

Guía Meteorológica de Aeródromo: Santiago-Rosalía de Castro



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Textos: Juan Pablo García Melgar, Sergio Fernández González y Alejandro Méndez Frades

Revisión: María Rosa Pons Reynés

Ilustración de la portada: Julio Aristizábal Arteaga

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Agencia Estatal de Meteorología
Oficina Programa Cielo Único. Unidad de Meteorología Aeronáutica
Madrid, 2020

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<http://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 666-20-013-6
<https://doi.org/10.31978/666-20-013-6.LEST>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)
C/ Leonardo Prieto Castro, 8
28040 Madrid
<http://www.aemet.es/>



@Aemet_Esp



@Aemet_Galicia



<https://www.facebook.com/AgenciaEstataldeMeteorologia>

Contenido

1.	Introducción	5
2.	Situación geográfica	7
3.	Fenómenos de impacto	9
3.1.	CIZALLADURA.....	9
3.2.	NIEBLAS Y TECHO DE NUBES BAJO	18
4.	Impacto	30
5.	Resumen	34
6.	Summary.....	36
7.	Referencias.....	38
8.	Agradecimientos	39

I. Introducción

Una guía meteorológica de aeródromo es un informe técnico en el que se recogen todos los fenómenos meteorológicos que potencialmente son adversos para el desarrollo y regularidad de las operaciones que se llevan a cabo en un determinado aeródromo. El principal objetivo es concienciar a los usuarios aeronáuticos de los riesgos que entraña la fenomenología atmosférica, además de servir de instrumento de asesoramiento en la planificación y toma de decisiones.

1.1. El impacto de la meteorología en un aeródromo

El impacto de las condiciones meteorológicas sobre un aeródromo requiere el conocimiento previo de los siguientes conceptos:

- **Fenómeno de impacto:** hecho observable en la atmósfera que potencialmente es adverso en un determinado aeródromo. Representa un nivel de amenaza meteorológica en el marco operativo aeronáutico.
- **Vulnerabilidad:** sensibilidad o predisposición de un aeródromo a ser afectado por la ocurrencia de un fenómeno de impacto.
- **Impacto:** alteración del entorno socioeconómico de un aeródromo como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno meteorológico.

La valoración objetiva del impacto asociado a un fenómeno meteorológico en un aeródromo no solo depende de sus características propias, sino que es necesaria la consideración de condicionantes externos. Así, se puede establecer:

$$\text{Impacto} = \text{Fenómeno de impacto} \times \text{Vulnerabilidad}$$

A continuación, se muestra un ejemplo de cada uno de los citados términos:

- Fenómeno de impacto: brisa de montaña, tormenta, niebla, etc.
- Vulnerabilidad: el volumen de tráfico en el aeródromo o su dotación tecnológica.
- Impacto: cambios de configuración, frustradas, desvíos a otros aeródromos, etc.

Hay que tener en cuenta que el impacto en la seguridad operacional (*safety*) ha disminuido en los últimos años, gracias en parte a la mejor dotación tecnológica de las aeronaves y a una mayor sofisticación del sector aeronáutico desde el punto de vista normativo y procedimental. La consideración de escenarios y técnicas permiten gestionar situaciones de riesgo con mayor solvencia.

1.2. Aplicación para el caso del aeropuerto de Santiago

En la figura 1 se detalla el diagrama de Ishikawa para el aeropuerto de Santiago-Rosalía de Castro (en adelante, LEST). Este esquema permite mostrar, de forma sintética y jerarquizada, cómo los fenómenos meteorológicos de impacto (*factores causales*), acompañados de sus ingredientes (*causas secundarias*), convergen hacia los impactos observados en el aeródromo (*efectos*).

El objetivo será estudiar un aeródromo en un contexto meteorológico orientado a impactos de modo que, a partir de la *información meteorológica* se extraerá el *conocimiento meteorológico* que es de interés para los usuarios aeronáuticos. Para ello, será crucial la identificación adecuada de los fenómenos de impacto (*variables independientes*) que potencialmente tienen incidencia en el entorno operativo del aeródromo objeto de estudio (*variables dependientes*).

Este diagrama *causa-efecto* permitirá, además:

- Obtener una visión global de un aeródromo en un contexto meteorológico orientado a impactos.
- Identificar los ingredientes que intervienen en cada uno de los fenómenos de impacto considerados.
- Mostrar los impactos específicos que se producen en un aeródromo.
- Diferentes fenómenos meteorológicos pueden producir el mismo impacto. De esta forma, la relación causa-efecto no es unívoca.

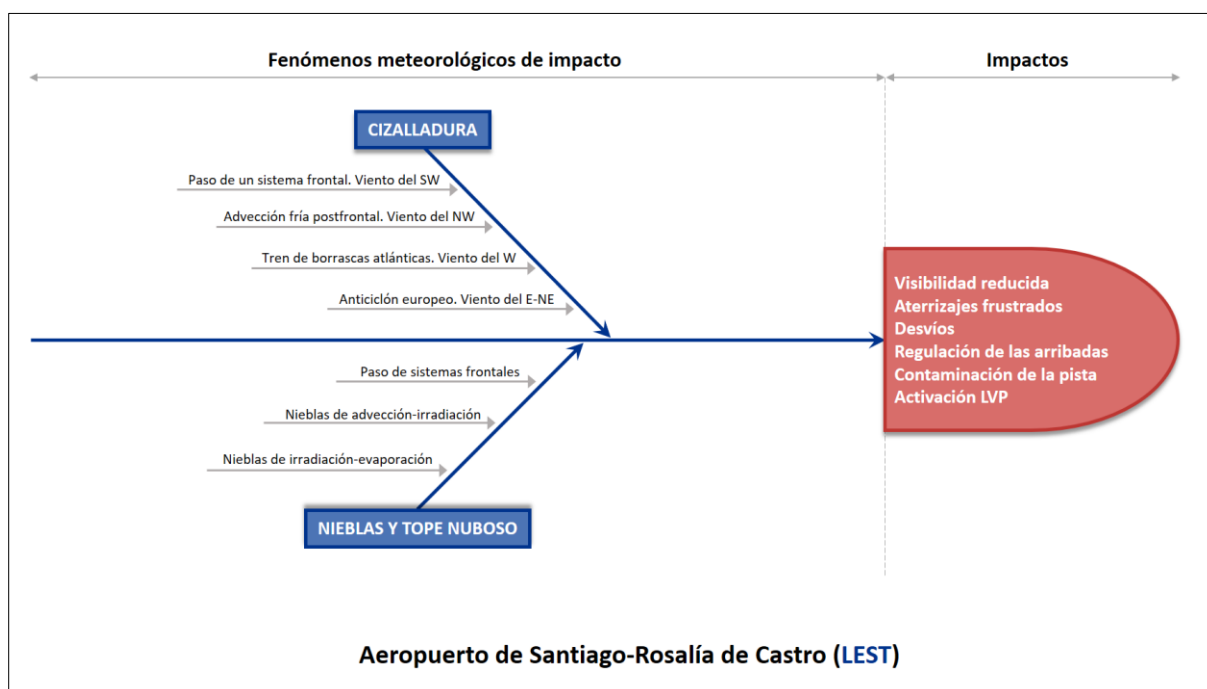


Figura 1. Diagrama de Ishikawa para LEST: la identificación de los fenómenos meteorológicos de impacto exige un conocimiento detallado del entorno meteorológico en el que se encuentra embebido. Ello posibilitará establecer su relación con los impactos observados en su marco operativo.

2. Situación geográfica

LEST se localiza en el interior de la provincia de A Coruña, en una pequeña meseta a unos 370 metros de altitud y en el interfluvio de los ríos Tambre y Ulla (figura 2).

Su ubicación es tal que está abierto a la entrada de aire húmedo procedente del Atlántico habida cuenta de su proximidad a la ría de Arousa y la de Muros y Noia, motivo por el cual la influencia marítima en su clima es plenamente perceptible a pesar de estar distanciado a unos 40 kilómetros de la costa.

Hacia el este, el terreno descende unos 100 metros respecto del propio aeropuerto, singularidad orográfica que influirá decisivamente en la formación de nieblas. Por otra parte, hay una serie de lomas cercanas que influyen en el viento observado en el propio aeropuerto. Al suroeste sobresalen el Coto do Espiño, Castelo y Monte Penedo de Vigo, mientras que al noroeste destacan las sierras Soneira y Montemayor.

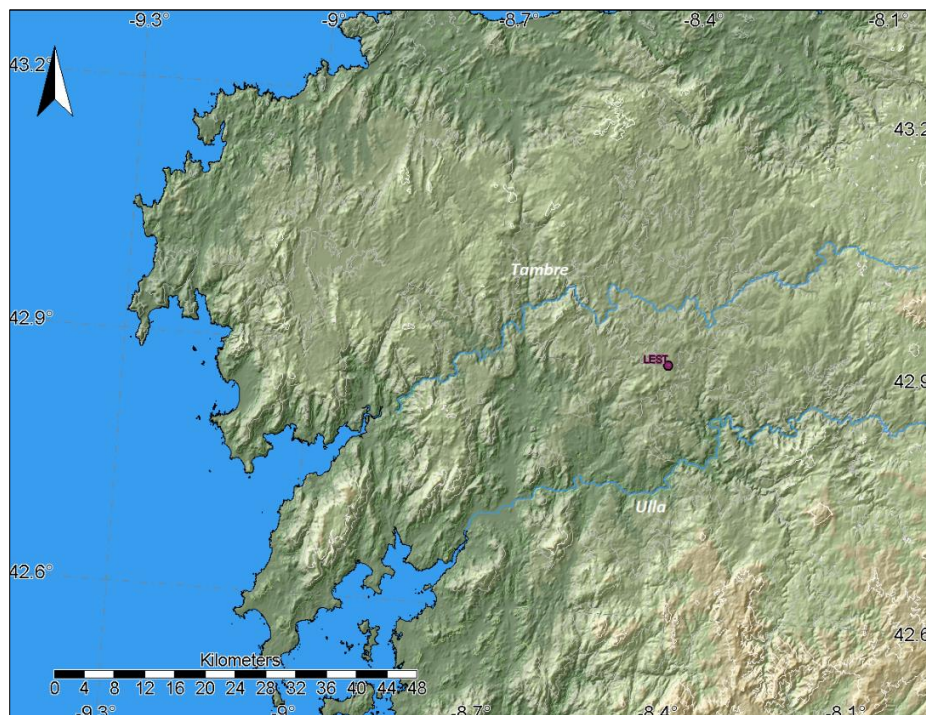


Figura 2. Ubicación LEST entre los ríos Tambre y Ulla. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

En la [tabla I](#) se reflejan los datos geográficos más relevantes de LEST.

Datos geográficos		
Nombre del aeródromo		Santiago-Rosalía de Castro
Indicativo	OACI	LEST
	IATA	LCG
Latitud		42° 53' 47'' N
Longitud		8° 24' 55'' W
Elevación		370 m

Tabla I. Datos geográficos de LEST

La orientación de la pista es prácticamente norte-sur (cabeceras 17 y 35, ver [figura 3](#)). Las dos configuraciones de operación posibles en LEST son las siguientes:

- *Configuración norte*: las arribadas y salidas se efectúan por la cabecera 35
- *Configuración sur*: las arribadas y salidas se efectúan por la cabecera 17, siendo esta la configuración preferente

El METAR se elabora según las observaciones recogidas en la cabecera 17.

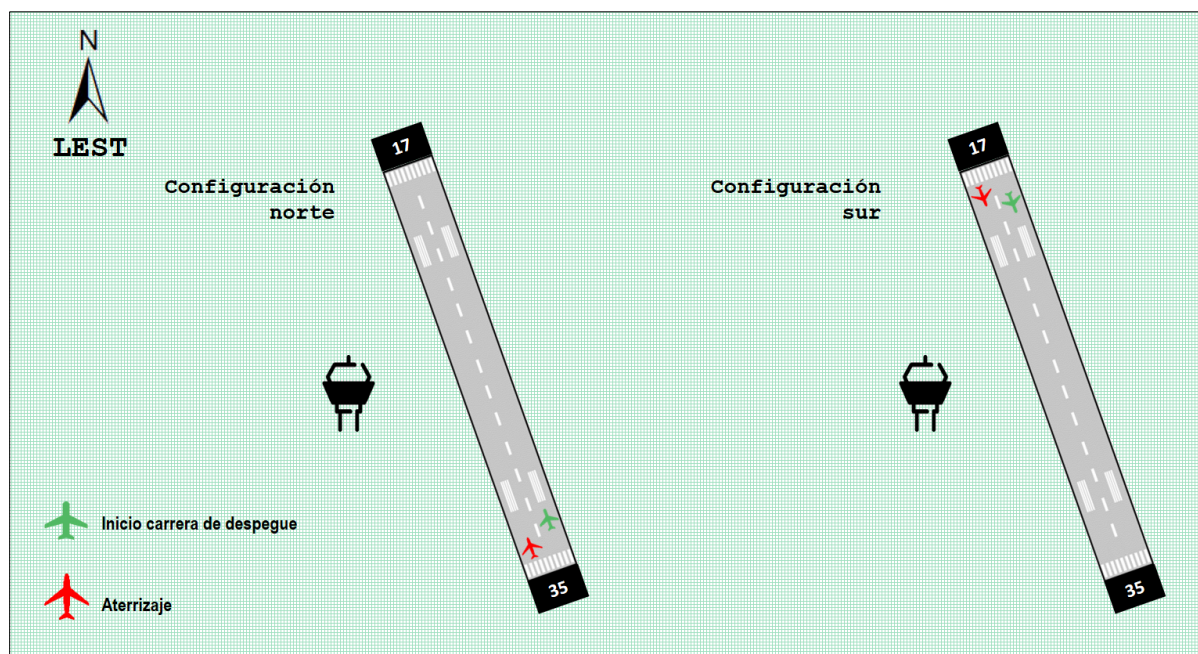


Figura 3. Configuraciones de operación posibles en LEST. A la izquierda, configuración norte y a la derecha, configuración sur (preferente).

3. Fenómenos de impacto

3.1. CIZALLADURA

La cizalladura es el cambio en la dirección y/o intensidad del viento en un plano y una distancia espacial. Puede ser horizontal, vertical o una combinación de ambas. Se produce cuando capas de aire adyacentes tienen una acusada diferencia entre sus velocidades respectivas. Suele expresarse como el cambio en la componente de velocidad de cara que experimenta la aeronave y puede producir cambios bruscos en su sustentación.

La cizalladura puede presentarse en todos los niveles de la atmósfera, siendo especialmente importante cuando se detecta por debajo de los 1600 ft (cizalladura a baja altura o *Low Level Windshear*, LLWS) ya que es donde las aeronaves llevan a cabo las operaciones de aproximación y ascenso (OACI, 2005). En estas fases del vuelo la velocidad y la altura de las aeronaves se acercan a valores críticos, por lo que el margen de maniobra para que el piloto pueda corregir la trayectoria es menor.

