

Guía Meteorológica de Aeródromo: Palma de Mallorca



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

AEmet
Agencia Estatal de Meteorología



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

Textos: Alejandro Méndez Frades y Elisa Tudurí Vila

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, 2022

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

NIPO: 666-22-005-4

<https://doi.org/10.31978/666-22-005-4.LEPA>

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



@Aemet_Esp



@Aemet_Baleares



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

Contenido

1.	Introducción	5
2.	Situación geográfica.....	7
3.	Fenómenos de impacto.....	10
3.1.	BRISA.....	11
3.2.	CIZALLADURA.....	17
3.3.	TURBULENCIA	22
3.4.	NIEBLA	24
4.	Impactos	30
5.	Resumen	38
6.	Summary	40
7.	Referencias.....	42
8.	Agradecimientos	43

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, aterrizajes frustrados, 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 Palma de Mallorca

En la [figura 1](#) se detalla el diagrama Ishikawa para el aeropuerto de Palma de Mallorca (en adelante, LEPA). 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.

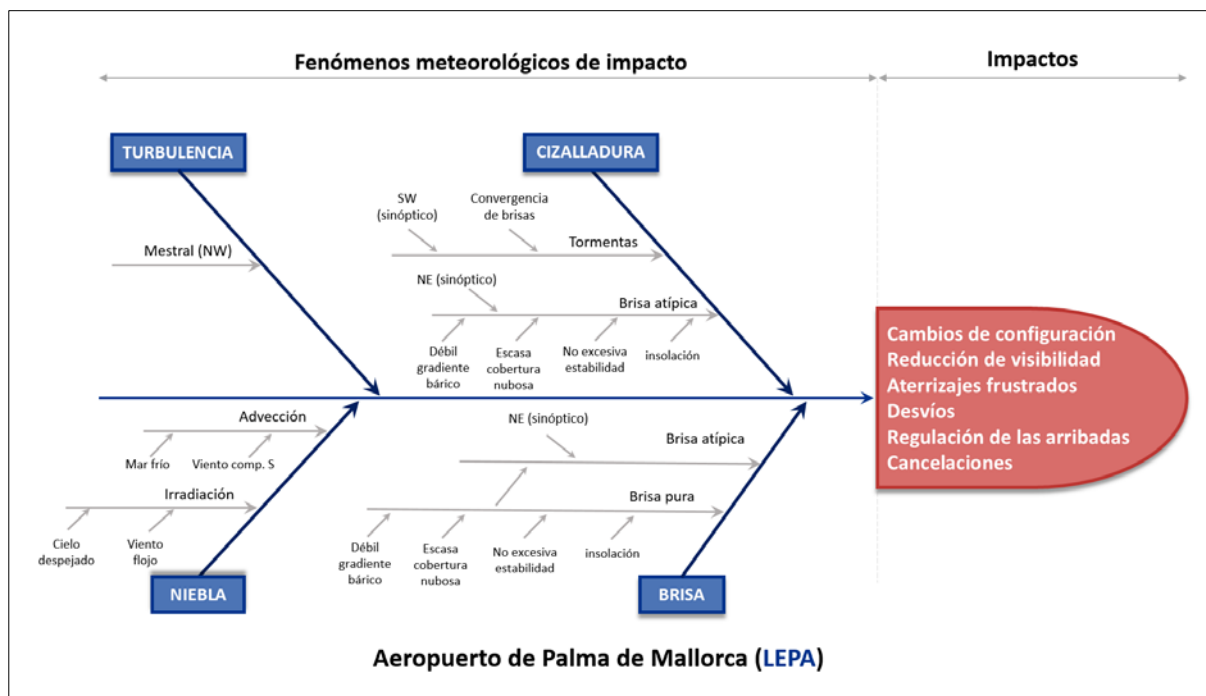


Figura 1. Diagrama de Ishikawa para LEPA: la identificación de los fenómenos meteorológicos de impacto exige un conocimiento detallado del entorno meteorológico en el que se encuentra embebido el aeropuerto objeto de estudio. Ello posibilitará establecer su relación con los impactos observados en su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

2. Situación geográfica

LEPA se localiza en las cercanías de la bahía de Palma, en la llanura más o menos accidentada entre las dos sierras principales de la isla. Hay una ligera pendiente ascendente hacia el interior de la isla, que es más acusada hacia el norte por la cercanía de la Sierra de la Tramontana. A una distancia aproximada de 28 kilómetros se encuentra el punto más alto de la isla Puig Major, con una altitud de 1445 metros (figura 2).

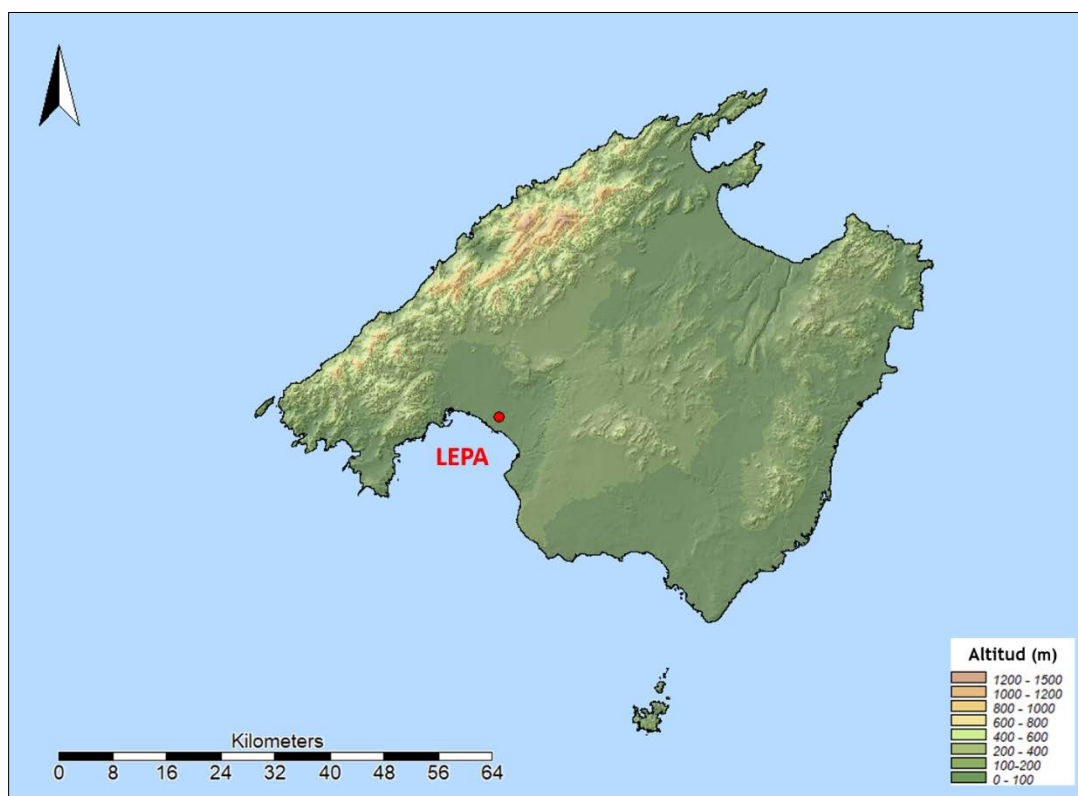


Figura 2. Situación geográfica de LEPA: el aeródromo se localiza en el punto representado.
Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

No existen unidades hidrológicas importantes en su entorno sino que únicamente hay torrentes que no siempre llevan agua. El aeropuerto se encuentra en un antiguo humedal, el Prat de Sant Jordi, desecado en el siglo XIX por el que, paralelamente a las pistas y hacia el sudeste discurre uno de estos torrentes, la Síquia de Sant Jordi que recoge agua del interior de la isla y desemboca a través del humedal de Ses Fontanelles, al sur del

aeropuerto en la Bahía de Palma. Dado que el aeropuerto está situado en una ligera hondonada, es frecuente que queden zonas encharcadas en caso de lluvias importantes, especialmente cerca de la cabecera 24L (véase figura 3).

La orografía de la isla orienta el flujo de vientos, estableciendo unas direcciones dominantes en el mismo sentido que la orientación de las sierras. Por este motivo se considera que la situación del aeropuerto, con respecto a los vientos, es:

- Abierto al SW y S, próximo al mar.
- Abierto al NE flujo "terral".
- Con dirección dominante SW-NE, prácticamente ausencia de SE, S y N
- NW presencia puntual
- W se redirige a SW y E a NE

La [tabla I](#) muestra los datos geográficos de LEPA.

Datos geográficos		
Nombre del aeródromo		Palma de Mallorca
Indicativo	OACI	LEPA
	IATA	PMI
Latitud		39° 33' 6'' N
Longitud		002° 44' 20'' E
Elevación		8 m / 27 ft

Tabla I

El aeropuerto dispone de dos pistas paralelas representadas en la [figura 3](#). Se puede observar que su orientación es de suroeste-nordeste: 06L/24R y 06R/24L. Además de la cercanía a la costa, cabe destacar un torrente y dos zonas que son potencialmente inundables en episodios de lluvias. El METAR se elabora en la cabecera 24L y la estación climatológica se ubica en la cabecera 24R.

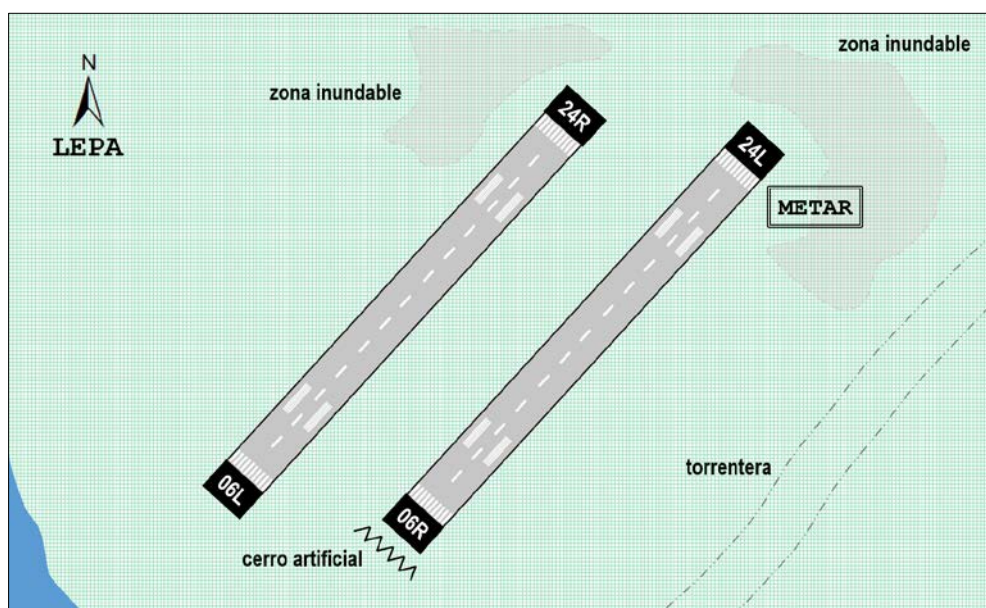


Figura 3. Orientación de las pistas en LEPA. En sus cercanías, destacan dos zonas inundables y un torrente. Por otra parte, junto a la cabecera 06R hay un cerro artificial para proteger de ruidos a los núcleos urbanos próximos.

Las dos posibles configuraciones de operación, definidas según el comportamiento medio del viento (teniendo en cuenta que arribadas y despegues siempre se llevan a cabo con viento de cara), la capacidad y el impacto ambiental sobre poblaciones circundantes, se muestran en la [figura 4](#). Estas operaciones, en términos generales y siempre que estén ambas pistas operativas, se realizan de la siguiente forma:

- En la **configuración 24**, las arribadas se efectúan por la 24L mientras que las salidas por la 24R. Es la configuración de operación preferente dado que las aeronaves en su aproximación no pasan por las cercanías de núcleos urbanos. Además, instrumentalmente la 24L es la mejor equipada.
- En la **configuración 06**, Las arribadas se efectúan por la 06L mientras que las salidas por la 06R.

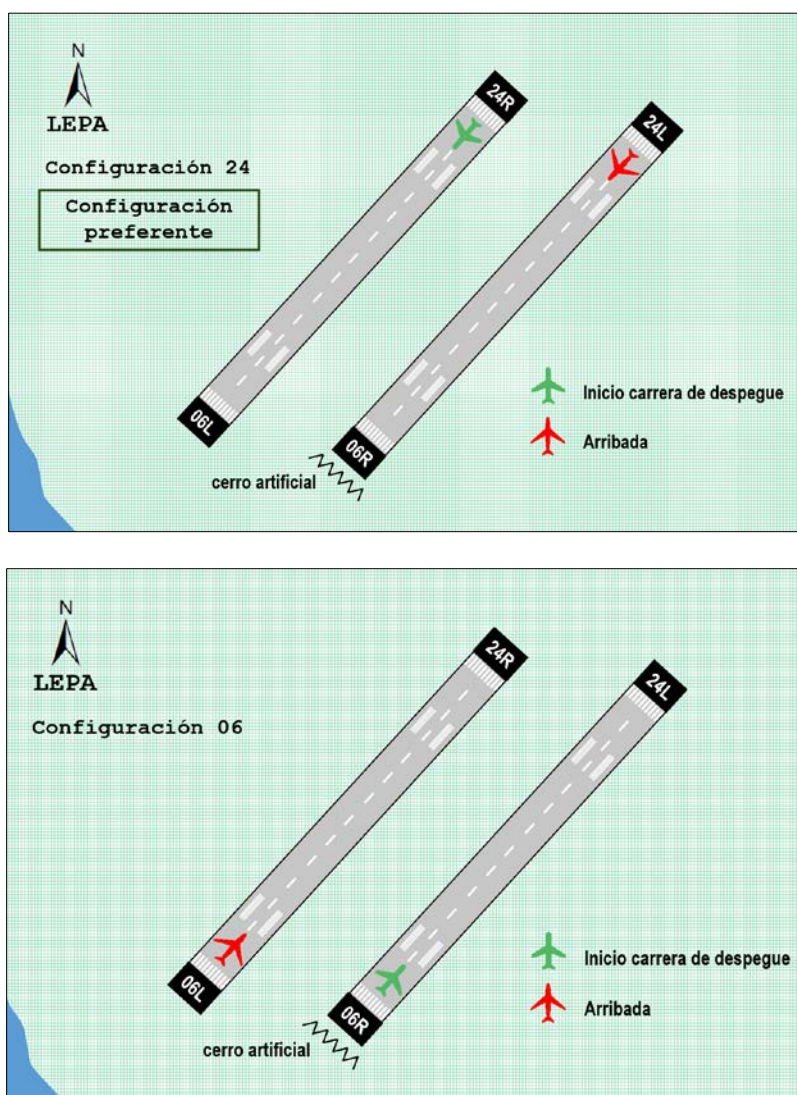


Figura 4. Configuraciones de operación en LEPA. La configuración 24 es la preferente.

3. Fenómenos de impacto

Habida cuenta de la dimensión espacio temporal que caracteriza a los fenómenos meteorológicos embebidos en el ámbito aeroportuario, el viento se revela como la causa principal de lo que anteriormente se definió como fenómeno de impacto. Por este motivo, resulta fundamental hacer un sucinto repaso de la climatología del viento en LEPA (viento medio y rachas). En las rosas de viento mostradas, según la [figura 5](#), la escala de colores es un indicador de la intensidad, donde los colores fríos se asocian a los valores más bajos y los cálidos a los más altos. Por su parte, el tamaño en sentido radial de cada uno de los abanicos que comprenden las direcciones corresponde a una mayor frecuencia relativa acumulada en porcentaje.

