

## Guía Meteorológica de Aeródromo: Málaga-Costa del Sol



**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 Rafael Pozo López

**Revisión:** Jesús Riesco Martín, Carlos Perea Hitos y 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, 2021

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

NIPO: 666-21-001-8  
<https://doi.org/10.31978/666-21-001-8.LEMG>

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



@Aemet\_Esp



@Aemet\_Andalucia



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

# Contenido

---

1.	Introducción .....	4
2.	Situación geográfica.....	6
3.	Fenómenos de impacto.....	8
3.1.	CIZALLADURA.....	8
3.2.	TORMENTAS .....	14
3.3.	NIEBLAS.....	18
4.	Impacto .....	20
5.	Resumen .....	25
6.	Summary.....	27
7.	Referencias.....	29
8.	Agradecimientos .....	30

# I. Introducción

Una guía meteorológica de aeródromo es un informe técnico en el que se detallan todos los fenómenos meteorológicos que potencialmente son adversos para el desarrollo y regularidad de las operaciones desplegadas 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.

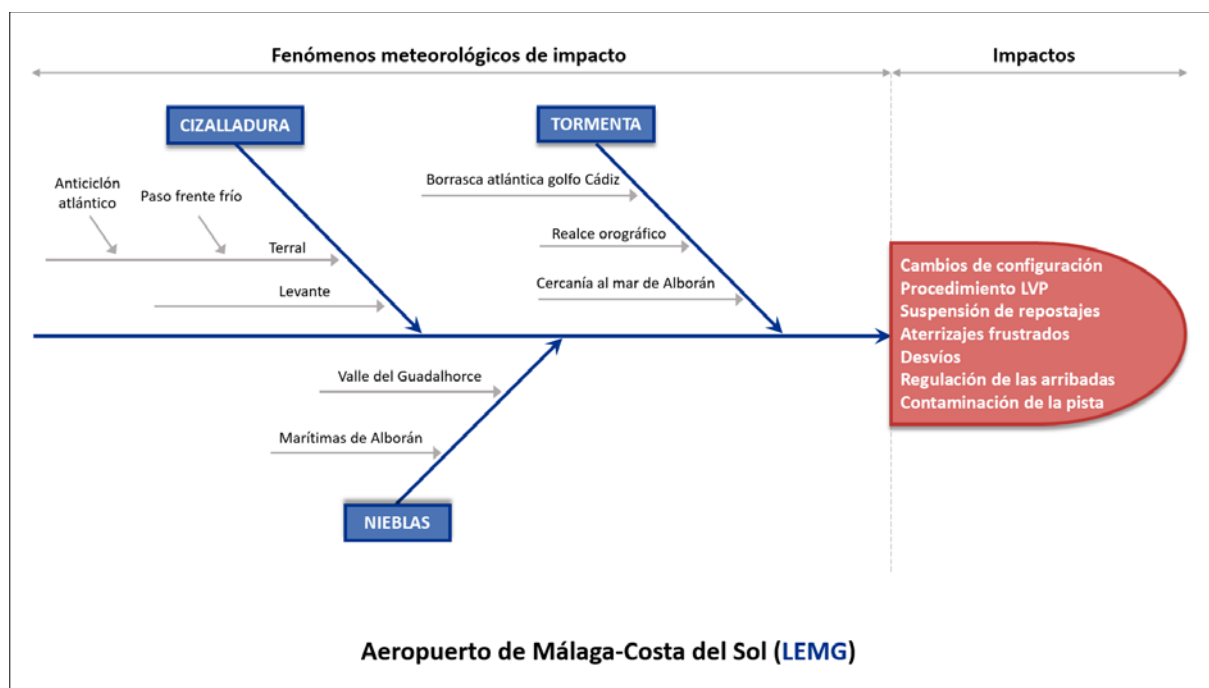
## 1.2. Aplicación para el caso del aeropuerto de Málaga-Costa del Sol

En la [figura 1](#) se detalla el diagrama de Ishikawa para el aeropuerto de Málaga-Costa del Sol (en adelante, LEMG). 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 LEMG: 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

LEMG se encuentra en el tramo final de la desembocadura del Guadalhorce, cuyo valle (orientación NW-SE) es el responsable de la configuración de su régimen local de vientos.

El aeropuerto está rodeado por un cordel montañoso, circunstancia que favorece que los regímenes más típicos sean de NW (*terral*, *racheados*) y de SE (*levante*, que puede retener nubosidad). En este sentido, destacan la sierra de Mijas (1150 m) y los Montes de Málaga (1031 m).

La cercanía al mar de Alborán lo protege de las olas de calor procedentes del norte de África dado que el aire cálido se desliza sobre una superficie más fría. A este efecto termorregulador, hay que añadir el régimen brisas que origina. Principalmente en los meses otoñales, la alta temperatura del mar en comparación con la del aire circundante favorece la convección que unido al aporte local de humedad, favorecen las precipitaciones intensas. Esta fuente de humedad es también fundamental en la formación de nieblas de origen marítimo en algunas épocas del año.



**Figura 2.** Situación geográfica de LEMG. Fuente: IGN.

En la [tabla 1](#) se reflejan los datos geográficos más relevantes de LEMG.

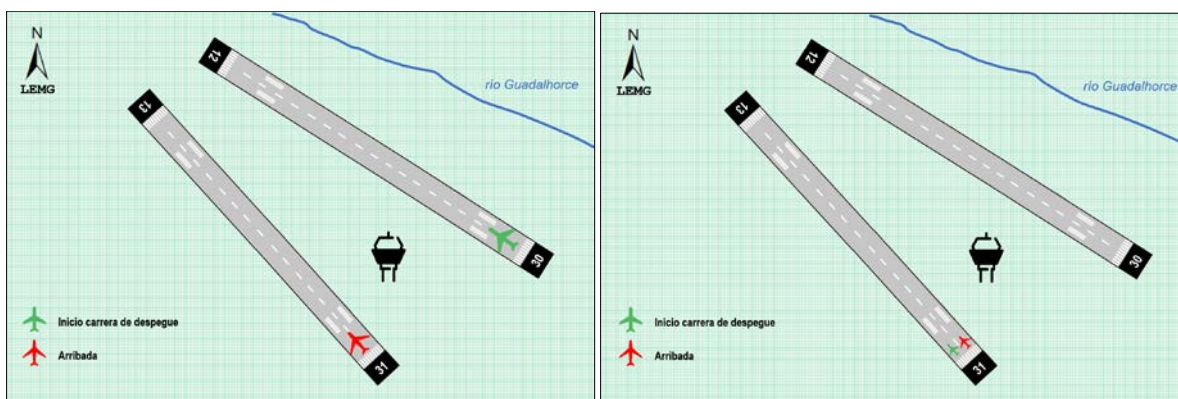
Datos geográficos		
Nombre del aeródromo		Málaga-Costa del Sol
Indicativo	OACI	LEMG
	IATA	AGP
Latitud		36° 40' 30'' N
Longitud		4° 29' 57'' W
Altitud		16 m/ 52 ft

**Tabla 1**

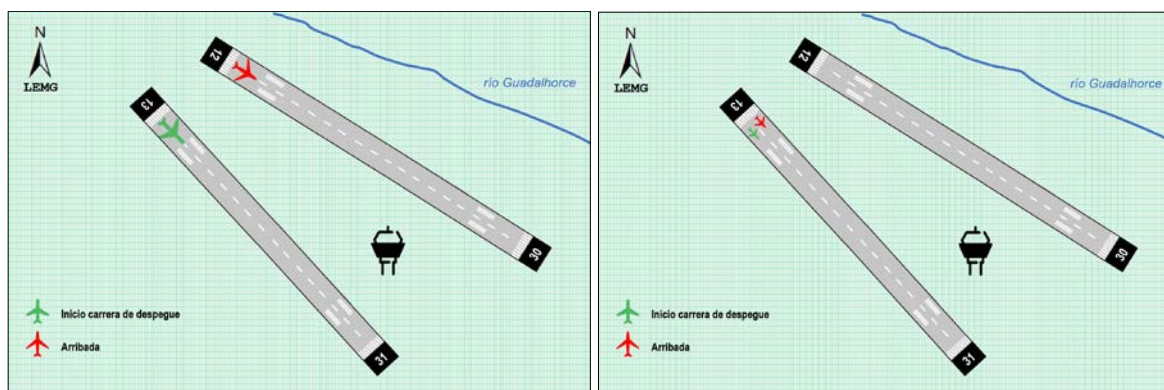
Las dos pistas se encuentran orientadas según la dirección NW-SE, cuyas cabeceras de pista son 13 y 31 la primera y 12 y 30 la segunda.

En las [figuras 3 y 4](#) se detallan las configuraciones de operación:

- Configuración *norte*:
  - o Dos pistas operativas: arribadas: RWY 31, salidas: RWY 30
  - o Una pista operativa: arribadas: RWY 31, salidas: RWY 31
- Configuración *sur* (preferente):
  - o Dos pistas operativas: arribadas: RWY 12, salidas: RWY 13
  - o Una pista operativa: arribadas: RWY 13, salidas: RWY 13



**Figura 3.** Configuración norte en LEMG. A la izquierda: dos pistas operativas, a la derecha una.



**Figura 4.** Configuración sur en LEMG. A la izquierda: dos pistas operativas, a la derecha una.

## 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.

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 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.