A lo largo del presente apartado, además de la cizalladura, se citarán la turbulencia y viento cruzado por su evidente impacto. Cabe aclarar que la turbulencia se define como la superposición de ondas y remolinos aleatorios al movimiento medio del aire, dando lugar a ascensos, descensos y rachas. En particular, la turbulencia aeronáutica corresponde a la parte del espectro turbulento que puede afectar al comportamiento de la aeronave. La turbulencia está estrechamente relacionada con la cizalladura, de tal manera que si hay turbulencia necesariamente tiene que haber cizalladura.

La cizalladura en LEST está regida en su mayor parte por la configuración de la situación sinóptica. Las condiciones orográficas locales que circundan el entorno más inmediato al aeropuerto juegan un papel secundario al respecto. Los escenarios más favorables para su presencia son los que a continuación se indican:

- Paso de un sistema frontal. Viento del SW
- Advección fría postfrontal. Viento del NW
- Tren de borrascas atlánticas. Viento del W
- Anticiclón europeo. Viento del E-NE

Paso de un sistema frontal. Viento del SW

Se trata del escenario más típico de entre los que existen de cizalladura en LEST. En este caso, el viento del SW está asociado a la parte delantera de una profunda depresión. El intenso gradiente vertical de la velocidad del viento es el factor más importante que explica la presencia de cizalladura en la aproximación al aeropuerto. La dirección del viento en superficie se situaría en el tercer cuadrante, predominantemente entre 210° y 240°, con rachas incluso superiores a 40 kt.

Un episodio que lo ilustra es el ocurrido el **16 de febrero de 2020**. En el análisis de superficie de la **figura 4** se observa una profunda borrasca situada al norte de las islas británicas cuyo frente frío asociado entra por el extremo norte de la península ibérica.

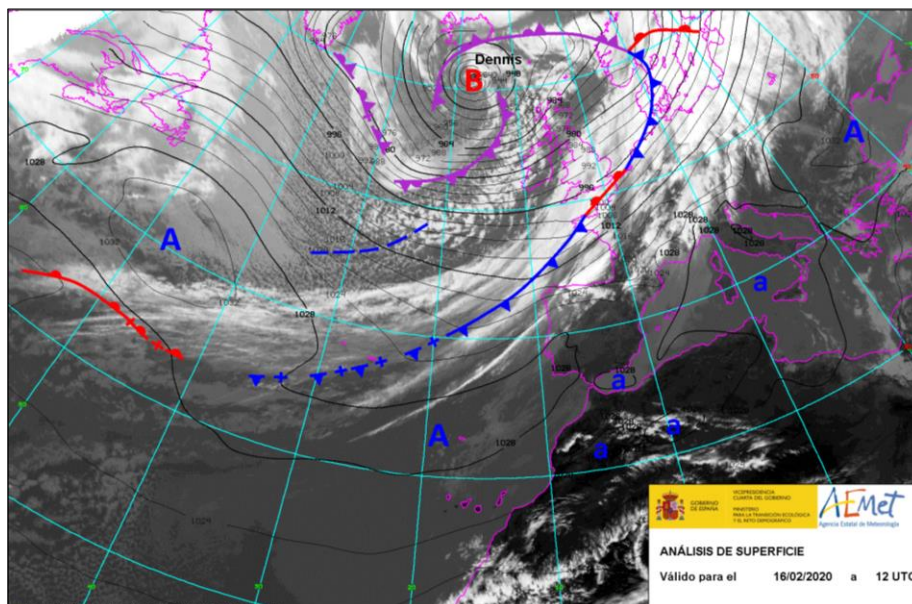


Figura 4. Análisis en superficie del 16 de febrero de 2020 a las 12 UTC combinado con la imagen del canal infrarrojo (IR) del Meteosat de segunda generación (MSG) en la que se percibe la nubosidad asociada al sistema frontal.

Los METAR cifrados entre las 10 UTC y las 18 UTC (**figura 5**) señalan rachas de viento observadas en superficie, situación muy propicia para la presencia de cizalladura en la aproximación a LEST; así lo confirma el METAR difundido a las 18 UTC. Las aeronaves que se aproximaban al aeropuerto la reportaron, motivo por el cual aparece como información adicional.

METAR LEST 161000Z	22015G31KT	170V280 7000 SCT004 BKN007 12/12 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 161100Z	22024G44KT	200V270 9999 FEW003 SCT006 BKN010 13/12 Q1020 TEMPO 3000 RA BKN005=
METAR LEST 161200Z	22023G38KT	170V260 9999 FEW004 SCT006 BKN009 14/12 Q1020 TEMPO 3000 RA BKN005=
SPECI LEST 161244Z	22024G46KT	180V270 5000 -RA BKN005 13/12 Q1020 TEMPO 3000 RA=
METAR LEST 161300Z	22024G36KT	190V270 7000 -RA SCT005 BKN010 13/13 Q1019 TEMPO 3000 RA BKN005=
METAR LEST 161400Z	22021G35KT	170V280 2000 -RA SCT003 BKN006 OVC015 13/13 Q1019 TEMPO 1400 RA BKN004=
METAR LEST 161500Z	23021G36KT	190V270 3000 -RA SCT003 BKN006 OVC015 13/13 Q1019 TEMPO 1400 RA BKN004=
METAR LEST 161600Z	24017G29KT	190V280 2500 -RADZ SCT003 BKN005 13/13 Q1019 TEMPO 1400 RA BKN004=
METAR LEST 161700Z	23018G31KT	190V290 3500 -RA SCT003 BKN005 OVC010 13/13 Q1019 RERA TEMPO 1400 RA BKN004=
METAR LEST 161800Z	24021G33KT	200V280 5000 -RA SCT003 BKN005 OVC010 13/13 Q1020 RERA WS ALL RWY TEMPO 1400 RA BKN004=

Figura 5. METAR cifrados en LEST el 16 de febrero de 2020 entre las 10 UTC y las 18 UTC.

Por otra parte, las observaciones de viento registradas por una aeronave en el marco del programa AMDAR de EUMETNET, suponen una valiosa fuente de datos ya que reportan información en capas más altas, como en un sondeo vertical. En la [figura 6](#) se representan la dirección e intensidad del viento ese mismo día a las 8 UTC, apreciándose que a medida que se asciende en la vertical, el viento rola de SW a W mostrando un intenso gradiente vertical. El perfil mostrado supone otra evidencia experimental de la presencia de cizalladura vertical en la senda de aproximación a LEST durante ese día.

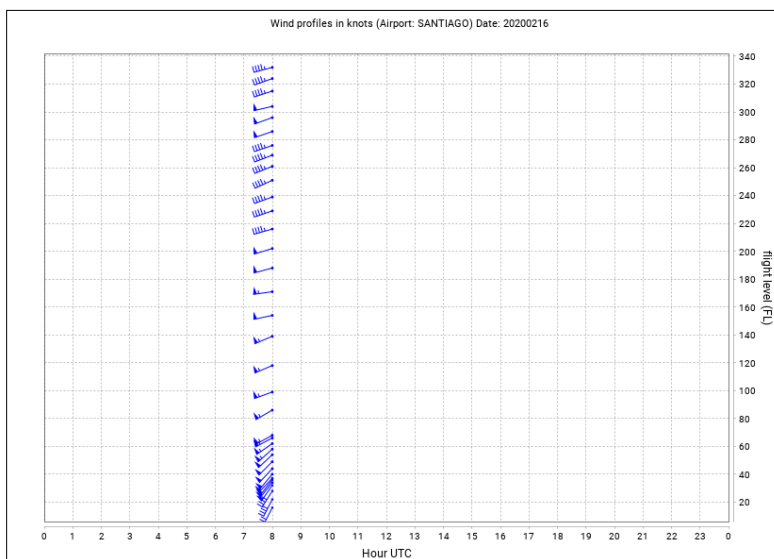


Figura 6. Perfil de vientos observados por una aeronave el 16 de febrero de 2020 a las 8 UTC. Fuente: Programa AMDAR de EUMETNET.

De las observaciones diezminutales del viento en cada una de las cabeceras de pista del aeropuerto se puede inferir su comportamiento. Así, la [figura 7](#) resume la evolución temporal de la dirección y velocidad en este episodio. Cabe señalar el comportamiento casi constante de la dirección, ubicada en el tercer cuadrante, así como el comportamiento variable de las rachas de viento, llegando a superar los 45 kt en algunos instantes.

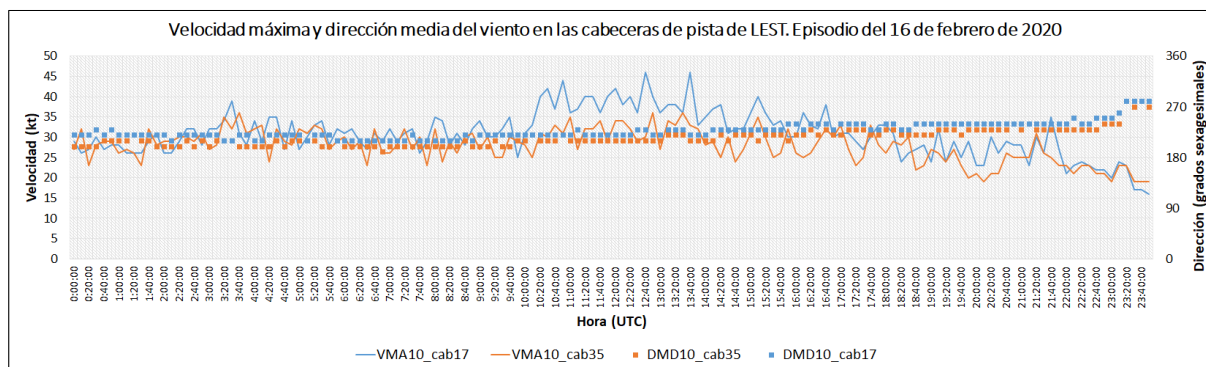


Figura 7. Velocidad máxima (rachas) y dirección del viento observadas en las cabeceras de pista en LEST (17 y 35) el 16 de febrero de 2020 entre las 00:00 UTC y las 23:50 UTC. En naranja: cabecera 35; azul: cabecera 17.

Advección fría postfrontal. Viento del NW

La descarga fría que se produce tras el paso de un sistema frontal asociado a una vaguada con embolsamiento de aire frío en niveles medios y altos es otro escenario en el que se observa la presencia de cizalladura en LEST.

La llegada de aire frío procedente de latitudes altas cuando es advectado por un viento del NW es perceptible en las imágenes de satélite a causa de la formación de un característico patrón nuboso sobre el Atlántico norte. En este caso, el progresivo deslizamiento de una masa de aire muy fría sobre un océano comparativamente más cálido la inestabiliza, generando en su seno nubosidad de escaso desarrollo vertical, aunque en ocasiones puede dar lugar a tormentas y chubascos.

El episodio del **14 de noviembre de 2019** es un buen ejemplo de lo anteriormente descrito. En el análisis en superficie de las 12 UTC (**figura 8**) se observa la ubicación de una depresión al norte de la Península. El viento sinóptico del NW favorece la llegada de una masa de aire fría a la Península.

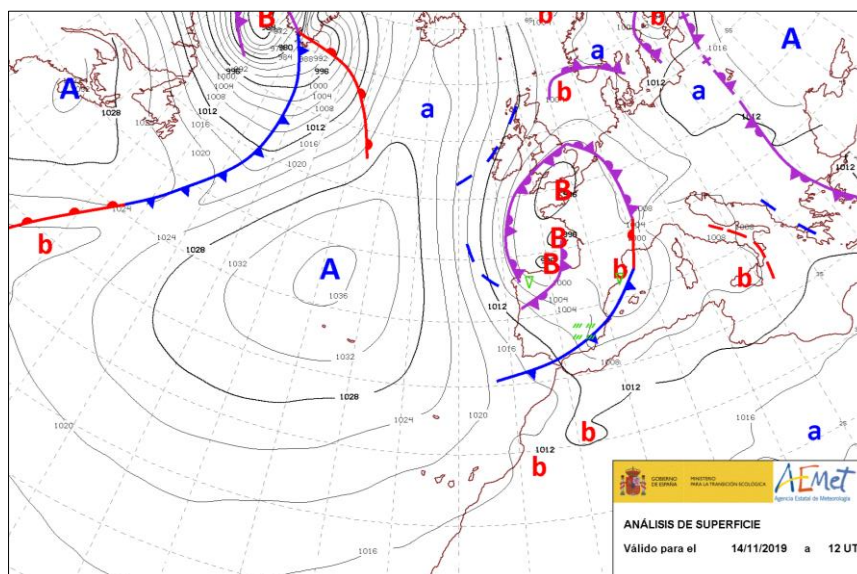


Figura 8. Análisis en superficie del 14 de noviembre de 2019 a las 12 UTC en el que se muestra el campo de presión a nivel del mar (hPa).

En la imagen del canal visible de alta resolución (HRVIS) del MSG (**figura 9**) se observa que sobre el Atlántico norte aparece un patrón nuboso que tiene una cierta apariencia globular, denominado células abiertas. Se trata de estructuras mesoescalares de origen convectivo que, de alguna forma, están advirtiendo de la irrupción de aire frío hacia la Península procedente de latitudes septentrionales.

La apariencia de las células abiertas es tal que sus bordes son nubosos y su centro es despejado. Su impacto en la aviación reside en la posibilidad de realzar su desarrollo vertical dando lugar a *cumulus congestus* o *cumulonimbus*. Cuando esta masa de aire fría llega hasta la Península por su extremo norte, se inestabiliza dando lugar a chubascos irregularmente repartidos que ocasionalmente están acompañados de tormentas y rachas de viento.