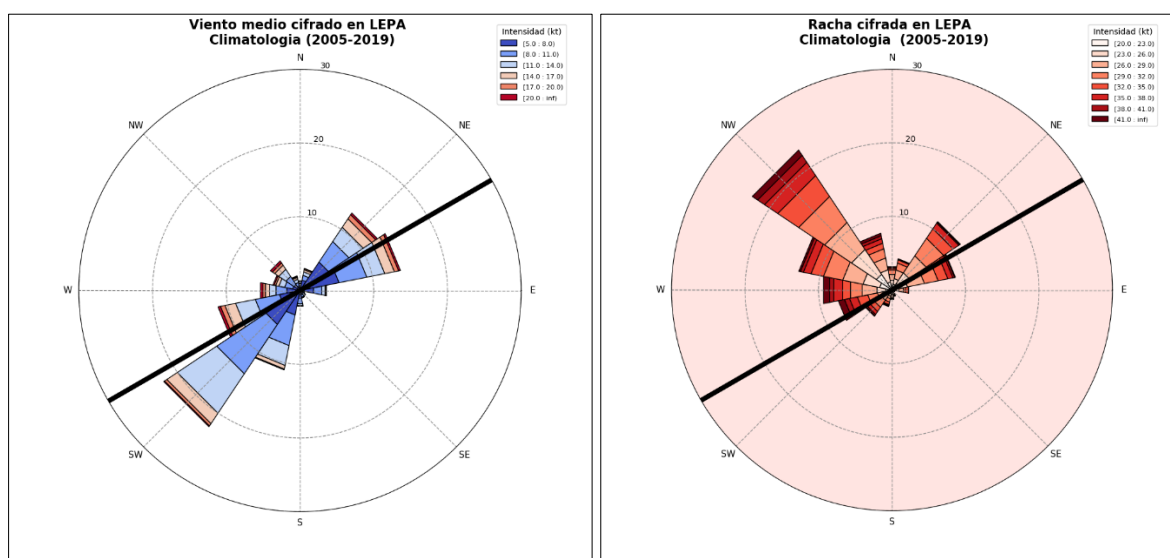


Figura 5. Viento medio y rachas cifradas en el METAR en LEPA durante el periodo 2005-2019 en relación a la orientación de las pistas del aeropuerto 06/24 (línea de trazo negro continuo).

Las rosas de viento se han construido a partir del viento cifrado en los METAR en LEPA durante un periodo de 15 años (2005-2019). Lo que se ha obtenido es una aproximación a la realidad, toda vez que los valores medios obtenidos son resultado de un promedio y, además, se trata de valores observados desde un punto del espacio ubicado en la cabecera 24L (véase apartado anterior).

Así, de conformidad con lo mostrado en la [figura 5](#), cabe señalar:

- El aeropuerto está orientado en el sentido de la máxima frecuencia del viento. De todas las direcciones, las más frecuentes son del SW y NE.
- Las rachas más frecuentes no son en la dirección de los vientos dominantes sino que están cruzadas en relación a la orientación de las pistas (06/24), siendo del NW.
- No hay rachas en la dirección SE

El hecho de que no coincidan la dirección predominante del viento medio y la dirección de las rachas de mayor intensidad ([figura 5](#)) ha propiciado la consideración de dos umbrales de aviso por viento:

- 30 kt para vientos del I y III cuadrante
- 25 kt para viento cruzado, cuyo umbral es inferior al anterior por ser más problemático

El conjunto de **fenómenos de impacto** que resumen la meteorología orientada a impactos en LEPA son: **brisa, cizalladura, turbulencia y niebla**.

3.1. BRISA

La brisa es un viento mesoescalar (es decir, un fenómeno meteorológico que tiene una extensión de escasos kilómetros a decenas de kilómetros y una duración de minutos a unas pocas horas) que se origina por la desigual capacidad de calentamiento y enfriamiento del mar y de la superficie terrestre adyacente. La superficie terrestre se calienta más (y se enfría más) que la del mar en igualdad de condiciones. La anisotropía resultante en la temperatura superficial es su mecanismo impulsor. Como el de la mayor parte de los fenómenos meteorológicos, su responsable último es la insolación.

Dado que el aire es diatérmico, su calentamiento no se debe a la acción directa de los rayos solares sino a la conducción de calor desde la superficie terrestre. Los estratos atmosféricos más bajos, al estar en contacto con la superficie, se calientan por contacto, más sobre la tierra que sobre el mar. Este calentamiento se propaga posteriormente hacia capas más altas por convección. De esta forma, el aire más cálido, al ser menos denso, hará que la presión ejercida sobre la superficie terrestre sea menor que la ejercida sobre el mar. El gradiente bórico establecido en la horizontal impulsará un viento dirigido desde el mar hacia tierra, desde las presiones más altas hacia las más bajas.

La dirección media de la brisa marina durante el día en Mallorca se dispone alrededor de ésta siguiendo el sentido horario de las agujas del reloj ([figura 6](#)): soplando del NE en las bahías del norte, del E-SE en la costa de Levante, del SW en el sur y del NW en el lado de Poniente (Jansà Guardiola y Jaume Torres, 1946). Sin embargo, en el flanco oeste se muestra muy débil debido al efecto pantalla que ejerce la Sierra de la Tramontana, dado que su altitud promedio se sitúa alrededor de 800 metros.

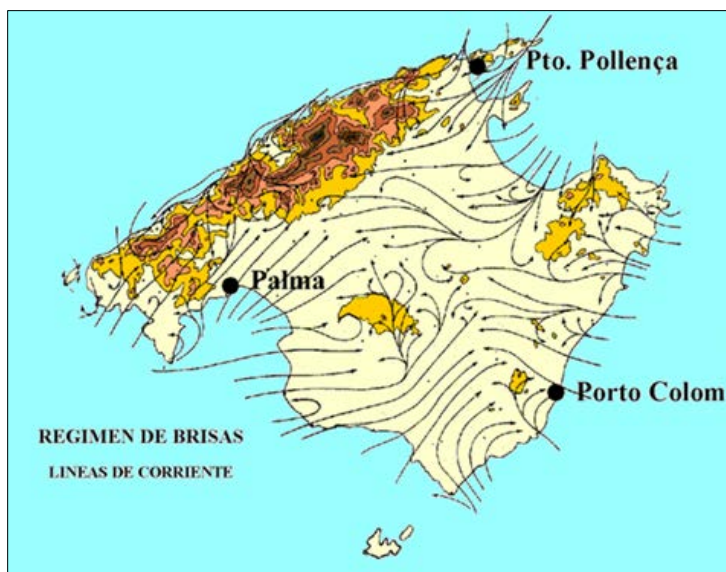


Figura 6. El régimen de brisa de mar en Mallorca, según Jansà y Jaume (1946).

Los ingredientes esenciales para la formación de una célula de brisa son los que a continuación se indican:

- Débil gradiente bórico inicial, vientos flojos
- No excesiva estabilidad atmosférica
- Escasa cobertura nubosa
- Insolación

Una representación de su ciclo diurno se muestra en la [figura 7](#) (brisa pura). Su formación tendría lugar sobre las 9 UTC, cuando la insolación empieza a caldear la superficie terrestre que, consecuentemente, calienta por contacto los estratos atmosféricos más bajos. Hacia las 14 UTC, la célula de brisa se mostraría plenamente establecida, con una dirección entre 220° y 240° e intensidad de 12 kt si bien, ocasionalmente puede llegar a superar los 20 kt. Finalmente, a partir de las 18 UTC comenzaría su fase de disipación, la cual culminaría hacia las 22 UTC. A partir de ese instante y tras un breve periodo de calmas, se establecería la brisa nocturna o terral. En general, el espesor vertical de la célula de brisa, aunque variable a lo largo de las fases anteriormente descritas, no llega a superar los 1000 ft. Estas brisas son típicas de los meses estivales, no obstante el fenómeno puede aparecer entre abril y octubre.

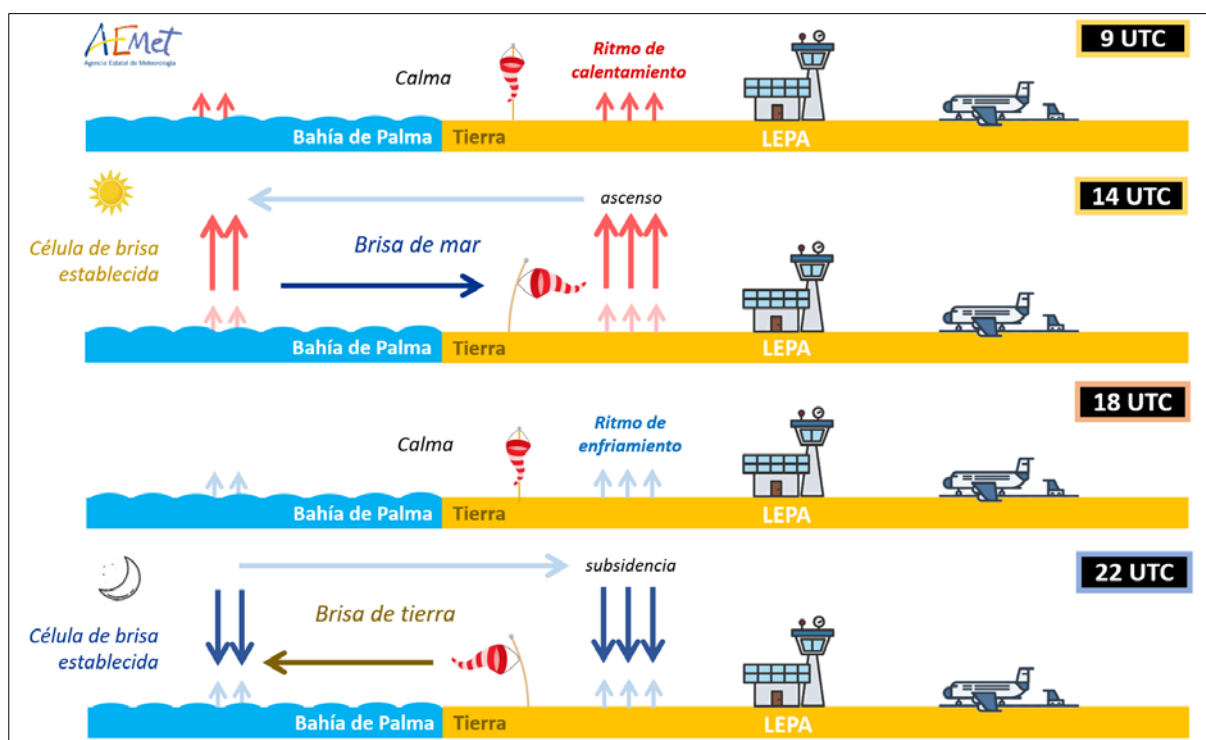


Figura 7. Modelo conceptual del ciclo diario de la brisa típica en LEPA. La insolación es, en última instancia, el elemento rector del flujo de viento mesoescalar establecido.

El episodio del 27 de agosto de 2018 es un buen ejemplo del escenario anteriormente descrito. Del mapa de análisis de superficie de las 12 UTC (figura 8) se confirma que LEPA estaba inmersa en un entorno meteorológico que podría considerarse un pantano barométrico, habida cuenta de la ausencia de un flujo sinóptico definido sobre la isla.

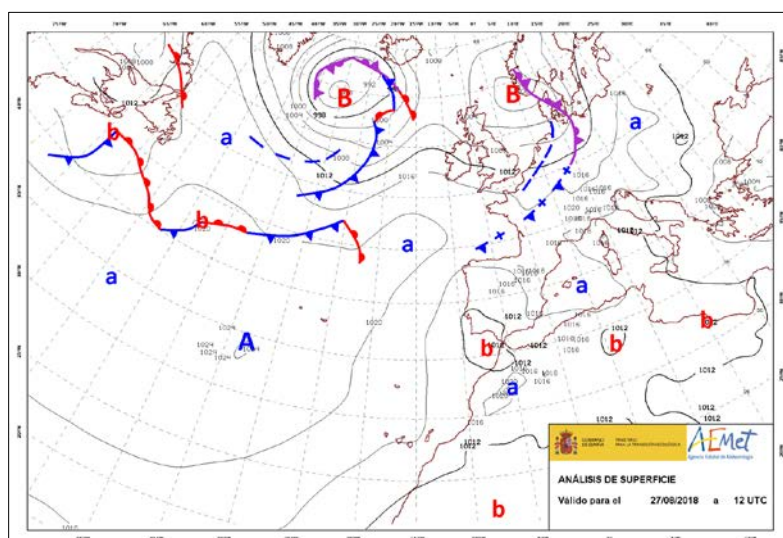


Figura 8. Análisis de superficie de las 12 UTC del 27 de agosto de 2018 como ejemplo de una situación de brisa típica en LEPA.

Por su parte, en la figura 9 se muestra la secuencia de METAR difundidos entre las 8:00 UTC y las 23:00 UTC. Por simple inspección visual, se constata que la brisa de mar se

estableció hacia las 10:00 UTC, disipándose hacia las 20:00 UTC. Durante su fase de fortalecimiento, la intensidad llegó a superar los 10 kt.

METAR LEPA 270800Z	34001KT	9999	FEW020	27/21	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 270830Z	VRB02KT	9999	FEW020	27/20	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 270900Z	36002KT	9999	FEW020	28/20	Q1017	BECMG 21010KT=
METAR LEPA 270930Z	VRB04KT	9999	FEW020	28/20	Q1017	BECMG 21010KT=
METAR LEPA 271000Z	24008KT	210V300	9999	FEW020	29/20	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271030Z	22007KT	200V260	9999	FEW020	29/20	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271100Z	23009KT	200V260	9999	FEW020	29/20	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271130Z	22009KT	190V260	9999	FEW020	29/20	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271200Z	22009KT	190V260	9999	FEW020	29/20	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271230Z	23011KT	190V250	9999	FEW020	29/21	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271300Z	22012KT	190V250	9999	FEW020	29/20	Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 271330Z	23012KT	200V270	9999	FEW020	29/21	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271400Z	23011KT	9999	FEW020	29/21	Q1016	NOSIG=
METAR LEPA 271430Z	22012KT	190V260	9999	FEW020	29/21	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271500Z	22012KT	200V260	9999	FEW020	29/21	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271530Z	22011KT	9999	FEW020	29/22	Q1016	NOSIG=
METAR LEPA 271600Z	22010KT	170V260	9999	FEW020	29/22	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271630Z	21009KT	170V240	9999	FEW020	29/22	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271700Z	22009KT	190V260	9999	FEW020	28/22	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271730Z	22008KT	190V250	9999	FEW020	28/22	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271800Z	22007KT	190V250	9999	FEW020	28/22	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271830Z	20005KT	170V240	9999	FEW020	27/22	Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 271900Z	21004KT	9999	FEW020	27/22	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 271930Z	20003KT	9999	FEW020	27/22	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272000Z	17004KT	9999	FEW020	27/22	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272030Z	15003KT	9999	FEW020	26/22	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272100Z	16002KT	9999	FEW020	26/22	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272130Z	VRB02KT	9999	FEW020	25/21	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272200Z	08002KT	9999	FEW020	24/21	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272230Z	07003KT	9999	FEW020	23/21	Q1017	NOSIG=
METAR LEPA 272300Z	07003KT	9999	FEW020	22/20	Q1017	NOSIG=

Figura 9. Secuencia de reportes METAR correspondiente al 27 de agosto de 2018, entre las 8:00 UTC y las 23:00 UTC en LEPA durante un episodio de brisa pura. El recuadro destaca el campo de viento observado durante el establecimiento de la brisa de mar, entre las 10 UTC y las 19:00 UTC.

Un escenario complementario al que se ha descrito es el de la **brisa atípica**. En este caso, se trata de una situación prácticamente idéntica si bien, a la célula de brisa se yuxtapone un viento sinóptico del NE. En este caso, la brisa de mar tendría serias dificultades para penetrar hacia el interior. Así, podría formarse una línea de convergencia más o menos estacionaria en las cercanías del aeropuerto con potencial impacto en la aproximación al mismo. Las [figuras 10 y 11](#) resumen gráficamente lo que se ha descrito.