A lo largo del presente apartado, además de la cizalladura, se citará la turbulencia 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 presencia de cizalladura en LEMG está favorecida por los escenarios que a continuación se indican:

- Terral (dirección NW)
- Levante (dirección SE)

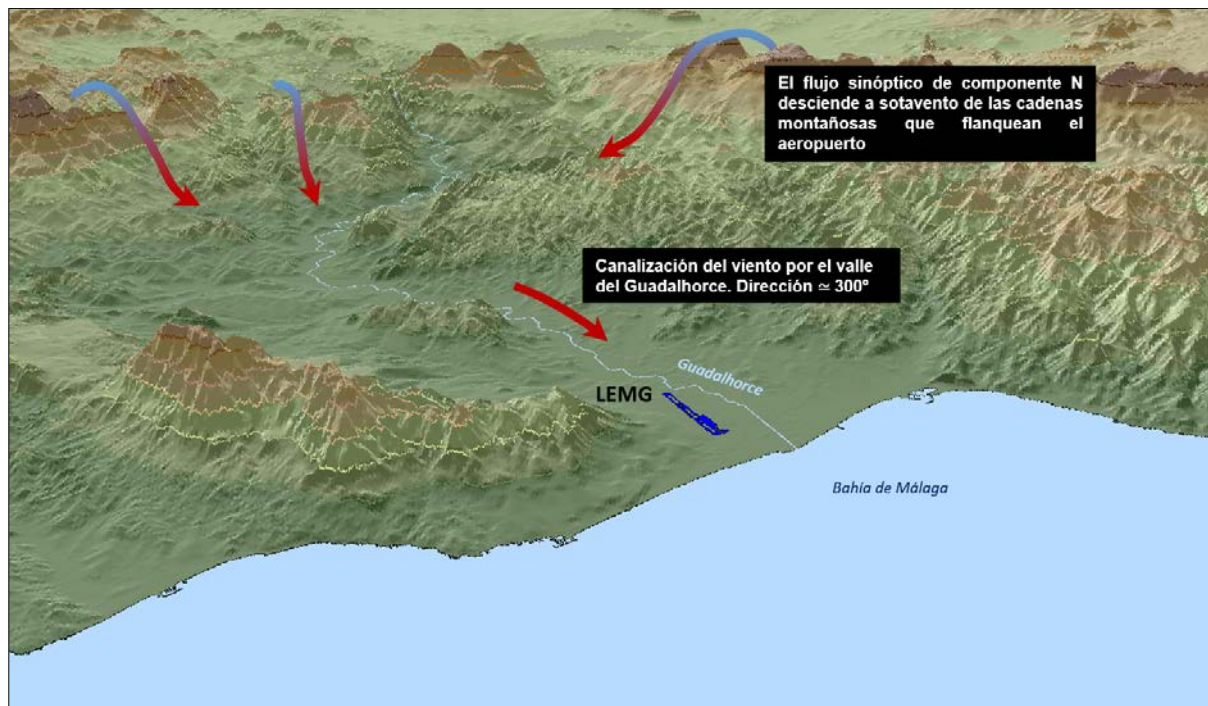
#### 3.1.1. Terral

El *terral* es un viento sinóptico de componente N que, a sotavento de los obstáculos orográficos que circundan LEMG, se calienta adiabáticamente y se acelera a lo largo de su descenso por el valle del Guadalhorce, produciendo un aumento de la temperatura y fuertes rachas de viento.

Su interés aeronáutico se justifica por ser uno de los factores que explica la presencia de cizalladura y turbulencia en la aproximación al aeropuerto.

En la [figura 5](#) se muestra ilustrativamente el modelo conceptual que recoge su evolución.





**Figura 5.** Modelo conceptual del terral en LEMG como precursor de la presencia de cizalladura en la aproximación al aeropuerto, además del aumento de temperatura (especialmente en los meses cálidos) observado a sotavento de las cadenas montañosas que circundan al aeropuerto.

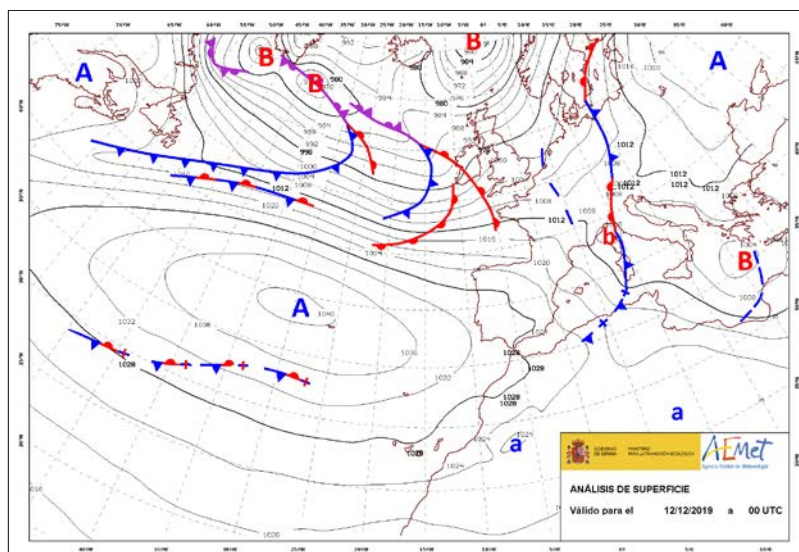
Para que en LEMG se establezca un flujo de componente N, es preciso que lo impulse una configuración adecuada a escala sinóptica. En este sentido, los dos escenarios precursores son:

- Anticiclón atlántico que se extiende en forma de cuña hacia la Península
- Advección septentrional por el paso de un frente

A continuación, se mostrará detalladamente cada uno de ellos.

### **El terral en LEMG: Anticiclón atlántico que se extiende en forma de cuña hacia la Península**

En este caso, el escenario consta de un anticiclón reforzado y ubicado en la cuenca atlántica que se extiende hacia la Península en forma de cuña, como así se aprecia en la situación del 12 de diciembre de 2019 escenificada según el análisis de las 0 UTC (figura 6). El gradiente bórico establecido entre la baja presión ubicada en Liguria y el anticiclón atlántico da como resultado un flujo sinóptico de componente N cuya interacción con la orografía hace que, en última instancia, sea del NW en LEMG.



**Figura 6.** Análisis de la situación del 12 de diciembre de 2019 a las 0 UTC como ejemplo de un episodio de terral ocasionado por un potente anticiclón atlántico.

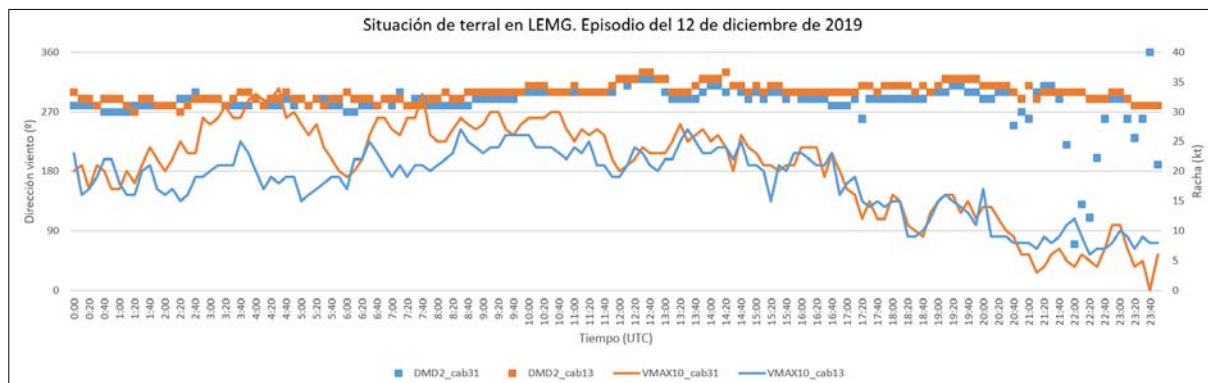
La [figura 7](#) muestra la secuencia de METAR cifrados entre las 8 UTC y las 18 UTC. A lo largo de la misma, se han señalado las rachas de viento así como aquellas intensidades cercanas a 20 kt.

METAR LEMG 120800Z 28017KT 9999 FEW040 12/03 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 120830Z 28019G29KT 260V320 9999 FEW040 12/03 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 120900Z 29019KT 9999 FEW040 12/03 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 120930Z 29018KT 9999 FEW040 12/03 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 121000Z 30019KT 9999 FEW040 13/04 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 121030Z 30022KT 9999 FEW040 13/03 Q1026 NOSIG=
METAR LEMG 121100Z 30018KT 9999 FEW040 13/04 Q1026 NOSIG=
METAR LEMG 121130Z 30019KT 9999 FEW030 13/04 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 121200Z 31013KT 280V340 9999 FEW030 14/04 Q1025 NOSIG=
METAR LEMG 121230Z 32013G24KT 9999 FEW030 15/05 Q1024 NOSIG=
METAR LEMG 121300Z 31014KT 280V350 9999 FEW030 17/05 Q1024 NOSIG=
METAR LEMG 121330Z 29018G28KT 260V320 9999 FEW030 17/06 Q1024 NOSIG=
METAR LEMG 121400Z 30016G27KT 9999 FEW048 17/07 Q1024 NOSIG=
METAR LEMG 121430Z 31012KT 9999 FEW040 SCT050 17/06 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121500Z 29016KT 9999 FEW040 SCT050 17/06 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121530Z 30011KT 260V330 9999 FEW040 SCT050 17/07 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121600Z 29014G24KT 260V320 9999 FEW040 SCT050 16/06 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121630Z 29012KT 260V330 9999 SCT050 BKN060 16/06 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121700Z 28010KT 250V310 9999 FEW050 BKN060 16/06 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121730Z 28007KT 190V340 9999 FEW050 BKN060 16/06 Q1023 NOSIG=
METAR LEMG 121800Z 29008KT 9999 FEW045 BKN055 15/06 Q1023 NOSIG=

**Figura 7.** Secuencia de los METAR cifrados el 12 de diciembre de 2019 entre las 8 UTC y las 18 UTC, en la que se señalan las rachas observadas y aquellas intensidades próximas a 20 kt, situación muy propicia para la presencia de cizalladura en la aproximación a LEMG.

