uso restringido.

- Mayor facilidad para realizar operaciones de descenso continuo (Continuous Descent Operations, CDO) y de ascenso continuo (Continuous Climb Operations, CCO).

- Mejora general en la calidad de los servicios ATS ofrecidos.

Desde el punto de vista de la seguridad operacional, se reducen considerablemente los riesgos en la fase crítica de la aproximación. La introducción de maniobras con guiado vertical basadas en sistemas GNSS permitirá:

- Incrementar la consciencia situacional en el plano vertical, disminuyendo el riesgo de aparición de eventos de colisión contra el terreno en vuelo controlado (CFIT) .

- Disminuir el uso de aproximaciones no directas, que requieren maniobras de vuelo en circuito, por aproximaciones directas, mucho más seguras.

- Tener una alternativa con guiado vertical cuando los sistemas ILS no estén disponibles.

Desde el punto de vista del impacto medioambiental, los aspectos de eficiencia y sostenibilidad de las nuevas maniobras se consideran esenciales:

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- Menor impacto acústico en las inmediaciones de los aeropuertos, como consecuencia de un mayor uso de las operaciones de ascenso y descenso continuos, y de la mayor flexibilidad de las maniobras de aproximación, reduciendo el sobrevuelo directo de poblaciones ubicadas en la prolongación del eje de pista.

- Se reducen asimismo las dispersiones de las trayectorias, especialmente en salidas y llegadas. Los proveedores ATM/ANS deberán analizar el impacto acústico local de las nuevas trayectorias para evitar concentraciones de ruido en zonas pobladas.

- La utilización de procedimientos directos posibilita la reducción de emisiones, por la implantación de maniobras más eficientes y el aumento de la capacidad de las infraestructuras.

Ante la posible afección de los aerogeneradores a los sistemas VOR, se están implantando en ENAIRE, conforme a los hitos definidos por el RE (UE) 2018/1048, maniobras PBN que, tanto en fase de aproximación como en llegadas y salidas del área terminal, ya no dependen de estos sistemas. **Sí seguirá habiendo dependencia de las instalaciones DME, ya que normalmente apoyan los procedimientos PBN como back-up de estaciones terrenas**.

En el caso de las rutas oceánicas y continentales, las maniobras PBN que se implantan en esta fase de vuelo son maniobras que, aún pudiendo estar soportadas por sistemas VOR, se diseñan con criterio de "todos los sensores"; es decir, se diseñan para que puedan ser soportadas no solo por VOR sino también por otros sistemas como GNSS, DME o inerciales.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Fase de vuelo	Especificación PBN	Sistemas soporte
En ruta	RNAV/RNP10 RNAV5	VOR/DME/**GPS**/INS
Área terminal	RNAV1/RNP1	DME-DME y/o **GPS**
Aproximación/aterrizaje	RNP APCH (LNAV, LNAV/VNAV y LPV)	**GPS/GPS+Baro/GPS + SBAS**
	RNP AR APCH	**GPS+Baro**
	SBAS CAT-I / LPV 200	**GPS+SBAS**

Tabla 3 –Especificación PBN y sensores para las distintas fases de vuelo

Aunque la implantación progresiva de procedimientos PBN irá disminuyendo paulatinamente la dependencia de la navegación aérea de las estaciones de tierra, no será posible eliminarlas completamente, ya que **siempre se deberá contar con una red de contingencia en tierra, para poder permitir la continuidad del servicio de navegación en caso de fallo de los sistemas de navegación por satélite**. Desgraciadamente las señales de navegación de las constelaciones para el posicionamiento (GPS, GALILEO, etc.) que llegan a los receptores embarcados desde los satélites son señales muy débiles y son fácilmente interferibles.

Además, la transmisión y recepción de las señales desde los satélites son vulnerables a fenómenos de meteorología espacial, que provocan cambios en la propagación de estas señales en la ionosfera, lo que se traduce en periodos de discontinuidad de estos servicios. Aunque se está evolucionando a sistemas de navegación por satélite más robustos frente a estas vulnerabilidades, usando más constelaciones y mayor número de frecuencias, no se prevé que se pueda eliminar completamente la dependencia de estaciones terrenas.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

4.2. Plan de Implantación ADS-B

La ADS-B es una técnica de vigilancia automática, puesto que no requiere una interrogación externa o intervención alguna por parte del piloto para que los datos sean emitidos, y dependiente, ya que la información de vigilancia obtenida es generada y transmitida por la aeronave, es decir, depende de los sistemas (de navegación y de posicionamiento) embarcados y del enlace de datos utilizado. En la práctica consiste en que la aeronave envía a tierra, a través de un enlace de datos, la información de su posición, obtenida de los sistemas de navegación que tiene embarcados (principalmente sistemas de navegación por satélite), esta información es recogida por estaciones ADS-B terrenas (aunque también pueden ubicarse en satélites) e introducidos en los sistemas de gestión de tráfico aéreo para presentación al controlador aéreo.

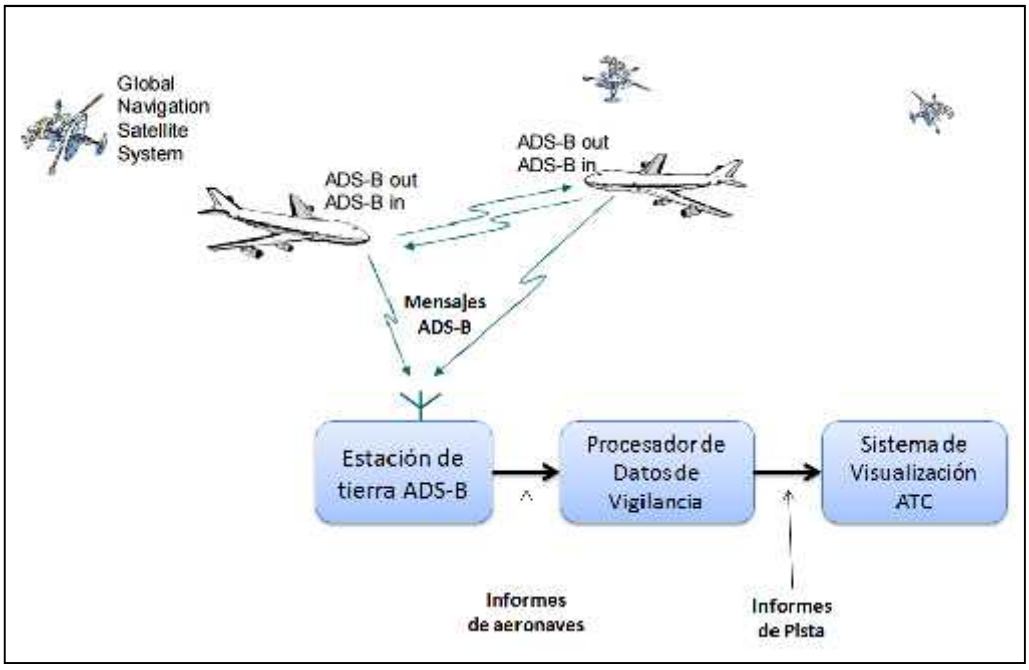

Figura 8. Sistema ADS-B

El uso de esta técnica de vigilancia es alternativo a la vigilancia convencional basada en radares por lo que permite eliminar dependencias de este tipo de sistemas.

ENAIRE tiene en la actualidad un Plan de Implantación de ADS-B para dar cumplimiento a los Reglamentos de Ejecución 1207/11, 1028/14 y 2017/386 de la CE, basado en la instalación de estaciones ADS-B Extended Squitter, que además permitirá una optimización de la red de vigilancia de N.A. desde el punto de vista económico, medioambiental y de calidad del servicio. Dicho Plan de Implantación de ADS-B está financiado con fondos CEF.

Este plan se basa en la implantación progresiva de una red de estaciones ADS-B en tierra que se pretende complementar con servicios CNS satelitales.