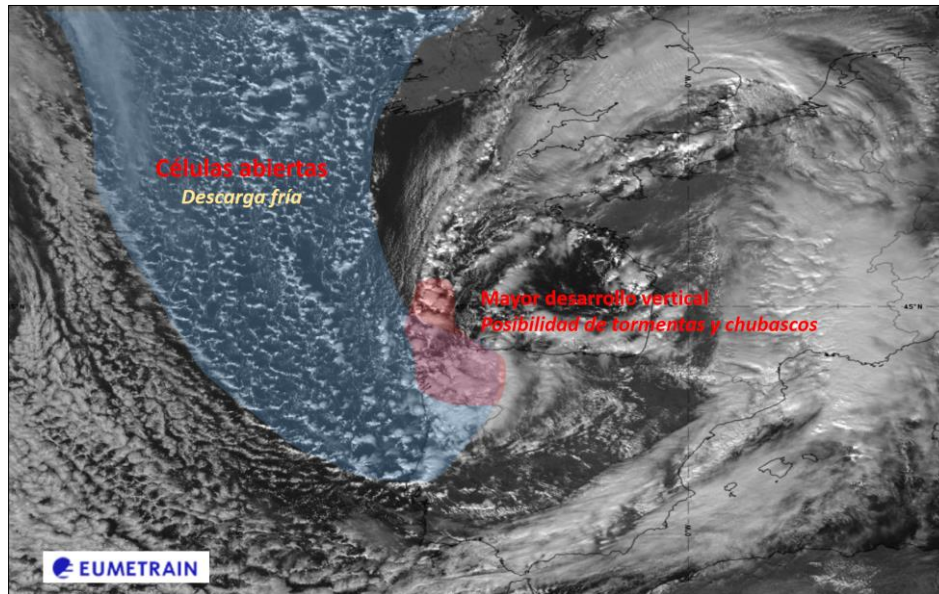


Figura 9. Imagen HRVIS del MSG el 14 de noviembre de 2019 a las 12 UTC. Sobre el océano se aprecia un peculiar patrón nuboso de apariencia celular orientado de norte a sur hacia la Península (área marcada en azul). En sus inmediaciones, se inestabiliza, dando lugar a tormentas y chubascos en el entorno de LEST (área marcada en rojo). Fuente: EUMETRAIN.

En los METAR cifrados entre las 12 UTC y las 18 UTC relativos a este episodio (figura 10) aparecen notificados los fenómenos que potencialmente son adversos para las operaciones en LEST, como son las fuertes rachas de viento, nubosidad convectiva, chubascos, granizo o la presencia de cizalladura en la aproximación.

METAR LEST 141200Z	33022G39KT	290V010 5000	-SHRA FEW012	SCT025CB	BKN038	07/06	Q1002	RESHRA	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141230Z	33019G37KT	300V360 8000	-SHRA FEW012	SCT020	SCT035CB	BKN040	08/07	Q1002	TEMPO 3000	SHRA=	
SPECI LEST 141242Z	34023G36KT	300V020 6000	SHRA FEW012	SCT020	SCT028CB	BKN039	08/06	Q1002	TEMPO 3000	SHRA=	
SPECI LEST 141255Z	33018G34KT	300V010 9999	-SHRA FEW012	SCT026	SCT033CB	BKN042	08/07	Q1002	RESHRA	TEMPO 3000	SHRA=
METAR LEST 141300Z	33016G26KT	300V360 9999	-SHRA FEW012	SCT026	SCT033CB	BKN042	08/07	Q1002	RESHRA	TEMPO 3000	SHRA=
METAR LEST 141330Z	33022G34KT	300V010 9999	-SHRA FEW017	SCT025	SCT035CB	BKN042	08/06	Q1003	TEMPO 3000	SHRA=	
SPECI LEST 141336Z	34031G48KT	6000	SHRAGR FEW017	SCT025	SCT035CB	BKN044	07/06	Q1003	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141400Z	34017G28KT	310V020 8000	SCT021	SCT032CB	BKN042	08/06	Q1003	RESHGR	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141430Z	33015G27KT	290V360 9999	-SHRA SCT021	SCT035CB	BKN042	08/06	Q1004	TEMPO 3000	SHRA=		
SPECI LEST 141444Z	34017G35KT	300V020 9999	-SHRA FEW013	SCT031CB	BKN045	07/06	Q1004	RESHRA	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141500Z	34018G37KT	300V020 4000	SHRA SCT017	SCT032CB	BKN044	07/06	Q1004	NOSIG=			
METAR LEST 141530Z	01011G24KT	330V060 6000	-SHRA FEW011	SCT022	SCT033CB	BKN038	07/06	Q1005	RESHRA	TEMPO 3000	SHRA=
METAR LEST 141600Z	34015G25KT	290V010 9000	VCSH FEW015	SCT024	SCT035CB	BKN042	08/06	Q1005	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141630Z	34022G36KT	300V010 7000	-SHRA FEW018	SCT026	FEW035CB	BKN044	07/05	Q1006	WS ALL RWY	TEMPO 3000	SHRA=
METAR LEST 141700Z	33013G23KT	300V010 9000	FEW028	FEW038CB	SCT043	07/05	Q1006	WS ALL RWY	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141730Z	32013KT	290V360 9999	VCSH FEW030	FEW035CB	SCT043	07/04	Q1006	WS ALL RWY	TEMPO 3000	SHRA=	
METAR LEST 141800Z	33013G25KT	9999	-SHRA FEW032	FEW038CB	SCT045	07/03	Q1007	WS ALL RWY	TEMPO 3000	SHRA=	

Figura 10. METAR cifrados en LEST el 14 de noviembre de 2019 entre las 12 UTC y las 18 UTC a partir de las observaciones registradas en la cabecera de pista 17.

Considerando el entorno más local del aeropuerto, en la figura 11 se representa de forma combinada la evolución temporal de la velocidad y dirección del viento en las dos cabeceras de pista (17 y 35) mediante observaciones diezminutales. Se puede observar cómo el viento arrecia a partir de las 11 UTC, coincidiendo precisamente con el giro al NW tras el paso frontal. Por otra parte, las rachas de viento del NW, que sobrepasan los 40 kt, estarían asociadas a las células convectivas.

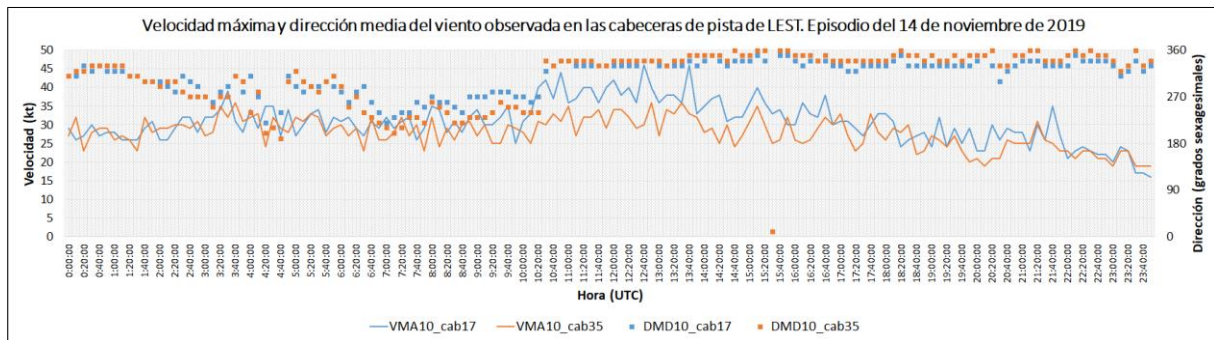


Figura 11. Velocidad máxima y dirección media del viento en promedios de 10 minutos en las cabeceras de pista en LEST (17 y 35) observados el 14 de noviembre de 2019 entre las 00:00 UTC y las 23:50 UTC. En azul: cabecera 17; naranja: cabecera 35.

Tren de borrascas atlánticas. Viento del W

Un tren de borrascas atlánticas es una peculiar estructura sinóptica que está conformada por varias depresiones dispuestas de forma consecutiva cuya evolución está regida por un intenso chorro polar en altura. En esta situación, el viento sinóptico establecido es zonal, de componente W.

Este escenario es muy propicio para la presencia de cizalladura en la aproximación a LEST habida cuenta de las intensas rachas de viento observadas. La dirección predominante en el aeropuerto suele estar comprendida entre los 260° y 280°. Como ejemplo se mostrará el episodio del 21 de diciembre de 2019 protagonizado por la borrasca Fabien, que llegó a ser la responsable de 4 frustradas y 8 desvíos en LEST.

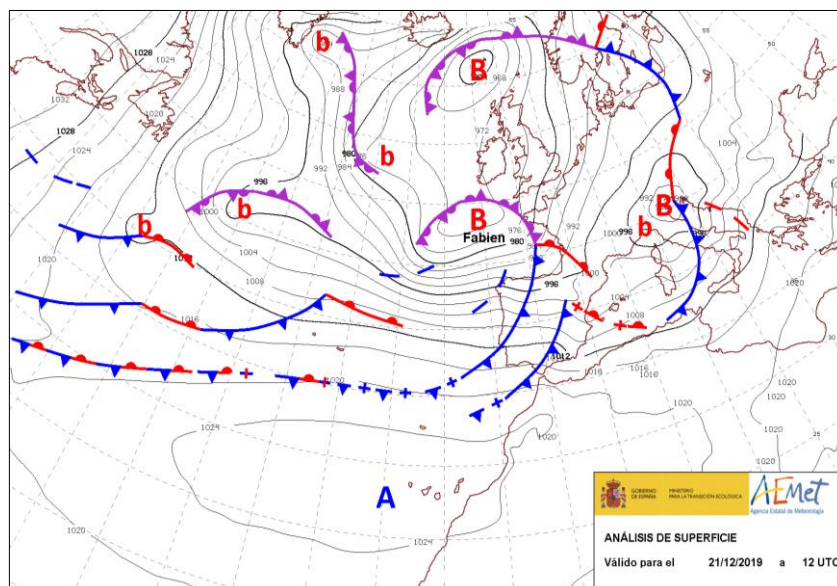


Figura 12. Análisis en superficie del 21 de diciembre de 2019 a las 12 UTC en el que se muestra el campo de presión a nivel del mar (hPa).

En el análisis de la figura 12 se muestra cómo, tras el paso de un frente frío, se establece un fuerte flujo de componente W, muy racheado a tenor de los METAR y SPECI cifrados ese día entre las 13:30 UTC y las 17 UTC (figura 13). La acusada variación registrada en la

intensidad del viento por las aeronaves en la aproximación a LEST fue el motivo por el que se cifró cizalladura en todos los METAR difundidos en el citado periodo.

METAR LEST 211330Z	26019G36KT	210V320	7000	FEW015	BKN020	BKN035	11/09	Q0996	RERA	TEMPO	3000	RA=			
SPECI LEST 211345Z	26020G38KT	210V300	3000	RA	FEW015	BKN020	BKN035	11/08	Q0995	WS ALL RWY	TEMPO	6000	NSW=		
METAR LEST 211400Z	27019G36KT	230V320	1200	R17/1600D	R35/P2000	+RA	FEW015	BKN020	BKN035	10/09	Q0996	WS ALL RWY=			
SPECI LEST 211410Z	26021G41KT	210V300	6000	FEW015	BKN020	BKN035	11/09	Q0996	RERA	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=		
METAR LEST 211430Z	26020G37KT	200V320	6000	-RA	FEW010	BKN020	BKN035	11/08	Q0996	RERA	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=	
METAR LEST 211500Z	27022G42KT	200V300	3000	RA	FEW010	BKN020	BKN030	11/08	Q0996	WS ALL RWY	TEMPO	6000	NSW=		
SPECI LEST 211511Z	27025G54KT	230V300	7000	FEW010	BKN020	BKN030	11/07	Q0996	RERA	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=		
METAR LEST 211530Z	27024G43KT	220V330	7000	FEW010	BKN030	BKN040	11/07	Q0996	RERA	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=		
SPECI LEST 211541Z	28021G45KT	230V330	3000	RA	FEW010	BKN020	BKN040	11/08	Q0996	WS ALL RWY	TEMPO	6000	NSW=		
METAR LEST 211600Z	26017G30KT	200V320	7000	-RA	FEW010	BKN018	FEW025CB	BKN040	10/09	Q0997	RERA	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=
METAR LEST 211630Z	27023G40KT	210V320	7000	FEW010	BKN025	BKN035	11/08	Q0997	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=			
METAR LEST 211700Z	27019G33KT	220V320	8000	FEW010	BKN025	BKN035	11/08	Q0997	WS ALL RWY	TEMPO	3000	RA=			

Figura 13. METAR cifrados en LEST el 21 de diciembre de 2019 entre las 13:30 UTC y las 17:00 UTC.

A partir de las observaciones diezminutales de la velocidad máxima del viento y su dirección media en cada una de las cabeceras de pista del aeropuerto (figura 14), pueden apreciarse las fuertes rachas registradas manteniendo su dirección prácticamente constante, de componente W.

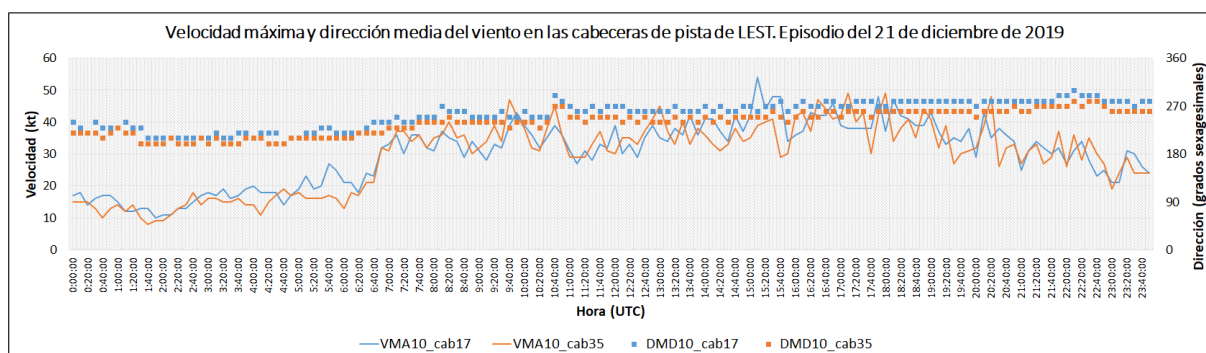


Figura 14. Velocidad máxima del viento y dirección media del viento en promedios de 10 minutos en las cabeceras de pista en LEST (17 y 35) el 21 de diciembre de 2019 entre las 00:00 UTC y las 23:50 UTC. En naranja: cabecera 35; azul: cabecera 17.

Anticiclón centroeuropeo. Viento del E-NE

En este escenario, a diferencia de los anteriores, su evolución está regida por la ubicación de un anticiclón reforzado en Centroeuropa que da lugar a un viento sinóptico de componente E que, en última instancia, puede favorecer la presencia de cizalladura en LEST.

La situación del 20 de enero de 2020 es un ejemplo de lo anteriormente descrito (figura 15). El potente anticiclón que se extiende por gran parte de Europa unido a una depresión situada al norte de África, contribuyen a que se establezca un viento fuerte de componente E. Durante esta situación, la cabecera 35 era la operativa.