Los datos de la UGDD (Unidad de Grabación Digital de Datos) corresponden a las observaciones diezminutales de variables meteorológicas de interés aeronáutico elaboradas en promedios temporales de diez minutos en cada una de las cabeceras de pista del aeropuerto. En particular, en la [figura 8](#) se representa conjuntamente la evolución temporal

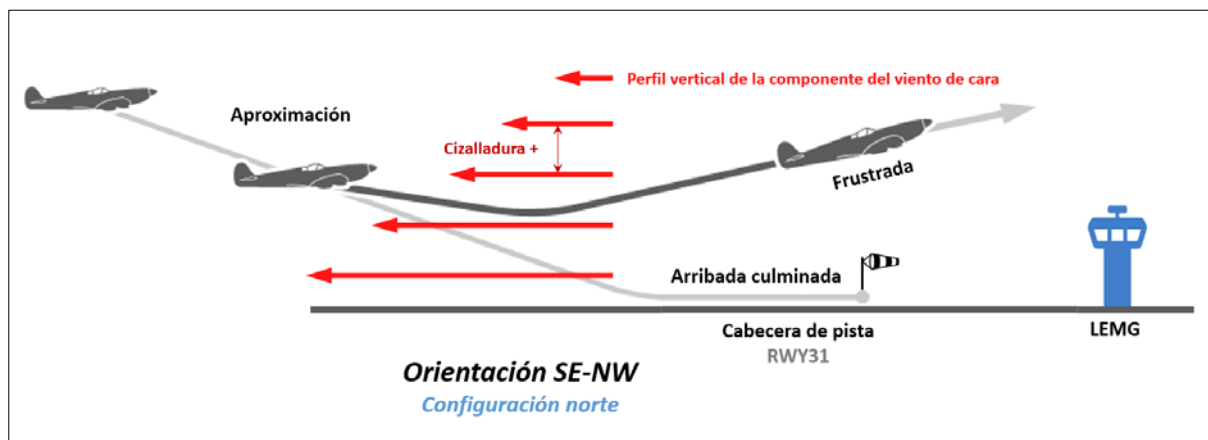
de la dirección del viento junto con las rachas en las cabeceras de pista 31 y 13, esta última próxima al mar.



**Figura 8.** Dirección promediada en 2 minutos y viento máximo en 10 minutos (rachas) observado en las cabeceras 31 (azul) y 13 (naranja) en LEMG, entre las 0 UTC y las 23:50 del 12 de diciembre de 2020, episodio que ejemplifica una situación de teral.

A lo largo de este episodio se observa que la dirección del viento en ambas cabeceras de pista es prácticamente constante y del mismo valor (en torno a  $300^\circ$ ). Sin embargo, en lo que a las rachas de viento se refiere, se aprecia un comportamiento variable, superando en su mayor parte los 20 kt de intensidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, la configuración de operación en LEMG sería de norte con tal de que las arribadas se produzcan con viento de cara. En este caso, el que en superficie se hayan observado fuertes rachas es un indicio de la presencia de cizalladura positiva. La canalización del viento por el valle hace que este sea más intenso en capas bajas. De esta forma, a medida que las aeronaves se aproximan a la cabecera de pista 31 (o 30), progresivamente percibirían un aumento brusco de la componente del viento de cara que las situaría por encima de la senda de aproximación en caso de que no se corrigiera la trayectoria (figura 9).

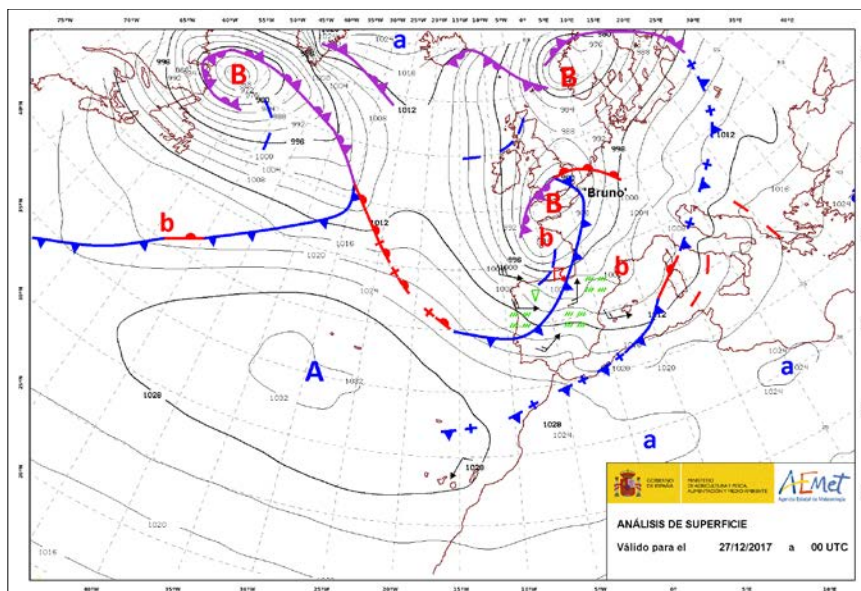


**Figura 9.** Esquema conceptual de una situación de cizalladura positiva en la aproximación a LEMG que podría estar creada por un teral siempre y cuando la configuración de operación sea de norte.



## El terral en LEMG: advección septentrional por el paso de un frente

Otra situación típica de terral en LEMG es la que se establece tras el paso de un frente frío, de ahí que se haya apostado por la denominación advección septentrional. La situación del 27 de diciembre de 2017 es un ejemplo de este escenario (figura 10).



**Figura 10.** Análisis de la situación del 27 de diciembre de 2017 a las 0 UTC como ejemplo de un episodio de terral ocasionado tras el paso de un frente.

Las fuertes rachas observadas durante este episodio (figura 11) fueron la responsables del reporte de dos aterrizajes frustrados por cizalladura.

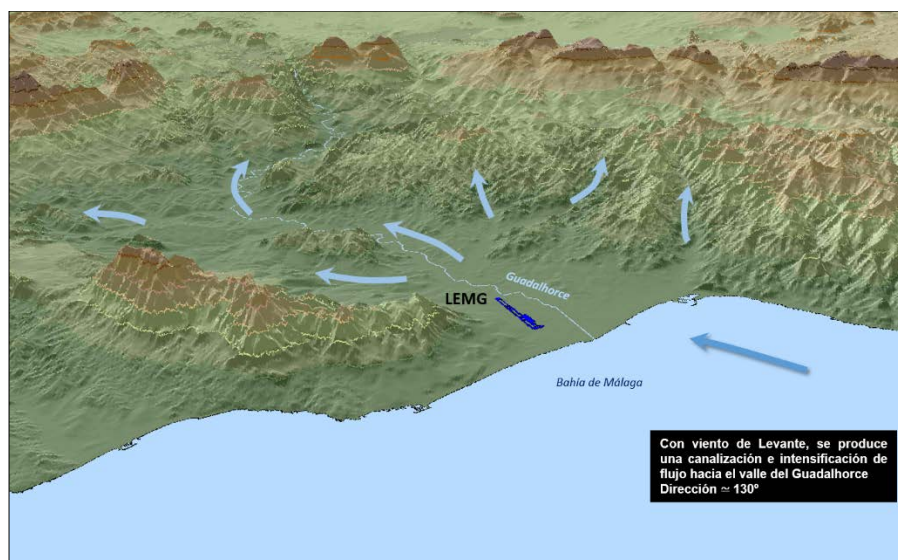
METAR LEMG 271000Z	30019G30KT	9999 FEW035 BKN050 18/10 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271030Z	30020G34KT	9999 FEW035 BKN050 17/10 Q1017 NOSIG=
METAR LEMG 271100Z	30017G27KT	270V330 9999 FEW035 SCT060 17/09 Q1017 NOSIG=
METAR LEMG 271130Z	30014G26KT	270V330 9999 FEW035 SCT060 18/09 Q1017 NOSIG=
METAR LEMG 271200Z	32011G21KT	9999 FEW035 SCT060 18/10 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271230Z	31011G21KT	9999 FEW035 SCT050 18/09 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271300Z	30014G26KT	260V320 9999 FEW030 BKN045 18/09 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271330Z	29017G31KT	260V320 9999 FEW030 BKN045 18/09 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271400Z	31013G24KT	9999 FEW030 BKN045 18/09 Q1015 NOSIG=
METAR LEMG 271430Z	30021G35KT	260V330 9999 FEW030 BKN055 18/07 Q1015 NOSIG=
METAR LEMG 271500Z	29019G29KT	9999 FEW030 BKN055 18/07 Q1015 NOSIG=
METAR LEMG 271530Z	30015G25KT	9999 FEW030 BKN055 17/08 Q1015 NOSIG=
METAR LEMG 271600Z	29017KT	260V320 9999 FEW030 BKN055 17/08 Q1015 NOSIG=
METAR LEMG 271630Z	30018G33KT	9999 FEW030 BKN055 16/09 Q1015 NOSIG=
METAR LEMG 271700Z	30018G28KT	9999 FEW030 BKN055 16/08 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271730Z	30018G28KT	9999 FEW030 SCT050 16/08 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271800Z	30015KT	9999 FEW030 SCT050 16/08 Q1016 NOSIG=
METAR LEMG 271830Z	31011KT	9999 FEW040 SCT060 16/09 Q1017 NOSIG=
METAR LEMG 271900Z	30018KT	9999 FEW040 SCT060 16/09 Q1017 NOSIG=
METAR LEMG 271930Z	30020G32KT	9999 FEW040 SCT060 16/08 Q1017 NOSIG=
METAR LEMG 272000Z	30019G30KT	9999 FEW040 SCT060 16/09 Q1017 NOSIG=

**Figura 11.** Secuencia de los METAR cifrados el 27 de diciembre de 2017 entre las 10 UTC y las 20 UTC, en la que se señalan las fuertes rachas.