El plan de implantación ADS-B persigue los objetivos:

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

- Complementar la cobertura de los sistemas actuales:
  - Baja cota /aproximación altitudes bajas de aeropuertos actualmente sin cobertura de vigilancia a esas altitudes
  - Dotar de vigilancia en superficie de aeropuertos
  - Dotar de vigilancia a la zona oceánica (mediante instalaciones en tierra estratégicas y sat ADS-B)

Como consecuencia de la implantación de este plan, ENAIRE será más autónoma en la prestación de los servicios de vigilancia y permitirá hacer uso de la señal ADS-B para otras aplicaciones más allá de la propia función de vigilancia.

Como resultado final se pretende la racionalización de la red de radares actual. La intención es disponer de una red de vigilancia mixta compuesta por una capa de cobertura radar y otra ADS-B con el fin de mantener como mínimo la calidad del servicio y ofrecer nuevas aplicaciones de vigilancia.

La Puesta en Servicio operacional de los servicios ADS-B están previstos para junio de 2022.

La implantación de la vigilancia ADS-B aliviará la dependencia de los radares para prestar los servicios de vigilancia, aunque al igual que los servicios de navegación por satélite, al ser este medio el principal para el cálculo de la posición por parte de la aeronave, este tipo de servicios tienen las mismas vulnerabilidades descritas en el apartado de PBN. El servicio es fácilmente interferible y tiene dependencia de la meteorología espacial, por lo que **siempre tiene que tener una back-up en tierra, en este caso basado en una red de radares,** para garantizar las disponibilidad, continuidad e integridad que los servicios de navegación aérea necesitan.

4.3. Provisión de servicios de comunicaciones y vigilancia satelitales

ENAIRE está analizando además distintos proyectos para la provisión de servicios de comunicaciones y servicios de vigilancia satelitales. Estos servicios, unidos a los servicios de navegación por satélite, permitirán eliminar dependencias de algunos de los sistemas terrenos, lo que permitirá liberar terrenos sometido a servidumbres.

En cualquier caso, el impacto será limitado, porque son **servicios más orientados a zonas oceánicas con niveles de tráfico menores que las zonas continentales**. En estas zonas, se plantea como respaldo a los sistemas terrenos, pero no como fuente primaria de la provisión de estos servicios.

4.4. Medidas de mitigación para la red de estaciones en tierra

En relación con las estaciones terrenas que ENAIRE estará obligado a mantener en el futuro, como soluciones de respaldo de los servicios de comunicaciones, navegación y vigilancia basados en satélite, las principales actuaciones que ENAIRE está llevando a cabo son las siguientes:

4.4.1. Renovación de la red de radares primarios

ENAIRE está inmersa en un plan de renovación de su red de radares primarios por radares con tecnología 3D, que mejorarán las prestaciones de estos radares en presencia de aerogeneradores. Estos radares disponen de más herramientas para mitigar las afecciones que los parques eólicos producen sobre estas tecnologías.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

4.4.2. Implantación de radares secundarios modo S

ENAIRE está finalizando la renovación de su red de radares secundarios por radares modo S, que mejorarán las prestaciones de estos radares en presencia de aerogeneradores. Estos radares secundarios están equipados con receptores digitales y tecnología Modo S, lo que permite disponer de mayor información sobre las aeronaves que están volando, gestionar el tráfico con más fluidez e incrementar la seguridad.

Además, estos radares incorporan una estación redundante de Vigilancia Dependiente Automática Radiodifundida (ADS-B), que permite obtener la posición de las aeronaves a través de la información que estas dinfunden de sus sensores de abordo. Esta funcionalidad permitirá en el futuro seguir disponiendo de información de vigilancia ante fallos mecánicos de la estación radar.

De las tecnologías disponibles para mejorar las prestaciones del sistema de vigilancia español, el Modo S es la más madura e implantada, lo que permitirá mejorar la operatividad con los distintos países europeos.

4.4.3. Plan de racionalización de radioayudas

La introducción progresiva de los procedimientos de navegación por satélite, acompañada de la certificación por parte de las Compañías Aéreas de sus flotas en este tipo de procedimientos, permitirá la reducción progresiva de la red de radioayudas terrenas de ENAIRE. ENAIRE ya dispone de un plan de racionalización para eliminar todos los sistemas NDB y algunos de sus sistemas VOR, dejando una red de estaciones en tierra como respaldo de los procedimientos de navegación por satélite.

4.4.4. Plan de racionalización de sistemas de vigilancia

La introducción progresiva de la vigilancia dependiente automática, permitirá una reducción de la red de radares de ENAIRE. El objetivo final es la convivencia de una capa de vigilancia ADS-B, con una capa de vigilancia radar, eliminando aquellas estaciones radar cuyas coberturas se solapan.

4.5. Mejoras en los estudios de afecciones realizados

ENAIRE trabaja intensamente en la elaboración de un gran número de estudios de afecciones que recibe de forma continua. Con el objetivo de optimizar el proceso y afinar los resultados de los citados informes, continuamente se revisan y proponen nuevas medias enfocadas a la mejora continua. Las principales actividades en las que se está trabajando en la actualidad son:

- Mejoras en las herramientas de simulación y metodologías más precisas
- Estudios con universidades para contrastar resultados
- Inclusión de nuevos sistemas CNS analizados.
- Automatización de cálculos
- Optimización del contenido de los informes

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Se espera que todas estas medidas contribuyan a una mejora sustancial en los tiempos de respuesta y calidad de los informes realizados, de forma que se disminuya el impacto que la imposición de las servidumbres aeronáuticas tiene sobre los desarrollos urbanísticos e industriales.

5. Conclusiones

Los parques eólicos y aerogeneradores constituyen una fuente de perturbación importante para los servicios de navegación aérea y las señales en el espacio que usan estos servicios, principalmente para los sistemas radar, primario y secundario, y los radiofaros omnidireccionales de VHF (VOR).

Las servidumbres aeronáuticas son la herramienta legal que permite asegurar que las obras y las nuevas construcciones, en este caso aerogeneradores, se llevan a cabo garantizando la regularidad y la seguridad operacional de las aeronaves y preservando la disponibilidad en un futuro de las Instalaciones Radioeléctricas.

Resulta fundamental regular y publicar las servidumbres necesarias para la protección de las instalaciones de navegación aérea que proporcionan un servicio público que requiere de unas altas garantías de disponibilidad y seguridad.

En los estudios aeronáuticos que se realizan desde ENAIRE para las autorizaciones de las nuevas construcciones por parte de AESA y DGAC, siempre se busca la compatibilización de los elementos objeto de estudio con el correcto funcionamiento de las Instalaciones Radioeléctricas, proponiendo alternativas en caso de que éstos no sean compatibles.

ENAIRE a su vez está trabajando en diferentes planes que facilitarán la compatibilización de la industria eólica y el transporte aéreo a futuro, como son el plan PBN, el plan de implantación ADS-B, la provisión de servicios CNS satelitales y diferentes medidas para mitigar las afecciones en las estaciones terrenas, con el objetivo de garantizar que las servidumbres específicas para aerogeneradores son suficientes.

Aunque la implantación progresiva de procedimientos PBN, la introducción de la vigilancia dependiente automática radiodifundida ADS-B y el resto de medidas que ENAIRE está tomando en este sentido, irán disminuyendo y eliminando paulatinamente la dependencia de la navegación aérea de estaciones de tierra, nunca será posible eliminarlas completamente, ya que siempre se deberá contar con una red de contingencia en tierra, para poder permitir la continuidad de los servicios de navegación aérea en caso de fallo de los sistemas basados en satélite.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

6. Anexo - Ejemplos

A continuación, se describen algunos ejemplos de las afecciones descritas de los aerogeneradores a los sistemas de navegación de aérea:

6.1. Ejemplo de Afecciones a Radares Primarios

En las figuras siguientes se puede apreciar la aparición de blancos falsos (nubes de puntos) debido a la presencia de parques eólicos en las inmediaciones de un radar primario.

Debido a la gran cantidad de señal reflejada por los aerogeneradores, es muy difícil para un radar primario distinguir entre aeronave o blanco falso.