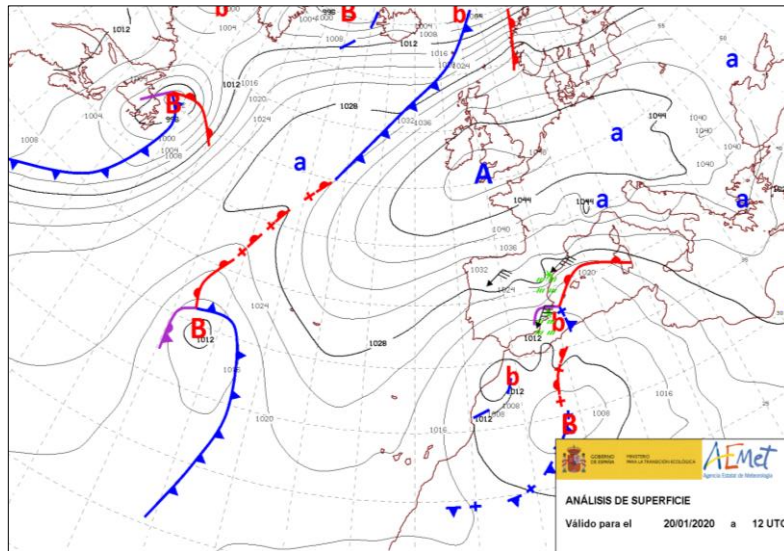


Figura 15. Análisis en superficie del 20 de enero de 2020 a las 12 UTC en el que se muestra el campo de presión a nivel del mar (hPa).

Los METAR cifrados entre las 10 UTC y las 16:30 UTC a lo largo de ese día señalan las rachas de viento que se producen a sotavento de las sierras más orientales, haciendo que el flujo se comportase de forma turbulenta en la aproximación a LEST, siendo su dirección cruzada a la pista (figura 16).

METAR	LEST	201000Z	05014G24KT	020V090	9999	FEW023	SCT040	06/M00	Q1032	NOSIG=
METAR	LEST	201030Z	05019G31KT	010V090	9999	FEW023	SCT043	06/00	Q1033	NOSIG=
METAR	LEST	201100Z	06023G38KT	030V120	9999	FEW023	SCT041	06/M00	Q1032	NOSIG=
METAR	LEST	201130Z	08016G32KT	010V140	9999	FEW023	SCT041	07/M01	Q1033	NOSIG=
SPECI	LEST	201150Z	07020G35KT	020V120	9999	FEW023	SCT041	07/M01	Q1032	WS ALL RWY NOSIG=
METAR	LEST	201200Z	07021G36KT	030V120	9999	FEW023	SCT041	08/M01	Q1031	WS ALL RWY NOSIG=
METAR	LEST	201230Z	07017G28KT	010V140	9999	FEW023	SCT041	07/M01	Q1032	WS ALL RWY NOSIG=
METAR	LEST	201300Z	06022G34KT	020V110	9999	FEW023	07/M01	Q1030	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201330Z	06019G37KT	020V120	9999	FEW023	08/M02	Q1030	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201400Z	07022G38KT	030V120	9999	FEW028	08/M02	Q1030	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201430Z	07017G29KT	030V150	9999	FEW028	08/M00	Q1030	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201500Z	07019G33KT	020V140	9999	FEW030	07/M01	Q1029	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201530Z	06023G38KT	020V160	9999	FEW035	07/M01	Q1029	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201600Z	06021G39KT	020V120	9999	FEW035	07/M01	Q1028	WS ALL RWY	NOSIG=
METAR	LEST	201630Z	08017G29KT	020V160	9999	SCT035	07/M00	Q1029	NOSIG=	

Figura 16. METAR cifrados en LEST el 20 de enero de 2020 entre las 10:00 UTC y las 16:30 UTC.

Resumen

En la **figura 17** se muestra una síntesis de los escenarios precursoros de la presencia de cizalladura en LEST. El resumen de las características principales de cada escenario puede encontrarse en la **tabla II** (apartado 7. Resumen).

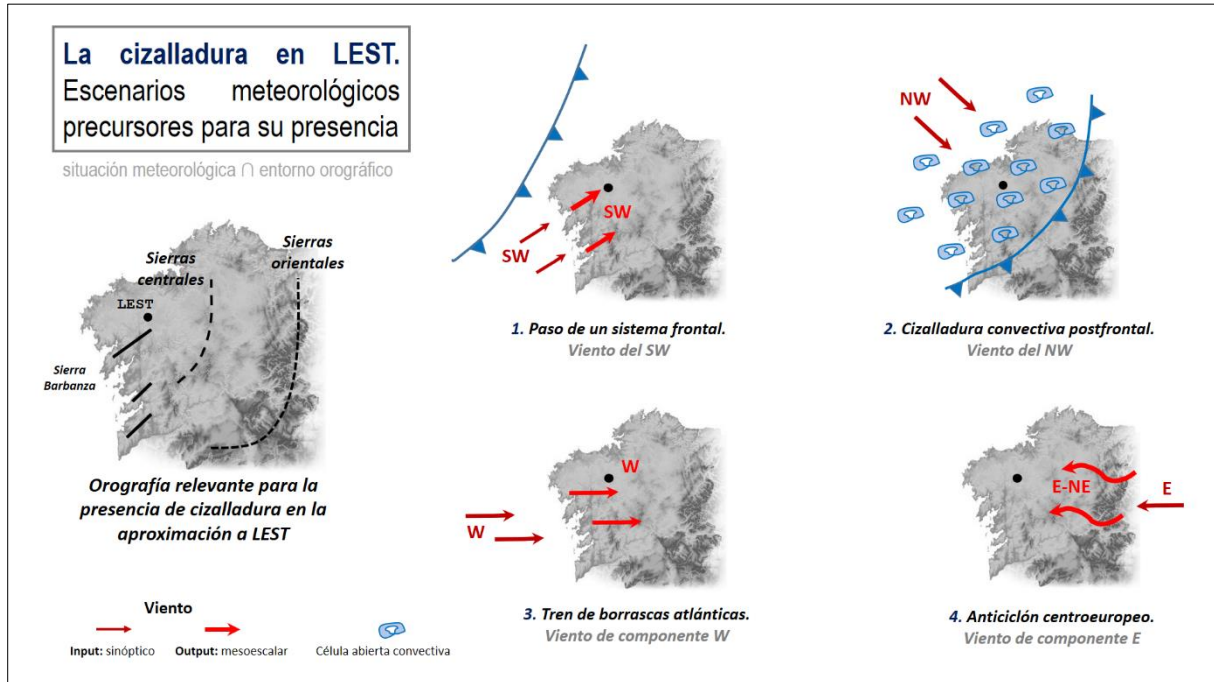


Figura 17. Síntesis de los cuatro escenarios precursoros de la presencia de cizalladura en LEST.

3.2. NIEBLAS Y TECHO DE NUBES BAJO

Las nieblas y el techo de nubes bajo son los dos principales fenómenos meteorológicos que dan lugar a episodios de visibilidad reducida en LEST. Se abordarán de manera conjunta ya que evolucionan, por lo general, simultáneamente.

3.2.1. Condiciones medias de la visibilidad en LEST

El comportamiento medio de la visibilidad y el techo de nubes en LEST se ha analizado a partir de los campos de la visibilidad prevalente y primer grupo de nubosidad (o visibilidad vertical en caso de ausencia de grupo de nubosidad) cifrados en los METAR de la última década (2010-2019) (figura 18). La escala de colores categoriza los distintos umbrales escogidos tanto en función de los criterios de emisión de SPECI como de los grupos de cambio o enmiendas a los TAF.

De la variabilidad mensual y horaria observada subyacen fenómenos meteorológicos que pertenecen a escalas diferentes según el caso. De esta forma, los fenómenos de escala sinóptica (paso de un sistema frontal) determinarían en gran medida el patrón observado en el promedio mensual, mientras que los del ámbito microescalar (enfriamiento radiativo nocturno) harían lo mismo en el caso del promedio horario.

La mayor frecuencia de eventos de visibilidad reducida (figura 18a) se concentra alrededor de los meses de diciembre y enero, hecho que podría justificarse en base a la preponderancia del viento sinóptico del SW que dirige el paso de sistemas frontales precursores de nieblas o techos de nubes bajos y a una mayor facilidad para que acaben formándose nieblas por irradiación-evaporación. En el extremo contrario, abril corresponde al mínimo anual, hecho que estaría relacionado con el carácter variable de la primavera, en la que no hay un patrón sinóptico claramente definido. En líneas generales, un 12 % del periodo considerado corresponde a episodios de visibilidad inferior a 5000 m situándose en el extremo contrario aquellos cuya visibilidad es inferior a 350 m, correspondiente al 1 %.

La figura 18b muestra la distribución mensual de la altura del techo de nubes en LEST, categorizada de acuerdo a los umbrales siguientes: 1500, 1000, 500, 200 y 100 ft. Se ha seleccionado exclusivamente la altura de techo de nubes cifrada en los METAR cuando la cobertura nubosa era BKN u OVC, o bien se había cifrado visibilidad vertical. Al igual que en el caso de la visibilidad, enero es el mes donde se sitúa el mayor número de eventos de techo de nubes bajo, destacando un máximo secundario en julio asociado a la mayor frecuencia de eventos de nieblas de advección-irradiación.

Con relación al promedio horario (figura 18c), la visibilidad se reduce considerablemente de madrugada, mejorando progresivamente hacia las horas centrales del día. Este comportamiento está en consonancia con el ciclo diario de la insolación. Durante la noche, el enfriamiento radiativo agrava la reducción de visibilidad una vez formada la niebla por advección o evaporación. Por su parte, el promedio horario del techo de nubes es similar (no mostrado en el presente apartado) ya que, por lo general, la altura del techo de nube suele ascender en las horas diurnas debido a que la niebla tiende a levantarse

progresivamente hasta convertirse en estratos bajos o medios, con un techo de nube más alto.

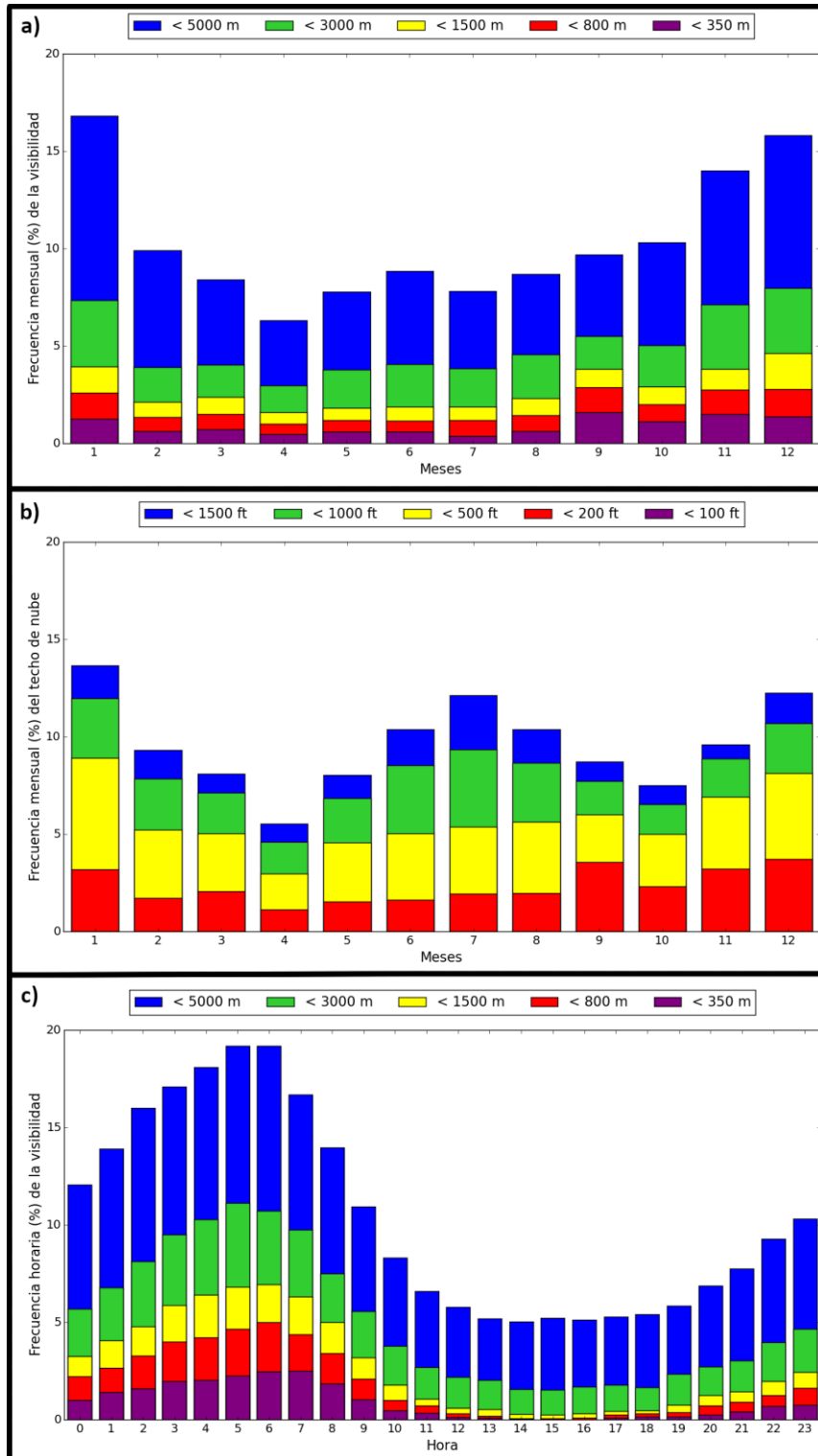


Figura 18. Comportamiento medio de la visibilidad y techo de nube en LEST a partir de la información cifrada en los METAR del periodo 2010–2019. **a)** Frecuencia mensual de la visibilidad; **b)** frecuencia mensual del techo de nube; **c)** Frecuencia horaria de la visibilidad.

3.2.2. La niebla en LEST. Tipos y situaciones meteorológicas precursoras

La cercanía de LEST al Atlántico unida a la peculiar orografía circundante son los principales condicionantes de la formación de nieblas. Precisamente en la conjunción de diversos factores de carácter local reside su difícil conceptualización. Por este motivo, se las denominará empleando una terminología compuesta que, de alguna forma, pretende sintetizar la complejidad de factores relacionados con su formación.

Niebla de irradiación-evaporación

Este tipo de niebla se forma por el efecto combinado de la evaporación en las cuencas de los ríos más próximos al aeropuerto (Tambre y Ulla) y del enfriamiento radiativo producido durante el periodo nocturno. El enfriamiento radiativo está favorecido por cielo despejado y viento flojo o en calma, para lo que se requiere un entorno sinóptico dominado por una situación anticiclónica con poco gradiente de presión. A partir de estos condicionantes, durante el periodo nocturno la superficie terrestre pierde calor por irradiación, enfriando la capa de aire más inmediata. De igual forma, la evaporación de las aguas de los ríos es un aporte de humedad al aire circundante, así como la vegetación y la humedad del suelo, especialmente si se han producido precipitaciones el día anterior. La conjunción de estos factores da lugar a la formación de niebla.

