

# Guía Meteorológica de Aeródromo: Adolfo Suárez Madrid-Barajas



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

**Textos:** Darío Cano Espadas y Alejandro Méndez Frades

**Revisión:** María Rosa Pons Reynés

**Ilustración de la portada:** Julio Aristizábal Arteaga

**Edita:**

© Ministerio para la Transición Ecológica  
Agencia Estatal de Meteorología  
Oficina Programa Cielo Único. Unidad de Meteorología Aeronáutica  
Madrid, 2019

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:  
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

NIPO: 639-18-065-2

<https://doi.org/10.31978/639-18-065-2.LEMD>

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



@Aemet\_Esp



@Aemet\_Madrid



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

# Contenido

---

1.	Introducción .....	5
2.	Situación geográfica .....	7
3.	Fenómenos de impacto .....	9
3.1.	BRISA DE MONTAÑA.....	9
3.2.	CIZALLADURA.....	12
3.3.	NIEBLA .....	22
3.4.	NIEVE .....	26
4.	Impactos .....	29
5.	Resumen .....	32
6.	Summary.....	33
7.	Agradecimientos .....	34



# 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.

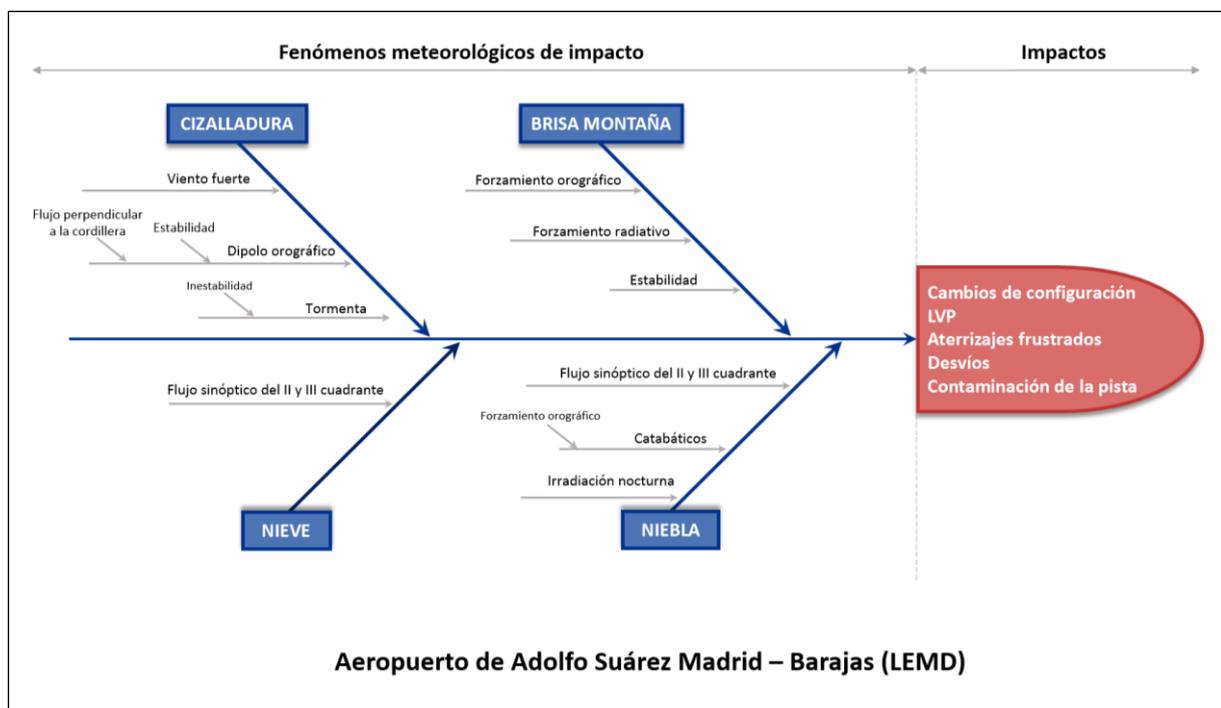
## 1.2. Aplicación para el caso del aeropuerto Adolfo Suarez – Madrid Barajas

En la figura 1 se detalla el diagrama Ishikawa para el aeropuerto Adolfo Suárez - Madrid Barajas (en adelante, LEMD). 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.

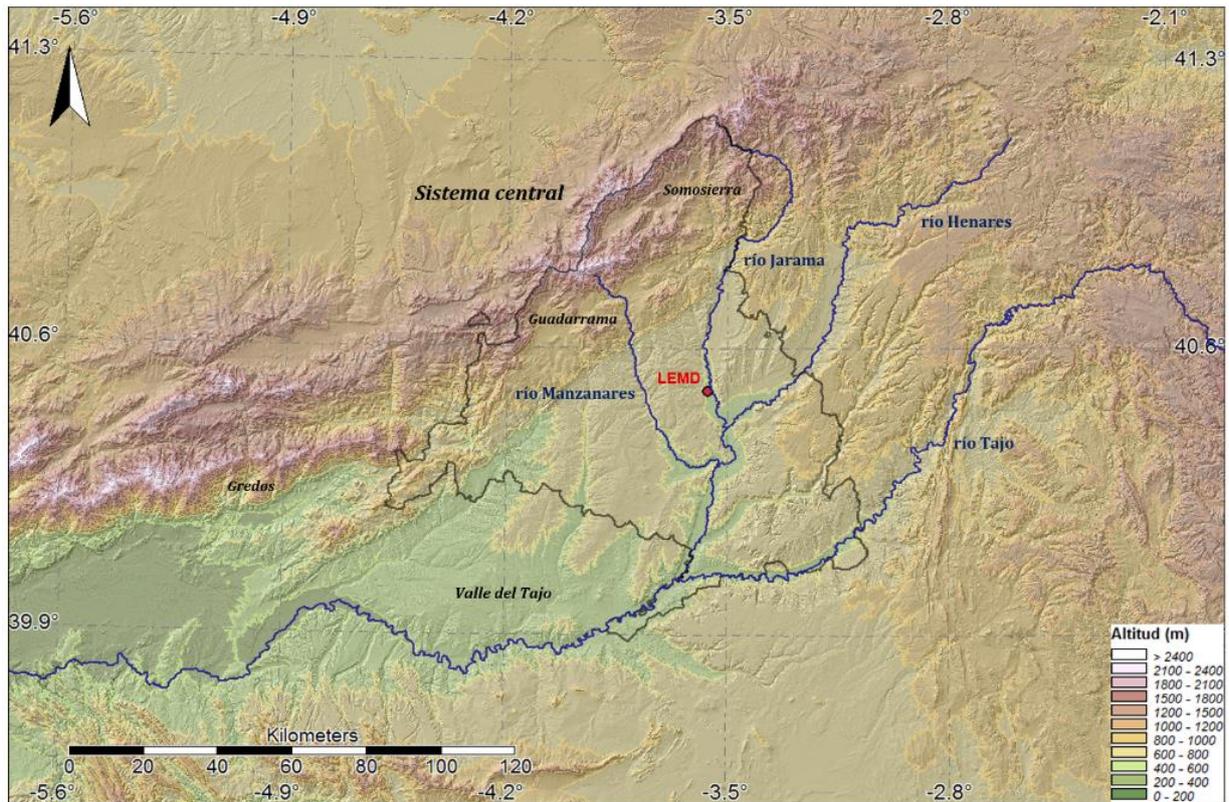


**Figura 1.** Diagrama de Ishikawa para LEMD: la identificación de los fenómenos meteorológicos de impacto exige un conocimiento detallado del entorno meteorológico en el que se encuentra embebido. Ello posibilitará establecer su relación con los impactos observados en su marco operativo.