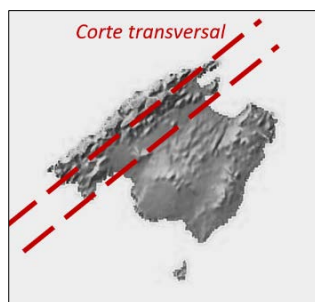


Figura 10. Doble perfil orográfico en Mallorca, con orientación de noreste a suroeste, complementario para representar el modelo conceptual de las brisas en LEPA de la figura 11.

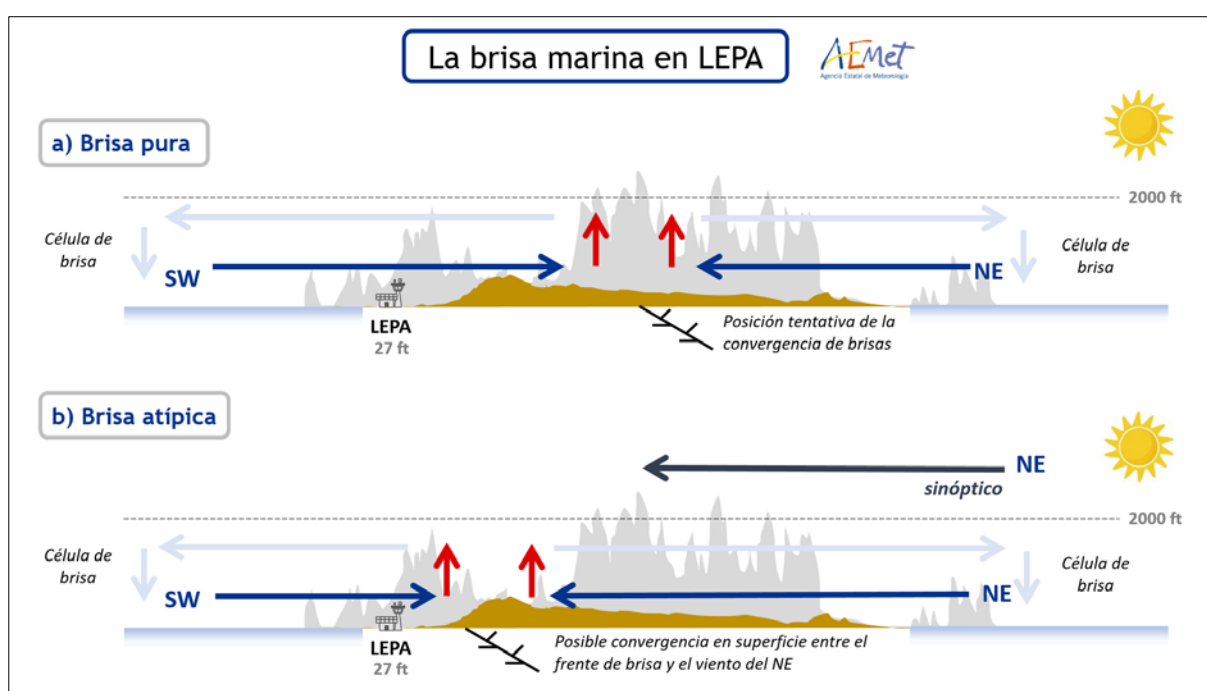


Figura 11. Comparativa de los modelos conceptuales que ilustran la brisa pura y la brisa atípica en LEPA. En gris se representa la sierra de la Tramontana (correspondiente a la Sección vertical conforme a lo indicado en la figura 10).

Hay que tener en cuenta que si la intensidad del viento del NE fuese mayor de 15 kt, se acabaría imponiendo sobre la brisa. En caso contrario, ésta última sería la que prevalecería, llegando incluso a penetrar varios kilómetros hacia el interior en su máximo apogeo.

Como ejemplo, se ha considerado el episodio del 20 de agosto de 2018. En este caso, el correspondiente mapa de análisis de superficie de las 12 UTC de la figura 12 identifica la presencia de una alta presión relativa en la fachada levantina y una baja relativa en las cercanías del golfo de Cádiz. Esta configuración favorece conjuntamente el establecimiento de un flujo sinóptico del NE en el entorno de LEPA.

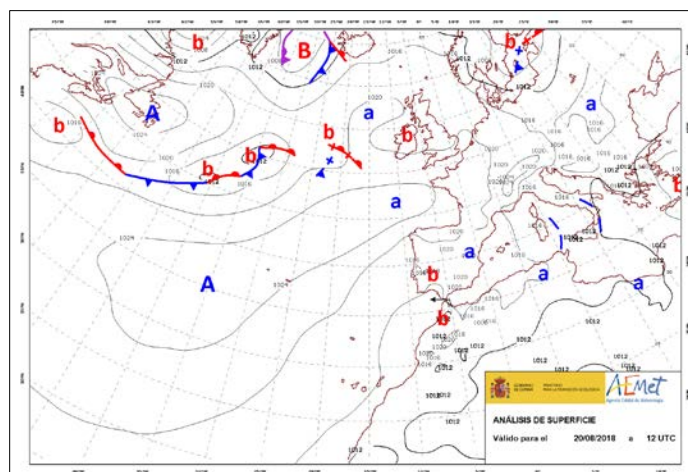


Figura 12. Análisis de superficie de las 12 UTC del 20 de agosto de 2018 como ejemplo de una situación de brisa atípica en LEPA.

La figura 13 presenta la secuencia de METAR cifrados y difundidos entre las 7:00 UTC y las 22:00 UTC en LEPA. De los reportes mostrados, se identifica un viento cuya dirección está comprendida entre los límites NE (45°) y E (90°) e intensidades cercanas a los 10 kt y se observa una tímida brisa entre las 15:30 UTC y las 18:00 UTC.

METAR LEPA 200700Z 09001KT 9999 FEW018 24/19 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 200730Z 01002G13KT 9999 FEW018 26/20 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 200800Z 35002KT 9999 FEW018 28/18 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 200830Z 02003KT 270V070 9999 FEW018 30/17 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 200900Z 03012KT 9999 FEW018 30/17 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 200930Z 05012KT 020V100 9999 FEW018 31/17 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 201000Z 07013KT 9999 FEW018 31/16 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 201030Z 05011KT 010V100 9999 FEW020 31/16 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 201100Z 03010G20KT 360V070 9999 FEW020 32/16 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 201130Z 05009KT 020V080 9999 FEW020 32/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 201200Z 07008KT 030V140 9999 FEW020 33/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 201230Z 05009KT 010V080 9999 FEW020 33/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 201300Z 06010KT 020V100 9999 FEW020 33/15 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 201330Z 08008KT 040V140 9999 FEW020 33/15 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 201400Z 07010KT 030V120 9999 FEW020 33/15 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201430Z 07008KT 030V110 9999 FEW020 34/16 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201500Z 12002KT 9999 FEW020 33/16 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201530Z 23012KT 9999 FEW020 32/19 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201600Z 22010KT 9999 FEW020 31/18 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201630Z 21009KT 180V240 9999 FEW025 31/20 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201700Z 22009KT 9999 FEW025 30/20 Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 201730Z 22010KT 9999 FEW025 30/19 Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 201800Z 20007KT 170V230 9999 FEW025 30/19 Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 201830Z 18004KT 150V210 9999 FEW025 29/19 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201900Z 15004KT CAVOK 29/19 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 201930Z 12003KT 060V150 CAVOK 28/19 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 202000Z 07003KT 030V130 CAVOK 26/19 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 202030Z VRB02KT CAVOK 25/19 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 202100Z 11004KT CAVOK 25/19 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 202130Z 00000KT CAVOK 24/18 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 202200Z VRB01KT CAVOK 24/19 Q1017 NOSIG=

Figura 13. Secuencia de reportes METAR correspondiente al 20 de agosto de 2018, entre las 7:00 UTC y las 22:00 UTC en LEPA durante un episodio de brisa atípica. El recuadro destaca el viento medio igual o superior a 10 kt.

3.2. 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. En aeronáutica es muy importante ya que puede producir cambios en la componente de viento de cara sobre la aeronave y originar cambios bruscos en su sustentación.

Puede presentarse en todos los niveles de la atmósfera, siendo especialmente importante cuando se detecta por debajo de los 1600 ft (LLWS: *Low Level Windshear*, Cizalladura de Niveles Bajos) ya que es donde las aeronaves llevan a cabo las operaciones de aproximación y ascenso (OACI Doc. 9817, 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.

3.2.1. La cizalladura en LEPA: la brisa atípica

La presencia de cizalladura en la aproximación a LEPA puede estar motivada por la formación de la brisa atípica, escenario ya descrito en el apartado 3.1 ([figura 11](#)). En este caso, el impacto es más notorio en la aproximación a las cabeceras 06 ya que las aeronaves tienen viento de cara en altura (por encima de los 1000 ft) y viento en cola en superficie. Por su parte, la aproximación por la 24 no es favorable, pues hay viento en cola durante toda la aproximación.

3.2.2. La cizalladura en LEPA: tormentas por convergencia de brisas

Si en superficie hay un débil gradiente bórico y escasa nubosidad, se darían las condiciones propicias para la formación de brisas a lo largo del litoral de la isla. Teniendo en cuenta la extensión de la isla y su particular orografía, significada por la presencia de una planicie central bordeada en sus dos flancos laterales por dos sistemas montañosos orientados de SW a NE, tienden a conducir a la formación de una línea de convergencia en su parte central. Si a lo anterior, se añaden la inestabilidad y un aporte suficiente de humedad como ingredientes adicionales, la formación de tormentas sería una posibilidad real.

La convergencia de brisas es un forzamiento en niveles bajos que organiza y dispara la convección en el interior de la isla. Cuanto más prolongada sea ésta, mayor será la severidad perceptible en forma de intensos chubascos y fuertes rachas de viento que, en última instancia, ocasionan la reducción de visibilidad en la aproximación o la presencia de cizalladura en niveles bajos.

Los ingredientes para la formación de tormentas por convergencia de brisas pueden resumirse en tres: humedad (aportada por la brisa de mar), inestabilidad (calentamiento de la superficie por insolación) y mecanismo de disparo (convergencia en el interior) ([figura 14](#)). Este tipo de tormentas tiene un ciclo de vida característico: una primera fase de formación en la que la nube se desarrolla y únicamente hay corrientes ascendentes, una

fase de madurez en la que coexisten corrientes ascendentes y descendentes y una de disipación en la que únicamente hay corrientes descendentes.

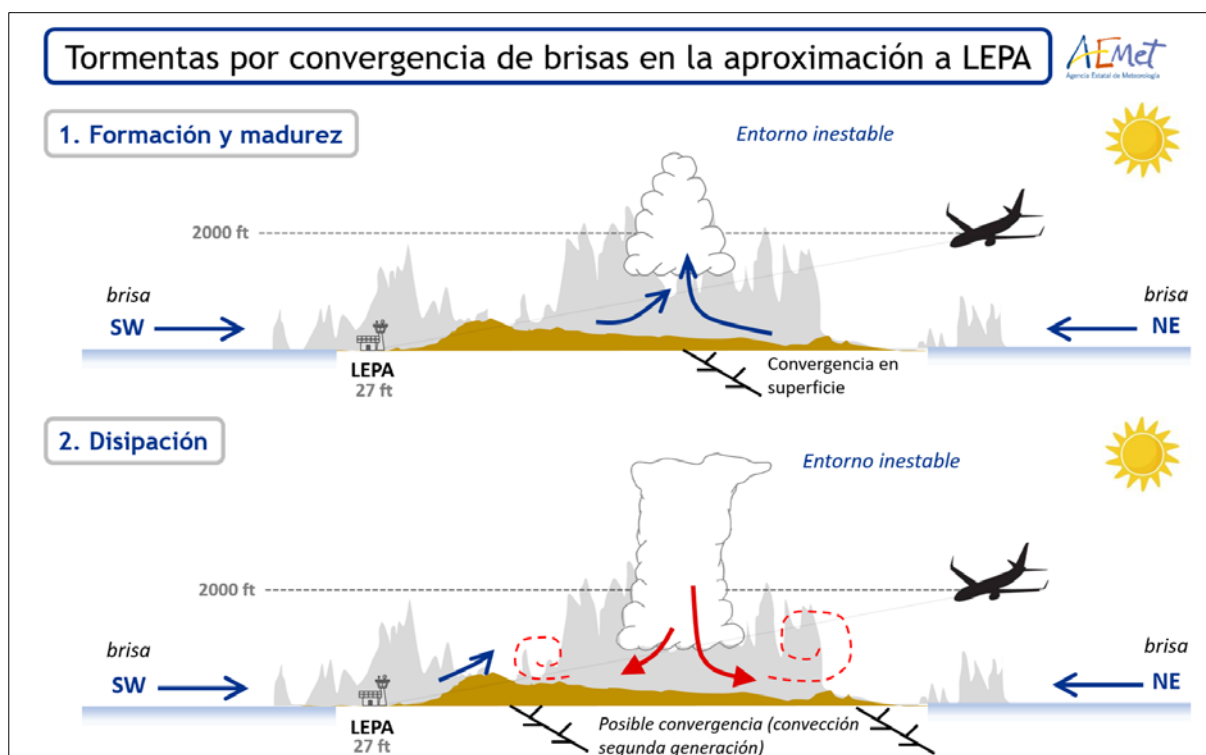


Figura 14. Modelo conceptual de la formación de tormentas por convergencia de brisas en LEPA. La peculiar orografía de la isla juega un papel esencial en su formación.

El impacto de las tormentas en la aproximación al aeropuerto de Palma de Mallorca es básicamente la cizalladura, aunque la presencia de una tormenta esté asociada a otros peligros en vuelo. La cizalladura se presenta en la fase de madurez pero especialmente en la de disipación pudiendo generar situaciones críticas con remolinos y frentes de racha al alcanzar la superficie la corriente descendente.

Un ejemplo que podría ilustrar lo anteriores la tormenta acaecida el 22 de agosto de 2018 en el interior de la isla de Mallorca. En el mapa de altura previsto para ese día a las 12 UTC (figura 15), se observa la presencia de un extenso anticiclón centrado en el Atlántico Norte y Mediterráneo occidental y bajas presiones relativas en el suroeste peninsular, meseta norte y valle del Ebro. Se constata, además, la formación de tormentas en numerosas zonas de montañas del interior peninsular y en Mallorca, lo que implica un ambiente inestable.

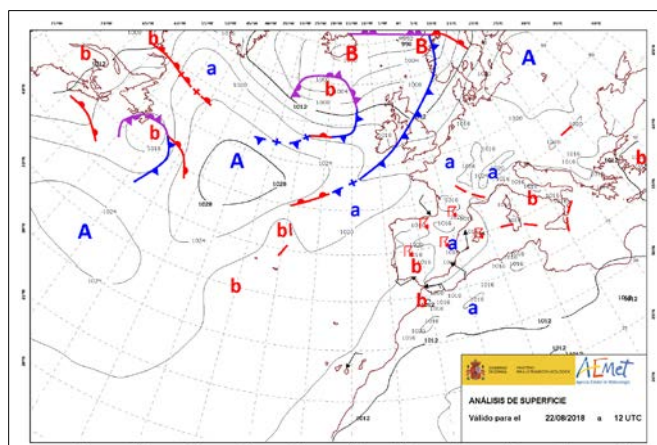


Figura 15. Análisis de superficie de las 12 UTC del 22 de agosto de 2018 como ejemplo de una situación favorable a la formación de tormentas por convergencia de brisas en LEPA.