La meseta en la que se ubica LEST no es una zona favorable a la formación de niebla. Inicialmente, la niebla de irradiación-evaporación se forma en las cuencas fluviales que circundan el aeropuerto. Más tarde, su extensión puede aumentar, llegando incluso hasta las pistas y plataformas del propio aeropuerto llegándolo a cubrir total o parcialmente (figura 19). A pesar de su escasa dimensión vertical, tienen gran capacidad de reducir la visibilidad en el aeropuerto de forma repentina. Por otra parte, la altura de la base de la nube se encuentra prácticamente en contacto con la superficie del terreno.

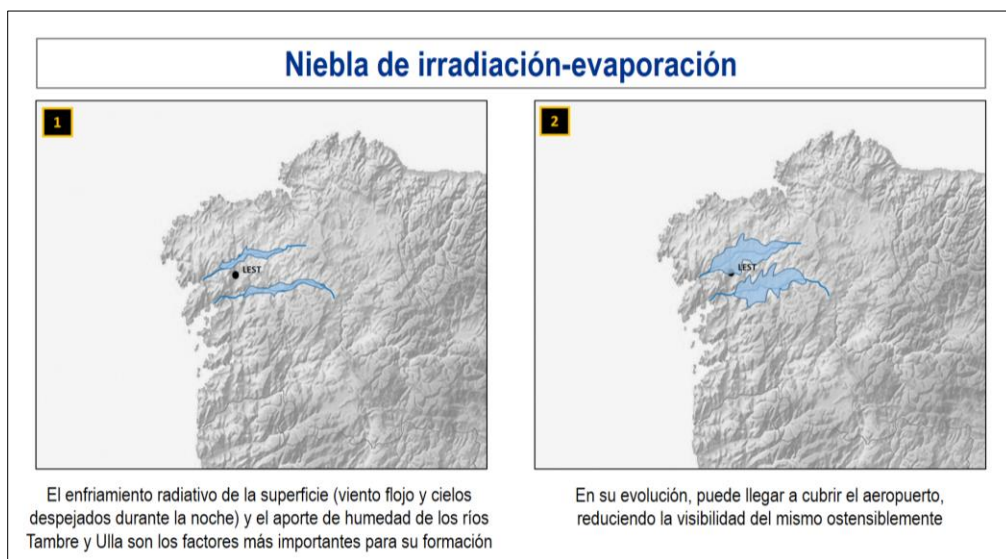


Figura 19. Modelo conceptual que esquematiza la evolución de la niebla de irradiación-evaporación en LEST. La irradiación y la evaporación son los dos mecanismos que gobiernan la formación y evolución de la misma.

Las nieblas de irradiación–evaporación pueden formarse en cualquier época del año. No obstante, su frecuencia es sensiblemente más elevada en invierno. Durante los meses estivales tienden a disiparse poco después del amanecer, no persistiendo más allá de las 09:00–10:00 UTC. En invierno, en cambio, pueden ser más persistentes. El viento suele ser muy débil durante estos episodios, generalmente de componente E-SE o N-NW.

El episodio del **9 de marzo de 2020** representa un ejemplo de este tipo de nieblas. La situación a escala sinóptica estaba marcada por un potente anticiclón atlántico que se extendía en forma de dorsal hacia la Península (figura 20). Este hecho será crucial, al favorecer un ambiente propicio de vientos flojos y cielos despejados en LEST. La figura 21 muestra una fotografía de este evento.

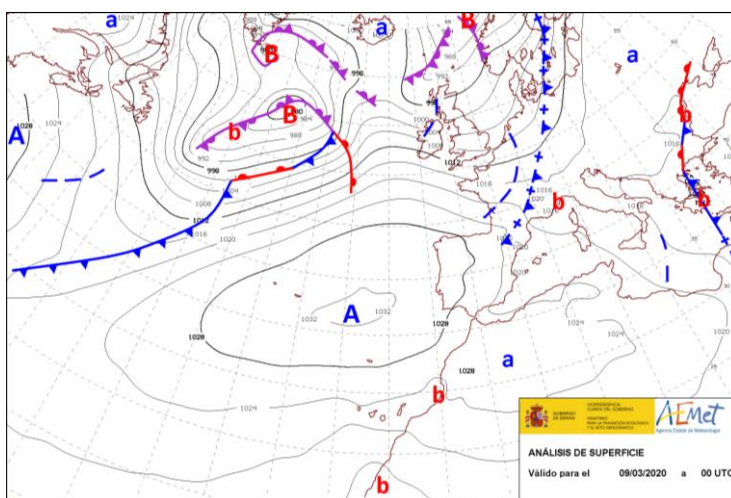


Figura 20. Análisis de superficie del 9 de marzo de 2020 de las 0 UTC en el que se muestra el campo de presión a nivel del mar. El escaso gradiente bórico es fundamental para la formación de un episodio de niebla de irradiación-evaporación.

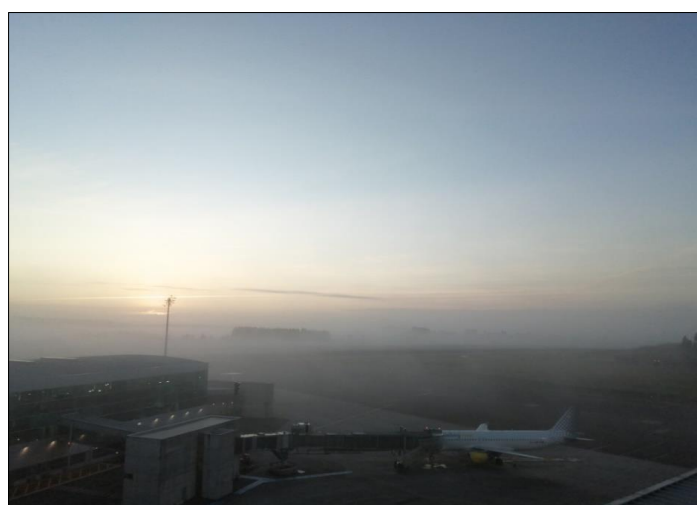


Figura 21. Episodio de niebla de irradiación-evaporación registrado en LEST el 9 de marzo de 2020. Fotografía tomada desde la Oficina Meteorológica de LEST.

En la figura 22 se muestra una secuencia temporal de la sección vertical de la nubosidad simulada por el modelo de alta resolución HARMONIE-AROME el 9 de marzo de 2020 entre las 02 UTC y las 10 UTC. En esta secuencia se aprecia la formación de una inversión térmica cercana a la superficie, que propició la formación de nieblas en la cuenca del Ulla; posteriormente se expandieron hasta llegar a LEST. La dimensión vertical de la niebla es muy reducida, pero su base se encuentra en contacto con la superficie.

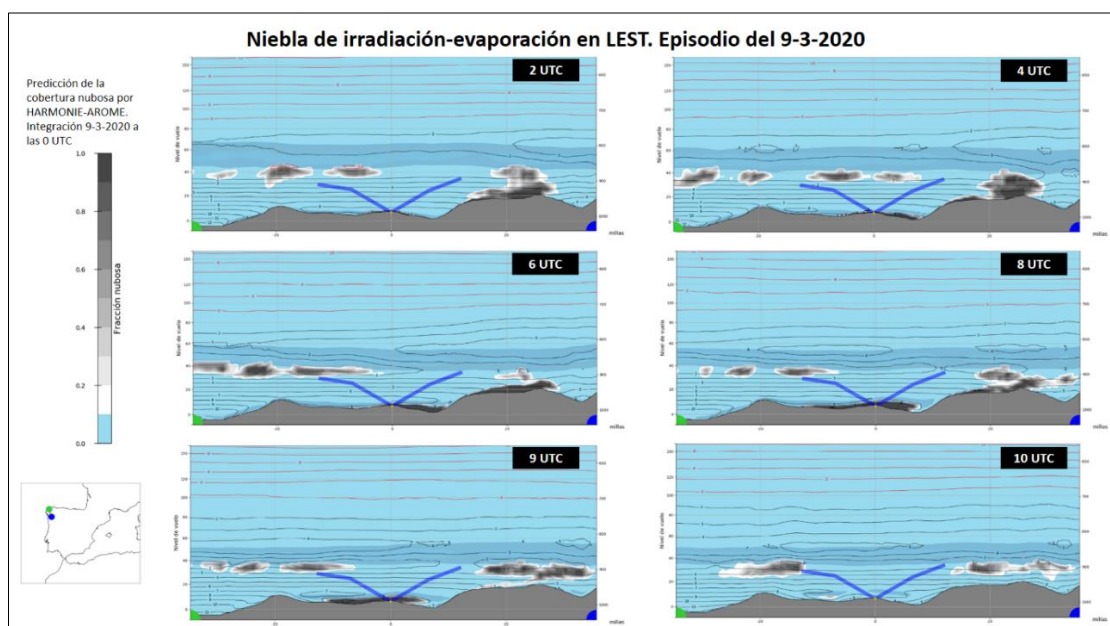


Figura 22. Secuencia de la sección vertical sobre la pista de LEST simulada por el modelo HARMONIE-AROME en el episodio del 9 de marzo de 2020 en LEST. Sombreada en azul se denota la inversión térmica, y en escala de grises la nubosidad. Se indican las dos sendas de aproximación a LEST.

La secuencia de los METAR cifrados entre las 05:00 UTC y las 08:00 UTC (figura 23) refleja la evolución de la niebla durante este episodio. En particular, se observa que la cabecera 35 fue la que primeramente quedó bajo la niebla en torno al amanecer. Por otra parte, el viento durante la madrugada era flojo y de dirección variable. Prácticamente coincidiendo con el amanecer, una ligera brisa de SE favoreció la entrada de la niebla al aeropuerto. La niebla se disipó horas más tarde por acción del viento y la radiación solar.

METAR LEST 090500Z VRB01KT CAVOK 06/05 Q1029 NOSIG=
METAR LEST 090530Z VRB01KT CAVOK 05/05 Q1029 NOSIG=
METAR LEST 090600Z VRB01KT CAVOK 05/05 Q1029 NOSIG=
METAR LEST 090630Z VRB02KT 5000 R35/0250D BCFG NSC 05/05 Q1029 TEMPO 0350 FG=
SPECI LEST 090641Z 11004KT 0200 R17/1500D R35/0350N BCFG NSC 04/04 Q1029 TEMPO BKN001=
METAR LEST 090700Z 16005KT 0400 R17/0700U R35/0350U BCFG NSC 04/04 Q1029 TEMPO BKN001=
SPECI LEST 090710Z 14003KT 1200 R17/0800U R35/0800U BCFG NSC 04/04 Q1030 TEMPO 3000=
SPECI LEST 090721Z 15003KT 6000 R17/1400U R35/0800N BCFG NSC 04/04 Q1030 TEMPO 3000=
METAR LEST 090730Z 15003KT 110V180 9000 R35/0750N BCFG NSC 04/04 Q1030 TEMPO 3000=
METAR LEST 090800Z 15004KT 9999 BCFG NSC 06/06 Q1030 TEMPO 3000=

Figura 23. METAR cifrados en LEST el día 9 de marzo de 2020 entre las 05:00 UTC y las 08:00 UTC como ejemplo de niebla de irradiación–evaporación.

En la [figura 24](#) se representan los datos diezminutales de la temperatura medida en la cabecera 35 y los RVR medidos en las cabeceras 35 y 17, entre las 05:00 y las 08:00 UTC del 9 de marzo de 2020. Este gráfico constituye una buena fuente de información para conocer la evolución del entorno micrometeorológico a lo largo de este episodio.

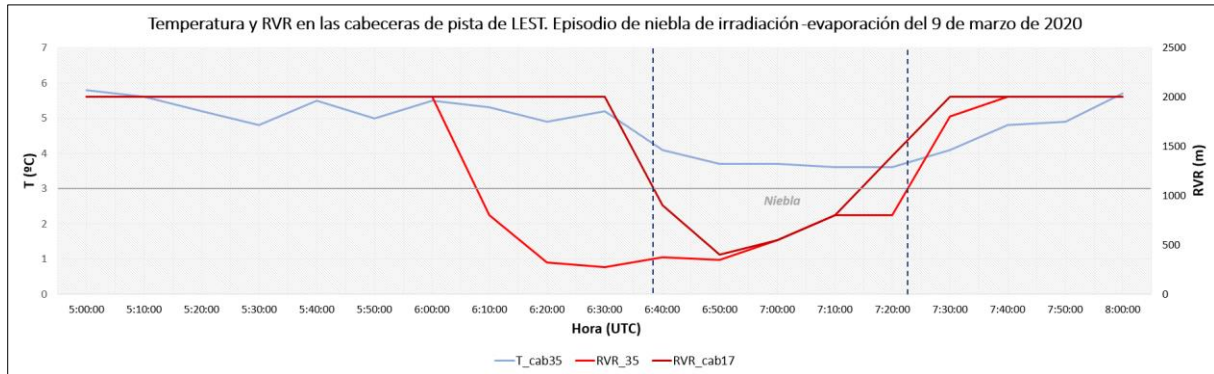


Figura 24. Evolución temporal de la temperatura en la cabecera de pista 35, y los RVR (m) medidos en las dos cabeceras de pista (35 y 17).

El seguimiento temporal de la temperatura indica que el enfriamiento radiativo es el ingrediente esencial de este tipo de niebla, no sin restar importancia a la evaporación de la fuente local de humedad que representa el valle del Ulla. En la misma línea, los RVR medidos en cada una de las cabeceras de pista demuestran que la cabecera 35 fue la primera en verse afectada por un RVR inferior a 1000 m, 20 minutos antes que el sensor ubicado en la cabecera 17. Esto es debido a que la cabecera 35 es la más próxima a la cuenca del Ulla. Su disipación tuvo lugar hacia las 7:30 UTC, poco después del amanecer.

Niebla de advección-irradiación

La niebla de advección se forma sobre el mar cuando una masa de aire más cálida se desplaza sobre la superficie del Atlántico, que se encuentra a menor temperatura. Una vez formados los estratos, estos pueden desplazarse hasta el litoral y, ocasionalmente, penetrar hacia el interior por las rías y canalizarse a lo largo de las cuencas fluviales.

A pesar de que LEST se sitúa en el interior y a unos 40 kilómetros del litoral, la influencia marítima es notable. Es posible que las nieblas, inicialmente formadas frente a las rías Bajas o en la costa noroeste de A Coruña, puedan llegar hasta LEST si son desplazadas por vientos del SW o N, respectivamente. Tierra adentro, los estratos nubosos pueden extenderse y descender la altura del techo de nubes por la irradiación. En la [figura 25](#) se muestra el modelo conceptual que resume su formación y posterior evolución, distinguiéndose dos escenarios según la dirección del viento.

Los episodios de nieblas de advección-irradiación suelen formarse por la presencia de una baja térmica en superficie sobre la Península, así como la entrada de una dorsal cálida a 850 hPa. Es más probable que se forme si los días previos había viento del NE, pues favorece el afloramiento de aguas frías frente a las costas gallegas.