## 2. Situación geográfica

LEMD se sitúa en las estribaciones más meridionales de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central), con una altitud media de 600 metros.

La influencia de este macizo montañoso en el clima del aeropuerto va a ser decisiva, ya que va a servir de parapeto a los vientos de componente N, que quedarán retenidos en la ladera de barlovento del Sistema Central. Al mismo tiempo, dificulta el avance del flujo húmedo y templado del SW, provocando la formación de nubes de estancamiento contra su ladera meridional (figura 2).

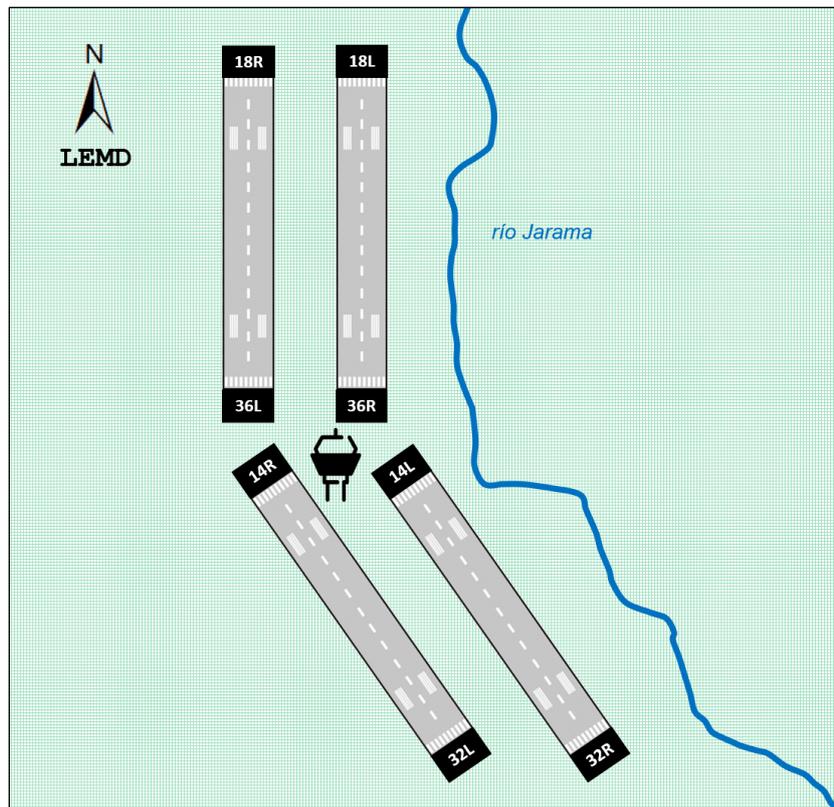


**Figura 2.** Situación geográfica de LEMD: el aeródromo se localiza en el punto representado. Además se han representado los ríos más importantes: Tajo, Manzanares, Jarama y Henares. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

A escala local, LEMD se emplaza en el valle del río Jarama cuya orientación aproximada es norte-sur, por lo que se verá afectado por las brisas de valle y de montaña así como por la

humedad procedente del río. La orientación de este valle permite canalizar los vientos del N y NE, que son los vientos medios más fuertes que se registran en el aeródromo (figura 2). Al nordeste se sitúan los cerros de Paracuellos, que constituyen el único relieve destacado en las proximidades del aeropuerto. Por otra parte, la proximidad del área metropolitana de Madrid y del cinturón industrial del Corredor del Henares va a ejercer una influencia sobre algunos elementos del clima, en la formación y mantenimiento de brumas y neblinas, debido a la gran cantidad de productos contaminantes que se emiten a la atmósfera.

En la figura 3 se muestra la orientación de las pistas en LEMD, en la que destaca la cercanía al río Jarama.



**Figura 3.** Orientación de las pistas de LEMD. Destaca su cercanía al río Jarama.

La tabla 1 se resume los datos geográficos más relevantes de LEMD.

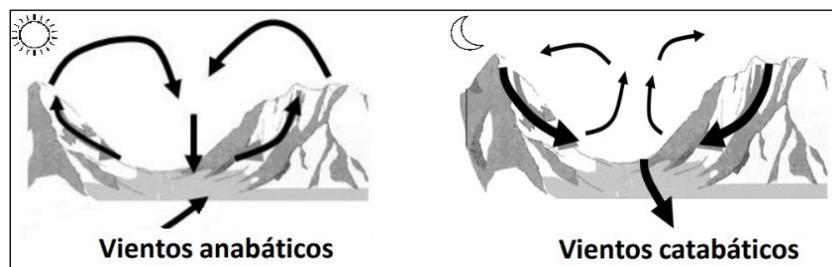
Datos geográficos		
Nombre del aeródromo		Adolfo Suárez Madrid -Barajas
Indicativo	OACI	LEMD
	IATA	MD
Latitud		40° 28' 20'' N
Longitud		3° 33' 39'' W
Altitud		609 m