En la figura 16 se destacan el viento medio (igual o superior a 10 kt) y otros campos que confirman la presencia de tormentas (nubosidad, tormentas en la vecindad y chubascos) en las inmediaciones de LEPA. La cizalladura no necesariamente tiene su reflejo en el propio aeropuerto y en ocasiones se experimenta únicamente en la aproximación. En el caso que aquí se muestra, LEPA seguía teniendo el régimen de brisas, si bien con pequeños cambios en la dirección del viento.

METAR LEPA 221000Z	10002KT	CAVOK	32/17	Q1016	BECMG	20010KT=
METAR LEPA 221030Z	23009KT	9999	FEW030	32/18	Q1016	NOSIG=
METAR LEPA 221100Z	23011KT	9999	FEW030	31/20	Q1016	TEMPO FEW030CB=
METAR LEPA 221130Z	24013KT	9999	FEW030	31/22	Q1015	TEMPO FEW030CB=
METAR LEPA 221200Z	23012KT	9999	FEW030TCU	31/21	Q1015	TEMPO FEW030CB=
METAR LEPA 221230Z	22014KT	9999	FEW030TCU	31/20	Q1015	TEMPO FEW030CB=
SPECI LEPA 221251Z	22015KT	9999	VCTS	FEW030CB	30/21	Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221300Z	23015KT	9999	VCTS	FEW030CB	31/22	Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221330Z	21014KT	9999	VCTS	FEW030CB	31/21	Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221400Z	21012KT	170V240	9999	VCTS	FEW030CB	31/22 Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221430Z	19012KT	160V230	9999	FEW030CB	31/22	Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221500Z	21010KT	160V240	9999	FEW030TCU	30/22	Q1015 TEMPO SCT030CB=
SPECI COR LEPA 221513Z	20010KT	150V230	9999	VCTS	FEW030CB	30/22 Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221530Z	21010KT	150V250	9999	FEW030CB	30/22	Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
METAR LEPA 221600Z	20009KT	160V240	9999	FEW030CB	30/22	Q1015 TEMPO 4000 TSRA=
SPECI LEPA 221610Z	20007KT	140V240	9999	FEW030	29/22	Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 221630Z	21008KT	180V240	9999	FEW030	30/22	Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 221700Z	22008KT	170V260	9999	FEW030	29/22	Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 221730Z	21007KT	9999	FEW030	29/22	Q1015	NOSIG=
METAR LEPA 221800Z	21006KT	170V240	9999	FEW030	29/22	Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 221830Z	20004KT	170V240	9999	FEW030	28/23	Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 221900Z	18003KT	CAVOK	28/23	Q1015	NOSIG=	
METAR LEPA 221930Z	15003KT	CAVOK	28/22	Q1016	NOSIG=	
METAR LEPA 222000Z	VRB02KT	CAVOK	26/22	Q1016	NOSIG=	

Figura 16. Secuencia de reportes METAR correspondiente al 22 de agosto de 2018, entre las 10:00 UTC y las 20:00 UTC en LEPA durante un episodio de tormenta por convergencia de brisas.

3.2.3. La cizalladura en LEPA: tormentas causadas por forzamiento dinámico en altura

La formación de tormentas por forzamiento dinámico en capas altas de la atmósfera constituye otra de las causas precursoras de la presencia de cizalladura en la aproximación a LEPA.

Como ejemplo, se muestra la situación del 27 de octubre de 2018. En la guía técnica de diagnóstico de niveles altos de las 12 UTC (figura 17) elaborada por AEMET se identifican las estructuras principales de la atmósfera y su movimiento a gran escala: la presencia de una profunda vaguada conducida en su parte trasera por un chorro de dirección norte e intensidad igual a 150 kt que progresivamente se desplaza hacia el área Mediterránea.

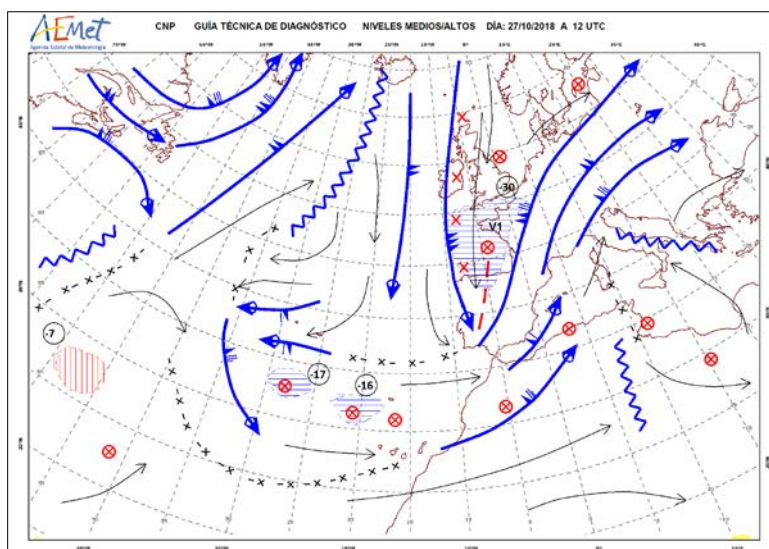


Figura 17. Guía técnica de diagnóstico de niveles altos de las 12 UTC correspondiente al 27 de octubre de 2018 como ejemplo de una situación precursora de tormentas por forzamiento dinámico en altura.

Por su parte, en el mapa de análisis de superficie de las 12 UTC (figura 18) se constata la presencia de un extenso anticiclón atlántico que se extiende desde las latitudes más septentrionales hasta el sur de Azores y, al norte, se identifica una borrasca centrada en el mar Báltico con un frente frío asociado muy extenso que barre la Península de noroeste a sureste. En el entorno de Baleares se produce un proceso de ciclogénesis en el propio frente al confluir el SW (flujo de viento cálido y húmedo desde el mar de Alborán) y el NW (flujo de viento más seco y frío desde el valle del Ebro).

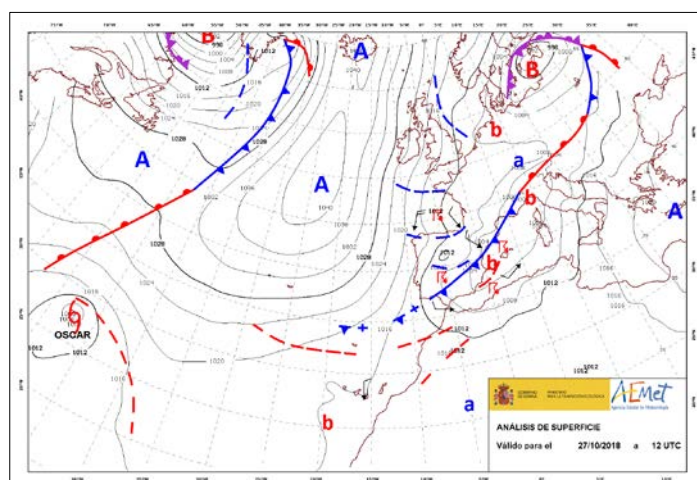


Figura 18. Análisis de superficie de las 12 UTC del 27 de octubre de 2018 como ejemplo de una situación precursora de tormentas por forzamiento dinámico.

La figura 19 destaca el viento medio (igual o superior a 10 kt) y otros campos que confirman la presencia de tormentas (nubosidad, tormentas en la vecindad y chubascos) en las inmediaciones a LEPA.

```

METAR LEPA 270900Z 36001KT 4500 BR FEW014 SCT020 FEW025TCU 18/17 Q1004 TEMPO
FEW025CB=
METAR LEPA 270930Z VRB01KT 4500 BR FEW020 FEW030TCU 18/18 Q1003 TEMPO FEW025CB=
SPECI LEPA 270950Z VRB01KT 6000 FEW020 FEW030TCU 19/18 Q1002 TEMPO 4000 TSRA
SCT025CB=
METAR LEPA 271000Z NIL=
SPECI LEPA 271006Z 21018KT 2000 TSRA FEW020 FEW025CB 19/18 Q1002 NOSIG=
SPECI LEPA 271017Z 21020G39KT 190V250 1000 R24L/1400U R24R/P2000 TSRA SCT020
FEW025CB BKN030 18/17 Q1002 TEMPO 3000 SCT025CB=
METAR LEPA 271030Z 24015KT 3000 -TSRA SCT020 FEW025CB BKN030 18/18 Q1002
RERA TEMPO SCT025CB=
SPECI LEPA 271034Z 24017G31KT 190V270 1000 R24L/1900D R24R/P2000 TSRA SCT020
FEW025CB BKN030 18/17 Q1003 TEMPO 3000 SCT025CB=
SPECI LEPA 271037Z 23018G31KT 190V270 0500 R24L/1900D R24R/P2000 +TSRA SCT020
FEW025CB BKN030 18/17 Q1003 TEMPO 3000 SCT025CB=
METAR LEPA 271100Z 27015KT 240V300 0800 R24L/1800U R24R/P2000 +TSRA SCT020
FEW025CB 18/18 Q1002 TEMPO 3000 SCT025CB=
METAR LEPA 271130Z 24010KT 210V270 1000 R24L/1900N R24R/P2000 +TSRA SCT020
FEW025CB 17/17 Q1002 TEMPO 3000 SCT025CB=
SPECI LEPA 271140Z 23005KT 2500 RA FEW015 FEW025CB SCT050 17/17 Q1001 RETS
TEMPO 3000=
METAR LEPA 271200Z 22002KT 4000 -RA FEW012 FEW025CB SCT050 17/17 Q1000 RETS
RERA BECMG NSW=
SPECI LEPA 271211Z VRB02KT 7000 -RA FEW012 FEW025CB SCT050 17/17 Q1000 RETS
RERA BECMG NSW=
METAR COR LEPA 271230Z 23001KT 7000 FEW020 FEW025TCU SCT050 18/17 Q1000 NOSIG=
METAR LEPA 271300Z 19004KT 7000 FEW015 FEW025TCU SCT060 18/18 Q0999 NOSIG=
METAR LEPA 271330Z 23008KT 8000 FEW016 FEW025TCU SCT030 18/17 Q0999 NOSIG=
METAR LEPA 271400Z 30011KT 260V350 9999 FEW016 FEW025TCU BKN060 18/16 Q0998
NOSIG=
METAR LEPA 271430Z 35009KT 310V020 9999 RA FEW016 FEW025TCU BKN060 17/16
Q0998 NOSIG=
SPECI LEPA 271442Z 04007KT 360V090 9999 FEW016 FEW025TCU SCT060 17/16 Q0999
RERA NOSIG=
METAR LEPA 271500Z 06008KT 030V090 9999 FEW016 FEW025TCU SCT060 17/16 Q0998
RERA NOSIG=

```

Figura 19. Secuencia de reportes METAR correspondiente al 27 de octubre de 2018, entre las 9:00 UTC y las 15:00 UTC en LEPA durante un episodio de tormenta por forzamiento dinámico en altura.

3.3. TURBULENCIA

En esencia, la turbulencia está causada por cambios bruscos en la dirección o velocidad del viento, es decir, por la presencia de cizalladura. Particularmente, se habla de turbulencia aeronáutica cuando esta tiene impacto en los parámetros de vuelo, ya que una aceleración vertical u horizontal resultante podría afectar al comportamiento de una aeronave.

La turbulencia representa un estadio dinámico del flujo atmosférico, como fluido que es. La presencia de obstáculos en niveles bajos así como los cambios observados en los campos de geopotencial o temperatura en niveles medios y altos, constituyen los mecanismos básicos que provocan cambios en el viento y que, en última instancia, pueden formar vórtices o remolinos aleatorios. 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 categorización de la turbulencia en tres estadios (ligera, moderada o fuerte) está determinada según el tamaño de la aeronave y la notoriedad con la que la cizalladura se manifiesta.

3.3.1. La turbulencia en LEPA: ondas de montaña

La situación de viento del NW (conocido como Mestral en la isla) es un entorno favorable para la presencia de turbulencia en la aproximación a LEPA. Teniendo en cuenta la intensificación de este flujo cuando desemboca en el Mediterráneo y la particular orientación y altitud de la Sierra de Tramontana, cabe la posibilidad de que a sotavento se formen vórtices turbulentos. Se trata de una estructura de tamaño mesoescalar compuesta por una colección de ascensos y descensos verticales consecutivos y dotados con el suficiente tamaño como para perturbar la sustentación de las aeronaves que se aproximan al aeropuerto. Para más información, véase el modelo conceptual ilustrado en la [figura 21](#), elaborado en virtud del perfil orográfico señalado en la [figura 20](#).

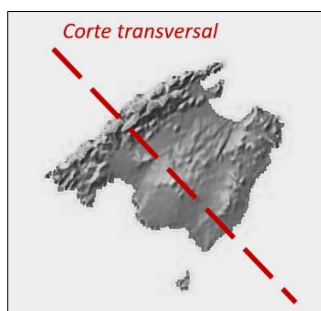


Figura 20. Orientación del perfil orográfico en relación a la isla que se muestra en la [figura 21](#).

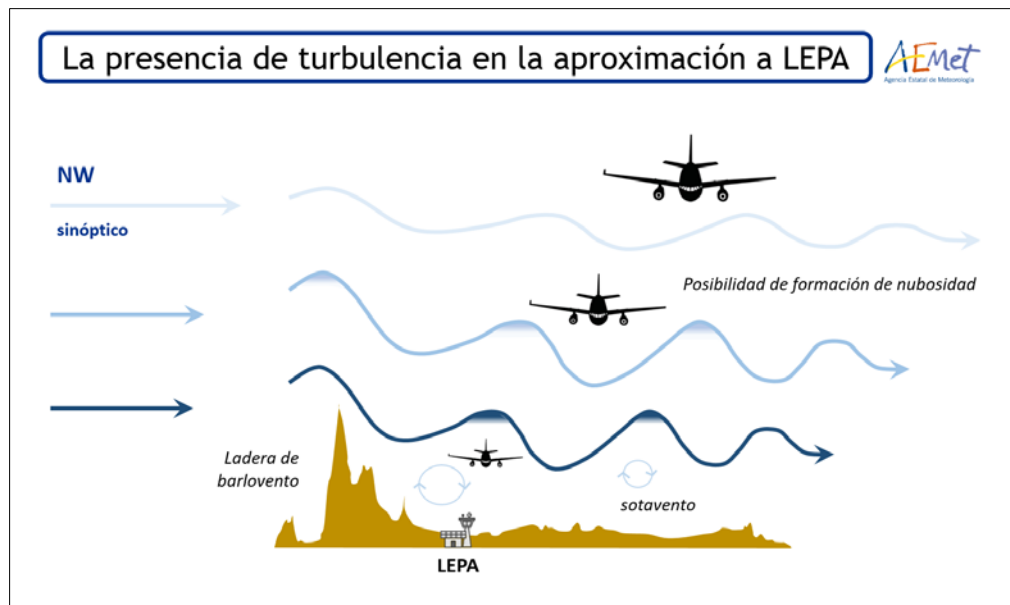


Figura 21. Modelo conceptual que ilustra la presencia de turbulencia en la aproximación a LEPA de acuerdo al perfil orográfico mostrado en la figura 20.

La situación sinóptica más propicia para formar ondas de montaña se produce cuando están presentes un anticiclón atlántico y una baja presión en el golfo de Génova o norte de Italia. El consecuente flujo de componente N que se establece en virtud de esta configuración y su posterior perturbación a sotavento de la Sierra de Tramontana da como resultado un viento racheado del NW en LEPA.

Así, el episodio del 28 de enero de 2019 se ajustaría a lo descrito anteriormente a tenor de la figura 22.