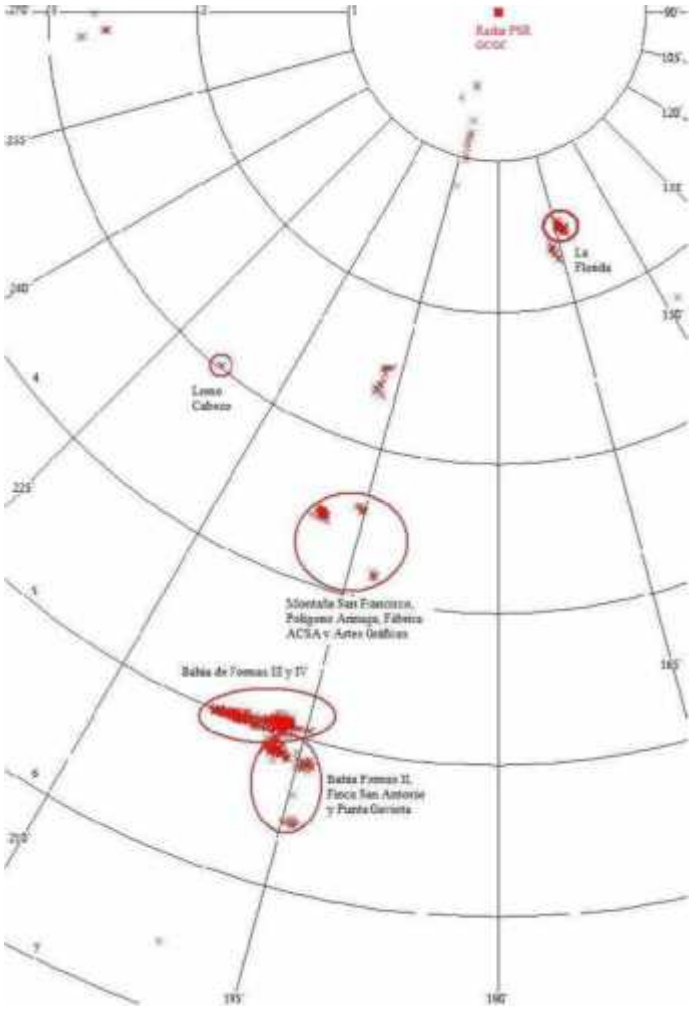

Figura 9. Blancos falsos producidos por aerogeneradores en el radar de Gran Canaria.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Afección de los aerogeneradores a la provisión de servicios de navegación aérea

Al tener más señal producida por el aerogenerador que por la aeronave, el video de primario se desplaza hacia el aerogenerador, provocando que el proceso de combinación primaro/secundario falle. Por ello, se produce una desasociación del plot, y una duplicación de pistas en la pantalla del controlador: por un lado, el blanco de secundario y por otro el falso provocado por el aerogenerador. También se puede apreciar como el efecto combinado de aerogeneradores provoca mayores afectaciones al radar, al acumularse la zona de mayor señal reflejada.

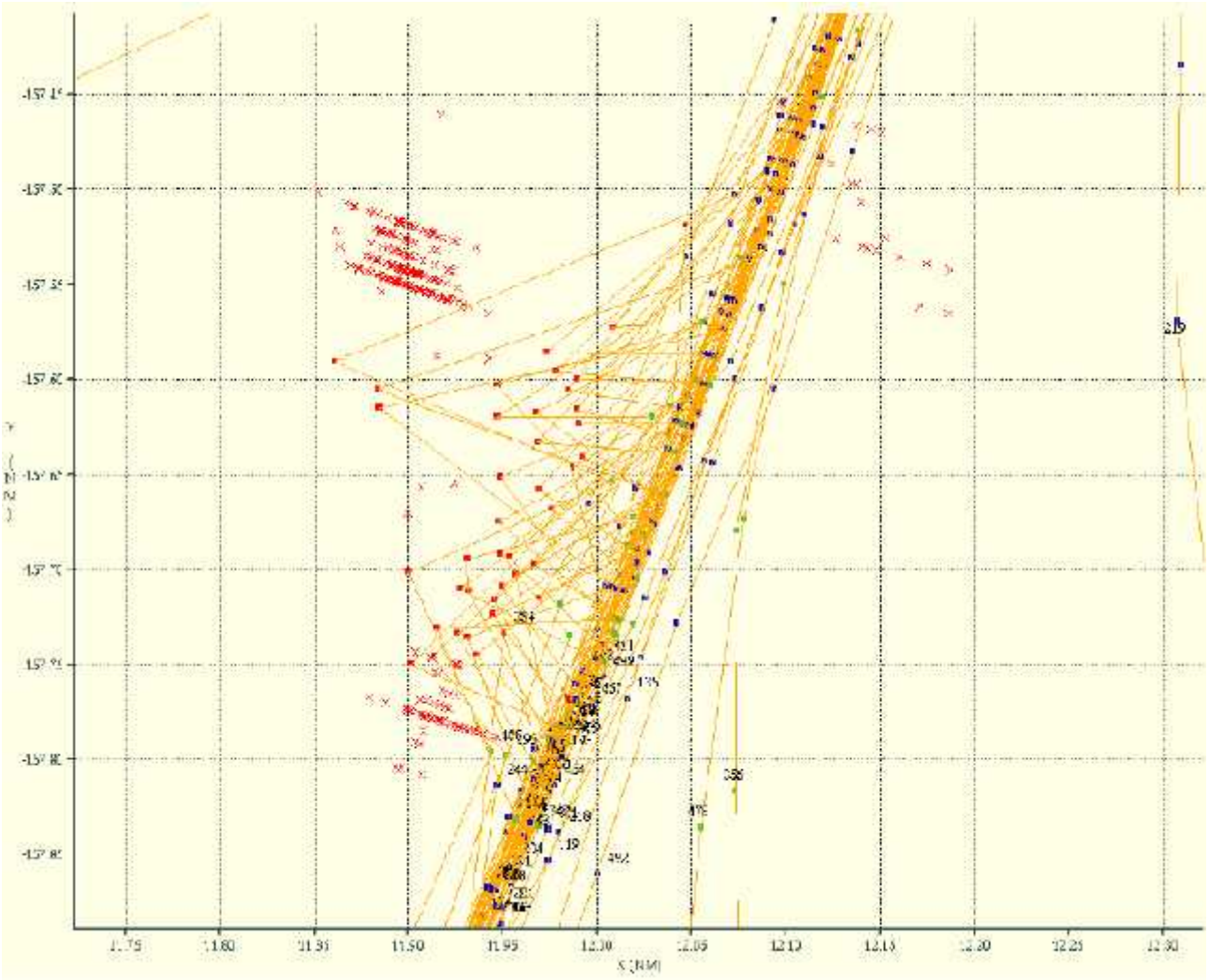

Figura 10. Decorrelación de blancos PSR en las proximidades de parques eólicos en el entorno del Aeropuerto de Gran Canaria.

La señal de los aerogeneradores no solo afecta en las inmediaciones del radar primario, sino que su efecto se puede observar a grandes distancias. En el caso de la imagen, los aerogeneradores están situados al Norte de la isla de Gran Canaria, y provocan blancos falsos en el radar de Tenerife Sur.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