**Tabla 1**

## 3. Fenómenos de impacto

### 3.1. BRISA DE MONTAÑA

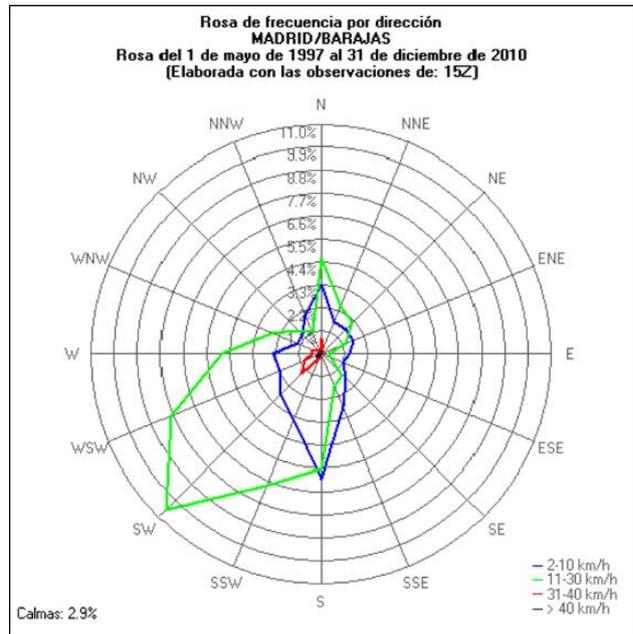
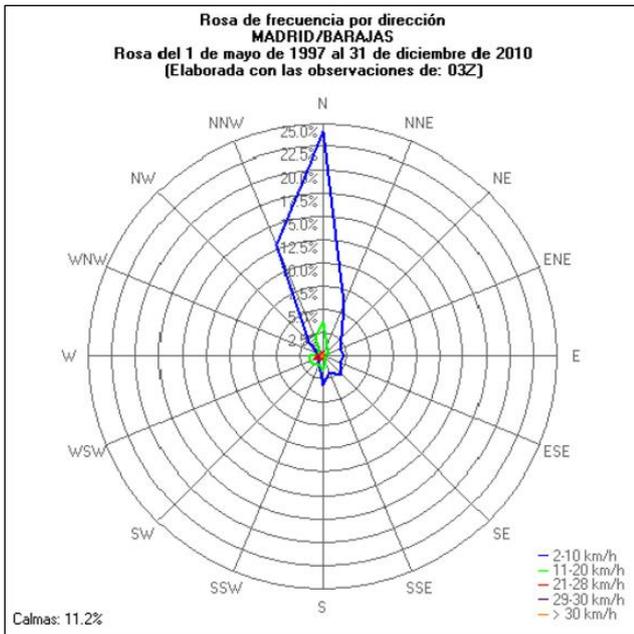
La **brisa de montaña** es la consecuencia de un desajuste en la distribución de densidad del aire que se produce al calentarse o enfriarse de manera diferencial como consecuencia de la orografía del terreno. En las cumbres, los calentamientos y enfriamientos son más rápidos que en los valles, provocando un flujo de subida o *anabático* durante el día y otro de bajada o *catabático* durante la noche. El viento *anabático* representa el viento diurno de salida del valle, mientras que el *catabático* alude al drenaje nocturno ([figura 4](#)).



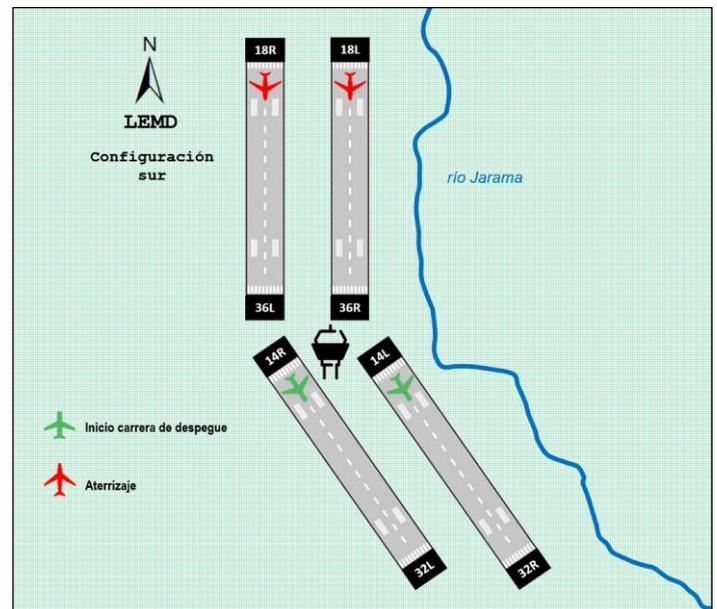
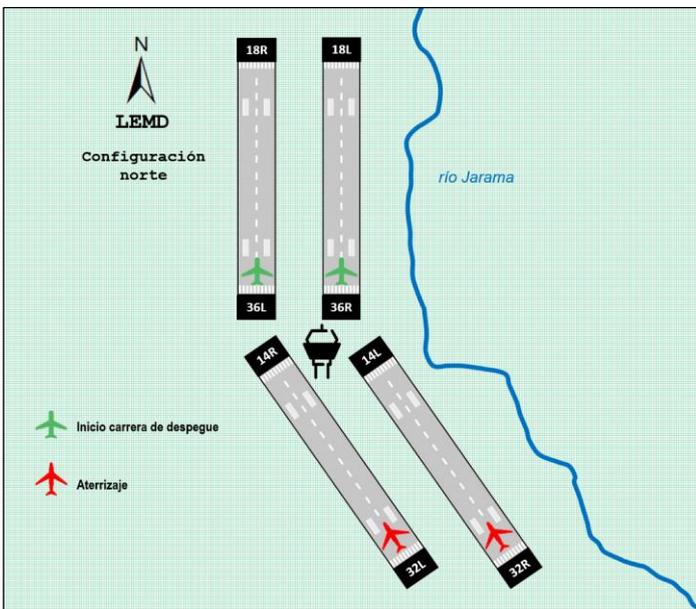
**Figura 4.** Modelo conceptual de las brisas de montaña: vientos *anabáticos* diurnos, (izquierda) y vientos *catabáticos* nocturnos (derecha).

En la [figura 5](#) se muestra la rosa de los vientos en LEMD durante la noche y la tarde, eligiendo como hora representativa las 3 UTC y las 15 UTC respectivamente. En ambos casos, se puede observar la señal de la brisa de montaña. Así como la fase nocturna está caracterizada por un viento catabático débil de N y de intensidad comprendida entre 2 km/h y 10 km/h, la fase diurna lo está por un viento anabático de componente S-SW, más intenso y cuya velocidad puede llegar a los 15 kt.

Es interesante destacar que los vientos más fuertes son de SW y NE respectivamente, direcciones coincidentes con la orientación del valle del Tajo (SW) y de la cuenca del Jarama (NE).



**Figura 5.** La rosa de vientos resume sucintamente el comportamiento medio del viento en LEMD, mostrando de forma indirecta la influencia de la orografía. El comportamiento medio del viento durante la noche está caracterizado por el catabático (N) mientras que durante el día lo está por el anabático (S-SW).



**Figura 6.** Configuraciones posibles en LEMD. A la izquierda, configuración norte. A la derecha, configuración sur. Los colores verde y rojo denotan las aeronaves que despegan y aterrizan, respectivamente.