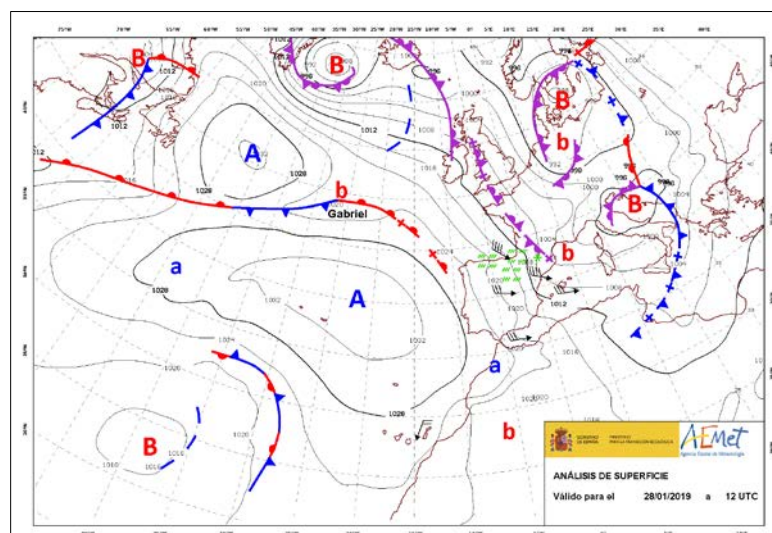


Figura 22. Análisis de superficie de las 12 UTC del 28 de enero de 2019 como ejemplo de la presencia de turbulencia en la aproximación a LEPA.

La secuencia de reportes METAR cifrados entre las 10:00 UTC y las 23:00 UTC (figura 23) evidencia la presencia de vientos de componente N racheados (con rachas máximas que en

algunos casos se situaron muy cercanas a los 40 kt). En este caso, la aproximación a la cabecera 24L mostrada en la [figura 3](#) (configuración preferente) se vería afectada si los circuitos de espera y la senda de planeo se encuentran a sotavento.

METAR LEPA 281000Z 27010KT 240V300 9999 FEW020 14/04 Q1009 NOSIG=
METAR LEPA 281030Z 26015KT 9999 FEW020 15/05 Q1009 NOSIG=
METAR LEPA 281100Z 26016KT 9999 FEW020 15/04 Q1009 NOSIG=
METAR LEPA 281130Z 27016KT 240V320 9999 FEW020 14/05 Q1008 NOSIG=
METAR LEPA 281200Z 26017KT 230V290 9999 FEW020 14/05 Q1007 NOSIG=
METAR LEPA 281230Z 27017KT 250V320 9999 FEW020 15/04 Q1007 NOSIG=
METAR LEPA 281300Z 29016G26KT 250V340 9999 FEW020 16/05 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281330Z 29016KT 240V320 9999 FEW020 15/06 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281400Z 30016KT 270V340 9999 FEW020 15/05 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281430Z 31021G33KT 280V340 9999 FEW020 15/05 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281500Z 31027G39KT 280V010 9999 FEW020 15/06 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281530Z 31025G36KT 9999 FEW020 15/06 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281600Z 32026G40KT 9999 FEW020 15/05 Q1006 NOSIG=
METAR LEPA 281630Z 32024G34KT 290V350 9999 FEW020 14/06 Q1007 NOSIG=
METAR LEPA 281700Z 32024G34KT 9999 FEW020 14/06 Q1007 NOSIG=
METAR LEPA 281730Z 32023G35KT 290V350 9999 FEW020 14/05 Q1008 NOSIG=
METAR LEPA 281800Z 33020KT 9999 FEW020 14/06 Q1008 NOSIG=
METAR LEPA 281830Z 32022G33KT 9999 FEW020 14/06 Q1008 NOSIG=
METAR LEPA 281900Z 32021G32KT 290V350 9999 FEW020 14/06 Q1009 NOSIG=
METAR LEPA 281930Z 33018G29KT 9999 FEW020 13/05 Q1009 NOSIG=
METAR LEPA 282000Z 33012KT 9999 FEW020 13/05 Q1009 NOSIG=
METAR LEPA 282030Z 33015KT 300V360 9999 FEW020 13/05 Q1010 NOSIG=
METAR LEPA 282100Z 33016G26KT 9999 FEW020 13/05 Q1010 NOSIG=
METAR LEPA 282130Z 34013KT 300V360 9999 FEW020 13/05 Q1010 NOSIG=
METAR LEPA 282200Z 32013KT 9999 FEW020 13/06 Q1011 NOSIG=
METAR LEPA 282230Z 33013KT 9999 FEW020 12/06 Q1011 NOSIG=
METAR LEPA 282300Z 31012KT 9999 FEW020 12/05 Q1011 NOSIG=

Figura 23. Secuencia de reportes METAR en LEPA correspondiente al 28 de enero de 2019, entre las 10:00 UTC y las 23:00 UTC durante una situación de Mestral. Se destacan las fuertes rachas observadas superiores a 25 kt (umbral para aviso de viento cruzado), llegando incluso a 40 kt.

3.4. NIEBLA

La visibilidad meteorológica es la distancia máxima a la que un determinado objeto puede ser visto y reconocido contra el horizonte por un observador, sin que intervenga un procedimiento de iluminación. En relación con la visibilidad horizontal, se define el alcance visual en pista, RVR (en inglés: *Runway Visual Range*), como la máxima distancia horizontal a la que el piloto de una aeronave puede observar las marcas o señales luminosas que delimitan la pista o que señalan su eje.

Por lo general, la niebla es el fenómeno meteorológico por excelencia al que está asociado la reducción de la visibilidad en el aeródromo. Consiste en la suspensión en el aire de gotitas microscópicas de agua formadas como consecuencia de la condensación del vapor de agua, formando un velo blanquecino que cubre el paisaje y reduce la visibilidad horizontal en superficie a menos de un kilómetro. Si la visibilidad horizontal fuese mayor, en tal caso se hablaría de bruma.

3.4.1. Nieblas de irradiación

Este tipo de nieblas son de carácter nocturno, pues se trata de la fase del día en la que el enfriamiento de la superficie es más efectivo. Los ingredientes para su formación son los siguientes:

- Enfriamiento de la superficie favorecido por cielo despejado y estabilidad
- Viento flojo, sin una dirección definida
- Humedad en niveles bajos

En el caso particular de LEPA, las nieblas de irradiación suelen ser frecuentes entre los meses de noviembre y marzo, aunque ocasionalmente puedan formarse en otros meses.

Por lo general, su ciclo de formación y posterior disipación abarca el intervalo comprendido entre la 1:00 UTC y las 8:00 UTC. Durante ese tiempo, si el ambiente es estable con cielo despejado, la irradiación nocturna de la superficie da lugar al enfriamiento de la capa de aire más próxima a la superficie. De esta forma, aparecerá una inversión que favorecerá la condensación por enfriamiento del vapor de agua y en última instancia, la formación de la bruma como paso previo a la niebla. Al amanecer, y durante un breve intervalo de tiempo (entre 10 y 20 minutos), sucede un hecho paradójico: la niebla no se disipa sino que se densifica repentinamente. Este hecho puede explicarse en base al siguiente mecanismo: la insolación activa la evaporación del agua depositada en la superficie y, en consecuencia, se produce un incremento de la concentración del vapor de agua en las capas más bajas de la atmósfera que ya está saturada (porque inicialmente había niebla). De esta forma, este exceso de vapor de agua en el aire se condensa haciendo que la niebla sea más densa. Transcurrido este breve periodo de tiempo, la niebla se disipa por el calentamiento del sol ([figura 24](#)).

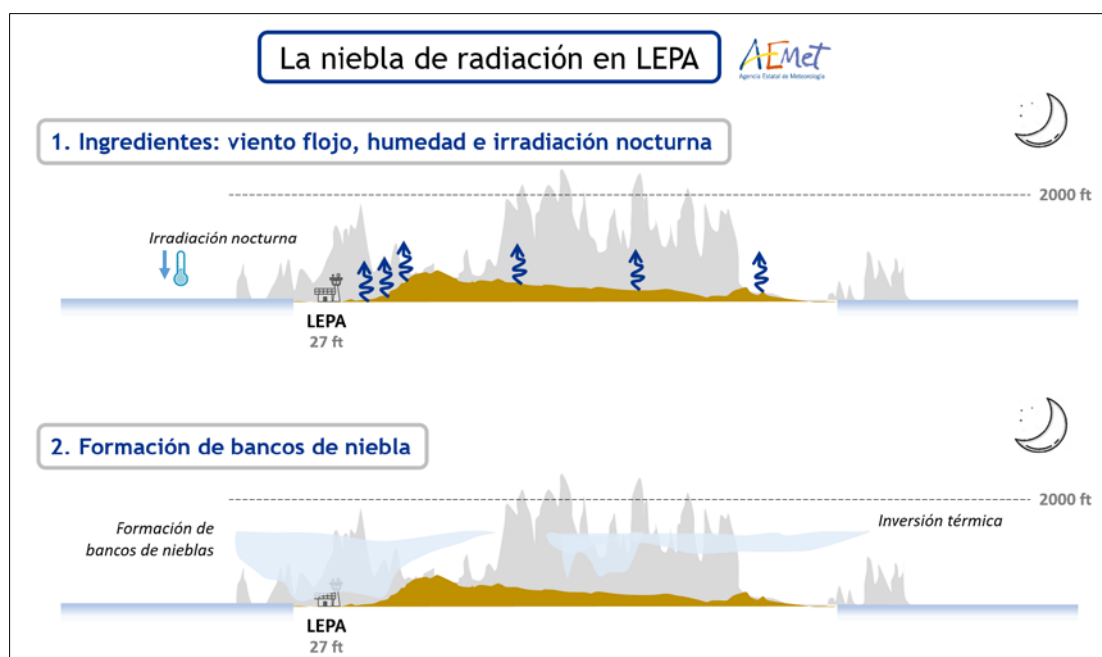


Figura 24. Modelo conceptual que ilustra la formación de las nieblas de irradiación nocturna en LEPA.

Es muy común en LEPA que la niebla sea en forma de bancos que aparecen en las inmediaciones de las cabeceras 24, particularmente en la 24L pues se ubica en una zona inundable. De hecho, durante algunas fases del año, suele estar encharcada y por tanto, constituye una fuente de humedad (véase [figura 3](#)).

El episodio del 23 de febrero de 2020 es el que mejor se ajustaría a lo descrito anteriormente. El análisis de superficie correspondiente a las 0 UTC de la [figura 25](#) muestra la presencia de un anticiclón atlántico que se extiende desde las Azores hasta el norte peninsular y norte de África y de un pequeño seno de bajas presiones en el oeste de Marruecos que se prolonga hasta el golfo de Cádiz.

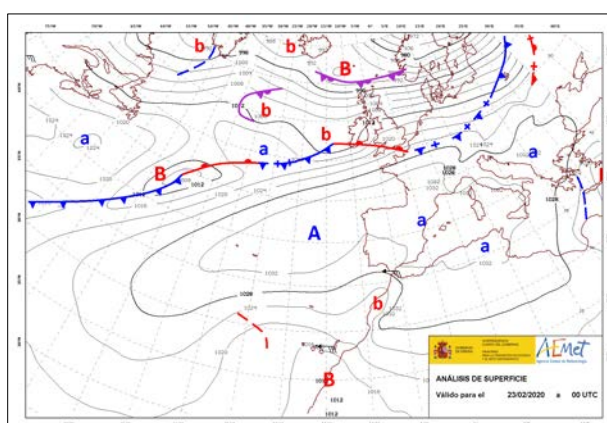


Figura 25. Análisis de superficie de las 0 UTC del episodio del 23 de febrero de 2020 como ejemplo de un escenario de nieblas por irradiación nocturna.

El escaso gradiente bórico que se constata en el archipiélago balear favorece que el viento en LEPA sea débil y el enfriamiento por irradiación nocturna ([figura 26](#)).

METAR LEPA 230000Z VRB01KT 9999 FEW008 07/06 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 230030Z 00000KT 9999 FEW008 08/08 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 230100Z 04002KT 9999 FEW008 05/05 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 230130Z 04002KT 9999 FEW008 06/05 Q1034 NOSIG=
SPECI LEPA 230155Z 00000KT 8000 2000NE R24L/P2000 R24R/0800D MIFG FEW001 06/06 Q1033 NOSIG=
METAR LEPA 230200Z 00000KT 8000 2000NE R24L/P2000 R24R/1100U MIFG FEW001 06/06 Q1033 TEMPO 3000=
METAR LEPA 230230Z VRB02KT 8000 2000NE MIFG FEW001 05/05 Q1033 TEMPO 3000=
METAR LEPA 230300Z 02001KT 8000 1900NE BCFG FEW001 05/05 Q1033 TEMPO 2000=
METAR LEPA 230330Z 00000KT 8000 1900NE R24L/P2000 R24R/1400U BCFG FEW001 05/05 Q1033 TEMPO 2000=
SPECI LEPA 230357Z VRB02KT 7000 1000E R24L/0700D R24R/1800D BCFG FEW001 05/05 Q1033 TEMPO 2000=
METAR LEPA 230400Z VRB02KT 7000 0900E R24L/0700D R24R/1700U BCFG FEW001 05/05 Q1033 TEMPO 2000=
METAR LEPA 230430Z 00000KT 7000 0900E R24L/0325N R24R/1100U BCFG SCT001 04/04 Q1033 TEMPO 2000=
METAR COR LEPA 230500Z 10002KT 0900 R24L/1000D R24R/0250D BCFG SCT001 04/04 Q1033 TEMPO 0500 BCFG BKN001=
METAR LEPA 230530Z 04001KT 0900 R24L/1200U R24R/1000U BCFG SCT001 04/04 Q1033 TEMPO 0500 BCFG BKN001=
SPECI LEPA 230557Z 00000KT 0700 R24L/P2000 R24R/0450D BCFG SCT001 04/04 Q1033 TEMPO 0500 BCFG BKN001=
METAR LEPA 230600Z 00000KT 0700 R24L/P2000 R24R/0450D BCFG SCT001 04/04 Q1033 TEMPO 0500 BCFG BKN001=
SPECI LEPA 230614Z 00000KT 0900 R24L/P2000 R24R/0800U BCFG FEW001 04/04 Q1033 TEMPO 0500 BCFG BKN001=
METAR LEPA 230630Z 00000KT 4000 0900NE BCFG SCT001 03/03 Q1033 TEMPO 0500 BCFG BKN001=
METAR LEPA 230700Z VRB02KT 4500 0900NE R24L/2000N R24R/0500D BCFG SCT001 03/03 Q1033 BECMG 6000 NSW=
METAR LEPA 230730Z VRB02KT 4500 0900NE R24L/200N R24R/0325N BCFG FEW001 05/05 Q1033 BECMG 6000 NSW=
METAR LEPA 230800Z 00000KT 8000 3000N FEW001 07/07 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 230830Z VRB01KT 9000 FEW005 09/09 Q1034 NOSIG=
METAR COR LEPA 230900Z 01003KT 290V040 9999 FEW005 12/12 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 230930Z 34001KT 9999 FEW030 14/12 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 231000Z VRB01KT 9999 FEW030 16/13 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 231030Z 18001KT 9999 FEW030 17/12 Q1034 NOSIG=
METAR LEPA 231100Z 23002KT 9999 FEW030 17/12 Q1034 NOSIG=

Figura 26. Secuencia de reportes METAR en LEPA correspondiente al 23 de febrero de 2020, entre las 00:00 UTC y las 11:00 UTC. Se destacan los campos relativos a nieblas en el apartado de tiempo significativo.

3.4.2. Nieblas de advección

A diferencia de la anterior, las nieblas de advección pueden formarse tanto de día como de noche. Son de carácter dinámico al estar impulsadas por un viento de origen sinóptico previamente establecido. Para que se produzca una niebla de estas características es necesario que una masa de aire cálida se deslice sobre una superficie más fría (en general, mar) y que la capa en contacto con dicha superficie esté saturada de humedad. De esta forma, los bancos de niebla resultantes se producen por el enfriamiento del aire sobre un mar más frío.

Los ingredientes para su formación son:

- Intensidad de viento de unos 10-12 kt
- Deslizamiento de una masa de aire cálida en comparación con el aire frío

Estas nieblas típicamente se producen por la advección de una masa de aire africana, relativamente cálida, por viento de componente S, relativamente cálido y de intensidad

aproximadamente 10 kt. Esta masa de aire procedente de África en su camino recorre el Mediterráneo (figura 27).