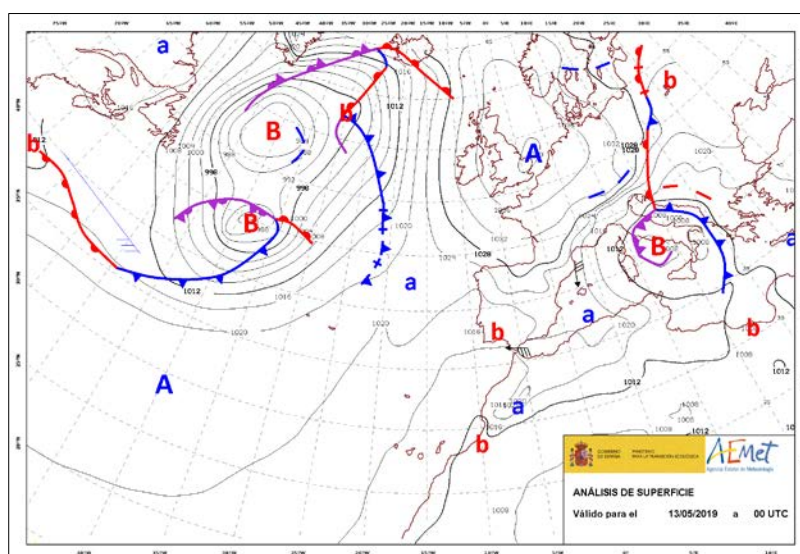
### 3.1.2. Levante

El *levante* es un viento de componente E que se puede establecer por la presencia de una baja presión al sur del golfo de Cádiz. En este caso, el viento se canaliza valle arriba en LEMG, siendo su dirección del SE (figura 12).



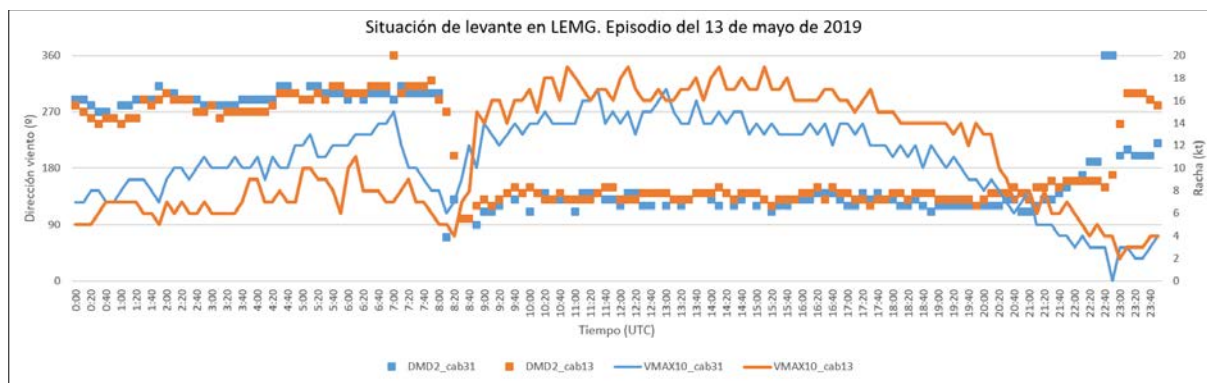
**Figura 12.** Modelo conceptual del levante en LEMG como fenómeno meteorológico precursor de la presencia de cizalladura en la aproximación al aeropuerto.

El episodio del 13 de mayo de 2019 sería un buen ejemplo al tratarse de una situación sinóptica muy propicia para establecer un régimen de *levante*, habida cuenta de la diferencia bórica que media entre una baja relativa en las inmediaciones del golfo de Cádiz y un alta relativa próxima al archipiélago balear, con viento de Tramontana (figura 13).



**Figura 13.** Análisis de la situación del 13 de mayo de 2019 a las 0 UTC como ejemplo de un episodio de levante.

En la [figura 14](#) se representan conjuntamente la dirección e intensidad del viento desde las cabeceras de pista 31 y 13 con un periodo de muestreo de diez minutos. Hacia las 8 UTC se observa la entrada de viento de componente S que se prolongó hasta las 23 UTC, con rachas que superaron los 15 kt.



**Figura 14.** Dirección promediada en 2 minutos y viento máximo en 10 minutos (rachas) observado en las cabeceras 31 (azul) y 13 (naranja) en LEMG, entre las 0 UTC y las 23:50 UTC del 13 de mayo de 2020, episodio que ejemplifica una situación de levante.

La realidad atmosférica que trasciende de la [figura 14](#) señala la concatenación de dos fenómenos que pertenecen a escalas meteorológicas diferentes: la brisa de mar (local) y el régimen de levante (sinóptico). Esa concatenación o eslabonamiento se refiere a cómo la brisa está impulsada por el *levante*, hecho que se aprecia en las dos evidencias siguientes:

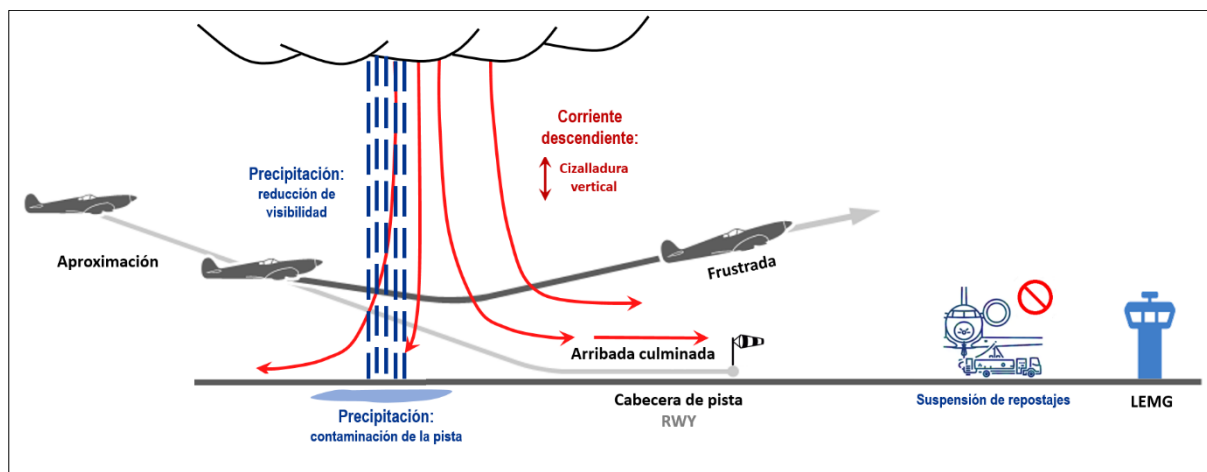
- El ciclo diurno observado en la dirección e intensidad del viento en las cabeceras de pista del aeropuerto, percibido por el contraste de valores observados entre la fase nocturna y diurna. Al tratarse de mayo, hay que tener en cuenta que la diferencia térmica entre las superficies marítima y terrestre ya es suficiente como para impulsar la brisa.
- Los valores de las rachas observadas.

## 3.2. TORMENTAS

De entre todos los fenómenos meteorológicos, las tormentas indudablemente son el más importante debido precisamente a la multiplicidad de fenómenos de impacto inherentes: cizalladura, reducción de visibilidad por chubascos o nubosidad y la actividad eléctrica.

En cuanto a los impactos, cabe señalar que las tormentas son la principal disrupción en las maniobras de aproximación, llegando a causar desvíos. En cuanto al propio aeródromo, su impacto más inmediato es la reducción de la capacidad (cadencia entre arribadas y salidas), retrasos, cancelaciones, suspensión de repostajes o la contaminación de la pista debido a chubascos.

En la [figura 15](#) se resume lo anteriormente comentado.



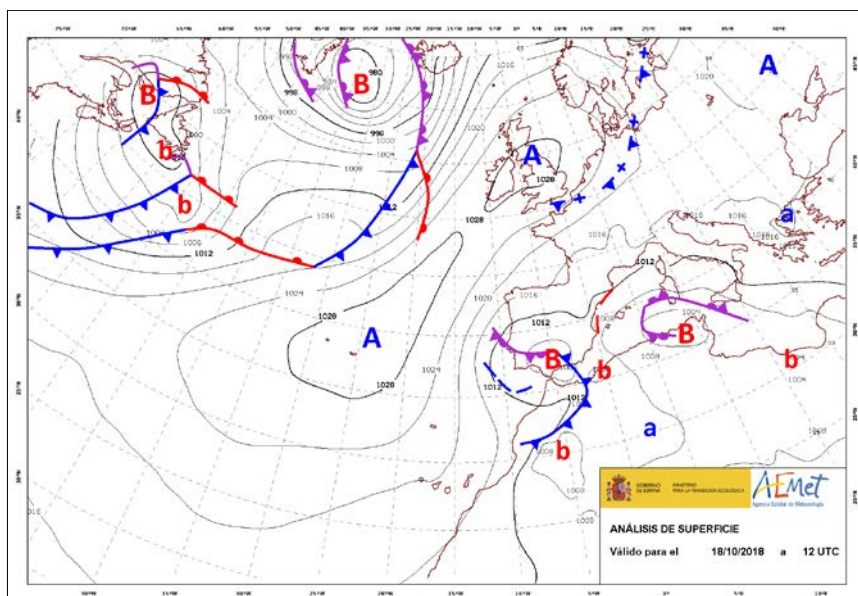
**Figura 15.** Esquema conceptual de una tormenta ubicada en la aproximación a LEMG. Los fenómenos de impacto inherentes son: reducción de visibilidad por chubascos, cizalladura horizontal y fuertes rachas en superficie. Principales impactos: contaminación de la pista, frustradas, desvíos, retrasos o suspensión de repostajes en el aeropuerto.