La brisa de montaña puede originar un cambio de configuración en un aeródromo. En particular, la configuración preferente en LEMD es la norte, siendo de obligado cumplimiento su cambio cuando se observen vientos en cola (dirección S) superiores a 10 kt y vientos cruzados superiores a 20 kt excepto cuando reinen o estén previstas alguna de las siguientes condiciones:

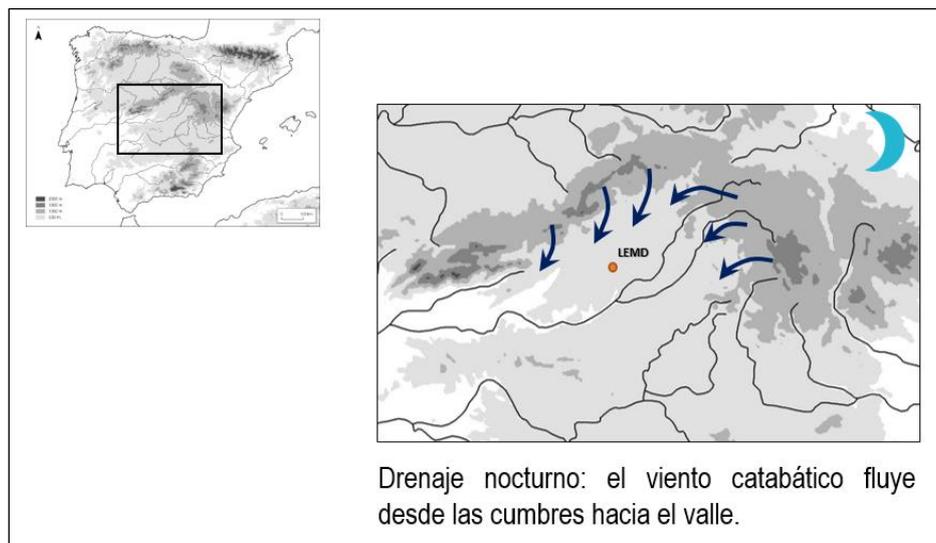
- Estado de la superficie de la pista negativamente afectado y/o con acción de frenado inferior a buena.
- Techo de nubes inferior a 500 ft sobre la elevación del aeródromo.
- Visibilidad inferior a 1.9 km (1 NM).
- Cizalladura notificada o pronosticada o tormentas en aproximación o salida.
- Condiciones de tráfico, necesidades operativas, situaciones de seguridad o el resto de condiciones meteorológicas que lo impidan.

En la [figura 6](#) se muestran las dos configuraciones posibles para LEMD.

### 3.1.1. La importancia del viento anabático en el cambio de configuración

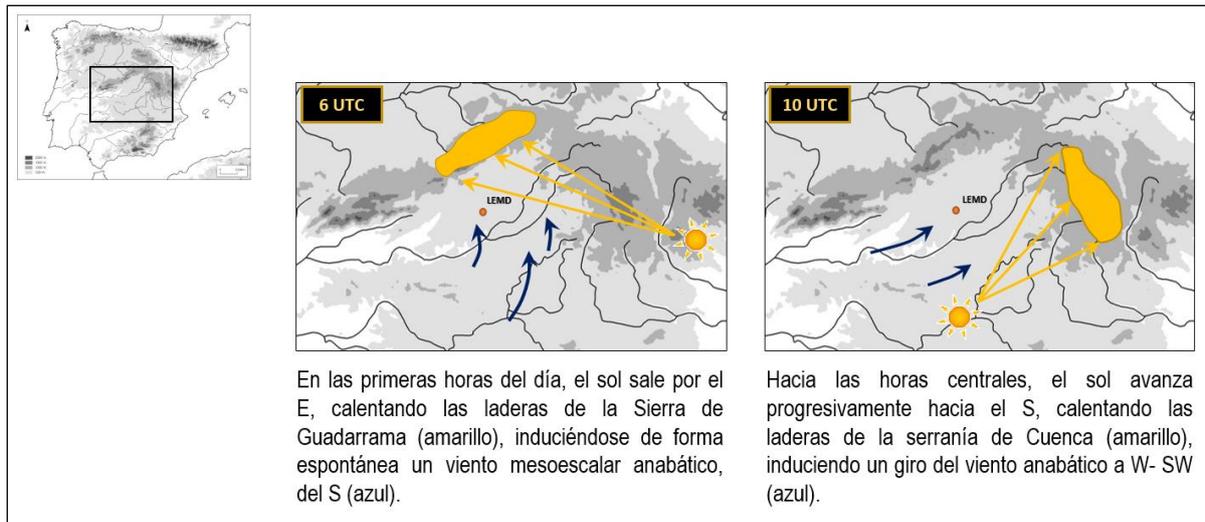
En las cumbres montañosas más cercanas a LEMD (sierras de Guadarrama y serranía de Cuenca) se producen calentamientos y enfriamientos más rápidos que en los valles de la cuenca del Jarama (Jarama, Henares, Manzanares) ([figura 2](#)). Como respuesta a este efecto, se formarán dos configuraciones mesoescalares: vientos anabático y catabático.

El viento **catabático**, a pesar de ser, por lo general, débil, juega un papel importante en la formación de áreas de convergencia ([figura 7](#)).



**Figura 7. Modelo conceptual de la formación de vientos catabáticos sobre LEMD. Durante la noche se forma un viento mesoescalar procedente de las cumbres montañosas de Gredos y Guadarrama y parte de la serranía de Cuenca sobre el valle del Jarama.**

En cambio, el **anabático**, es de mayor intensidad y puede llegar a superar los 15 kt durante los meses de mayor insolación (periodo comprendido entre los meses de mayo a octubre). En la [figura 8](#) se representa el modelo conceptual de su formación y evolución. Como consecuencia del ciclo diurno descrito anteriormente, el *anabático* rola de S a SW. Por este motivo, el cambio de configuración en LEMD es un escenario plausible, pudiéndose producir, dependiendo del mes, en torno a las 10 UTC, que coincide precisamente con la hora punta de afluencia de tráfico en las proximidades del aeródromo.



**Figura 8. Modelo conceptual de la formación de vientos anabáticos durante los meses de mayor insolación en LEMD. Lo más problemático es la predicción del cambio de dirección de S a SW a efectos de establecer la configuración de operación más adecuada.**

Tan importante es predecir el inicio del anabático superior a 10 kt como su final, es decir, la ventana temporal en la que el aeródromo se encontrará en condiciones de viento de configuración sur. En este sentido, el TAF realizado para LEMD debe hacer alusión a este fenómeno.

Dado que los pronósticos de aeródromo TAF y TREND van dirigidos al dato del METAR que, en el caso de LEMD se elabora a partir de la cabecera 32L, puede haber situaciones en las que algunas de las cabeceras de pista superen el umbral de los 10 kt de viento en cola sin que éste aparezca reflejado en el correspondiente METAR.

En la [tabla 2](#) se muestra un resumen de lo anteriormente comentado.