A pesar de que el aire procedente de África no es precisamente húmedo, durante la primera parte de su desplazamiento sobre el Mediterráneo, se carga de humedad. Las nieblas se forman cuando la masa de aire se encuentra próxima a las islas y saturada de humedad.

Climatológicamente hablando, la primavera es la época del año más propicia para que se formen aunque de forma ocasional también se formen en los meses de enero y febrero, siempre que la masa de aire sea comparativamente más cálida que la superficie del mar.

Durante el día, cuando estas nieblas llegan a LEPA, es difícil que lleguen a cubrir todas las pistas y en general se presentan como una capa de estratos bajos. Las nieblas, por lo general, suelen quedar restringidas a las cabeceras más próximas a la costa ya que el calentamiento diurno las evapora a medida que se internan en el aeropuerto. En cambio, si la incursión se produce durante las horas nocturnas, es poco probable que se disipen ya que, durante el día, la insolación no llega a la superficie y el consiguiente calentamiento superficial se retrasa.

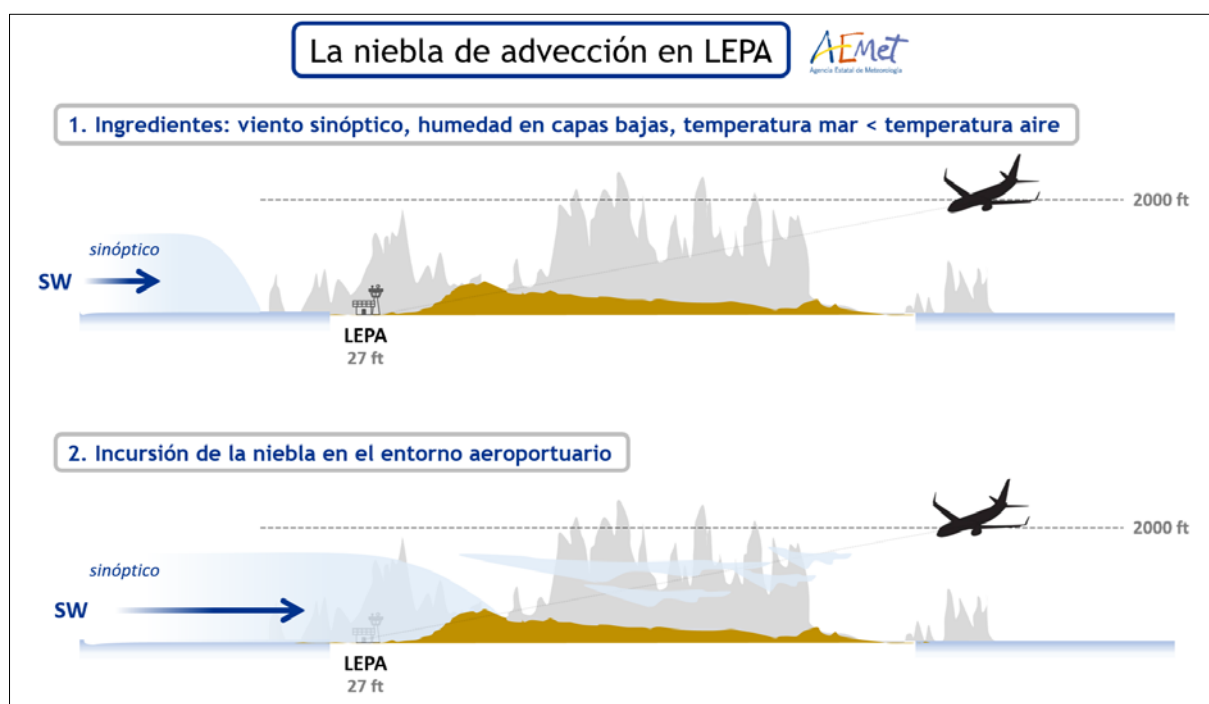


Figura 27. Modelo conceptual síntesis de la formación de las nieblas de advección en LEPA. En gris se representa la sierra de la Tramontana (correspondiente a la Sección vertical conforme a lo indicado en la figura 10).

El episodio del 7 de mayo de 2021 es el que mejor se ajustaría a lo descrito anteriormente. El mapa de análisis de superficie de las 12 UTC de la figura 28 muestra la presencia de un extenso anticiclón atlántico y una profunda borrasca atlántica al oeste de las islas Británicas. La Península y Baleares se ubican en un pantano barométrico y además, inmersas en una masa de aire cálida a causa de una dorsal térmica que penetra desde África.

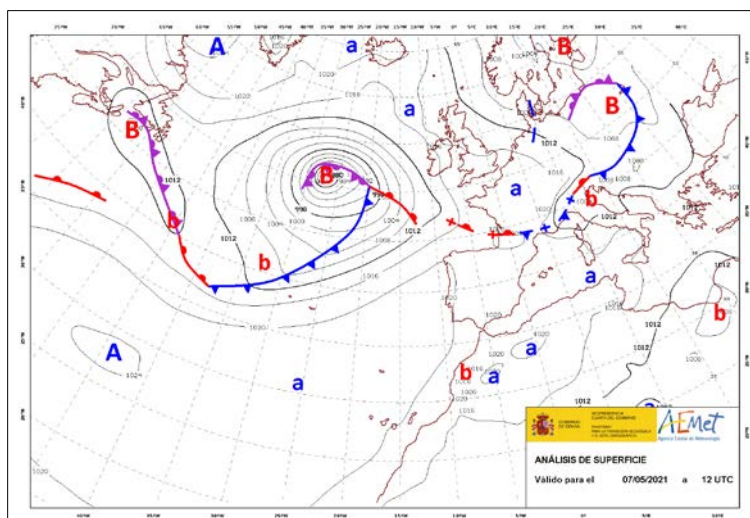


Figura 28. Análisis de superficie de las 12 UTC del episodio del 7 de mayo de 2021 como ejemplo de un escenario de nieblas por advección.

El establecimiento de un viento sinóptico de componente S (entre 200° y 230°) favorece el deslizamiento de una masa de aire de procedencia africana y más cálida en comparación con la superficie marítima. De esta forma, la nubosidad aumentará en las inmediaciones de LEPA según lo mostrado en la [figura 29](#) (BKN012 y BKN016: muy nuboso, de 5 a 7 octas, con la altura de la base de las nubes a 1200 ft y 1600 ft, respectivamente).

METAR LEPA 070400Z 00000KT 9999 SCT010 14/13 Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 070430Z VRB01KT 9999 BKN012 14/13 Q1015 NOSIG=
METAR LEPA 070500Z VRB02KT 9999 BKN011 15/13 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 070530Z 00000KT 9999 BKN012 16/14 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 070600Z VRB01KT 9999 BKN012 16/14 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 070630Z 23003KT 190V290 9999 BKN012 18/17 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 070700Z 22008KT 9999 BKN012 19/16 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 070730Z 21008KT 9999 BKN012 19/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 070800Z 21008KT 9999 BKN016 19/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 070830Z 21008KT 190V250 9999 BKN016 20/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 070900Z 22009KT 190V250 9999 BKN016 20/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 070930Z 22008KT 190V260 9999 BKN016 20/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071000Z 23008KT 170V260 9999 BKN016 21/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071030Z 21007KT 180V270 9999 BKN016 21/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071100Z 21006KT 170V250 9999 BKN016 22/16 Q1017 NOSIG=
METAR COR LEPA 071130Z 22006KT 190V280 9999 FEW018 22/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071200Z 22007KT 190V260 9999 FEW018 22/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071230Z 23008KT 200V260 9999 FEW018 22/16 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071300Z 23009KT 9999 FEW018 22/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071330Z 22009KT 190V250 9999 FEW018 22/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071400Z 22010KT 200V260 9999 FEW018 22/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071430Z 23010KT 9999 FEW018 22/17 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 071500Z 22009KT 200V260 9999 FEW018 21/17 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 071530Z 22008KT 190V260 9999 FEW018 21/16 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 071600Z 23007KT 210V290 9999 FEW018 21/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071630Z 23007KT 9999 FEW018 21/17 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 071700Z 22005KT 190V250 9999 FEW018 21/17 Q1016 NOSIG=
METAR LEPA 071730Z 24006KT 200V260 9999 FEW018 20/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071800Z 24005KT 210V280 9999 FEW018 20/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071830Z 25005KT 9999 FEW018 19/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071900Z 28004KT 240V350 9999 FEW018 19/17 Q1017 NOSIG=
METAR LEPA 071930Z 31003KT 260V350 9999 FEW018 18/17 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 072000Z 02003KT 360V060 9999 FEW018 18/17 Q1018 NOSIG=
METAR LEPA 072030Z 03002KT 9999 FEW018 18/16 Q1019 NOSIG=
METAR LEPA 072100Z 08003KT 9999 FEW018 17/16 Q1019 NOSIG=

Figura 29. Secuencia de reportes METAR en LEPA correspondiente al 7 de mayo de 2021, entre las 4:00 UTC y las 21:00 UTC.

4. Impactos

El impacto es la alteración del marco operativo 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, sino también de otros condicionantes como, por ejemplo, el tráfico, la capacidad o la dotación instrumental con la que se cuenta.

Cuantificar la vulnerabilidad de LEPA ante sus fenómenos de impacto no es fácil. Para ello, será clave disponer de información que trasciende el ámbito meteorológico, como por ejemplo: aterrizajes frustrados por condiciones meteorológicas, activación de procedimientos de baja visibilidad, activación de la suspensión de repostajes, número de cancelaciones o desvíos a aeródromos alternativos.

4.1. Las frustradas como indicador de impacto

Las condiciones meteorológicas son un factor restrictivo en la aproximación de las aeronaves al aeródromo. En este sentido y a fin de preservar la seguridad operacional, cabe señalar que un aterrizaje frustrado (motor y al aire, *go around*) es un procedimiento aeronáutico que está previsto en aquellos casos en los que una aeronave no puede culminar su arribada por la presencia de un riesgo potencial como consecuencia de un fenómeno de impacto.

En la [figura 30](#) se presenta el número relativo de frustradas por cizalladura en LEPA. La proporción se ha determinado en relación al total de frustradas correspondientes a un periodo de 5 años (2015-2019). Por simple inspección visual, puede apreciarse un máximo en el mes de agosto, en parte por el aumento de tráfico en relación al resto de meses, circunstancia que hace que LEPA sea más vulnerable.

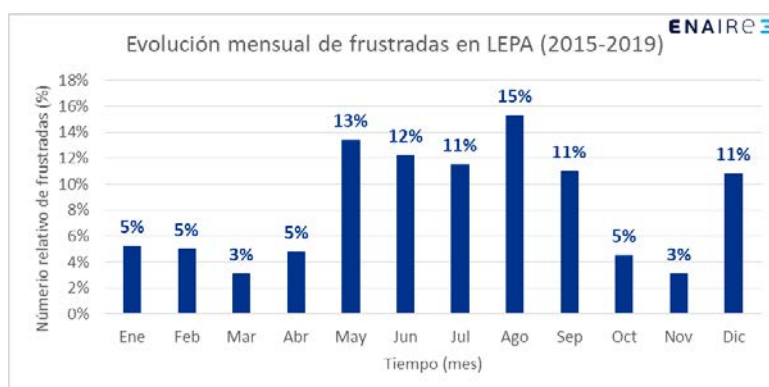


Figura 30. Número de reportes de frustradas por cizalladura en relación al total anual (periodo 2015-2019) en LEPA. Fuente: ENAIRE.

Por su parte, la [figura 31](#) presenta una clasificación de las frustradas según la causa meteorológica. ENAIRE, en el ejercicio de sus funciones como proveedor ATS, recoge y tipifica las frustradas causas por motivos meteorológicos que les reportan las aeronaves, según la siguiente nomenclatura:

- MET_CLO: techo de nubes
- MET_VIS: visibilidad reducida
- MET_WS: cizalladura
- MET_WI: viento fuerte
- MET_TAI: viento en cola
- MET_TUR: turbulencia
- MET_CRO: viento cruzado

Desde un punto de vista meteorológico, se ha considerado la siguiente agrupación a fin de optimizar la clasificación:

- Cizalladura: de conformidad con la definición mostrada en el apartado 3.2, se incluyen en esta categoría: MET_WS, MET_WI, MET_TUR y MET_TAI
- Reducción de visibilidad: de conformidad con la definición mostrada en el apartado 3.4, se incluyen en esta categoría: MET_VIS y MET_CLO
- Viento cruzado: se incluye aquellas frustradas tipificadas como MET_CRO

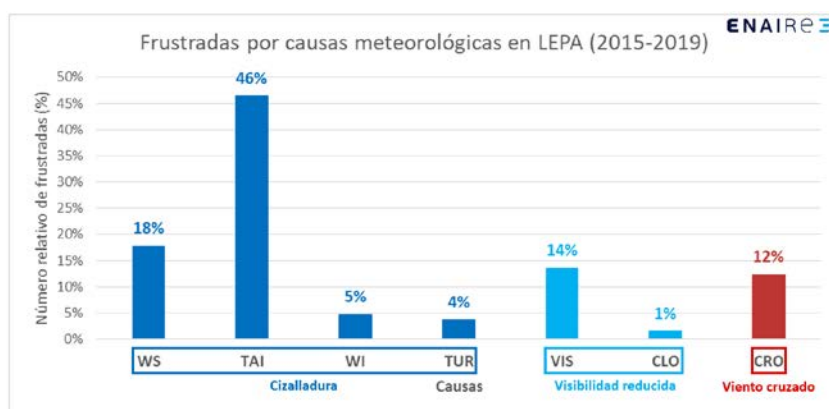


Figura 31. Número de frustradas en relación al periodo total (2015-2019) en LEPA, según la correspondiente causa meteorológica. Fuente: ENAIRE.

En relación a las frustradas reportadas por causas meteorológicas durante el periodo 2015-2019, cabe concluir:

- Son frecuentes entre los meses de mayo y agosto en parte por ser los meses con más tráfico
- Además del incremento de actividad del aeropuerto, esta época es la más propicia para la ocurrencia de tormentas (julio y agosto) y formación de brisas. Las tormentas conllevan la posibilidad de cizalladura, fenómeno de impacto en LEPA como se ha descrito. Por su parte, la brisa atípica puede situar la convergencia entre los vientos del NE y del SW justo en el aeropuerto dando lugar a situaciones en las que ambas cabeceras tienen viento en cola o en las que la línea de convergencia se encuentra muy próxima a las cabeceras y, en consecuencia, la posibilidad de frustrar el aterrizaje es más alta.

4.2. Las alertas máximas por rayos como indicador de impacto

La aplicación de avisos de rayos detectados es una herramienta de vigilancia elaborada y mantenida por AEMET con el objetivo de detectar rayos que se forman en el propio aeródromo o en sus inmediaciones, actualizando la información cada 2 minutos. De conformidad con los usuarios aeronáuticos, se han establecido tres áreas de aviso, con la emisión de sus correspondientes alertas, así como una indicación de vuelta a la situación normal:

- **Prealerta:** rayo detectado en área de prealerta ($8 \text{ km} < \text{radio} \leq 25 \text{ km}$)
- **Alerta:** rayo detectado en área de alerta ($5 \text{ km} < \text{radio} \leq 8 \text{ km}$)
- **Alerta máxima:** rayo detectado en área de alerta máxima ($\text{radio} \leq 5 \text{ km}$)
- **Situación normal:** si, transcurridos 10 minutos, no se detecta ninguna descarga eléctrica en cualquiera de las tres áreas mencionadas anteriormente.

La emisión de una alerta máxima propicia la activación de la suspensión de repostaje en el aeródromo así como la puesta en marcha de otra serie de medidas preventivas, repostaje que se reanuda normalmente con el cambio a prealerta o a situación normal.