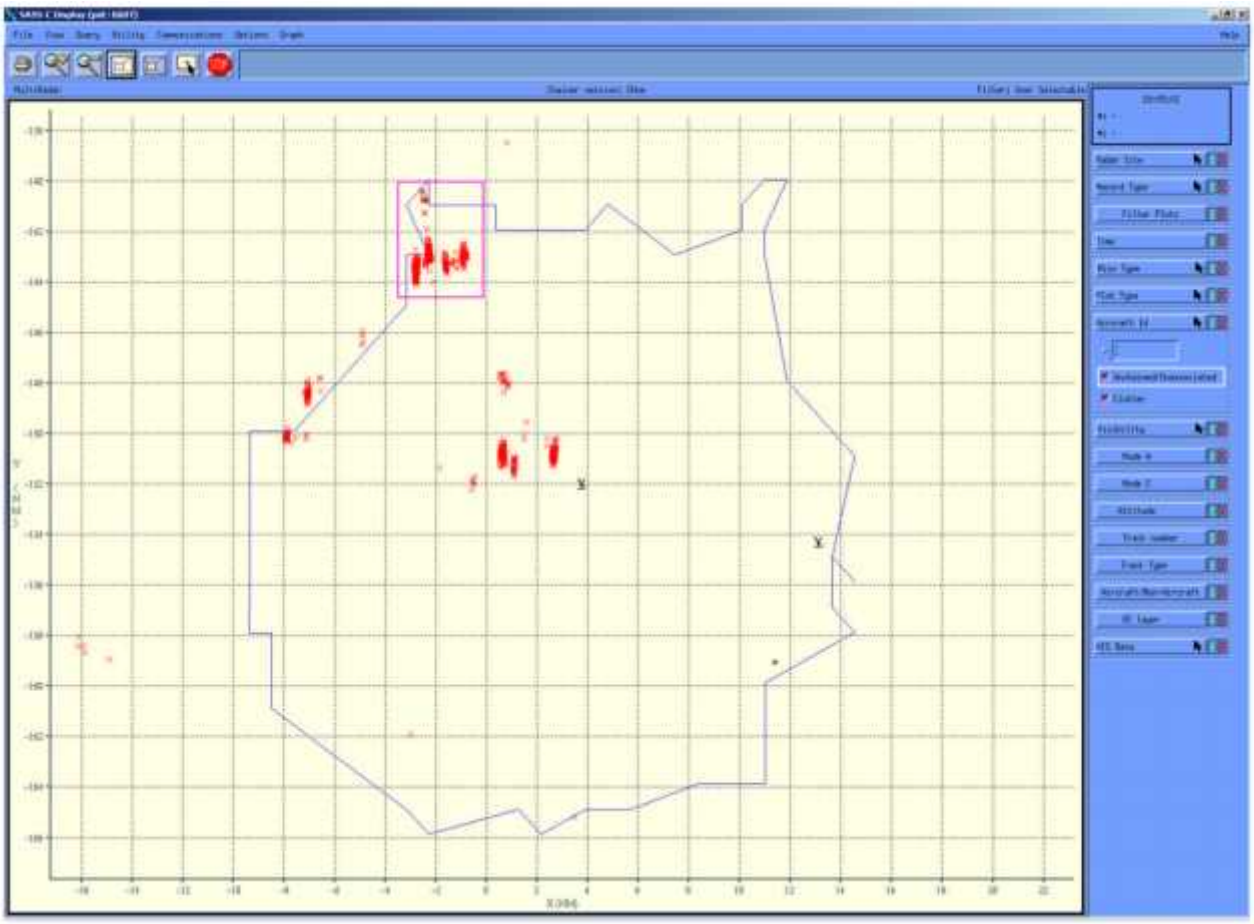

Figura 11. Blancos falsos producidos por aerogeneradores en el radar de Tenerife Sur

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Afección de los aerogeneradores a la provisión de servicios de navegación aérea

Los falsos provocados por aerogeneradores en la aproximación de Tenerife Sur provocan que los sistemas de fusión y presentación de datos radar intenten generar pistas multiradar con la información de los falsos, con el efecto de desplazar la trayectoria real de la aeronave aproximadamente entre los blancos de primario y los de secundario. En la imagen se observan los blancos de primario en cuadrados color rojo (blancos falsos provocados por aerogeneradores), y la pista de presentación a control como círculos granates. Los círculos morados corresponden a las detecciones de secundario (posición real de la aeronave).

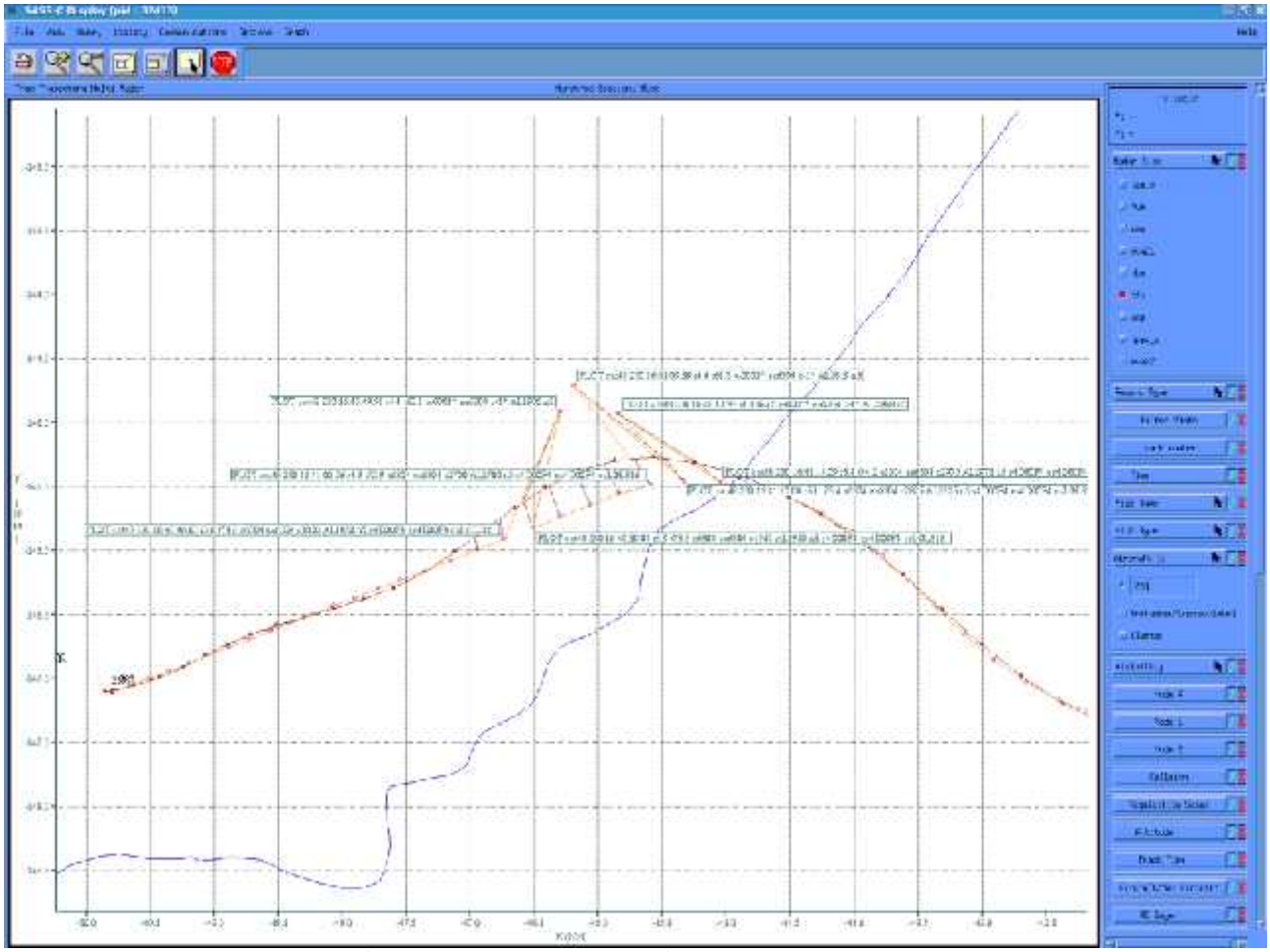

Figura 12. Decorrelación de blancos PSR y desvío de la traza radar en una maniobra sobre aerogeneradores en las cercanías del Aeropuerto de Tenerife Sur.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Afección de los aerogeneradores a la provisión de servicios de navegación aérea

El efecto acumulado de los aerogeneradores provoca decorrelaciones, incluso aunque se encuentren fuera de la trayectoria de las aeronaves. La cantidad de video generada tiene afectaciones incluso a una milla o más de las maniobras de aproximación.