Brisas en LEMD	
Entorno atmosférico	Impacto: anabáticos
Forzamiento orográfico y radiativo Estabilidad <b>Dos fases:</b> <b>anabáticos</b> (viento ascendente por las laderas expuestas al calentamiento diabático del Sol, desde el valle hacia las cumbres, fase diurna) y <b>catabáticos</b> (descendente por ser más frío y denso, desde las cumbres hacia el valle, levantando progresivamente el aire cálido del fondo de los valles, drenaje nocturno)	Acumulación de aeronaves en las proximidades No se producen aterrizajes frustrados <b>Anabáticos:</b> viento en cola en las pistas 18/36 y viento cruzado en las pistas 32/14 ⇒ más intensos ⇒ cambio de configuración
	Necesidades del usuario
	Predicción del cambio del régimen de catabáticos a anabáticos

Tabla 2

## 3.2. CIZALLADURA

La cizalladura es el cambio en la dirección y/o intensidad del viento en un plano y en una distancia espacial. Se produce cuando capas de aire adyacentes tienen una acusada diferencia entre sus velocidades respectivas.

### 3.2.1. Importancia

La cizalladura puede presentarse en todos los niveles de la atmósfera, siendo especialmente importante cuando se detecta por debajo de los 2000 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 del aeródromo. 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.

### 3.2.2. La cizalladura en LEMD. Generalidades

La cizalladura en LEMD puede generarse de diversas formas, según el entorno atmosférico que se considere. En una situación estable, el dipolo orográfico es un mecanismo precursor de cizalladura vertical, mientras que en el caso inestable, lo es una tormenta. En la [tabla 3](#) se especifica el precursor de cizalladura según el ambiente atmosférico.

Entornos favorables de cizalladura en LEMD	
Situación atmosférica	Precursor
Estabilidad	Dipolo orográfico
Inestabilidad	Viento fuerte del oeste Tormenta

Tabla 3

### 3.2.3. La cizalladura en LEMD, caso estable: dipolo orográfico

Un fenómeno meteorológico, asociado a una situación de estabilidad atmosférica, que potencialmente provoca la presencia de cizalladura en LEMD es el **dipolo orográfico**.

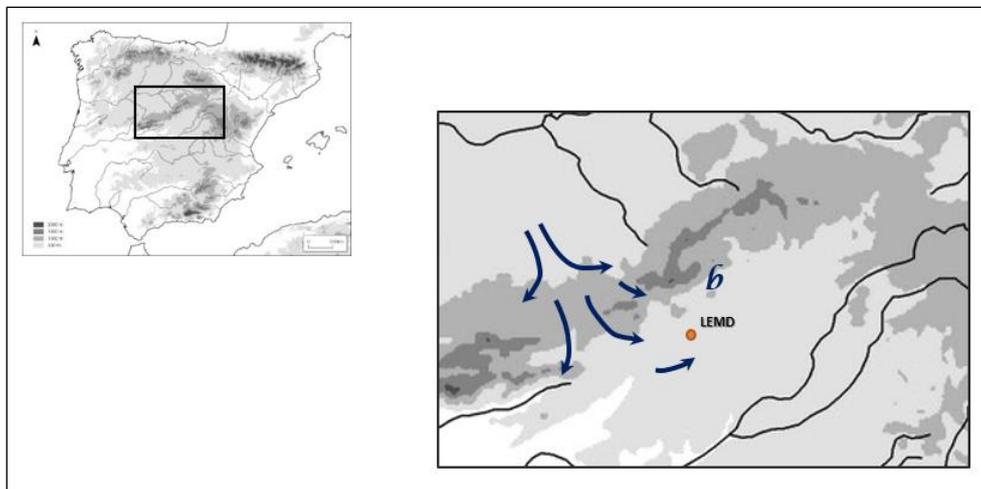
Se trata de una estructura mesoesalar que se forma cuando una componente del flujo incide más o menos perpendicular sobre una barrera montañosa, viéndose obligado a rodearlo o bien a remontarlo. La ocurrencia de uno u otro efecto dependerá de tres condicionantes: la estabilidad estática, la altura característica de la montaña y la velocidad del viento.

La cadena montañosa que juega un papel determinante en la formación de un dipolo orográfico en el entorno de LEMD es el Sistema Central. Éste se puede dividir en dos grandes macizos montañosos que están separados por un pequeño portillo geográfico por el que transcurre el río Alberche: la sierra de Gredos (con orientación este-oeste) y la sierra de Guadarrama (orientación suroeste-nordeste).

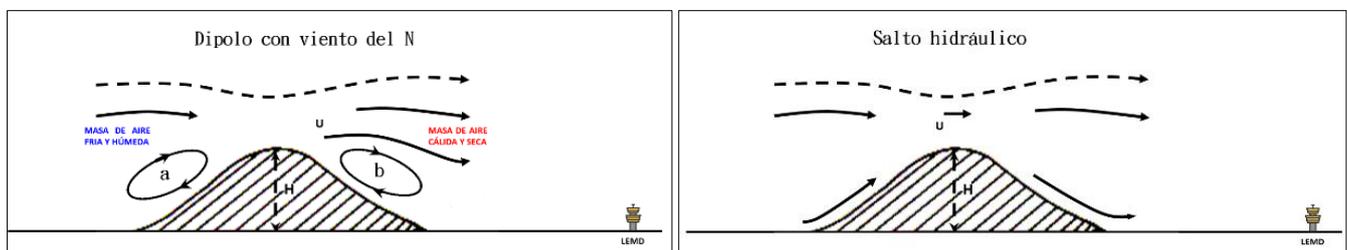
#### 3.2.3.1. Caracterización del dipolo orográfico con viento de componente N (LEMD a sotavento)

Aunque, por lo general, se utilice la terminología «dipolo con viento de N», hay que advertir que, dada la localización de LEMD, todos aquellos flujos que tienen una componente perpendicular al Sistema Central pueden ser precursores de esta configuración particular del campo isobárico. En particular, todos los vientos situados en el cuarto cuadrante lo son. Por este motivo, lo más correcto sería la denominación «dipolo con viento de componente N».

En condiciones de estabilidad, cuando el flujo sinóptico es moderado o fuerte, soplando de N-NW, las masas de aire quedan retenidas a barlovento, en la cara norte de la cadena montañosa de forma que LEMD se localiza a sotavento. El paso del Alberche canaliza un chorro de viento en niveles bajos hacia las provincias de Madrid y Toledo (figura 9). En estas condiciones, LEMD suele tener vientos flojos de dirección variable en superficie, no descartándose la de S. En los niveles altos, a unos 2000 m, el viento será de N tanto más intenso, cuanto más cerca se encuentren los puertos de montaña. Las ondas de montaña producidas son, además, generadoras de turbulencia y, aunque suelen ser más intensas en los niveles altos, pueden provocarse roturas o saltos en superficie. Cuando el dipolo orográfico se rompe, se produce un salto hidráulico, de manera que los vientos del N-NW irrumpen con fuerza hacia Madrid (figura 10). En este caso, las condiciones meteorológicas previstas a sotavento: viento, nubosidad, temperatura... cambian. Así, si no se prevé el salto hidráulico el pronóstico fallará en todas sus variables.