Las tormentas en LEMG suelen estar originadas por el paso de los frentes que barren el territorio del sur peninsular hacia el este, así como por DANAS (Depresión Aislada en Niveles Altos). La orografía circundante, que favorece el ascenso en niveles bajos del viento, la cercanía al mar de Alborán y la proximidad al Estrecho de Gibraltar, son los tres factores que, conjuntamente, actúan como mecanismos de disparo para desencadenar la convección.

Otro tipo de tormentas ocasionales y locales son las que se forman por el desarrollo de la nubosidad de evolución diurna, capaces de alcanzar suficiente desarrollo por el efecto disparo combinado del calentamiento solar, el relieve y la alta humedad del aire propia del entorno costero. En primavera son típicas sobre las sierras y en otoño sobre el mar (Muñoz et al., 1995).

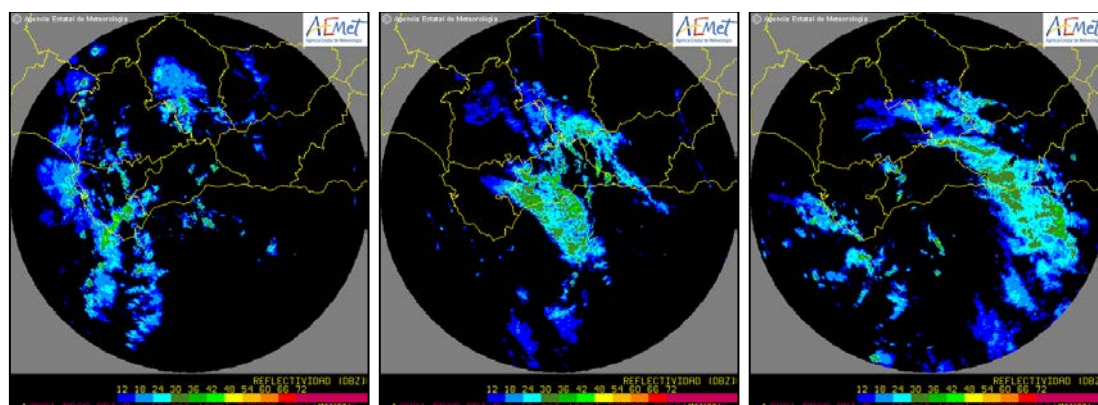
En cualquier caso, las tormentas no son muy frecuentes en LEMG y el número de días de ocurrencia al año no suele superar los 10 eventos. Otoño es la estación con más casos, seguida del invierno y la primavera. En verano prácticamente no hay tormentas salvo en su parte final. Los meses más significativos de aparición son octubre, noviembre y abril, este último contrastando con el resto de meses primaverales. Aún menos frecuente es la presencia de tormentas con granizo en el aeropuerto, con menos de un día al año en promedio, y la mayoría de ellas asociadas a perturbaciones primaverales.

Un episodio típico de tormentas es el del 18 de octubre de 2018. En la figura 16 se muestra el mapa de análisis sinóptico en superficie de las 12 UTC, caracterizado por un anticiclón centrado en las islas Azores y una borrasca atlántica ubicada al sur de la Península, que se desplazó progresivamente hacia el sureste. El contraste térmico otoñal entre la masa de aire marítima y el continente reforzó el carácter frío de un frente asociado. En LEMG se registró un descenso térmico de hasta 7°C en 24 horas desde las 12 UTC del día anterior.



**Figura 16.** Análisis de la situación del 18 de octubre de 2018 a las 12 UTC.

La secuencia de imágenes del radar de Málaga de la [figura 18](#) muestra el desplazamiento de la convección al paso del frente activo hacia el nordeste. A las 4 UTC ([figura 17, izquierda](#)) aparecen las primeras precipitaciones frontales próximas al aeropuerto y a las 12 UTC ([figura 17, derecha](#)) se puede considerar que el frente se ha alejado suficientemente del aeropuerto. La secuencia muestra cómo, fruto de las diferencias térmicas superficiales a ambos lados del Estrecho, el frente frío se refuerza en el lado del Mediterráneo, más cálido que el Atlántico.



**Figura 17.** Reflectividad radar (dBZ) detectada por el radar de Málaga el día 18 de octubre de 2018. De izquierda a derecha: 4 UTC, 8 UTC y 12 UTC. A lo largo de estas horas, se observa la evolución de la banda de precipitación en el entorno de LEMG.

En la [figura 18](#) se muestra la secuencia de METAR cifrados entre las 8 UTC y las 12 UTC durante este episodio. Se han señalado las fuertes rachas que favorecieron la presencia de cizalladura así como los intensos chubascos de origen tormentoso que, en última instancia, redujeron la visibilidad prevalente de manera muy significativa, además de la contaminación de la pista dado que el encharcamiento disminuye la eficacia de frenado de las aeronaves cuando transitan por las pistas y calles de rodadura. En cuanto a la nubosidad, el cifrado de

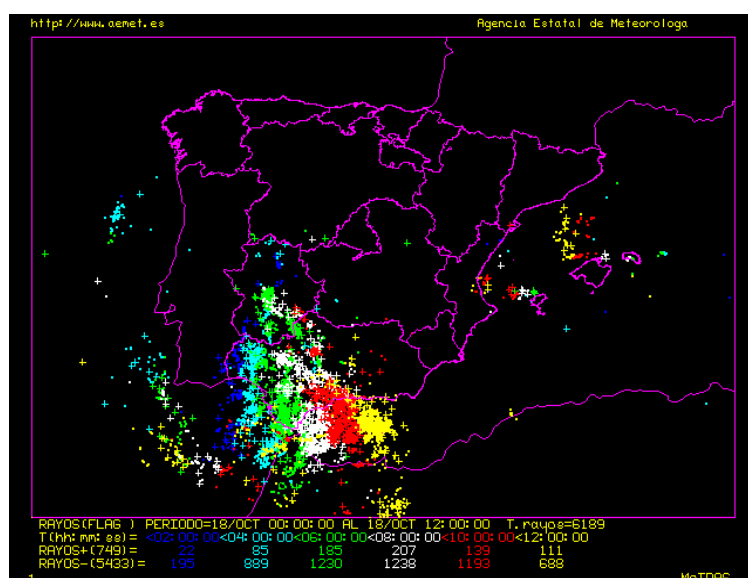


cumulonimbos (CB) fue prácticamente continuo entre las 5 UTC y las 16:30 UTC y, particularmente en el periodo mostrado. La emisión de varios SPECI da cuenta de lo cambiante de esta situación atmosférica que indudablemente tuvo impacto en la operativa de LEMG en forma de cancelaciones, suspensión de las operaciones de repostaje, retrasos, desvíos o frustradas.

METAR COR LEMG 180800Z VRB02KT 5000 TS FEW009 SCT020CB BKN036 18/16 Q1006
TEMPO 2000 +TSRA=
SPECI LEMG 180815Z 23004G17KT 1500 +TSRA FEW009 SCT015CB BKN036 17/15 Q1007
NOSIG=
SPECI LEMG 180819Z 27018KT 240V300 0500 R31/P2000 R13/P2000 +TSRA FEW009
SCT015CB BKN036 15/14 Q1007 NOSIG=
METAR LEMG 180830Z 27014G24KT 240V310 0800 R31/P2000 R13/P1900U +TSRA FEW009
SCT015CB BKN036 14/14 Q1007 NOSIG=
SPECI LEMG 180841Z 30004KT 260V010 4000 TSRA FEW009 SCT015CB BKN045 14/14
Q1008 RETSRA NOSIG=
METAR LEMG 180900Z 32008KT 290V350 4000 -RA FEW009 SCT020CB BKN050 15/14
Q1009 RETSRA NOSIG=
SPECI LEMG 180915Z 30007KT 270V330 2500 RA FEW009 SCT020CB BKN060 15/13 Q1009
NOSIG=
METAR LEMG 180930Z 30005KT 2500 RA FEW009 FEW040CB BKN060 14/12 Q1009 NOSIG=
SPECI LEMG 180947Z 28006KT 2500 TSRA FEW009 FEW040CB BKN060 14/13 Q1008 NOSIG=
METAR LEMG 181000Z 32008KT 290V350 2500 RA FEW009 FEW040CB BKN060 14/13 Q1007
RETSRA NOSIG=
SPECI LEMG 181016Z VRB04KT 9999 -RA FEW020 FEW040CB SCT060 15/12 Q1008 RETSRA
NOSIG=
METAR LEMG 181030Z 24004KT 160V300 9999 -RA FEW020 FEW040CB SCT060 15/13
Q1009 RERA NOSIG=
METAR LEMG 181100Z VRB02KT 9999 FEW010 FEW040CB SCT060 15/12 Q1009 NOSIG=
METAR LEMG 181130Z 27005KT 240V310 9999 FEW010 FEW040CB SCT070 16/13 Q1009
NOSIG=
METAR LEMG 181200Z 33003KT 280V030 9999 FEW010 FEW030CB SCT060 16/12 Q1008
NOSIG=

**Figura 18.** Secuencia de los METAR cifrados el 18 de octubre de 2018 entre las 8 UTC y las 12 UTC, en la que se señalan aquellos rasgos más significativos dentro del contexto del impacto: intensas rachas de viento y chubascos tormentosos.