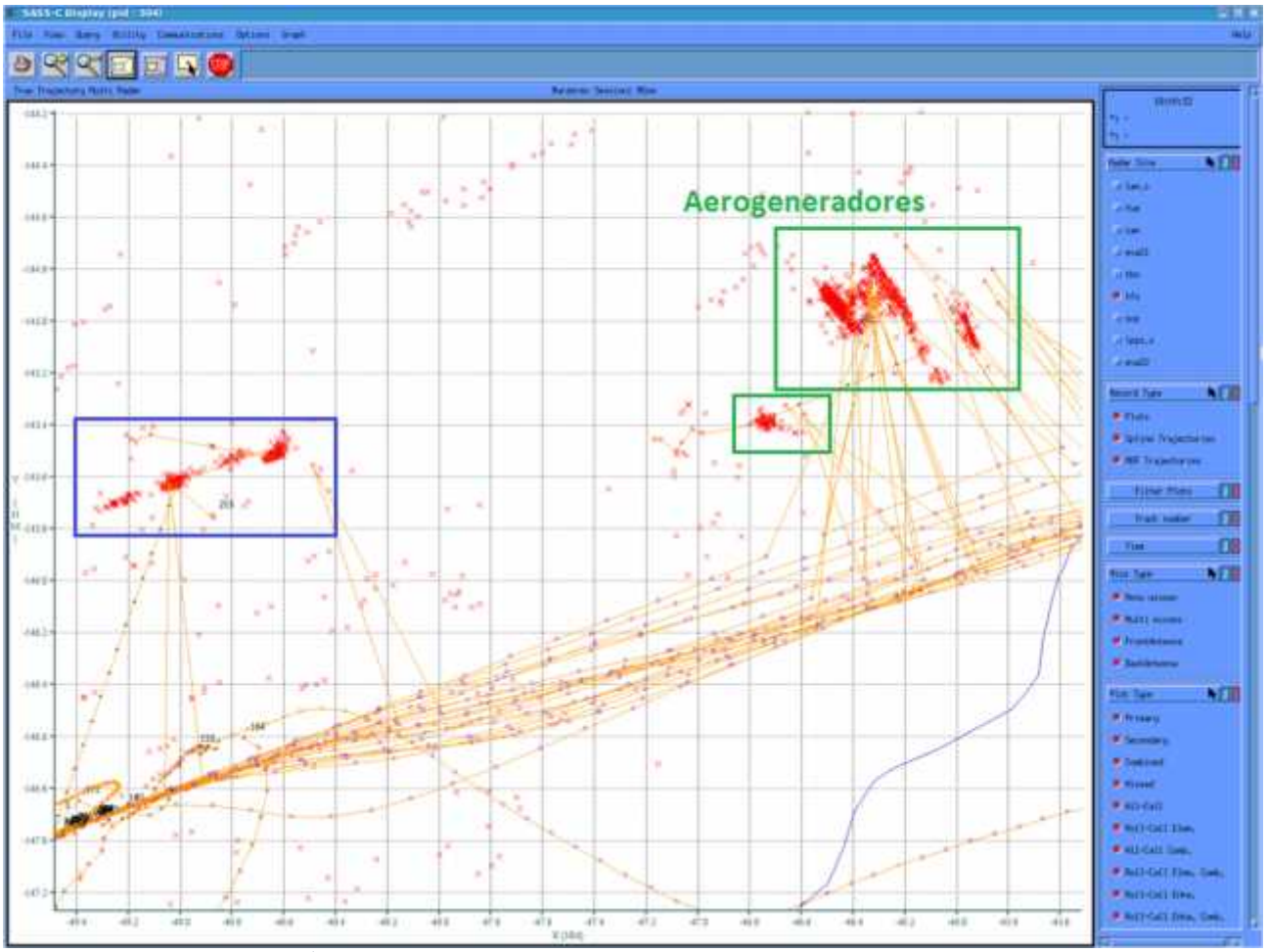

Figura 13. Decorrelación de blancos PSR en las proximidades de aerogeneradores en el entorno del Aeropuerto de Tenerife Sur.

Las áreas de atenuación definidas en el radar tienen el efecto de atenuar tanto la señal como el radar, por lo que los tráficos que atreviesen las áreas dejarán de ser detectados.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

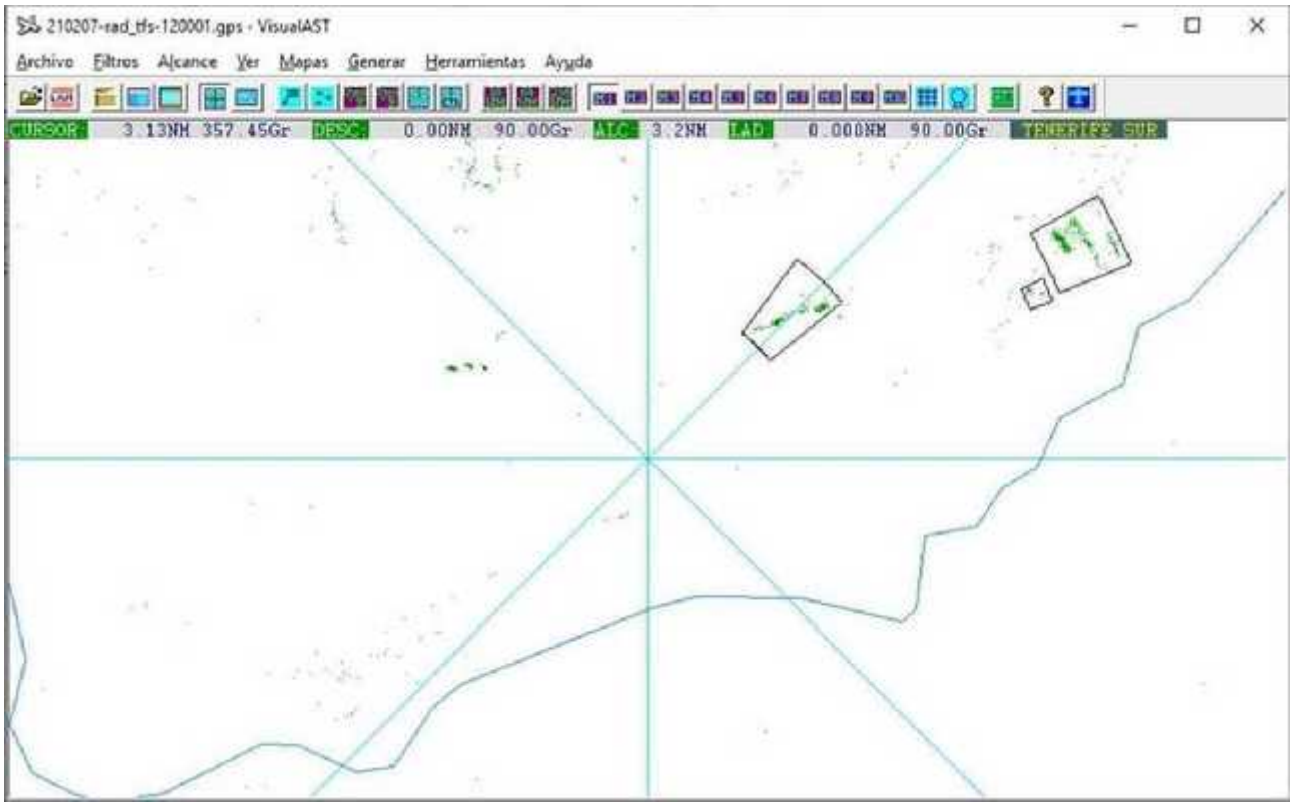

Figura 14. Presentación de blancos no deseados PSR sobre aerogeneradores en las cercanías del Aeropuerto de Tenerife Sur.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Detalle de las detecciones de primario (en verde) en la aproximación del aeropuerto de Tenerife Sur, para comprobar la distancia entre estos y la trayectoria real vista por el radar secundario.

Figura 15. Plots de PSR sobre aerogeneradores en las proximidades del Aeropuerto de Tenerife Sur.