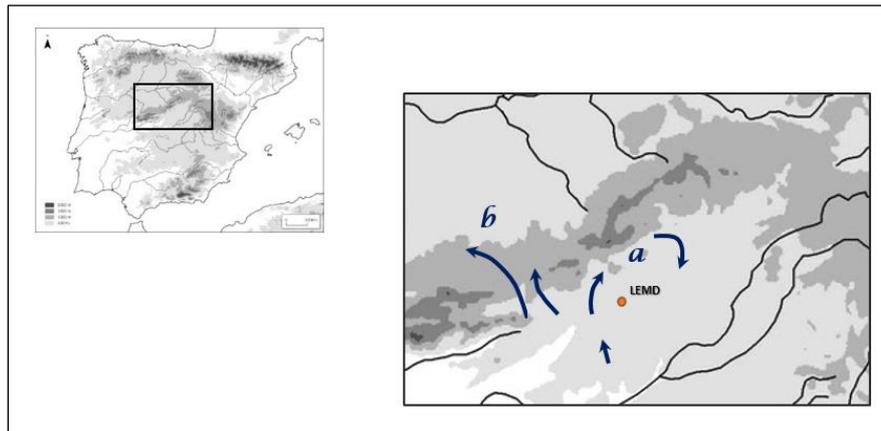
**Figura 9.** Modelo conceptual del dipolo de componente N: la componente perpendicular del viento sinóptico de N sobre el Sistema Central es precursora de la formación de una mesoalta a barlovento y de una mesobaja a sotavento (donde se sitúa LEMD).



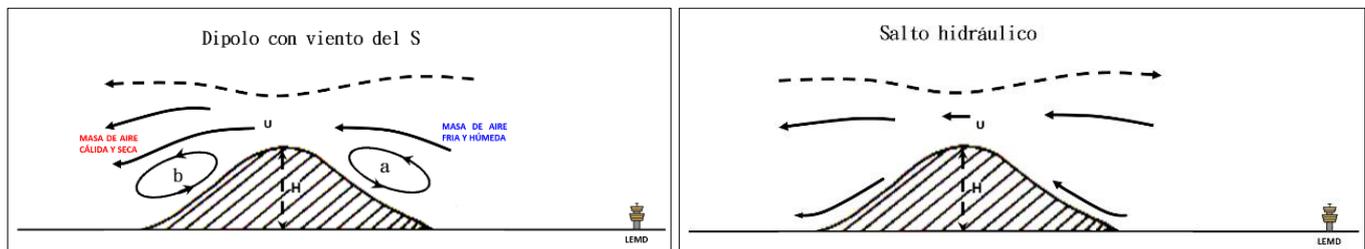
**Figura 10.** Modelo conceptual del dipolo de componente N en LEMD (corte transversal norte-sur). A la izquierda, localización de la mesoalta a barlovento y mesobaja a sotavento. A la derecha, la rotura con el correspondiente salto hidráulico. Fuente: adaptación de Hunt y Simpson.

### 3.2.3.2. Caracterización del dipolo orográfico con viento de componente S (LEMD a barlovento)

Un viento de componente S que, por lo general, procede de la parte delantera de un frente frío, unido a unas condiciones atmosféricas estables, constituirá un entorno favorable para la formación del dipolo orográfico de sur (figuras 11 y 12).



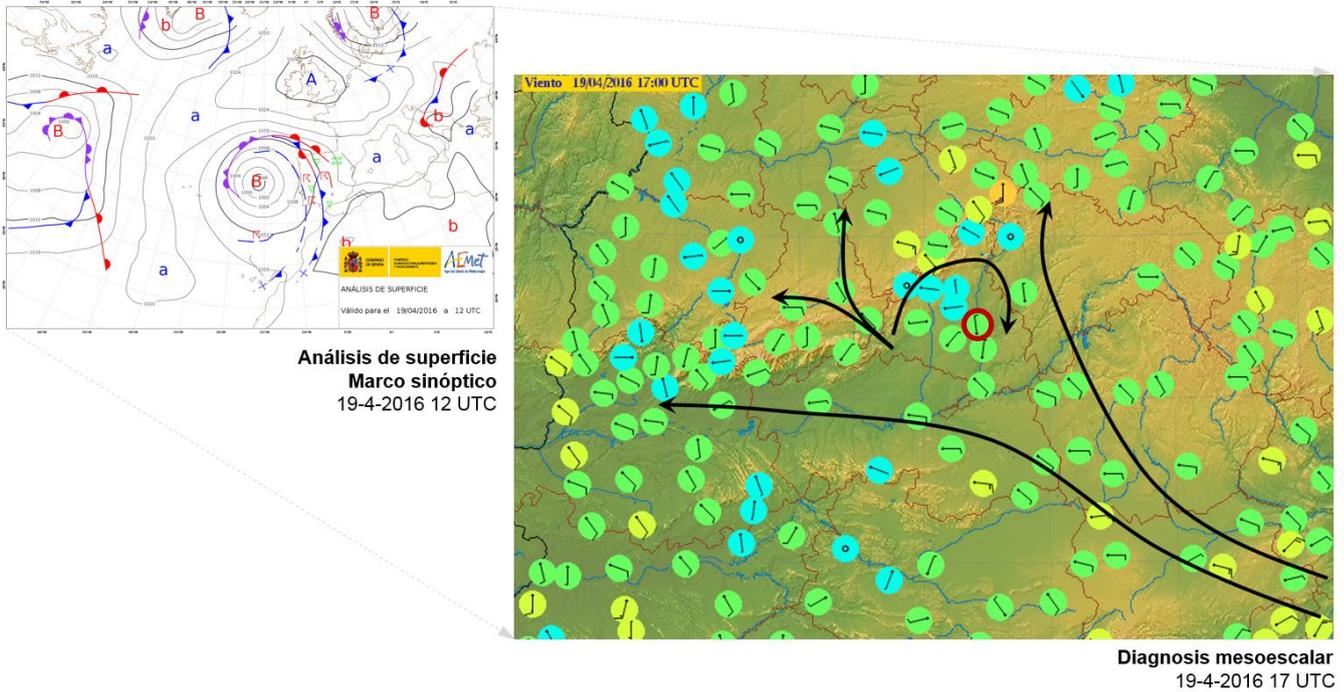
**Figura 11.** Modelo conceptual del dipolo de componente S: la componente perpendicular del viento sinóptico de S sobre el Sistema Central es precursora de la formación de una mesoalta a barlovento (donde se sitúa LEMD) y de una mesobaja a sotavento.