De la figura 19 se constatan las numerosas descargas detectadas entre las 6 UTC y las 12 UTC al este del Estrecho de Gibraltar al paso del frente. El periodo entre las 8 UTC y las 10 UTC fue el de mayor densidad de rayos cercanos a LEMG.



**Figura 19.** Registro de rayos del día 18 de octubre de 2018 entre las 00 UTC y las 12 UTC. En colores se diferencian los distintos intervalos temporales de dos horas.

### 3.3. NIEBLAS

La niebla es la suspensión en el aire de gotitas de agua muy pequeñas (vapor de agua condensado), habitualmente de tamaño microscópico, formando un velo blanquecino que cubre el paisaje y reduce la visibilidad horizontal en superficie a menos de un kilómetro. Si la visibilidad es mayor, entonces se habla de bruma. La consideración de la niebla (o en su defecto, bruma) como fenómeno de impacto se debe al hecho de ser un fenómeno meteorológico de significativo impacto en el alcance visual.

#### 3.3.1. Nieblas marítimas del mar de Alborán

Los tres factores fundamentales que rigen la formación y posterior evolución de las nieblas en el mar de Alborán son:

- Temperatura superficial del mar: enfriamiento de la capa límite marítima.
- Orografía circundante: el mar de Alborán tiene una anchura que no supera los 200 km y está rodeado de tierra por todos sus costados, salvo por los flancos este (Mediterráneo) y oeste (Estrecho de Gibraltar).
- Altura de la inversión: actúa como tapadera al favorecer la irradiación nocturna de la capa inferior.

Son típicas de verano, ya que corresponde al periodo en el que el mar está más frío, por lo que el contraste térmico es mayor respecto del aire. En este caso, el calentamiento diferencial de las tierras que lo circundan forma fuertes gradientes horizontales y verticales de temperatura, lo cual origina un fuerte contraste térmico entre el aire frío y húmedo de la capa marítima y el aire seco y cálido que se sitúa por encima. Como consecuencia de ello, a cierta altura de la superficie del mar se forma una inversión que limita la mezcla vertical. Este hecho favorece que la capa marítima se enfríe, se humedezca y finalmente se sature. Lo ideal es que la altura de la inversión se sitúe lo más próxima a la superficie para así confinar la humedad en un espesor más pequeño.

Este tipo de nieblas tiene un claro ciclo diurno. Suelen formarse después del atardecer de días despejados, viento en calma o débil e inversión cerca del suelo. Alcanzan el máximo espesor al amanecer y finalmente se disipan al mediodía. Su evolución es inversa a la de la radiación solar. A menudo se expanden radialmente, alejándose claramente del modelo advectivo. Para el mar de Alborán, los términos nieblas marítimas y nieblas de advección no son sinónimos, sino más bien antónimos.

En síntesis, los ingredientes para su formación son:

- Acusada diferencia de temperaturas entre el mar y el aire (del orden de 6°C).
- Vientos débiles (intensidad inferior a 8 kt).
- Inversión sobre el aire húmedo, de manera que el aire que se sitúa por encima esté seco. Hay dos mecanismos para ello: los terrales (impelidos por la orografía próxima al Alborán) y las subsidencias anticiclónicas (el anticiclón de las Azores, especialmente reforzado en la cuenca atlántica durante el verano, rige las condiciones

meteorológicas en el Alborán). La clave es que esta inversión descienda lo suficiente como para consolidar la formación de bancos de niebla.

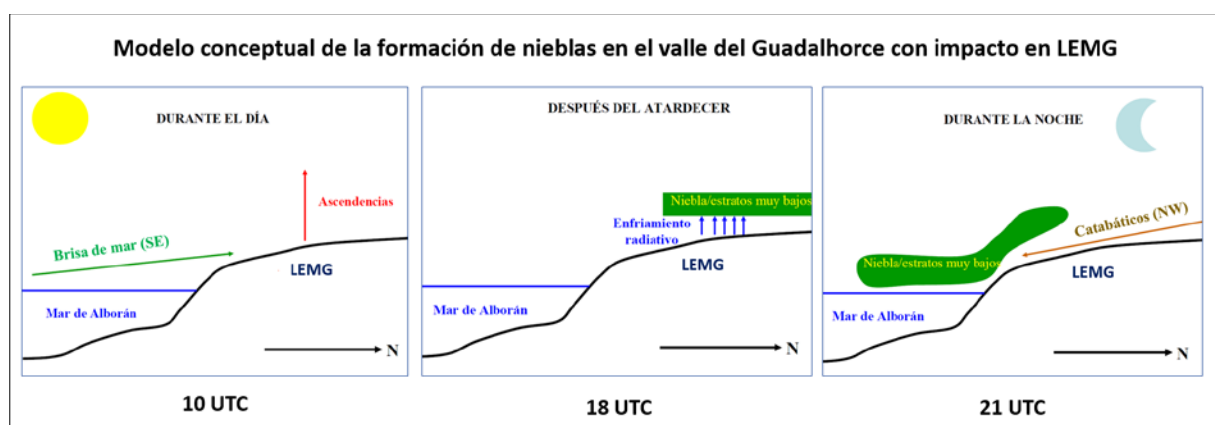
### 3.3.2. Nieblas del valle del Guadalhorce

Las nieblas del Guadalhorce son un tipo particular de las de irradiación. Son propias de los meses de otoño e invierno. Se forman debido a la acumulación de aire frío en la cuenca fluvial debido a los vientos catabáticos descendentes. Un entorno sinóptico de escaso gradiente bórico y cielos despejados, hacen que el enfriamiento radiativo nocturno sea efectivo y por tanto, se forma una inversión térmica muy próxima a la superficie que inhibe la mezcla vertical. Así, la saturación se hace más eficiente hasta que tiene lugar la condensación en forma de brumas y bancos de nieblas que, en su evolución, pueden descender hasta las inmediaciones de LEMG, afectando por lo general a las cabeceras de pista más alejadas del litoral.

Los ingredientes para su formación son:

- Entorno sinóptico estable
- Drenaje catabático
- Cielos despejados
- Enfriamiento nocturno

En la [figura 20](#) se ilustra sucintamente lo comentado.



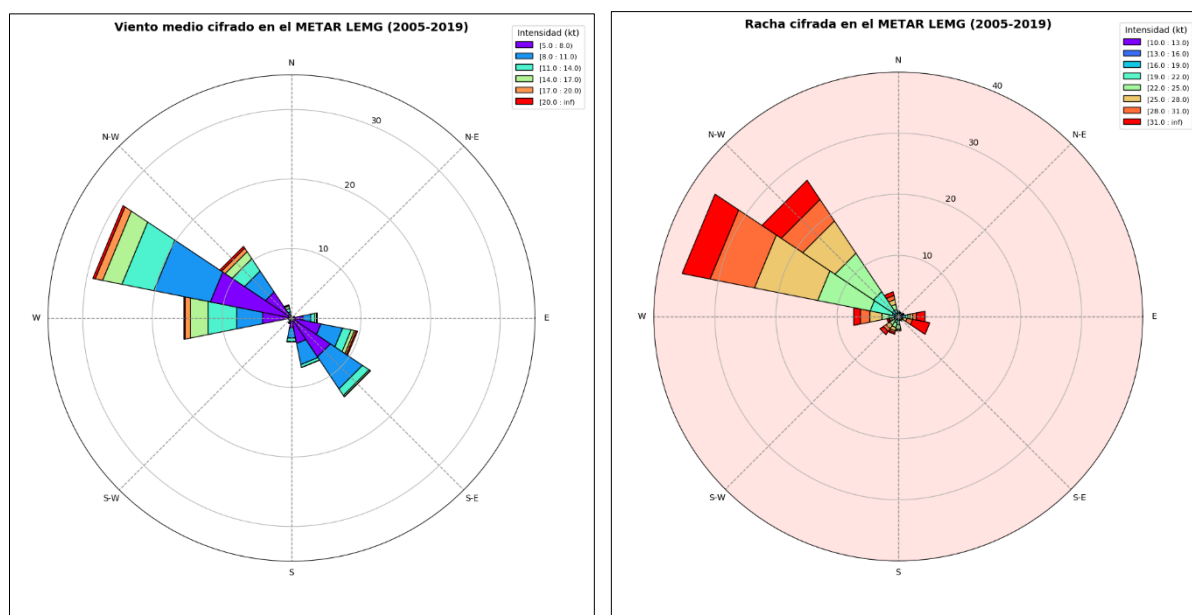
**Figura 20.** Modelo conceptual que resume la formación de nieblas en el valle del Guadalhorce.  
Fuente: adaptado de Fausto Polvorinos.

## 4. Impacto

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 a otros condicionantes como, por ejemplo, el tráfico, la capacidad o la dotación instrumental con la que cuenta.

Así, la vulnerabilidad de un aeropuerto como LEMG ante sus fenómenos de impacto requiere 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.

La [figura 21](#) representa el viento en LEMG a partir de las observaciones cifradas en el METAR durante 15 años (2005-2019), un periodo temporal lo suficientemente extenso como para inferir algunas conclusiones referentes a su comportamiento medio.