6.2. Ejemplos de Afecciones a Radares Secundarios

A continuación, se muestra el efecto sobre las trayectorias detectadas por el radar secundario en Valladolid. A gran distancia (en la imagen, unas 100 millas) la difracción de la señal al pasar sobre un parque eólico provoca errores tanto en ángulo como en distancia. Se observa como la trayectoria real (círculos granates) no coincide con la detectada (en naranja) por los errores de precisión en el radar.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Afección de los aerogeneradores a la provisión de servicios de navegación aérea

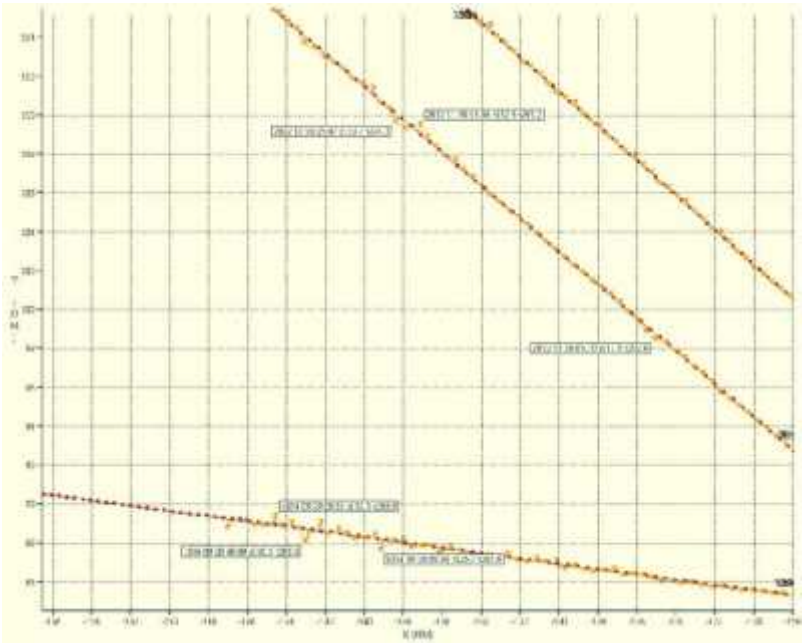

Figura 16. Ejemplo 1 de afecciones sobre Radar Secundario

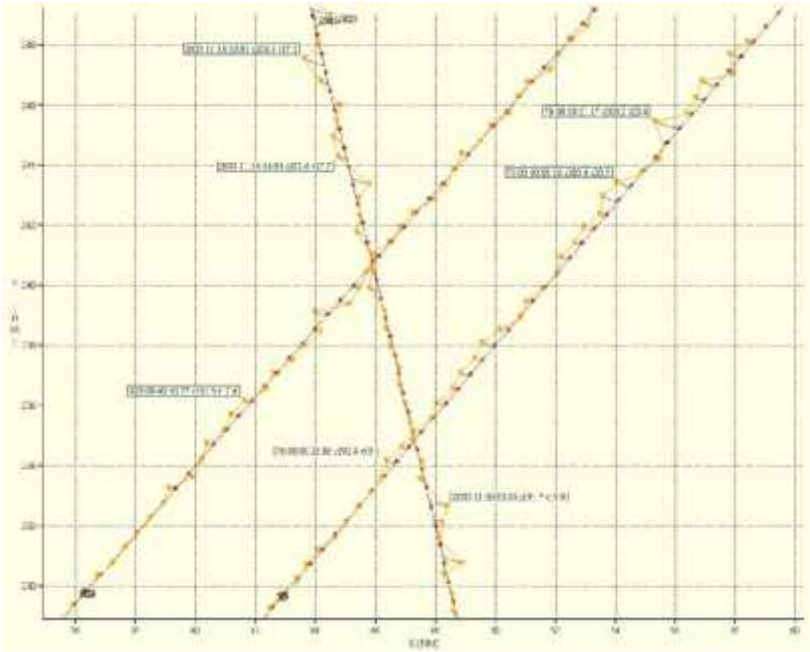

Figura 17. Ejemplo 2 de afecciones sobre Radar Secundario

En las figuras siguientes se puede apreciar los errores en distancia y acimut que la presencia de aerogeneradores provoca en las detecciones de secundario de los radares. En la orientación de los parques eólicos se aprecian grandes errores, que superan la media habitual del radar.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

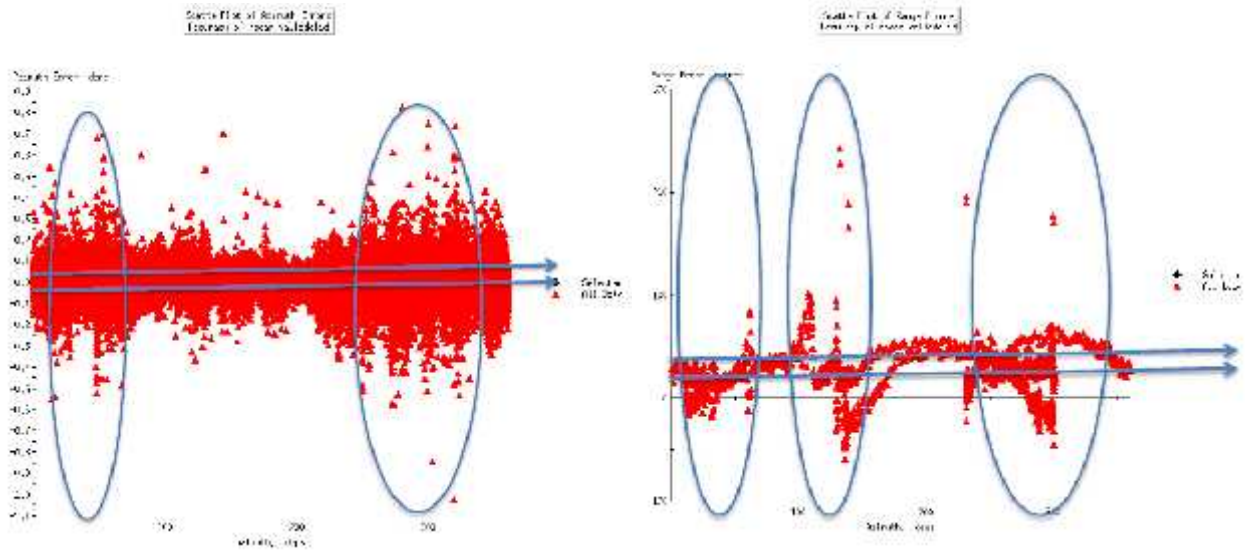

Figura 18. Errores en azimut (izda.) y distancia (dcha.) en el Radar de Valladolid.

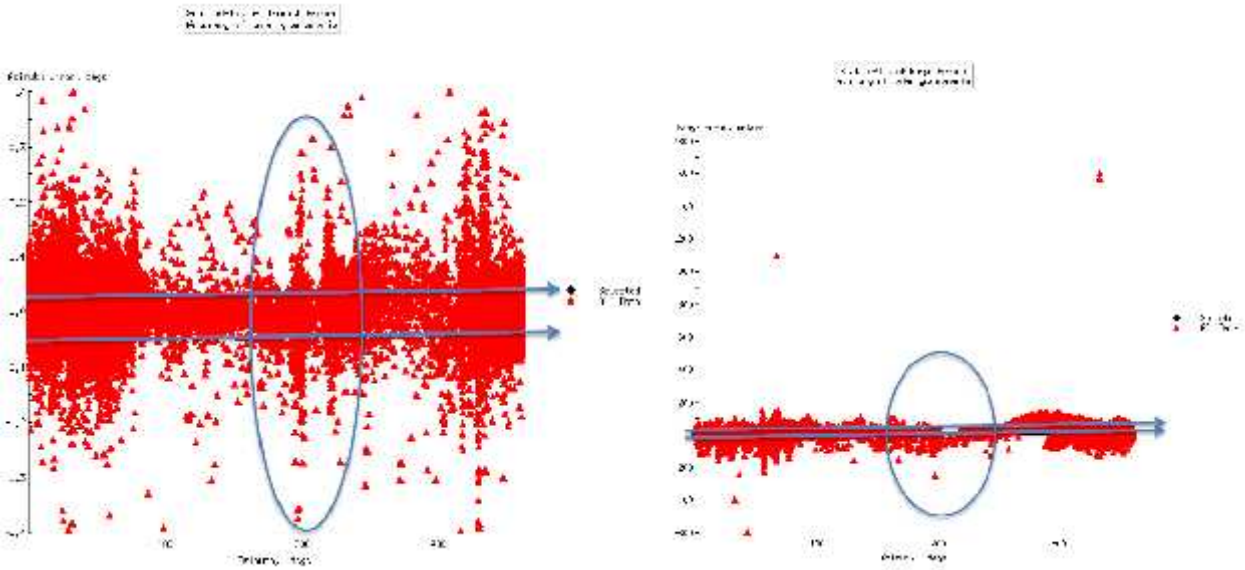

Figura 19. Errores en azimut y distancia en los blancos SSR debidos a los parques eólicos existentes en el entorno del Aeropuerto de Gran Canaria.