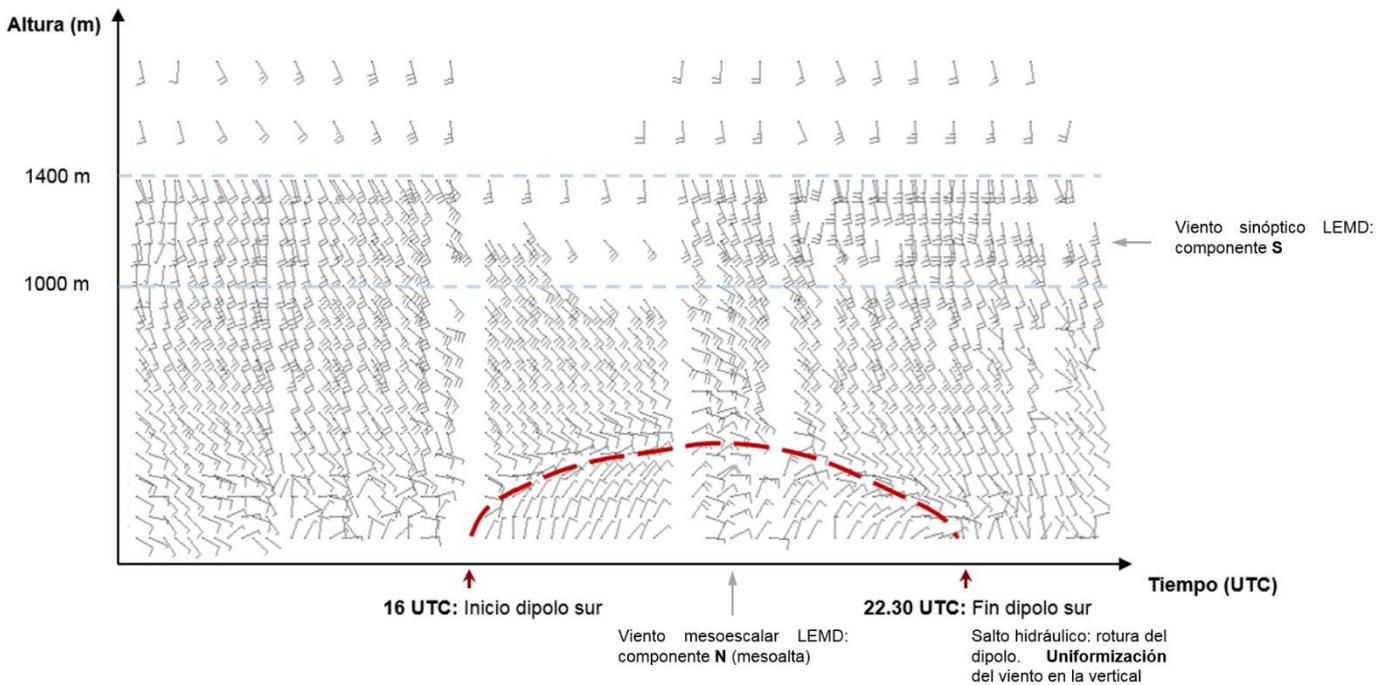
**Figura 12.** Modelo conceptual del dipolo de componente S en LEMD (corte transversal Norte-Sur). A la izquierda, formación de la estructura dipolar. A la derecha, la rotura con el correspondiente salto hidráulico. Fuente: adaptación de Hunt y Simpson.

Lo descrito anteriormente puede visualizarse con la situación del 19-4-2016. El análisis sinóptico de la figura 13 (parte superior izquierda) muestra una baja presión atlántica en las inmediaciones de la Península. En la parte inferior derecha, la diagnosis mesoescalar para ese día a las 17 UTC elaborado a partir del viento registrado en superficie por las estaciones automáticas de AEMET permite inferir las líneas de flujo así como la localización de una mesoalta en LEMD. Nótese que los valores registrados en las estaciones automáticas ubicadas en las cercanías de las cumbres del Sistema Central (a una altitud superior a 1000 m) son representativas de la intensidad y dirección del viento sinóptico reinante.

En la figura 14 se muestra el comportamiento vertical del viento en esta situación gracias a los datos proporcionados por el perfilador de LEMD.



**Figura 13.** Situación de dipolo de viento de S del 19-4-2016: análisis sinóptico de superficie a las 12 UTC y diagnóstico mesoescalar a las 17 UTC (fase dipolo) realizada a partir del viento registrado en las estaciones automáticas de AEMET. Las líneas en negro señalan la dirección del flujo. Nótese la formación de una mesoalta a barlovento de la Sierra de Guadarrama.



**Figura 14.** Datos del perfilador de LEMD (cabecera 32L) del día 19-4-2016. Entre las 16 UTC y las 23 UTC, se observa en los niveles más cercanos a la superficie viento de N, sobrevolada por viento de S en niveles altos. Esta estructura evidencia la formación de una mesoalta (barlovento) en LEMD, consecuencia de la acumulación de aire a barlovento. El salto hidráulico destruye el dipolo a las 23 UTC, normalizando el campo de viento (viento de S en todos los niveles).

El perfilador es un sensor remoto que mide el viento y la temperatura en un punto del espacio determinado, a lo largo de la dimensión vertical y en un intervalo de tiempo concreto. De esta forma, se obtendrá una imagen temporal de la distribución vertical del viento y de la temperatura. Hay que advertir que el primer dato que detecta el perfilador no tiene por qué coincidir con el de superficie. Éste suele situarse a muy poca distancia del suelo. No obstante, los datos METAR serán los que den cuenta de la situación en superficie. La combinación de los datos ofrecidos por el perfilador y el METAR, pueden dar una idea global de la situación meteorológica reinante en LEMD.

Entre las 16 UTC y las 22.30 UTC se observa en los niveles más próximos a la superficie, el establecimiento de una capa límite a barlovento del Sistema Central, en la que el viento es flojo, de NW. Esta estructura evidencia la formación de la mesoalta de barlovento en LEMD. Hacia las horas finales del día, el espesor de la capa límite que conformaba la mesoalta disminuye progresivamente. De hecho, a partir de las 22.30 UTC, se produce el salto hidráulico: el viento de S irrumpe en todos los niveles de LEMD lo que implica la desaparición de la citada mesoalta.

Teniendo en cuenta que LEMD opera en configuración norte, se tuvo lo siguiente:

- Cuando las aeronaves **despegan** (dirección N), cerca de la superficie, detectan viento de cara (intensidad floja, viento procedente de la mesobaja, componente N). A unos 100 m de altura, detectan viento en cola (intensidad moderada- fuerte, componente S), lo cual supone una situación nada deseable.
- Cuando las aeronaves **atterrizan** (dirección NW), detectan viento en cola durante casi toda la senda de planeo (intensidad moderada- fuerte, viento sinóptico, componente S), salvo a una poca distancia del suelo, en la que sienten viento de cara (intensidad floja, viento procedente de la mesobaja, componente N).