**Figura 21.** Representación gráfica del viento en LEMG en una rosa de vientos en la que conjuntamente se muestran la frecuencia y la intensidad a lo largo del periodo 2005-2019. A la izquierda, viento medio y a la derecha, rachas.

En las rosas de viento mostradas, la escala de colores revela las intensidades, siendo los más fríos asociados 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 abarcan las direcciones está asociado a una mayor frecuencia relativa acumulada.

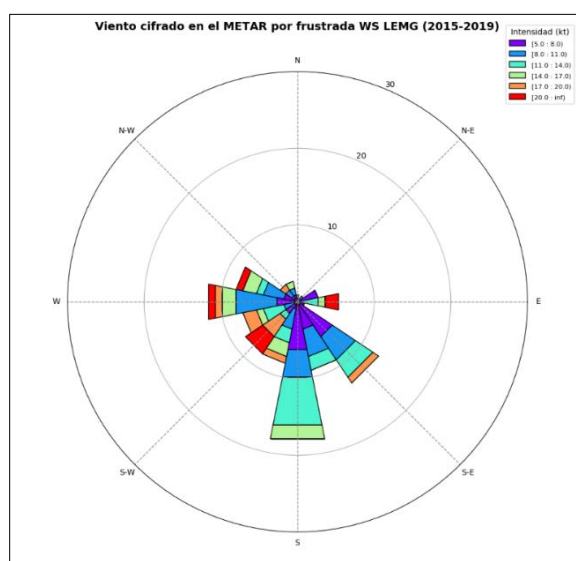
De la [figura 21 \(izquierda\)](#), puede señalarse que la dirección más recurrente es la del NW conocida como *terral* (alrededor de 300°) pues comprende el 30% del total. A ella, le sigue



la del SE (alrededor 135°) conocida como *levante*. Las intensidades más fuertes están comprendidas entre las direcciones W y NW.

Aeronáuticamente, el viento no es un problema en sí. Lo son sus rachas por tratarse de una aceleración que, a su vez, induce efectos observables en el comportamiento y actitud de una aeronave, ya se trate de una arribada o salida. Este es el motivo por el que la [figura 21 \(derecha\)](#) cobra especial relevancia. Las rachas del NW son abrumadoramente más frecuentes en relación al resto de direcciones, sobresaliendo los valores altos denotados en rojo y naranja. Por este motivo, atendiendo exclusivamente a consideraciones meteorológicas, puede afirmarse que los terrales tendrían mayor impacto en la operativa toda vez que su carácter racheado facilitaría la presencia de cizalladura o turbulencia en la aproximación a LEMG.

En la [figura 22](#) se muestra el comportamiento del viento en aquellos episodios en los que se ha reportado un aterrizaje frustrado por cizalladura. Hay que tener en cuenta que 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.



**Figura 22.** Representación gráfica del viento en LEMG en aquellos episodios en los que se ha reportado una frustrada por cizalladura en LEMG. El periodo temporal escogido es de cinco años (2015-2019). Fuente: ENAIRE.

El periodo temporal de cinco años escogido es suficiente como para discriminar, de entre todas las direcciones, aquellas en las que se agrupa un mayor número de frustradas. Hay que advertir que lo que se está mostrando es el viento cifrado en el METAR únicamente en aquellos episodios en los que ha habido una disrupción, en forma de frustrada, originada por cizalladura.

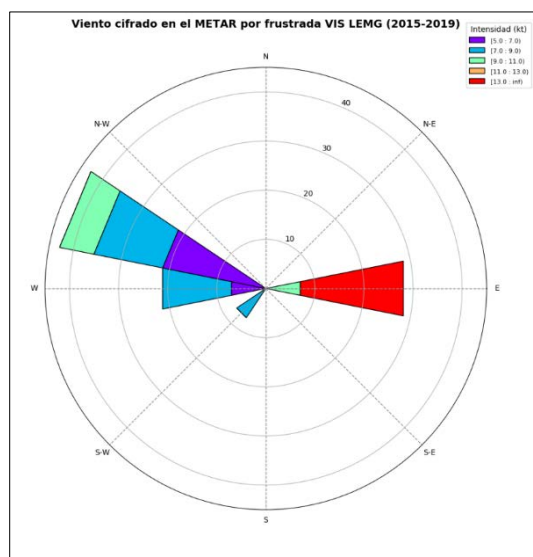
Así, cabe destacar:

- Cerca del 20% del total de frustradas por cizalladura se debe a viento de S. Son los más favorables para la presencia de cizalladura en la aproximación a pesar de su

escasa aportación a la climatología representada en la [figura 21](#). Poco frecuentes aunque de impacto significativo, hecho que podría aducirse a que la componente de viento en cola y cruzado es mayor con viento de S.

- Las frustradas por cizalladura causadas por el *terral* (NW) apenas llegan al 10% del total. Su impacto aeronáutico no está en consonancia con su notoria contribución a la climatología ([figura 22](#)).
- Las mayores intensidades (colores rojo y naranja) se observan en las direcciones NW y SE, asociados a terrales y levantes respectivamente.

En la [figura 23](#), se muestra una rosa de vientos por frustradas causadas por visibilidad reducida a lo largo del periodo 2015-2019 y en la que se aprecian las dos direcciones de mayor impacto en este tipo de escenarios: NW y E, siendo la del W menos significativa que las anteriores.



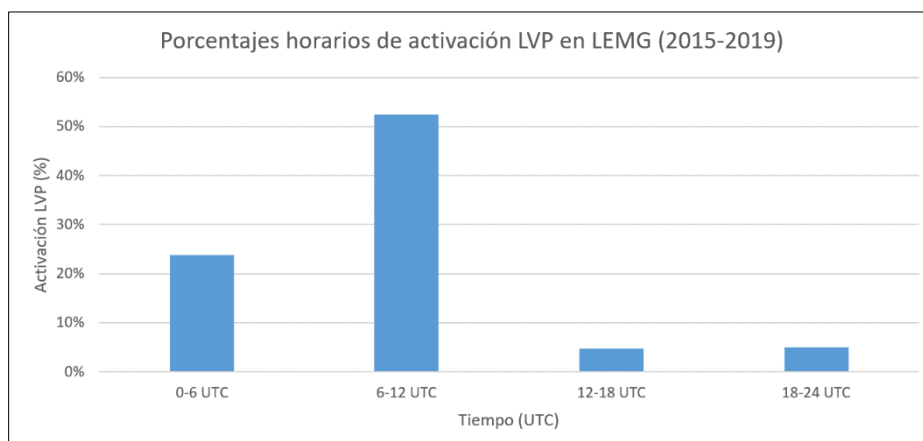
**Figura 23.** Representación gráfica del viento en LEMG en aquellos episodios en los que se ha reportado una frustrada por visibilidad reducida en LEMG. El periodo temporal escogido es de cinco años (2015-2019). Fuente: ENAIRE.

Tres ideas fundamentales que justifican el interés de la [figura 23](#) son las siguientes:

- Los vientos de NW son los de mayor impacto en cuanto a los episodios de visibilidad reducida por comprender más del 40% del total de frustradas por este motivo.
- Los vientos de componente E, aunque son los segundos en importancia en lo que a impacto se refiere (comprenden casi el 30% del total de frustradas), son los que mayor intensidad registran, hecho que está asociado a *levantes*, los más favorables para el aporte de humedad así como nubosidad de tipo bajo en LEMG.
- El viento -flojo- del NW coincide con la orientación del valle del Guadalhorce (de NW a SE). Este hecho evidencia su importancia en la formación de las nieblas de irradiación-valle, que son las de mayor impacto.

El último de los comentarios anteriores queda respaldado por lo mostrado en la [figura 24](#), en la cual se representan los porcentajes horarios de activación de procedimientos de baja

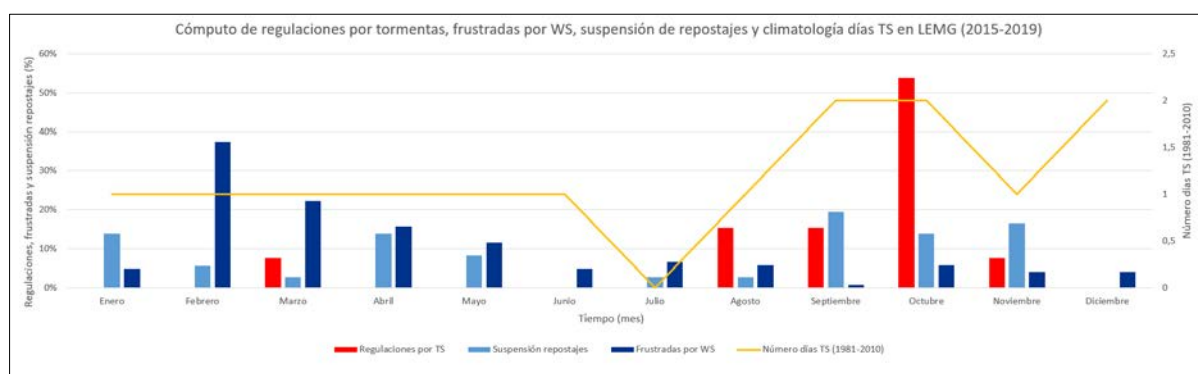
visibilidad (LVP) según cuatro franjas horarias establecidas. El mayor número se sitúa entre las 6 UTC y las 12 UTC, hecho que está en conformidad con el ciclo de evolución media de la niebla formada por irradiación nocturna. Durante las horas previas al amanecer es cuando se registra un mayor enfriamiento y por tanto, una mayor posibilidad de aumento de espesor de los bancos de nieblas o brumas previamente formados.