Por lo general, la niebla de advección-irradiación se caracteriza por estratos de mayor espesor en comparación con las de irradiación-evaporación.

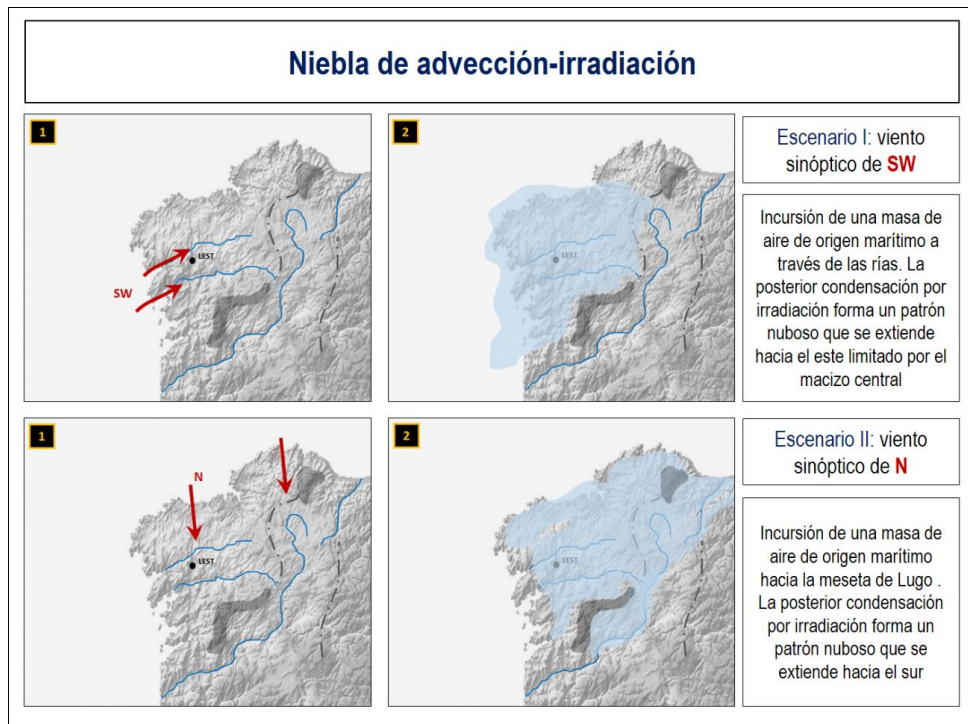


Figura 25. Modelo conceptual que esquematiza la evolución de la niebla de advección-irradiación que afecta a LEST según los dos escenarios. Las áreas sombreadas en gris oscuro, así como las líneas discontinuas esquematizan la orientación de las formaciones montañosas que podrían limitar su extensión espacial en algunos episodios.

El episodio del 29 de agosto de 2019 se ha considerado como ejemplo ilustrativo de este tipo de nieblas cuyo análisis en superficie se muestra en la [figura 26](#). En este episodio, las nieblas se formaron en la costa noroeste de A Coruña, alcanzando posteriormente a LEST al ser empujadas por vientos de componente N (escenario II según la [figura 25](#)).

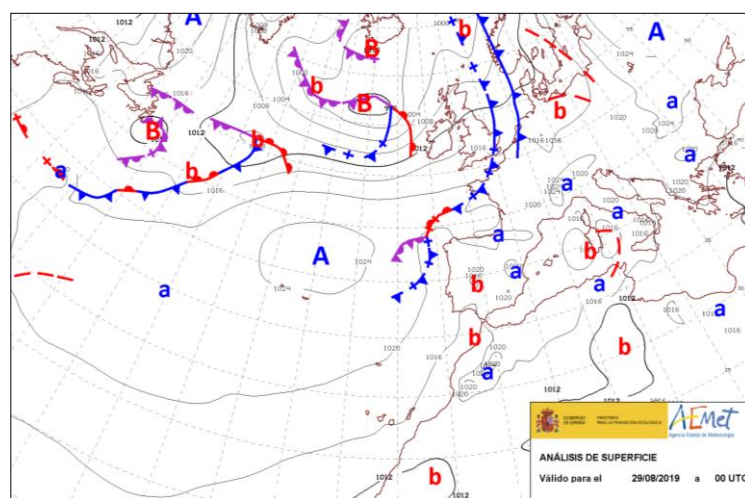


Figura 26. Análisis de superficie del 29 de agosto de 2019 a las 0 UTC en el que se muestra el campo de la presión a nivel del mar (hPa).

La [figura 27](#) muestra la secuencia de los METAR cifrados durante este episodio. El día previo a la formación de niebla se observaron vientos de componente N en LEST, que

desplazaron una masa de aire muy húmeda (temperatura del punto rocío de 15°C). Horas más tarde se formaron bancos de niebla tras alcanzarse la condensación al descender la temperatura por irradiación durante el periodo nocturno. Tras el amanecer, el calentamiento diurno favoreció el ascenso progresivo de la altura de la base de los estratos, mejorando rápidamente la visibilidad.

METAR LEST 281800Z 02008KT 330V070 CAVOK 21/15 Q1019 NOSIG=
METAR LEST 281900Z 01006KT 340V050 CAVOK 19/15 Q1019 NOSIG=
METAR LEST 282000Z VRB02KT CAVOK 17/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 282100Z VRB01KT CAVOK 16/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 282200Z VRB02KT CAVOK 15/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 282300Z VRB01KT CAVOK 15/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290000Z VRB01KT 8000 FEW001 14/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290030Z VRB01KT 4500 1800N BCFG SCT001 14/14 Q1020 TEMPO 0350 FG VV001=
METAR LEST 290100Z 00000KT 4000 1500NE BCFG SCT002 14/14 Q1020 TEMPO 0350 FG VV001=
METAR LEST 290130Z VRB01KT 0600 0300N R17/P2000 R35/1300D FG BKN001 15/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290200Z 00000KT 0500 0200N R17/1300D R35/0550N FG VV001 14/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290230Z VRB02KT 0350 R17/0750D R35/0450D FG VV001 14/14 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290300Z 05003KT 0600 R17/1900N R35/0700U FG VV001 15/15 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290330Z VRB01KT 0700 R17/1900N R35/0900U FG VV001 15/15 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290400Z VRB02KT 0500 R17/1900N R35/1000D FG VV001 15/15 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 290430Z 07003KT 0400 R17/P2000 R35/1400D FG VV001 14/14 Q1020 TEMPO 0300=
METAR LEST 290500Z VRB02KT 0400 R17/1700D R35/0750D FG VV001 14/14 Q1020 TEMPO 0300=
METAR LEST 290600Z 05004KT 0400 R17/1200N R35/0700D FG VV001 14/14 Q1020 TEMPO 0300=
METAR LEST 290700Z VRB02KT 0500 R17/1800N R35/0550D FG VV001 14/14 Q1020 TEMPO 1500=
SPECI LEST 290714Z VRB02KT 2000 0900NE BCFG OVC002 15/15 Q1020 TEMPO 0800 BCFG=
METAR LEST 290730Z 06003KT 010V170 3000 1200NE BCFG OVC002 15/15 Q1021 TEMPO 0800 BCFG=
METAR LEST 290800Z VRB02KT 4000 1500NE BCFG BKN002 15/15 Q1021 TEMPO 0800 BCFG=
METAR LEST 290900Z 08004KT 010V170 6000 BKN003 16/15 Q1021 BECMG SCT005=
METAR LEST 291000Z 05005KT 010V080 9999 BKN007 17/15 Q1021 BECMG SCT010=

Figura 27. METAR cifrados en LEST entre las 18:00 UTC del 28 y las 10:00 UTC del 29 de agosto del 2019, durante un episodio de niebla de advección-irradiación.

En la figura 28 se muestra una secuencia temporal de la sección vertical de la nubosidad simulada por el modelo de alta resolución HARMONIE-AROME el 29 de agosto de 2019 entre las 02 UTC y las 10 UTC. En esta secuencia se aprecia la formación de bancos de niebla que se extendieron hacia LEST a lo largo de las horas nocturnas, disipándose al amanecer.

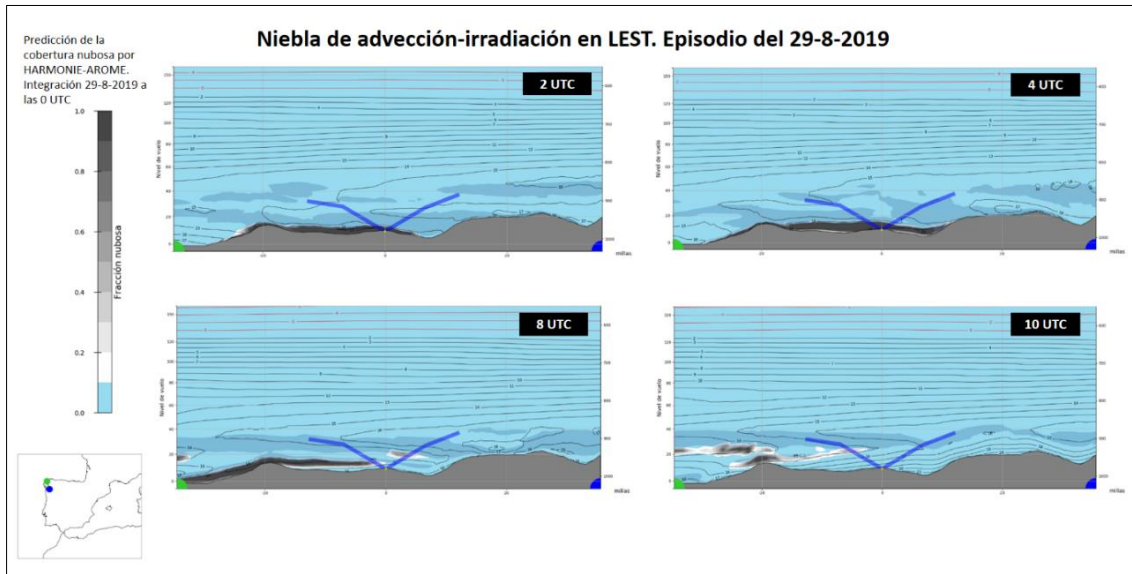


Figura 28. Secuencia temporal de la sección vertical sobre la pista de LEST simulada por el modelo HARMONIE-AROME en el episodio del 29 de agosto de 2019 en la que se representa la inversión térmica (sombreada en azul), la nubosidad (en escala de grises) y las trayectorias de aproximación a LEST.

Visibilidad reducida por el paso de sistemas frontales

El habitual paso de borrascas atlánticas favorece la formación de estructuras nubosas cuya base puede llegar a situarse lo suficientemente baja como para llegar a restringir las operaciones de aproximación a LEST. La situación sinóptica precursora está regida por un debilitamiento del anticiclón de las Azores que, a su vez, permite un descenso latitudinal de depresiones que siguen una circulación de W a E. Los meses comprendidos entre octubre y enero son los que presentan una mayor frecuencia de este tipo de episodios. Durante el paso de sistemas frontales, el aeropuerto se puede ver afectado por visibilidad reducida a cualquier hora del día.

LEST suele verse afectado por visibilidad reducida cuando se halla en el sector cálido, es decir, antes del paso del frente frío y cuando predominan vientos del SW. Tras el paso del frente frío y la consiguiente rolada del viento a W-NW, las condiciones suelen mejorar, aunque ello no impide un empeoramiento momentáneo asociado a chubascos post-frontales, o que ocasionalmente se formen nieblas de irradiación-evaporación la noche siguiente.



Figura 29. Modelo conceptual que esquematiza los episodios de visibilidad reducida en LEST causados por la nubosidad asociada al paso de un sistema frontal.

Por lo general, durante estos episodios la visibilidad fluctúa entre 3000 y 800 metros. Sin embargo, el factor que más afecta a la operatividad del aeropuerto es la altura de la base de la nube, situándose en torno a 200 ft o incluso por debajo de esta cifra con relativa facilidad. Esto se debe a que LEST se encuentra en una meseta con una elevación de 370 m, y la base de la nubosidad asociada al paso de los sistemas frontales se sitúa justo a la altura del aeropuerto (figura 29). Además, el espesor de la nubosidad es mucho mayor que en las nieblas comentadas en los dos apartados anteriores, lo que dificulta las operaciones de aproximación.

La situación del 30 de enero de 2020 mostrada en la figura 30 ejemplifica lo anteriormente comentado.

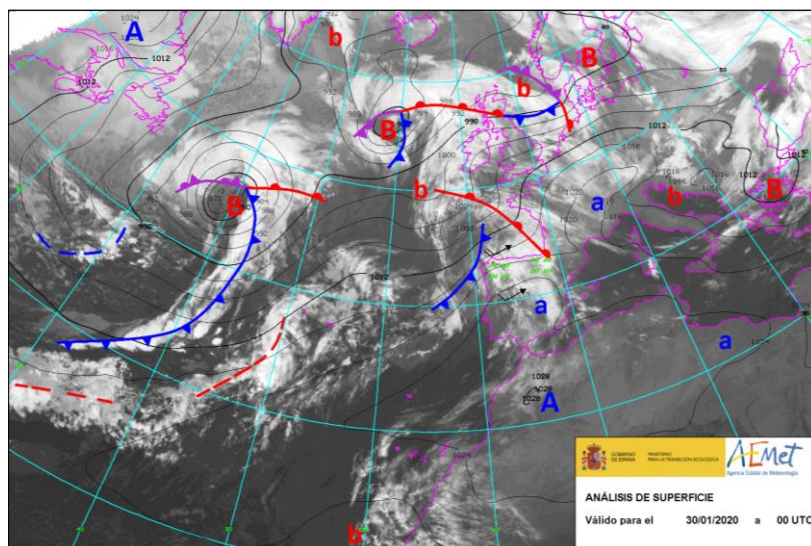


Figura 30. Análisis de superficie de las 0 UTC del 30 de enero de 2020 en el que se combina el campo de presión a nivel del mar sobre una imagen del canal infrarrojo del satélite Meteosat en la que se percibe la nubosidad prefrontal.

La figura 31 muestra una selección de METAR cifrados entre los días 30 y 31 de enero de 2020. Se puede observar que el viento era del SW y de intensidad floja a moderada (5-15 kt). La reducción de visibilidad suele ser más lenta y sostenida que en los escenarios anteriormente descritos. En este caso, la cabecera 35 suele verse afectada en mayor medida.