La [figuras 32 y 33](#) muestran información sobre los avisos de alerta máxima, toda vez que son los de mayor impacto en el marco operativo de LEPA.

En primer lugar, en la [figura 32](#) se presenta la evolución media mensual de las alertas máximas difundidas por rayos detectados en un radio de 5 km alrededor del ARP (*Aerodrome Reference Point*: Punto de referencia del aeródromo) durante el periodo 2015-2019. La mitad de todas ellas ($36\%+17\%=53\%$) se concentran en los meses de septiembre y octubre, coincidiendo con el máximo climatológico de los días de tormenta.

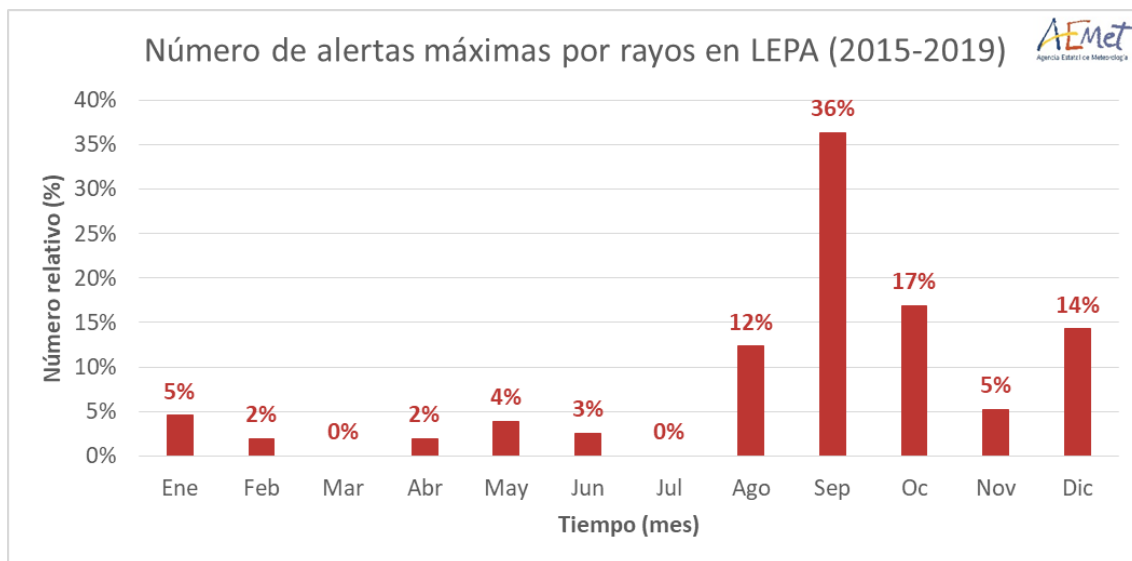


Figura 32. Número de alertas máximas por rayos en LEPA en relación al periodo 2015-2019. Fuente: AEMET.

En segundo lugar, la [figura 33](#) muestra la configuración del viento (intensidad y dirección) cuando se ha emitido una alerta máxima por rayo detectado a lo largo del periodo 2015-2019. El viento corresponde al que se cifró en el METAR cuando se emitió la referida alerta.

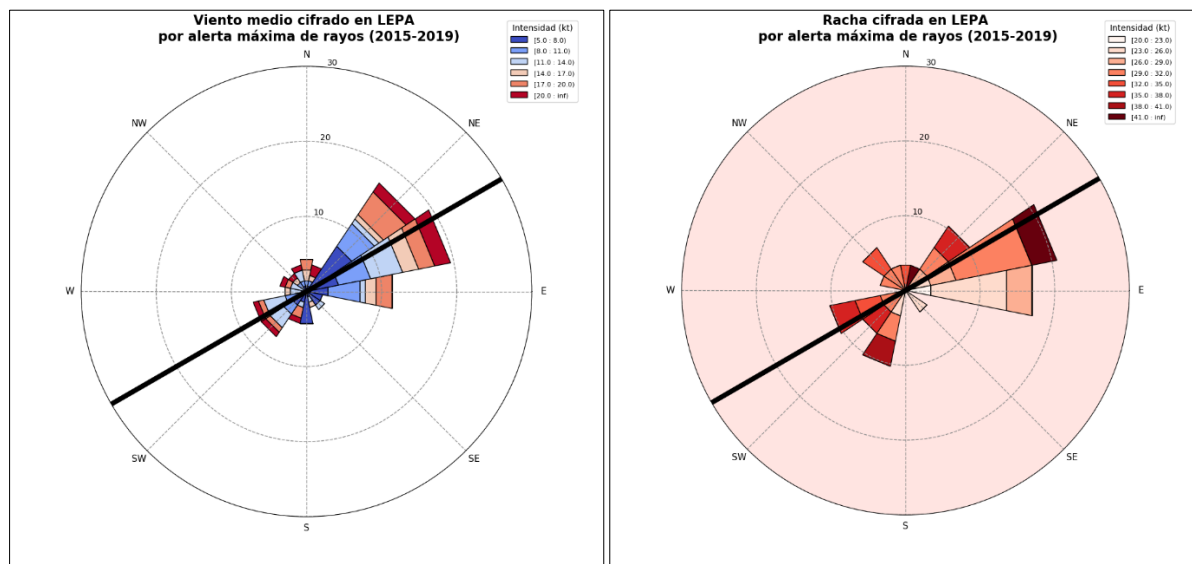


Figura 33. Viento medio y rachas cifradas en el METAR cuando se difunde una alerta máxima por rayos detectados en LEPA durante el periodo 2005-2019. Fuente: AEMET.

En este escenario, se observa que el viento y las rachas más frecuentes son de E y NE. Esta configuración sugiere que las descargas eléctricas contabilizadas proceden en su mayoría de las tormentas que se forman en el interior de la isla por convección o cuando esta convección está más próxima al aeropuerto. En esta situación, las corrientes descendentes de la tormenta, al alcanzar la superficie de la isla, divergen en todas direcciones y alcanzan el aeropuerto como viento del E. Por tanto, son estas las que tienen mayor

impacto en el marco operativo del aeropuerto en comparación con las que proceden del mar, toda vez que las direcciones NE y E son mucho más frecuentes que las del S y SW.

4.3. Campo del viento en las frustradas: escenarios de cizalladura y viento cruzado

Como ya se adelantó, en el comportamiento del viento se encuentra la razón última de las interrupciones operativas en el ámbito aeroportuario. Su análisis en un contexto restrictivo como son los aterrizajes frustrados permitirá alojar varias claves acerca del impacto.

La [figura 34](#) representa el viento medio y racha en LEPA que se cifró en el METAR cuando se reportó una frustrada por cizalladura. El periodo de estudio, una vez más, corresponde a los 5 años del periodo 2015-2019.

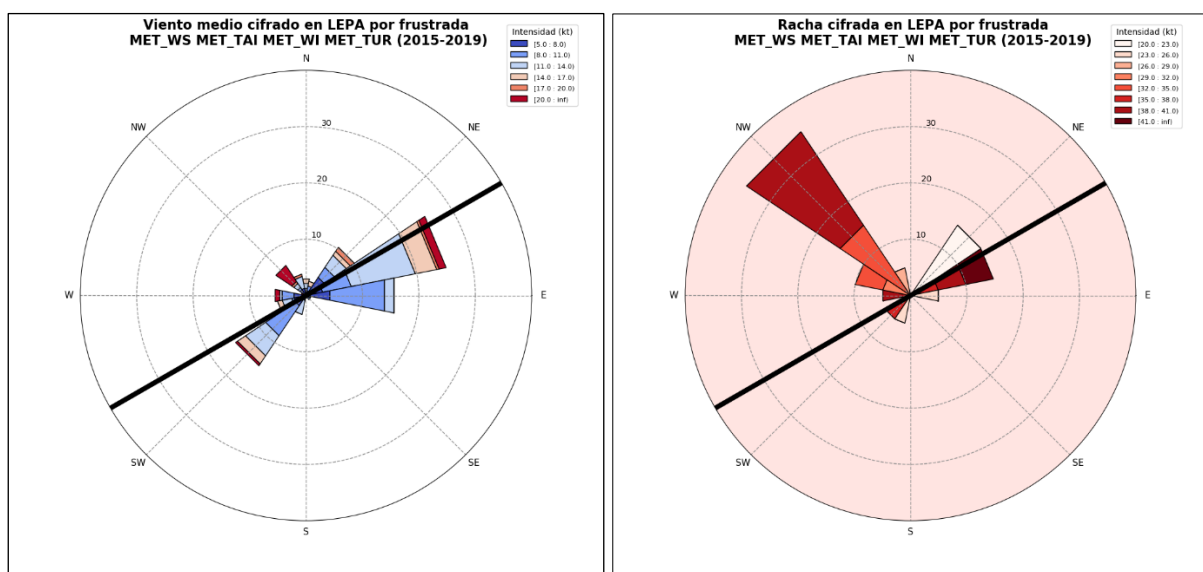


Figura 34. Viento medio y rachas cifradas en el METAR cuando se reporta una frustrada por cizalladura (WS, TAI, WI, TUR) en LEPA durante el periodo 2005-2019. Fuentes: ENAIRE y AEMET.

De lo anterior, cabe señalar:

- El viento de componente E y las rachas del NW son las dos configuraciones de viento más frecuentes cuando las aeronaves reportan una frustrada por cizalladura.
- No se constata ninguna frustrada por cizalladura en la dirección SE.
- La causa meteorológica precursora de las frustradas con viento del NW y del NE merece una interpretación más detallada:
 - Frustradas por viento del NE: presencia de cizalladura por el establecimiento de la brisa atípica (yuxtaposición de la brisa de mar ordinaria con viento sinóptico del NE; [figura 11](#)). En este caso, hay viento en cola en la aproximación final por ambas cabeceras. La preponderancia del NE en todos los niveles, excepto la presencia de una brisa del SW que alcanza sólo a las cabeceras más próximas al mar y en los niveles más bajos, hacen que frustren las aeronaves por viento en cola (TAI, según el código

empleado por ENAIRE) puesto que en última instancia el viento en superficie no es favorable para aterrizaje.

- Frustradas por viento del NW: presencia de cizalladura por el establecimiento de Mestral, habida cuenta que el aeropuerto se localiza a sotavento de la sierra de la Tramontana (figura 21). Las fuertes rachas hacen que las aeronaves frustren en su aproximación a LEPA (WI y TUR, según el código empleado por ENAIRE)

La figura 35 representa el viento medio y rachas en LEPA cuando se reportó una frustrada por viento cruzado (CRO, según el código empleado por ENAIRE). En este caso, la propia figura confirma el carácter fuerte (intensidad) y transversal (dirección) del viento en estos casos. Este viento es siempre del NW y, como ya lo anticipó el resumen climatológico de la figura 5, el viento cruzado del SE no existe o de existir no presenta rachas.

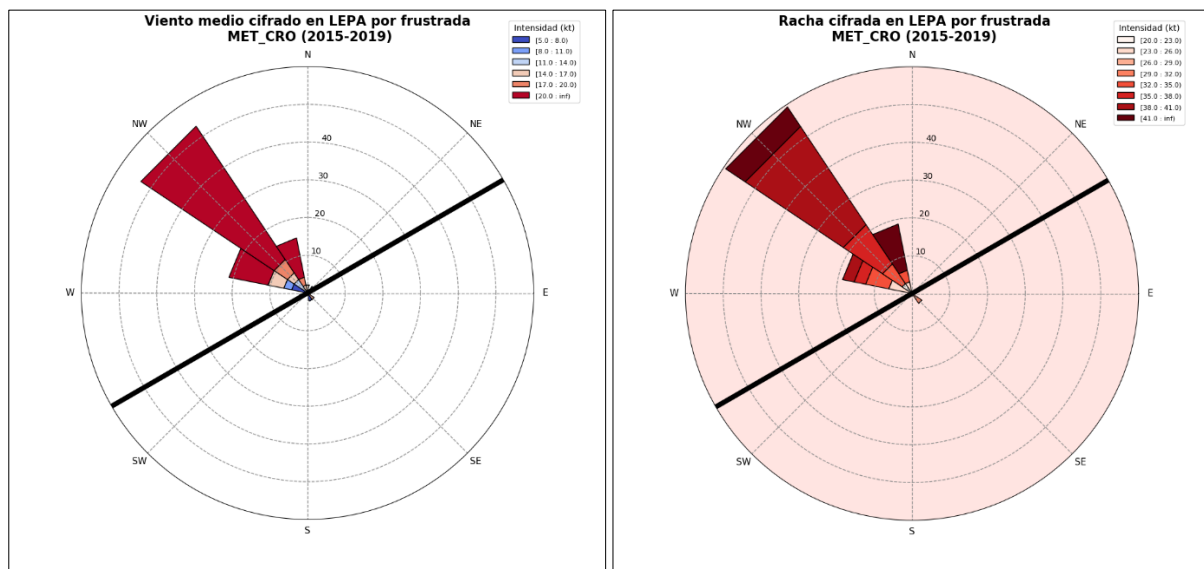


Figura 35. Viento medio y rachas cifradas en el METAR cuando se reporta una frustrada por viento cruzado (MET_CRO) en LEPA durante el periodo 2005-2019. Fuentes: ENAIRE y AEMET.

4.4. El procedimiento de visibilidad reducida en LEPA

La niebla tiene un gran impacto en la operativa del aeropuerto. Este fenómeno se produce una media de 39 días al año y el mayor número de casos ocurren entre los meses de octubre a abril con más de tres días de niebla al mes. Sin embargo, es entre diciembre y marzo cuando se registran el mayor número de días, una media de más de cinco días al mes, unos 26 días de niebla, como puede verse en la figura 36.

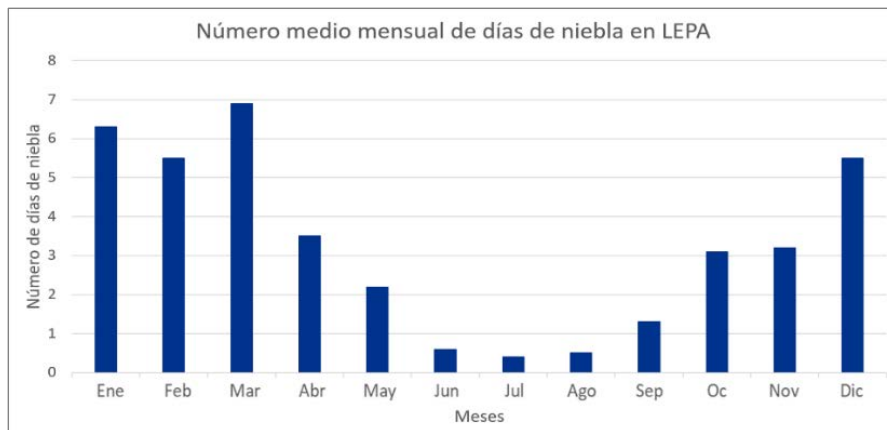


Figura 36. Número medio mensual de días de niebla en LEPA según el periodo climatológico de referencia en vigor (1983-2010). Fuente: AEMET.

El Procedimiento de Visibilidad Reducida (Low Visibility Procedure) previsto en LEPA establece diversas fases de activación basadas en una serie de umbrales específicos de RVR (o visibilidad en caso de indisponibilidad de RVR) o techo de nubes. De ellas, la fase más restrictiva en cuanto a las operaciones es la Fase III que se divide a su vez en subfases en función del área afectada por el procedimiento. Se establece la división en Activación de LVP parcial o Fase IIIa (afectando básicamente a zonas de pistas pero sin restringir la plataforma) y LVP general Fase IIIb (que afecta a pistas y plataforma). La Fase II del LVP representa la preparación o espera antes de la activación de la Fase III propiamente dicha.