**Figura 24.** Porcentajes horarios de activación del Procedimiento de Baja Visibilidad (LVP) en LEMG durante el periodo 2015-2019, según cuatro franjas horarias. Fuente: AENA.

Del total de frustradas causadas por condiciones meteorológicas, el 70% corresponden a cizalladura, mientras que un 25% a escenarios de visibilidad reducida.

En la [figura 25](#), se presenta conjuntamente el número de regulaciones por la presencia de tormentas en la aproximación recogidas por el Proveedor de Servicio ATS (ENAIRe), la suspensión de repostajes reunidas por el gestor aeroportuario (AENA), las frustradas por cizalladura reportada por las aeronaves y la climatología de días de tormenta elaborada por el proveedor del Servicio MET (AEMET). En suma, se tratan de cuatro indicadores que facilitan cuantificar el impacto de las tormentas en la operativa de LEMG.



**Figura 25.** Representación conjunta del número de regulaciones por tormentas en la aproximación a LEMG (rojo), frustradas por cizalladura y activación de suspensión de repostajes en el propio aeropuerto (tonalidades en azul) a lo largo del periodo 2015-2019. En amarillo se representa el número medio de días de tormenta en LEMG. Fuente: AENA y ENAIRe.

El número medio de días de tormenta se ha elaborado de conformidad con el periodo climatológico actualmente en vigor (1981-2010) y gracias a las observaciones sinópticas en superficie (SYNOP) recogidas por la estación climatológica ubicada en la cabecera de pista 31 de LEMG.

Los comentarios más importantes que se derivan de la [figura 25](#) son los siguientes:

- De agosto a octubre, el máximo climatológico de días de tormenta coincide con un mayor número de regulaciones emitidas por este mismo fenómeno de impacto. Como cabría esperar, la climatología sugiere un entorno operativo más regulado y con el consiguiente impacto en la regularidad de las operaciones.
- Desde el punto de vista del aeródromo, una tormenta crea un entorno favorable para la presencia de cizalladura de baja cota (LLWS) en su aproximación. En el caso de LEMG, las frustradas por cizalladura no son mayormente causadas por las tormentas. El máximo climatológico de días de tormentas no se corresponde con un mayor reporte de frustradas por cizalladura.
- Las regulaciones por tormentas están en consonancia con las activaciones de suspensión de repostajes en el propio aeródromo. Se tratan de dos procedimientos activados por el usuario aeronáutico (proveedor de servicio ATS y gestor aeroportuario, respectivamente) para adaptarse a un marco operativo más restrictivo. La disrupción provocada por una tormenta no sólo afecta al proveedor del servicio ATS sino también al propio gestor aeroportuario y agentes *handling*. El radio de acción de una tormenta como fenómeno de impacto es muy amplio en el sentido de que su impacto es percibido por un gran elenco de usuarios aeronáuticos.



## 5. Resumen

---

El análisis meteorológico orientado a impactos en LEMG podría resumirse en base a tres 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](#), [tormentas](#) y [visibilidad reducida](#).

La presencia de cizalladura está favorecida por dos escenarios meteorológicos: *terral* (NW) y *levante* (SE). Sus características principales pueden encontrarse en la [tabla II](#).

En relación a las tormentas ([tabla III](#)), su formación está determinada por el paso de frentes, el aporte local de humedad y la orografía (realce de la precipitación).

Por su parte, los escenarios de visibilidad reducida están causados por la formación de dos tipos de nieblas: irradiación y marítimas ([tabla IV](#)). En el primer caso, las condiciones locales son las que gobiernan su formación y posterior evolución mientras que, en el segundo, el contraste entre la superficie del mar y el aire es un factor clave.

Para valorar el impacto, se han analizado los datos de frustradas, regulaciones, suspensión de repostajes y activación del LVP desde 2015 a 2019. Del total de frustradas causadas por condiciones meteorológicas, el 70% corresponden a cizalladura, mientras que un 25% a visibilidad reducida. El viento de componente S tiene mayor impacto que el *terral* (NW). Por su parte, las tormentas -típicas en otoño y finales de verano- no son la principal causa de frustradas por cizalladura.

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 LEMG	Condiciones meteorológicas			Cabecera de pista en uso	Impacto
	Escenarios	Entorno sinóptico	Viento (LEMG)		
	<i>Terral</i>	Anticiclón atlántico en forma de cuña hacia la Península Advección septentrional paso de un frente	Dirección: 280°-300° Intensidad: 10-30 kt Rachas: 20-40 kt		
	<i>Levante</i>	Baja presión al sur del golfo de Cádiz	Dirección: 90°-110° Intensidad: 10-20 kt Rachas: 20-30 kt	31 arribadas; 30 salidas  12 arribadas; 13 salidas	Frustradas Regulaciones Desvíos Retrasos

**Tabla II. La cizalladura en LEMG: escenarios e impactos asociados**

Tormenta en LEMG	Condiciones meteorológicas		Impacto
	Ingredientes para su formación	Fenómenos de impacto embebidos	
	Paso de un frente	Cizalladura	Frustradas Desvíos Retrasos Contaminación de la pista
	Aporte de humedad local (mar Alborán)	Visibilidad reducida	
	Orografía (realce precipitación)		

**Tabla III. Tormentas en LEMG e impactos**

La niebla en LEMG	Condiciones meteorológicas		Impacto
	Escenarios	Ingredientes para su formación	
	<i>Marítima del Alborán</i>	Diferencia térmica entre la superficie del mar y el aire	Activación LVP Regulaciones Frustradas Retrasos
		Viento débil	
		Formación de una inversión a baja altura (terral o subsidencia anticiclónica)	
	<i>Valle de Guadalhorce</i>	Escaso gradiente bórico	
		Irradiación nocturna	
		Formación inversión (catabáticos)	

**Tabla IV. La niebla en LEMG: escenarios, ingredientes para su formación e impactos**

## 6. Summary

---

The meteorological analysis focused on impacts in LEMG could be summarized by means of three impact phenomena whose presence could affect the airport operations and air traffic management: [wind shear](#), [thunderstorm](#) and [low visibility](#).

The presence of wind shear is favoured by two scenarios: *terral* (NW) and *levante* (SE). More detailed information can be found in [table II](#).

In relation to thunderstorms ([table III](#)), its formation is determined by the ahead of fronts, local humidity and orography (enhanced raining).

On the other hand, low visibility episodes are caused by the formation of two types of fog: radiation and maritime origin ([table IV](#)). In the first case, local conditions drive the formation and the subsequent development, whereas the temperature contrast between sea surface and the air is the key component in the second scenario.

In order to calculate their impact, go arounds, regulations, refueling interruptions and LVP activations data have been analyzed since 2015 until 2019. 70 % of go arounds are due to wind shear whereas 25 % to reduced visibility. The south wind component has more effect than terral wind (NW). Moreover, thunderstorms -very common in autumn and at the end of summer- are not the main cause for go rounds owing to windshear.

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.

Windshear in LEMG	Meteorological conditions			Runway in use	Impact
	Scenarios	Synoptic pattern	Wind (LEMG)		
	<i>Terral</i>	Atlantic High pressure wedge-shaped towards Iberian Peninsula Septentrional advection behind cold front	Direction: 280°-300° Intensity: 10-30 kt Gust: 20-40 kt		
	<i>Levante</i>	Low pressure at the South of Cadiz Gulf	Direction: 90°-110° Intensity: 10-20 kt Gust: 20-30 kt	31 arrivals; 30 departures  12 arrivals; 13 departures	Go rounds Regulations Diversions Delays

**Table II. Windshear in LEMG: scenarios and associated effects.**

Thunderstorms in LEMG	Meteorological conditions		Impact
	Formation ingredients	Embebed meteorological hazards	
	Ahead of a front	Windshear	Go rounds Diversions Delays Runway contaminated
	Local humidity (Alboran sea)	Reduced visibility	
	Orography (enhanced raining)		

**Table III. Thunderstorms in LEMG and its effects**

Fog in LEMG	Meteorological conditions		Impact
	Scenarios	Formation ingredients	
	<i>Alboran sea fog</i>	Thermal difference between sea surface and air	LVP activation Regulations Go rounds Delays
		Weak wind	
		Formation of low level inversion layer (terral wind or anticyclone subsidence)	
	<i>Guadalhorce valley</i>	Low pressure gradient	
		Nocturnal irradiation	
		Inversion layer formation (catabatic winds)	

**Table IV. Fog in LEMG: scenarios, formation ingredients and impact**



## 7. Referencias

---

Muñoz J., Sánchez-Laulhé J. M., Arévalo M. J., Ruíz J. J. y Polvorinos F. (2000): **Memorandum Climatológico descriptivo del Aeropuerto de Málaga**, Instituto Nacional de Meteorología. Centro Meteorológico de Andalucía Oriental y Melilla, documento de uso interno.

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

## 8. Agradecimientos

---

Fausto Polvorinos Pascual (anterior Jefe del GPV de Málaga, AEMET)

Alberto Camarero Domingo (Observador aeronáutico de la Oficina Meteorológica en LEMG, AEMET)

María Jesús de Arévalo García-Navas (anterior jefa de la Oficina Meteorológica en LEMG, AEMET)

Sergio Fernández González (Técnico superior de Estudios y Desarrollos, Delegación Territorial de AEMET en Cantabria)

Cruz Zancajo Rodríguez (Observadora del Grupo de Predicción y Vigilancia de Málaga, AEMET)

David González Campos (Jefe de Supervisión de Torre de Control en LEMG, ENAIRE)

José Manuel González López (División de Operaciones LEMG, AENA)

AENA Aeropuertos

ENAIRE

---

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