METAR LEST 300900Z 21014KT 3000 RA BKN005 BKN010 11/11 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
METAR LEST 301000Z 21014G25KT 4000 -RA BKN004 OVC008 12/11 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
METAR LEST 301100Z 22014G27KT 3000 RA BKN004 OVC008 12/12 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
METAR LEST 301200Z 22012KT 3000 -RA SCT003 OVC004 12/12 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
METAR LEST 301230Z 24009KT 3000 -RA OVC003 13/13 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
METAR LEST 301300Z 25008G18KT 180V330 6000 -RA OVC003 13/13 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
SPECI LEST 301343Z 25009G19KT 4000 -DZ OVC002 13/13 Q1018 TEMPO 1500 RA BKN003=
METAR LEST 301400Z 24010KT 200V300 6000 -DZ OVC002 13/13 Q1018 TEMPO 1500 DZ BKN001=
METAR LEST 301500Z 24009KT 7000 3000S -DZ OVC002 13/13 Q1018 TEMPO 1500 DZ BKN001=
METAR LEST 301600Z 24009KT 190V300 2000 -DZ VV001 13/13 Q1018 TEMPO 0800 DZ BKN001=
METAR LEST 301800Z 25007KT 2500 0800S -DZ VV001 13/13 Q1019 TEMPO 0800 DZ BKN001=
METAR LEST 302000Z 23006KT 2000 0800S -DZ VV001 13/13 Q1020 TEMPO 0800 DZ BKN001=
METAR LEST 310000Z 22009KT 160V290 1800 DZ VV002 12/12 Q1021 NOSIG=
METAR LEST 310400Z 23007KT 190V280 2000 -DZ BR BKN002 OVC008 12/12 Q1020 NOSIG=
METAR LEST 310800Z 23005KT 170V290 2300 -DZ OVC002 12/12 Q1021 NOSIG=
METAR LEST 310900Z 20010KT 4000 1900SE -DZ BR BKN002 OVC004 12/12 Q1021 NOSIG=
METAR LEST 310930Z 21007KT 170V260 5000 -DZ BR BKN002 BKN004 12/12 Q1021 NOSIG=
SPECI COR LEST 310948Z 21008KT 160V280 7000 BKN004 BKN009 12/12 Q1021 TEMPO 3000 BR=
METAR LEST 311000Z 20009KT 160V240 7000 BKN005 BKN009 12/12 Q1021 TEMPO 3000 BR=

Figura 31. METAR cifrados los días 30 y 31 de enero del 2020, durante un episodio de visibilidad reducida asociado al paso de sistemas frontales en LEST.

Viento asociado a episodios de visibilidad reducida

Finalmente, se han calculado las rosas de los vientos asociadas a episodios de visibilidad reducida a partir de la información contenida en los METAR del periodo 2010-2019. En el caso del techo de nube, se han considerado solo coberturas nubosas BKN u OVC, o bien presencia del campo de visibilidad vertical en el METAR. Las principales conclusiones extraídas del análisis de los vientos predominantes durante situaciones de visibilidad reducida son:

- Para visibilidades inferiores a 3000 m (figura 32a) y altura del techo de nube inferior a 1000 ft (figura 32b), destacan los vientos de componente SW entre 5 y 15 kt. Estos vientos se registran principalmente en la situación categorizada como paso de sistemas frontales.
- Cuando la visibilidad desciende de 800 m (figura 32c) y el techo de nube es inferior a 200 ft (figura 32d) predominan los vientos inferiores a 5 kt. En estas gráficas, los vientos de E-SE y N-NW se corresponden con episodios de nieblas de irradiación-evaporación.
- En las rosas de los vientos para visibilidades inferiores a 3000 m (y en menor medida en la de 800 m) también estarían incluidos los episodios de nieblas de advección-

irradiación, que en LEST van asociados a vientos de dirección variable inferiores a 5 kt.

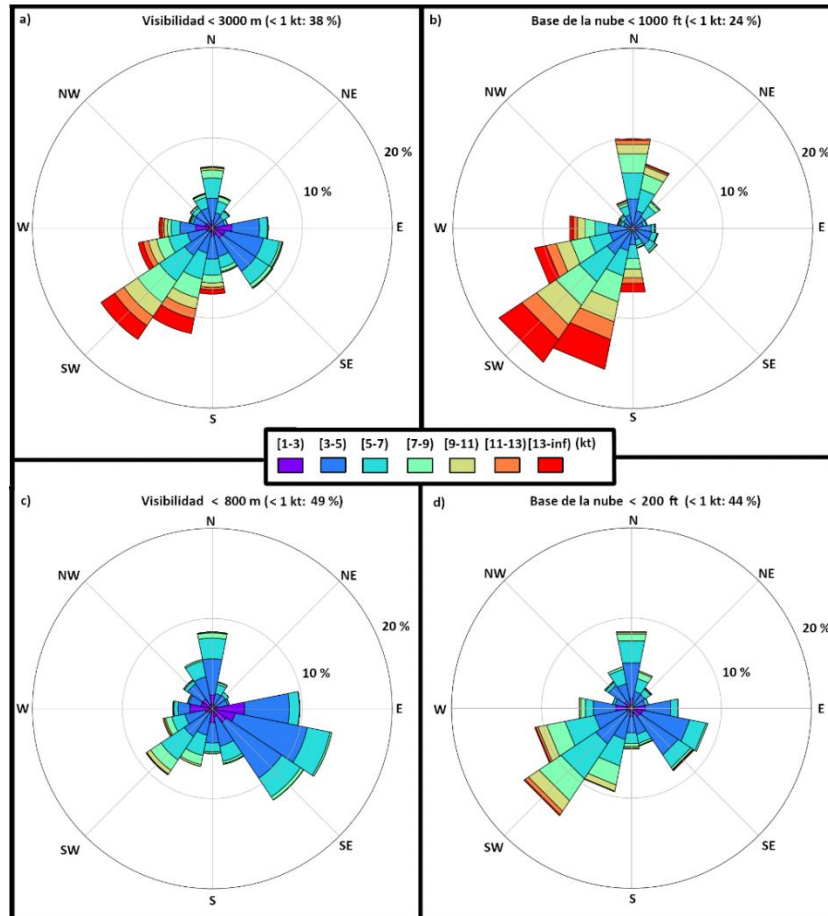


Figura 32. Rosas del viento medio asociado a visibilidad inferior a 3000 m (a) y 800 m (c), y altura del techo de nube inferior a 1000 ft (b) y 200 ft (d) en LEST. Periodo 2010-2019.

En la [tabla III](#) (apartado 7. Resumen) se ha realizado una síntesis de las características principales de las situaciones que dan lugar a visibilidad reducida en LEST.

4. Impacto

Como ya se comentó en la introducción, el impacto es la alteración de la operatividad de un aeródromo como consecuencia de la ocurrencia de uno (o varios) fenómenos meteorológicos. Cuantificar en qué medida un aeródromo puede verse afectado por la fenomenología atmosférica dependerá no solo del fenómeno meteorológico en sí mismo, sino también de otros condicionantes como, por ejemplo, el tráfico registrado, la capacidad o la dotación instrumental con la que cuenta el aeródromo en cuestión, etc.

Cuantificar objetivamente la vulnerabilidad de un aeródromo ante sus fenómenos de impacto previamente identificados, no es fácil. Para tal fin, además de contar con los suficientes conocimientos en materia meteorológica, es necesaria una comprensión de la realidad aeronáutica. Para ello, será crucial disponer del número de aterrizajes frustrados, la activación de procedimientos de baja visibilidad o el número de cancelaciones o desvíos.

En el presente capítulo, se interpretarán los aterrizajes frustrados junto a las activaciones de baja visibilidad considerando el periodo temporal desde el 1 de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2019.

4.1. Estadística de frustradas

Un aterrizaje o aproximación frustrada es una maniobra en la que una aeronave abandona la trayectoria de aproximación y se une a una trayectoria de ascenso predefinida que la llevará a una altura segura, para poder proceder a una nueva aproximación. Son múltiples las causas que pueden desencadenar un aterrizaje frustrado: parámetros no estabilizados, pista ocupada, viento fuera de límites máximos, etc.

Un aterrizaje frustrado puede deberse a iniciativa propia de un piloto o bien a instancias de un requerimiento de control aéreo. Los principales impactos asociados son retrasos o desvíos a aeródromos alternativos.

La cizalladura y la visibilidad reducida son los dos fenómenos de impacto que caracterizan el entorno atmosférico en el que se encuentra LEST. Ambas representan el 93 % del total de frustradas reportadas a lo largo del periodo 2014-2019 (44 % cizalladura y 49 % visibilidad reducida). La identificación de ambos escenarios se ha llevado a cabo gracias a la información reportada por las aeronaves y el METAR cifrado. Dentro de la serie de datos de frustradas atribuidas a cizalladura, se incluyen casos en los que las frustradas pudieron

también estar relacionadas con la presencia de turbulencia y viento cruzado. En la [figura 33](#) se muestra la gran variabilidad anual de ambos.

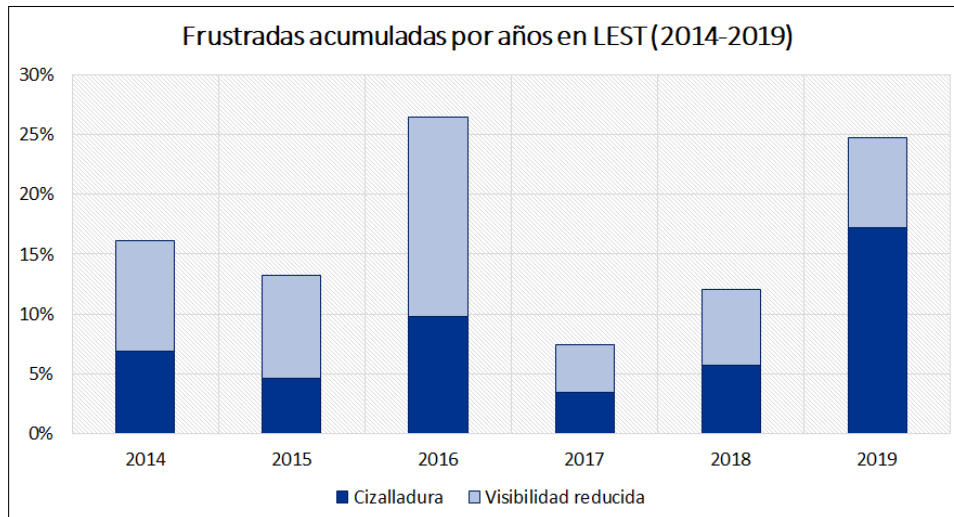


Figura 33. Porcentaje de frustradas sobre el total del periodo 2014-2019, acumuladas anualmente y categorizadas según el fenómeno de impacto: cizalladura y reducción de visibilidad. Datos facilitados por la Torre de Control de LEST (ENAIRES).

En la [figura 34](#) se muestra la contabilización de las frustradas según los meses del año a lo largo del periodo considerado. En ella, se muestra la clara preponderancia de las frustradas causadas por visibilidad reducida en los meses de junio y julio. Por su parte, la frustradas por cizalladura son más frecuentes en los meses invernales. Este hecho es coherente con la climatología de vientos de LEST pues, entre los meses de octubre y abril, predominan los vientos del SW (los más intensos, por tanto, con mayor impacto). En cambio, entre los meses de mayo y septiembre, predominan los vientos del NE, generalmente menos intensos.

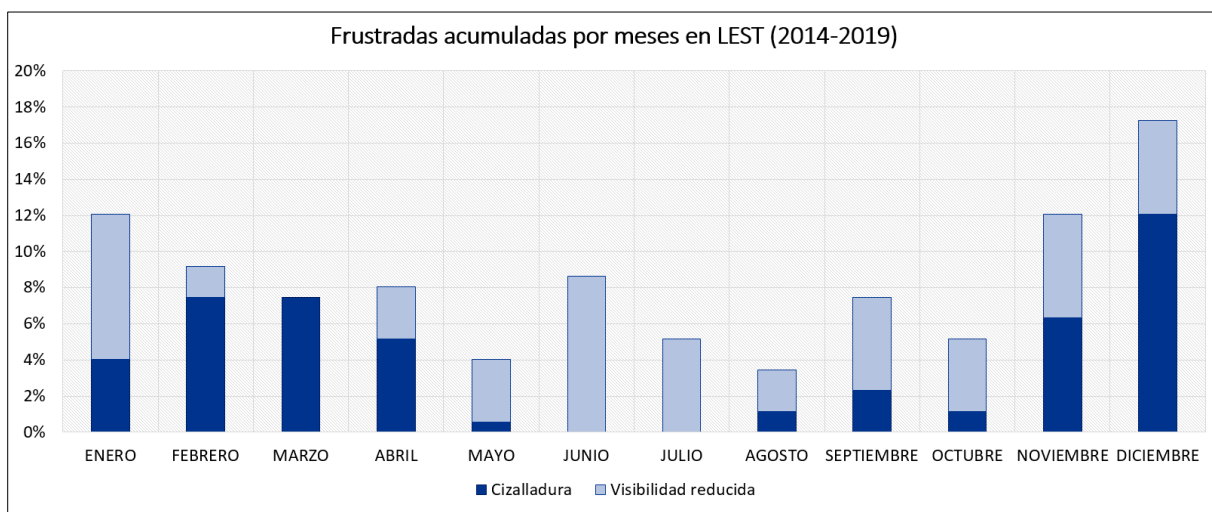


Figura 34. Porcentaje de frustradas sobre el total del periodo 2014-2019, acumuladas mensualmente y categorizadas según el fenómeno de impacto: cizalladura y reducción de visibilidad. Datos facilitados por la Torre de Control de LEST (ENAIRES).

La **figura 35** muestra las rosas de los vientos elaboradas a partir de los episodios en los que se ha reportado una frustrada que ha sido causada por cizalladura, según alguno de los cuatro escenarios descritos en el apartado 3.1 del presente trabajo. Lo que se obtiene es el comportamiento medio del viento según los episodios que tienen impacto en la operatividad de LEST.

Particularmente, en la **figura 35a** se representa el viento medio mientras que la **figura 35b** corresponde a las rachas de viento. Los colores categorizan los diferentes rangos de intensidad del viento (medidos en kt), de manera que los colores más cálidos se asocian a mayor intensidad y los más fríos al extremo opuesto. Cada una de las circunferencias concéntricas denota la frecuencia acumulada por direcciones en %.