Puede observarse en la [figura 37](#) que la distribución mensual de las Fases II y IIIa-IIIb sigue la misma distribución que el valor promedio.

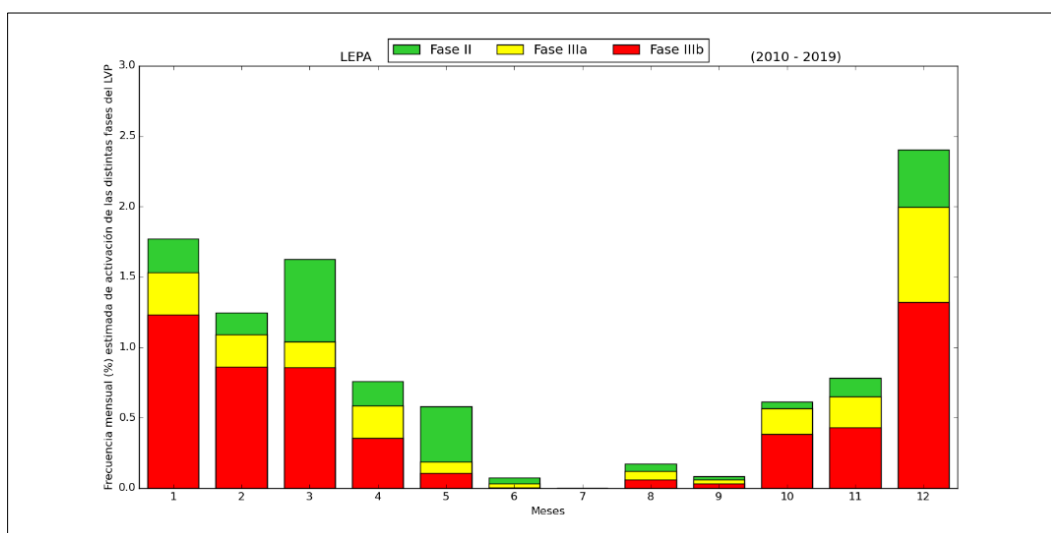


Figura 37. Frecuencia mensual (%) estimada de activación de las distintas fases del LVP en LEPA durante el periodo 2010-2019. Los meses están numerados según el orden que ocupan en la secuencia anual (desde enero=1 a diciembre= 12). Fuente: AEMET.

La niebla sigue en general un patrón característico en cuanto a las horas de ocurrencia de valores de visibilidades reducidas. Según la [figura 38](#), las nieblas son más frecuentes entre las 00 y las 08 horas (UTC), desde medianoche hasta el amanecer, respondiendo al hecho de que el enfriamiento nocturno las favorece. Sin embargo, en la misma figura puede observarse que en mayor o menor medida puede ocurrir una niebla en otras horas distintas a las nocturnas.

En la [figura 38](#) se representa, además, la frecuencia de las reducciones de visibilidad por segmentos definidos por las Fases del LVP y se puede comprobar la total concordancia en las horas de ocurrencia.

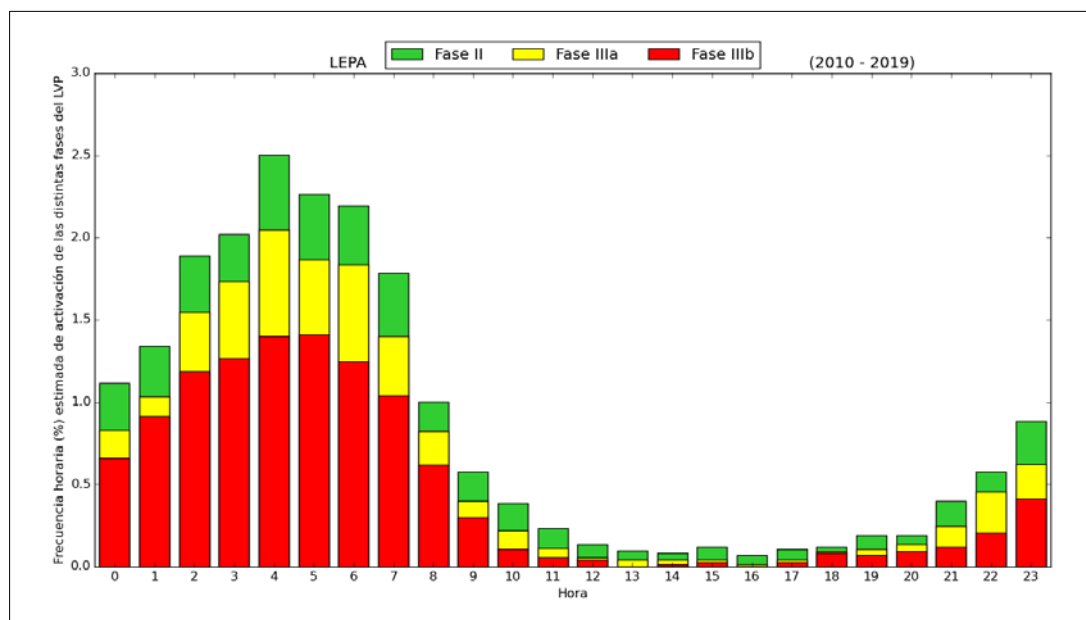


Figura 38. Frecuencia horaria (%) estimada de activación de las distintas fases del LVP en LEPA durante el periodo 2010-2019. Las horas están expresadas en UTC. Fuente: AEMET.

Esta distribución de horas de niebla no es casual, el tipo de niebla más frecuente en LEPA son las nieblas de radiación que se concentran durante la noche y hasta un poco después del amanecer, mientras que las nieblas que ocurren durante el día son generalmente del tipo de advección cuyo origen es totalmente distinto.

5. Resumen

La cercanía al mar y la orografía son los dos elementos rectores que gobiernan, en última instancia, la formación y posterior evolución de los fenómenos meteorológicos que están embebidos en el ámbito aeroportuario. Un estudio detallado de las situaciones atmosféricas mediante el análisis estadístico del viento (precursor de la presencia de cizalladura), temperatura (disparador de brisa), humedad (ingrediente esencial en la niebla), nubosidad (tormentas, especialmente CB), etc. permite obtener una imagen general de los escenarios que se pueden esperar.

La Guía Meteorológica del aeropuerto de Palma de Mallorca (LEPA) se centrará exclusivamente en la descripción de aquellos fenómenos meteorológicos que potencialmente son adversos para el desarrollo y regularidad de las operaciones (denominados fenómenos de impacto). Su efecto más inmediato es la reducción de la cadencia de arribadas y salidas en el aeropuerto. Para su identificación no sólo hay que tener en cuenta el entorno atmosférico sinóptico o general que lo desencadena sino también en qué medida el marco operativo aeronáutico se ve restringido en forma de cancelaciones, retrasos, desvíos, aterrizajes frustrados, activación de procedimientos de baja visibilidad o cambios de configuración.

El análisis meteorológico orientado a impactos que incluye esta Guía puede resumirse en base a cuatro fenómenos de impacto: brisa, cizalladura, turbulencia y niebla (véase tabla II, donde se identifican además las condiciones y elementos necesarios para su ocurrencia):

- La **brisa marina** es un viento dirigido desde el mar hacia tierra que es típico de los meses estivales, con dirección del SW en el aeropuerto. Por lo general, origina cambios de configuración en el aeropuerto. Sin embargo, en algunos casos, puede manifestarse en unas condiciones concretas, que se denomina brisa atípica (con un viento sinóptico del NE). En este caso, la brisa del SW no se establece en todo el aeropuerto sino sólo en la parte más próxima al mar, y en consecuencia, se forma una línea de convergencia entre vientos en el propio aeropuerto. Este escenario es un entorno favorable para la presencia de cizalladura en la aproximación y puede desencadenar operaciones de aterrizaje frustradas debido a que el viento es de cola en cualquier cabecera.
- La **cizalladura** se debe también a la presencia de tormentas en el entorno aeroportuario. La formación de estas tormentas puede estar impelida por la convergencia de brisas o por forzamiento dinámico en altura. Independientemente del origen de la tormenta, las corrientes descendentes que se forman (*downburst*)

pueden alterar la sustentación de las aeronaves y además, favorecer la presencia de turbulencia en niveles bajos. La posición relativa tormenta-aeropuerto determina el impacto en la aproximación y/o aterrizaje.

- La **turbulencia** en la aproximación está asociada a las ondas de montaña que se forman por una situación de Mestral (viento del NW que se ve forzado a superar la Sierra de Tramontana). El aeropuerto, situado a sotavento, se ve afectado por los rotores que se manifiestan como un viento racheado y cruzado a la pista.
- La **niebla** se explica en base a dos tipos, de acuerdo a su origen: irradiación nocturna (ingredientes: viento flojo, irradiación y estabilidad) y advección (ingredientes: viento de componente S, mar frío, humedad en capas bajas). Estas nieblas tienen orígenes y características diferentes, además de periodos de ocurrencia no concurrentes en el tiempo. El impacto no es el mismo en ambos casos: las de irradiación nocturna (mayor frecuencia entre noviembre y marzo) tienen incidencia en un corto periodo de tiempo (amanecer) pero con alta densidad de tráfico, mientras que las nieblas de advección (mayor ocurrencia entre marzo y mayo) pueden ocurrir en cualquier instante aunque su duración suele ser mayor.

Para valorar el impacto, se han analizado los datos de operaciones de aproximación y aterrizaje frustradas desde 2015 a 2019 en relación al viento cifrado en los METAR para cada uno de los eventos. De esta forma, puede confirmarse que la cizalladura es el fenómeno de impacto más importante que causa las operaciones frustradas. En relación a las direcciones de viento, hay dos especialmente importantes, en términos del impacto: el viento del NW (Mestral, típico en invierno) y el viento del NE con brisa (brisa atípica, con mayor ocurrencia en primavera/verano).

El objetivo de la presente Guía es servir como una interesante herramienta de asesoramiento para los usuarios aeronáuticos en LEPA que deseen conocer el entorno meteorológico donde llevan a cabo sus operaciones. El entendimiento de aquellos escenarios meteorológicos que comprometen el marco operativo da una idea de cuan restrictivas pueden llegar a ser las condiciones atmosféricas en el ámbito aeroportuario.

Fenómenos de impacto en LEPA						
Brisa		Cizalladura		Turbulencia	Niebla	
Pura (220°-230°, intensidad media: 12-15 kt) (débil gradiente presión, verano, insolación ausencia de nubes)	Atípica (220°-230°, intensidad media > 10 kt) (viento sinóptico NE, línea de convergencia próxima al AP)	Tormentas		Mestral (310°-320°, intensidad media > 20 kt, fuertes rachas) (otoño, invierno) (viento cruzado)	Irradiación (cielo despejado, estabilidad, viento flojo)	Advección (viento comp. S, humedad capas bajas, mar frío)
		Convergencia de brisa (verano)	Forzamiento dinámico en altura (otoño)			
Impacto						
Cambios de configuración						
Frustradas						
Desvíos						
Retrasos						
Cancelaciones						

Tabla II

6. Summary

The proximity to the sea and the orography are the two driving factors that ultimately govern the formation and subsequent evolution of the meteorological phenomena which are embedded in the airport environment. A detailed study of the atmospheric situations through statistical analysis of wind (precursor of the presence of windshear), temperature (breeze trigger), humidity (essential ingredient in fog), cloudiness (thunderstorm, especially CB), etc. provides a general picture of the scenarios which can be expected.

The Meteorological Guide for Palma de Mallorca Airport (LEPA) will exclusively focus on the description of those meteorological phenomena which are potentially adverse to the development and regularity of operations (known as impact phenomena). Their most immediate effect is to reduce the rate of the arrivals and departures at the airport. In order to identify them, it is necessary to take into account not only the general or synoptic atmospheric environment that triggers them but also the extent to which aeronautical operational framework is restricted in the form of cancellations, delays, diversions, go-arounds, low visibility procedure activations or configuration changes.

The impact-oriented meteorological analysis approach included in this Guide can be summarised by means of four impact phenomena: **breeze**, **windshear**, **turbulence** and **fog** (see table II, where the conditions and elements necessary for their occurrence are identified):

- **Sea breeze** is a wind that blows from the sea towards land which is typical during summer months, blowing from the SW at the airport. It generally causes configuration changes in the airport. However, in some cases, it can manifest itself in specific conditions, known as atypical breeze (synoptic NE wind). In this case, SW sea breeze does not establish throughout the airport but only in the part closest to the sea and consequently, a convergence line is formed between winds at the airport itself. This scenario is a favourable environment for the presence of windshear in the approach and it can trigger go-arounds because wind is tailwind on any runway.
- **Windshear** is also due to the presence of thunderstorms in the airport environment. The formation of these thunderstorms may be driven by breeze convergence or by dynamic forcing aloft. Nevertheless, the impact on aircrafts on approach is not negligible and must be taken into account in the planning of operations. Regardless of the origin of the thunderstorm, the downward currents that form (downburst) may affect aircraft lift as well as favouring the presence of turbulence in low

layers. The relative thunderstorm-airport position determines the impact on the approach and/or landing.

- **Turbulence** on approach is associated with mountain waves formed by a Mestral situation (the NW wind forced to overcome Tramontana Range). At the airport, on the leeward side, is affected by rotors which manifest themselves as a gusty and cross wind to the runway.
- **Fog** is explained by means of two types, according to its origin: nocturnal irradiation (ingredients: light wind, irradiation and stability) and advection (ingredients: southerly wind, cold sea, humidity at low layers). These fogs have different origins and characteristics, as well as periods of occurrence that are not concurrent in time. The impact is not the same in both cases: nocturnal irradiation fogs (higher frequency between November and March) occur in a short period of time (sunrise) but with high traffic demand, whereas advection fogs (higher frequency between March and May) can occur at any time although their duration is usually longer.

In order to assess the impact, go-arounds have been analysed for the period 2015-2019 in relation to the wind reported in METAR for each of the events. Thus, it can be confirmed that windshear is the most important impact phenomenon that causes go-arounds. In relation to the wind directions, two are particularly important, in terms of impact: the NW wind (Mestral, typical in winter) and the NE wind with sea breeze (atypical breeze, with higher occurrence in Spring/Summer).

This Guide is aimed to provide an interesting advisory tool for aeronautical users in LEPA which wish to know the meteorological environment where their operations are embedded. The understanding of those meteorological scenarios which can disrupt the operational framework provide an idea of how restrictive atmospheric conditions may become in the airport environment.

Impact phenomena in LEPA						
Breeze		Windshear		Turbulence	Fog	
Pure (220°-230°, average intensity: 12-15 kt) (weak pressure gradient, Summer, insolation, cloudlessness)	Atypical (220°-230°, average intensity > 10 kt) (NE synoptic wind, convergence line near AP)	Thunderstorms		Mestral (310°-320°, average intensity > 20 kt, strong gusts) (Autumn) (cross wind)	Irradiation (cloudlessness, stability, weak wind)	Advection (Southerly wind, moisture in low layers, cold sea)
		Breeze convergence (Summer)	Dynamic forcing at aloft (Autumn)			
Impact						
Configuration change Go-arounds Diversions Delays Cancellations						

Table III

7. Referencias

Jansà Guardiola, J. M. y Jaume Torres, E. (1946): **El régimen de brisas en la isla de Mallorca**. Revista de Geofísica, núm. 19, año V, julio-septiembre, pp. 304-307

OACI (2018): **Anexo 3 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional**. Vigésima edición, 230 pp.

OACI Doc. 9817 (2005): **Manual sobre cizalladura del viento a poca altura**, 242 pp.

8. Agradecimientos

Alfonso Barba Martínez (ACC, ENAIRE)

Alejandro Serra de Guzmán (TWR, ENAIRE)

Sergio Fernández González (jefe de la OMAe de Santander, AEMET)

Personal de CEOPS en LEPA/PMI (AENA)

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA
Leonardo Prieto Castro 8
28040 Madrid (España)