En la figura siguiente, se pueden apreciar los efectos que se producen sobre las señales combinadas del radar primario y secundario. Los efectos que se aprecian son reflejos y descombinaciones que generan blancos falsos y generación de pistas falsas, además de reducciones en la probabilidad de detección de los sensores. Estas descombinacions, mantenidas en el tiempo por la acumulación de aerogeneradores provocará su presentación en las pantallas del personal de Operaciones.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

Afección de los aerogeneradores a la provisión de servicios de navegación aérea

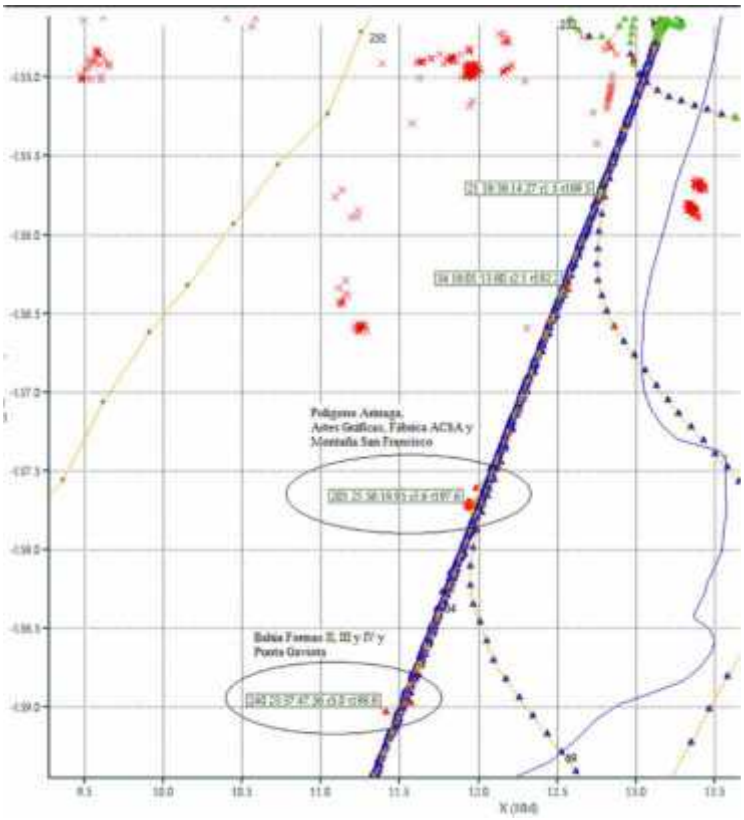

Figura 20. Efectos sobre las señales combinadas

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

6.3. Ejemplo de Afecciones a Sistemas VOR

A continuación, se muestran los efectos que los parques de aerogeneradores pueden tener sobre un VOR, a través de la siguiente comparación de registros correspondientes a los radiales 120, 046 y 229 del DVOR MAR, obtenidos en vuelos de calibración entre los años 2005 y 2012. Debe señalarse que, entre 2008 y 2012, se instalaron aproximadamente 125 aerogeneradores a distancias comprendidas entre 1100 m y 6800 m de este VOR, situado en la provincia de Málaga.

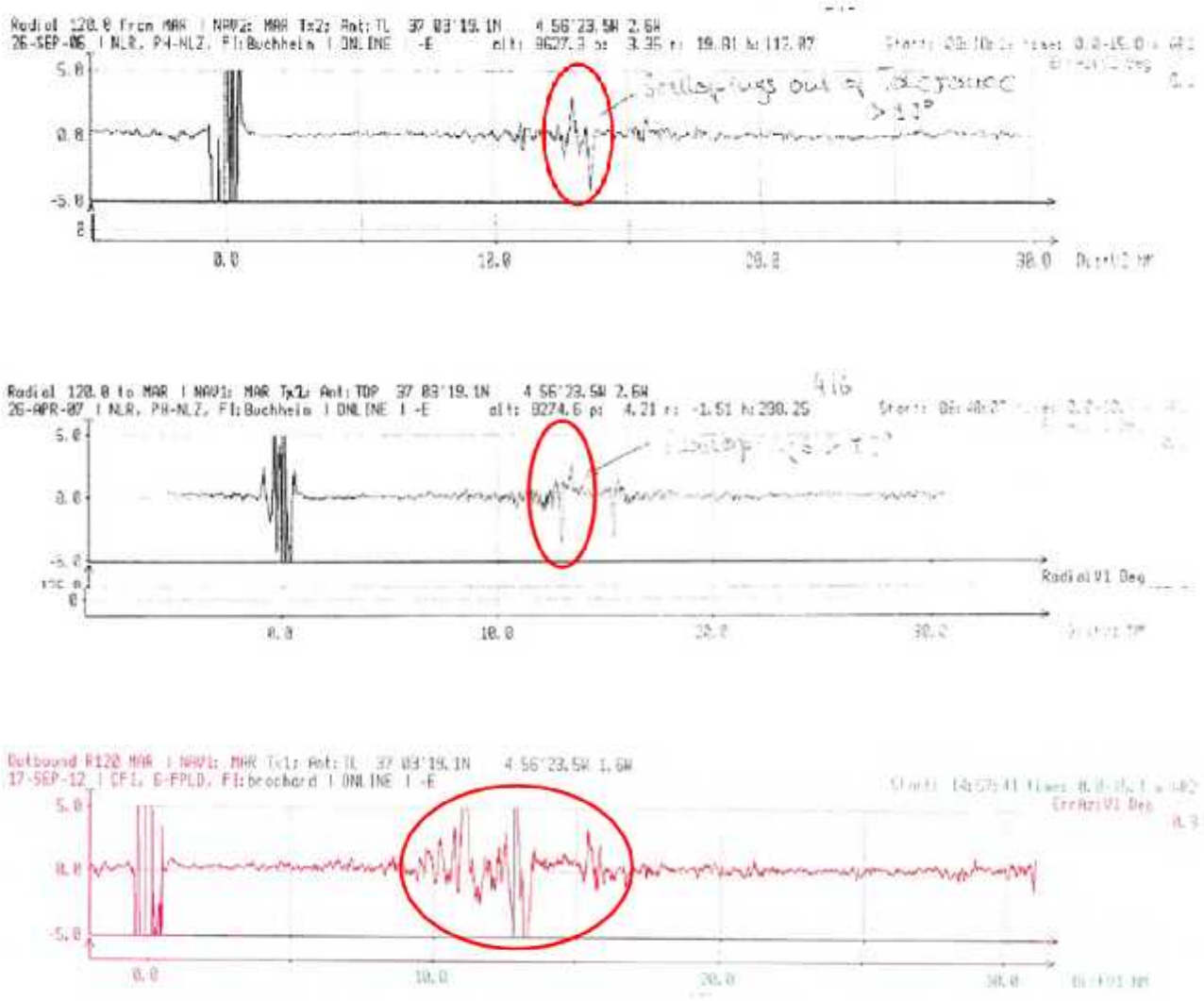

Figura 21. Ejemplo de afecciones a un sistema VOR: registros del radial 120 del DVOR MAR.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