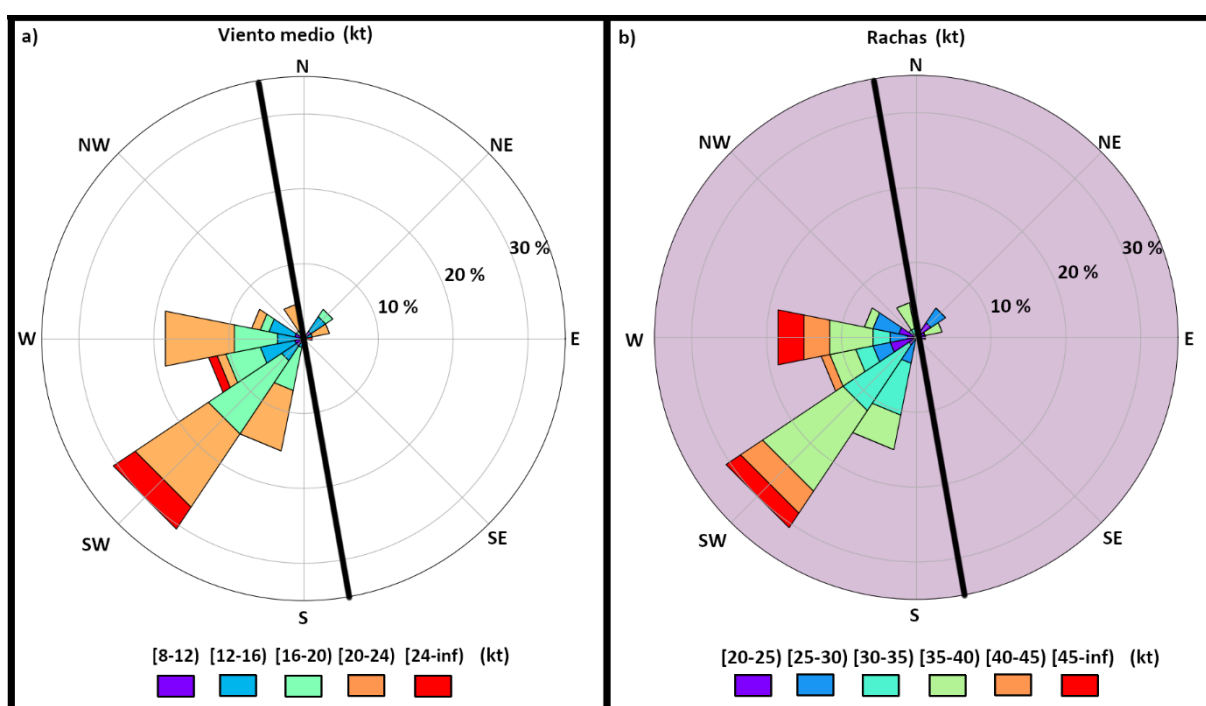


Figura 35. Rosas de los vientos elaboradas a partir de episodios en los que se ha reportado, al menos, una frustrada causada por cizalladura, considerando el periodo 2014-2019. Datos facilitados por TWR de LEST; **a)** viento medio; **b)** rachas. La línea negra de trazo grueso denota la orientación de la pista.

Lo más relevante se puede resumir en los siguientes puntos:

- Las frustradas causadas por cizalladura con viento del SW son las más frecuentes, seguidas por las del viento del W. El viento medio asociado es superior a 16 kt, con rachas superiores a 30 kt, llegando a alcanzar los 50 kt.
- Los episodios en los que se ha reportado una frustrada causada por cizalladura con viento del NW y del E-NE son menos frecuentes, estando caracterizados por un viento medio entre 12 kt y 24 kt, con rachas entre 20 kt y 40 kt. Con estas direcciones, no hace falta que el viento sea tan intenso como en las direcciones del SW y W para que se reporten frustradas.
- Atendiendo a la orientación de la pista, puede concluirse que gran parte de las frustradas estarían asociadas a la presencia de viento cruzado.

4.2. Estadística de las activaciones del LVP

Un procedimiento de baja visibilidad (en adelante, LVP) es la respuesta del usuario aeronáutico ante condiciones de visibilidad reducida con el fin de mantener la seguridad y regularidad de movimientos en el aeropuerto. En condiciones de visibilidad reducida se reduce la cadencia de arribadas y salidas del aeródromo, aumentando significativamente el tiempo de permanencia de las aeronaves en las pistas y desplazamiento por las calles de rodaje.

La contabilización del número de activaciones de este procedimiento, que previamente es consensuado entre el proveedor de servicio meteorológico y el usuario aeronáutico, da una idea objetiva del impacto de la reducción de visibilidad en el marco operativo de cualquier aeródromo, particularmente en LEST.

En la [figura 36](#) se representa la frecuencia relativa de activación del LVP en LEST en el periodo 2014-2019. Los mayores valores se aprecian a lo largo de los meses invernales, debido a la elevada frecuencia de nieblas de irradiación- evaporación y techo de nubes bajo asociado al paso de sistemas frontales. Por otro lado, el máximo secundario registrado durante el periodo estival está ligado a la mayor frecuencia de nieblas de advección- irradiación durante esta época del año.

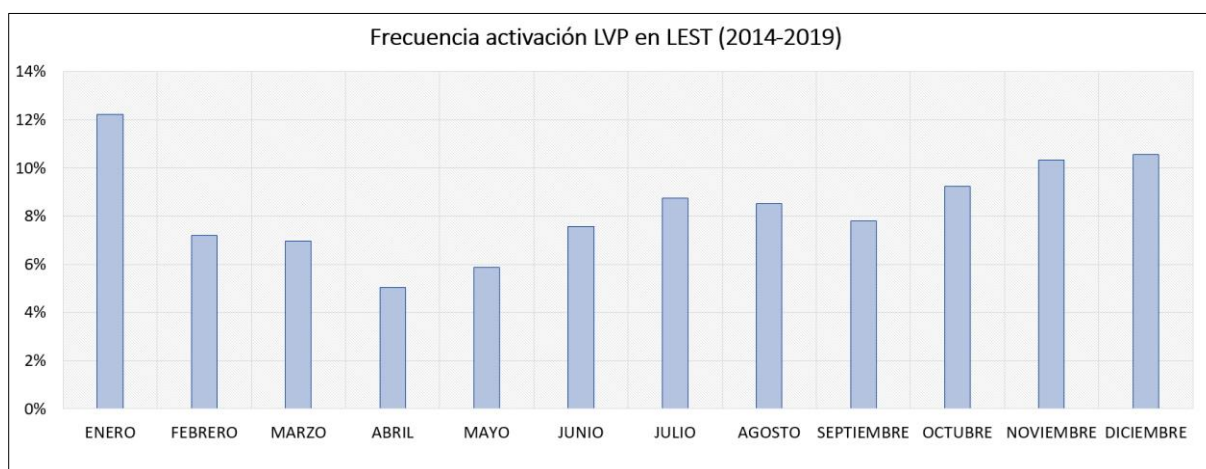


Figura 36. Serie temporal de activación del LVP en LEST a lo largo del periodo 2014-2019. Datos registrados por la Oficina Meteorológica de LEST.

En algunas ocasiones, la combinación de techos bajos y precipitación hace que el piloto pierda la visual de la pista y, por consiguiente, se vea obligado a frustrar su aproximación, sin que la visibilidad en las pistas sea lo suficientemente reducida como para que el LVP esté activado.

5. Resumen

El análisis meteorológico orientado a impactos en LEST podría resumirse en base a dos fenómenos de impacto cuya presencia afectaría a la operatividad del aeropuerto en forma de cancelaciones, retrasos, desvíos, aterrizajes frustrados, activación de procedimientos de baja visibilidad o cambios de configuración: [cizalladura](#) y [visibilidad reducida](#).

La presencia de cizalladura está favorecida por cuatro escenarios meteorológicos. Atendiendo al impacto asociado, son los siguientes: paso de un sistema frontal (viento del SW), advección fría postfrontal (viento del NW), tren de borrascas atlánticas (viento del W) y anticiclón europeo (viento del E-NE). Sus características principales pueden encontrarse en la [tabla II](#).

Por su parte, los escenarios de visibilidad reducida registrados en LEST están causados por la formación de dos tipos de nieblas (irradiación-evaporación y advección-irradiación) y el techo de nubes bajo por el paso de sistemas frontales (ver [tabla III](#)). En el primer caso, las condiciones locales son las que gobiernan su formación y posterior evolución mientras que, en el segundo, el entorno sinóptico es el elemento clave.

Para valorar el impacto, se han analizado los datos de frustradas y de activación del LVP desde 2014 a 2019. Un 44% de las frustradas son debidas a la cizalladura (generalmente entre los meses de noviembre y abril) mientras que un 49% a visibilidad reducida. La frecuencia de activación del LVP es mayor en los meses invernales con un máximo secundario en verano.

El objetivo de la presente guía es que pueda servir como una interesante herramienta de asesoramiento para los usuarios aeronáuticos que deseen conocer mejor el entorno meteorológico donde llevan a cabo sus operaciones.

Cizalladura en LEST					
Causa	Efecto				Cabecera de pista en uso
Patrón meteorológico	Viento establecido	Dirección media (METAR)	Velocidad media (METAR)	Racha (METAR)	
<i>Paso de un sistema frontal</i>	Viento del SW	210°-250°	25-30 kt	40-55 kt	17
<i>Advección fría postfrontal</i>	Viento del NW	300°-330°	20-25 kt	30-40 kt	35
<i>Tren de borrascas atlánticas</i>	Viento de componente W	260°-280°	25-30 kt	35-45 kt	17
<i>Anticiclón europeo</i>	Viento del ENE	50°-70°	20-25 kt	30-40 kt	35

Tabla II. Características del viento y cabecera operativa en los cuatro escenarios precursores de la presencia de cizalladura en LEST.

Niebla y techo de nubes bajo en LEST			
Tipos	Ingredientes	Periodo	Impactos
<i>Niebla de irradiación- evaporación</i>	Situación anticiclónica, escaso gradiente de presión Cielos despejados Inversión térmica superficial Viento <5 kt, preferiblemente de componente N-NW o E-SE	Cualquier época del año, más frecuentes y persistentes en invierno Periodo nocturno y primera hora de la mañana	Visibilidad desciende bruscamente, situándose por debajo de 350 m Techo de nubes en contacto con la superficie (VV001), espesor reducido
<i>Niebla de advección- irradiación</i>	Baja térmica sobre la Península. Dorsal térmica a 850 hPa Inversión térmica sobre la capa de estratos Viento del S-SW o N a escala sinóptica. En LEST <5 kt de dirección variable	Preferentemente en verano, aunque puede tener lugar también en primavera y otoño Periodo nocturno y primera hora de la mañana	Visibilidad oscila entre 350 y 1500 m Techo de nube puede bajar hasta BKN002 o incluso VV001, espesor de las nubes: decenas de metros
<i>Techo de nubes bajo por el paso de sistemas frontales</i>	Sector cálido antes del paso de un frente frío No es necesario que haya inversión térmica frontal Viento del SW entre 5 y 15 kt	Generalmente entre octubre y enero. Menos frecuentes el resto del año Cualquier hora del día	Visibilidad fluctúa entre 800 y 3000 m Techo de nube bajo (BKN002-VV001), espesor de las nubes: centenares de metros

Tabla III. Resumen de las características principales de las situaciones que dan lugar a visibilidad reducida en LEST.

6. Summary

The meteorological analysis focused on impacts in LEST could be summarized by means of two impact phenomena whose presence could affect the airport operations and air traffic management: [wind shear](#) and [low visibility](#). These impact phenomena can lead to cancellations, delays, diversions, go arounds, activation of low visibility procedures or configuration changes: [windshear](#) and [low visibility](#).

The presence of wind shear is favoured by four scenarios: warm air advection ahead of a cold front (SW wind), cold air advection behind a cold front (NW wind), low pressure systems linked to zonal flow (W wind) and European high pressure (E-NE wind). More detailed information can be found in [table IV](#).

On the other hand, low visibility episodes are caused by the formation of two types of fog (radiation-evaporation and advection-radiation), and low cloud ceiling linked to warm air advection ahead of a cold front (see [table V](#)). In the first case, local conditions drive the formation and the subsequent development, whereas the synoptic environment is the key component in the second scenario.

In order to calculate their impact, go arounds and LVP activations data have been analyzed since 2014 until 2019. 44 % of go arounds are due to wind shear (mainly between November and April) whereas 49 % to reduced visibility. The frequency of the LVP activations is higher in winter months, with a secondary maximum in summer.

This meteorological guide is aimed to provide an interesting advisory tool for those aeronautical users who wish to know more about the meteorological environment where their operations are embedded.

Wind shear in LEST					
Cause	Effect				Runway in use
Meteorological Pattern	Established wind	Average wind direction (METAR)	Average wind speed (METAR)	Wind gust (METAR)	
<i>Warm air advection ahead of a cold front</i>	SW	210°-250°	25-30 kt	40-55 kt	17
<i>Cold air advection behind a cold front</i>	NW	300°-330°	20-25 kt	30-40 kt	35
<i>Low pressure systems linked to zonal flow</i>	W	260°-280°	25-30 kt	35-45 kt	17
<i>European anticyclone</i>	ENE	50°-70°	20-25 kt	30-40 kt	35

Table IV. Wind characteristics and runway in use during the four scenarios related to the presence of wind shear in LEST.

Fog and low ceiling in LEST			
Types	Characteristics	Timing	Impacts
<i>Radiation- evaporation fog</i>	Anticyclonic conditions, low pressure gradient Clear skies, thermal inversion layer close to the ground Wind at LEST: < 5 kt / N-NW or E-SE	Any time of year, more frequent and persistent in winter Nighttime and dawn	Visibility drops sharply: < 350 m Ceiling: VV001 Cloud thickness: few tens of meters
<i>Advection- Radiation fog</i>	Thermal low over the Iberian Peninsula, thermal ridge at 850 hPa Thermal inversion layer over the stratus clouds Wind at LEST: < 5 kt; VRB Wind at synoptic scale: S-SW or N	Especially in summer, although it can also take place in spring and autumn Nighttime and dawn, although low visibility conditions can be persistent	Visibility ranges from 350–1500 m Ceiling: BKN002-VV001 Cloud thickness: several tens of meters
<i>Warm air advection ahead of a cold front. Low ceiling</i>	Linked to warm conveyor belt Sometimes, frontal thermal inversion Wind at LEST: 5-15 kt / SW	Especially from October to January. Less frequent during the rest of the year Any time of the day	Visibility fluctuates from 800 to 3000 m Ceiling: BKN002- VV001 Cloud thickness: up to hundreds of meters

Table V. Summary of the main characteristics of the three scenarios linked to low visibility episodes in LEST.

7. Referencias

OACI, 2005. Manual sobre cizalladura del viento a poca altura, Doc. 9817 - AN/449

8. Agradecimientos

Alfonso Romero Gamarra (jefe del Departamento de Operaciones TACC Santiago, ENAIRE)

Ángel Garitagotia Castro (Analista funcional en la Delegación Territorial de AEMET en Galicia)

Javier Pérez Peiro (base Captain SCQ Ryanair)

Margarita Gómez Pérez (Analista predictora en la Delegación Territorial de AEMET en Cantabria)

Pedro Bolgiani (piloto comercial)

Personal de la Oficina Meteorológica de LEST

Xabier Fernández García (Piloto y Analista predictor en la Delegación Territorial de AEMET en Galicia)

AENA Aeropuertos

ENAIRE

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA

Servicios Centrales

Leonardo Prieto
Castro, 8
28071. Madrid

Delegación Territorial en

Galicia

Canceliña, 8
15071. A Coruña



Agencia Estatal de Meteorología