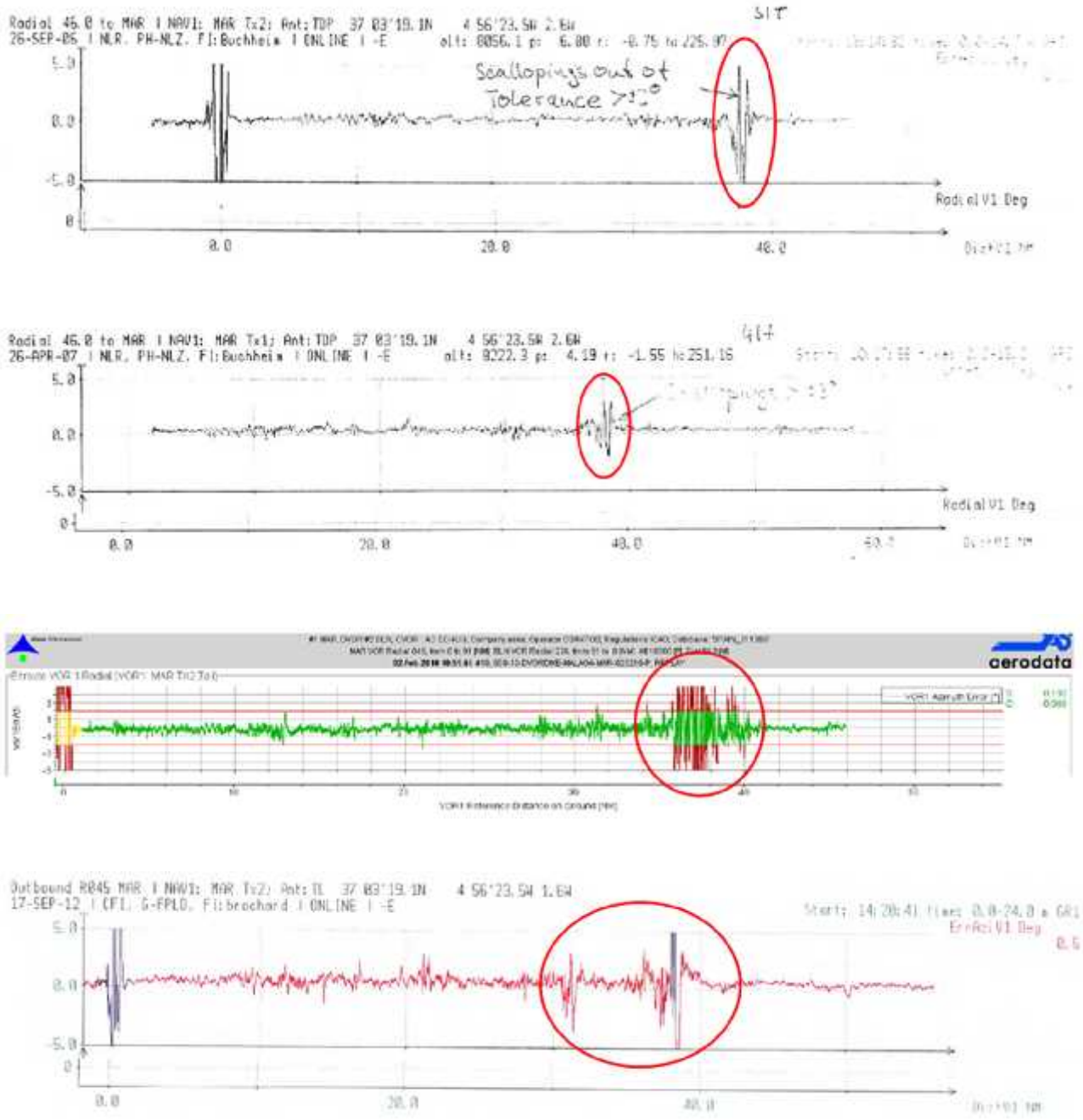

Figura 22. Ejemplo de afecciones a un sistema VOR: registros del radial 046 del DVOR MAR.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.

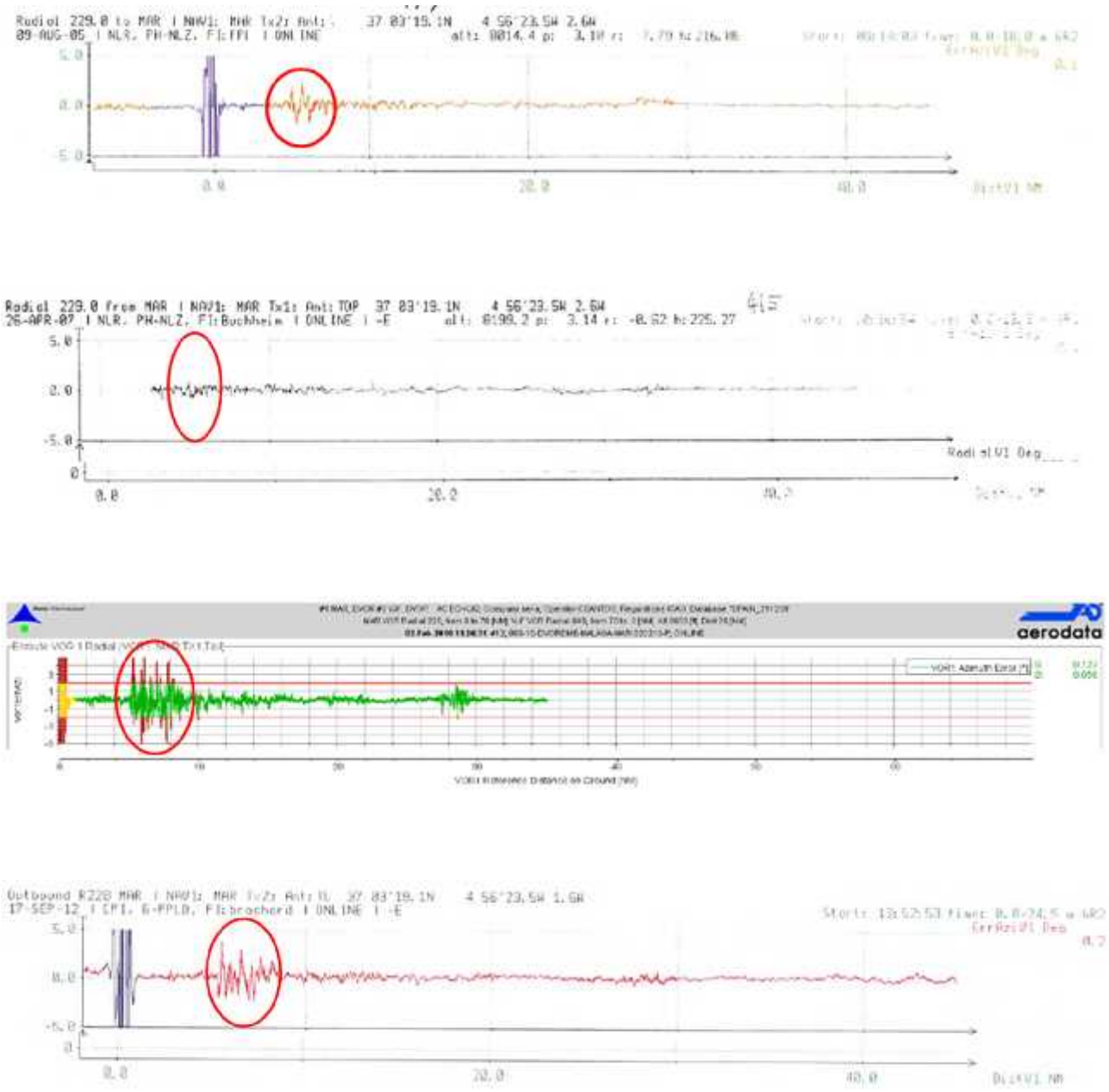

Figura 23. Ejemplo de afecciones a un sistema VOR: registros del radial 229 del DVOR MAR.

Cualquier versión impresa o en soporte informático, total o parcial de este documento, se considera como copia no controlada y siempre debe ser contrastada con su versión vigente en el Gestor Documental de ENAIRE.