El **dipolo de componente S** tiene mayor impacto sobre la operatividad de LEMD que el de N debido a la aparición de **cizalladura vertical** en los niveles más próximos a la superficie.

Las **tablas 4 y 5** resumen todo lo anteriormente descrito.

Modelo conceptual del dipolo orográfico en LEMD	
<p><b>Clave:</b> La interacción del aire atmosférico sobre la orografía genera configuraciones particulares del campo isobárico: anisotropía del campo del viento.</p> <p><b>Ingredientes:</b> flujo sinóptico con componente perpendicular sobre la Sierra de Guadarrama (N-NW, S-SE) y estabilidad atmosférica.</p>	
Dipolo orográfico de componente N	Dipolo orográfico de componente S
<p><b>Fenomenología:</b> Mesobaja sobrevolada a sotavento por viento sinóptico de componente N. LEMD se localiza a sotavento de la Sierra de Guadarrama.</p> <p><b>Predicibilidad del salto hidráulico:</b> si no se pronostica el salto hidráulico ⇒ la predicción fallará en todas sus variables en LEMD.</p>	<p><b>Fenomenología:</b> Mesoalta sobrevolada a barlovento por viento sinóptico de componente S. LEMD se localiza a barlovento de la Sierra de Guadarrama.</p> <p><b>Entorno favorable a cizalladura vertical:</b> en las operaciones de despegue/atterrizaje en LEMD (configuración N) se detecta cizalladura vertical.</p>

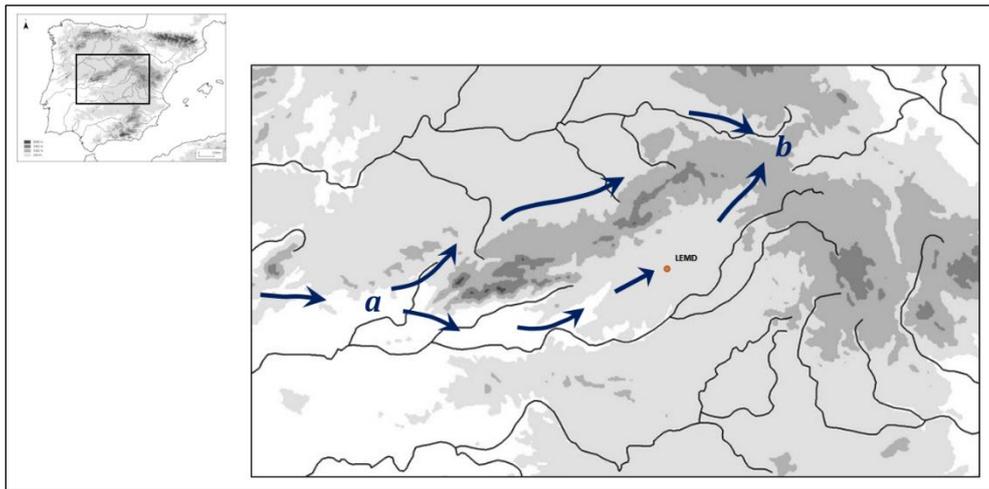
Tabla 4

	Entorno atmosférico	Operación		Fenómeno de impacto	Impacto
<b>Dipolo orográfico en LEMD</b>	Dipolo orográfico con viento de componente <b>S</b>	Despegue	Aeronave despegue hacia el N ⇒ <b>en superficie: viento en cara</b> (viento mesoalta, componente N, flojo); <b>a muy poca altitud: viento en cola</b> (viento sinóptico, componente S moderado fuerte).	Cizalladura vertical	<b>Premisa:</b> LEMD opera en configuración norte ⇒ <b>aterrizajes frustrados</b>
		Aterrizaje	Aeronave aterriza hacia el NW ⇒ <b>durante la mayor parte de la senda de planeo: viento en cola</b> (viento sinóptico, componente S moderado fuerte); <b>a muy poca altitud: viento en cara</b> (mesoalta LEMD, componente N, flojo).	Cizalladura vertical	
	Dipolo orográfico con viento de componente <b>N</b>	Despegue	Aeronave despegue hacia el N ⇒ <b>en superficie:</b> viento variable/ componente S, de intensidad floja (mesobaja en LEMD); <b>En la mayor parte de la vertical: viento en cara</b> (viento sinóptico, componente N moderado fuerte).	Cizalladura vertical	<b>Premisa:</b> LEMD opera en configuración norte ⇒ <b>poca afección</b>
		Aterrizaje	Aeronave aterriza hacia el NW ⇒ <b>durante la mayor parte de la senda de planeo: viento en cara</b> (viento sinóptico, componente N moderado fuerte); <b>a muy poca altitud: viento en cara</b> (viento mesobaja, componente N, flojo).	Cizalladura vertical	

Tabla 5

### 3.2.4. La cizalladura en LEMD, caso inestable: viento fuerte

Una situación meteorológica que favorecería la presencia de cizalladura en LEMD es con viento sinóptico fuerte de componente W o del NE. En particular, cuando el flujo sinóptico es del W, al incidir sobre la Península, se canaliza e intensifica a lo largo del valle del Tajo, llegando a LEMD como viento de S-SW. En la [figura 15](#) se muestra un esquema gráfico.



**Figura 15.** Modelo conceptual de una situación de viento fuerte del W: mesoalta a barlovento (sierra de Gredos), mesobaja a sotavento (sierra de Ayllón) y viento de S-SW en LEMD.

Esta situación, aunque no es muy frecuente, puede ser causante de un gran número de aterrizajes frustrados, como se mostrará en el capítulo de impactos.

La [tabla 6](#) muestra los dos escenarios posibles según la dirección del viento sinóptico, relacionando aspectos meteorológicos con el correspondiente impacto con la operatividad de LEMD.

Viento fuerte	
Entorno atmosférico	Impacto
Si el viento sinóptico es del <b>W</b> ⇒ interacción con la orografía ⇒ canalización por el valle del Tajo ⇒ formación de dos configuraciones mesoescalares: mesoalta a barlovento en Gredos y mesobaja a sotavento en Ayllón ⇒ el viento en LEMD es <b>fuerte</b> y del <b>S-SW</b> ⇒ entorno favorable a cizalladura y viento cruzado.	Aterrizajes frustrados y desvíos
Si el viento sinóptico es del <b>NE</b> ⇒ interacción con la orografía ⇒ canalización por el valle del Henares ⇒ formación de dos configuraciones mesoescalares: mesoalta a barlovento en Ayllón y mesobaja a sotavento en el valle del Tajo ⇒ el viento en LEMD es <b>fuerte</b> y del <b>N</b> ⇒ entorno favorable a cizalladura.	

**Tabla 6**

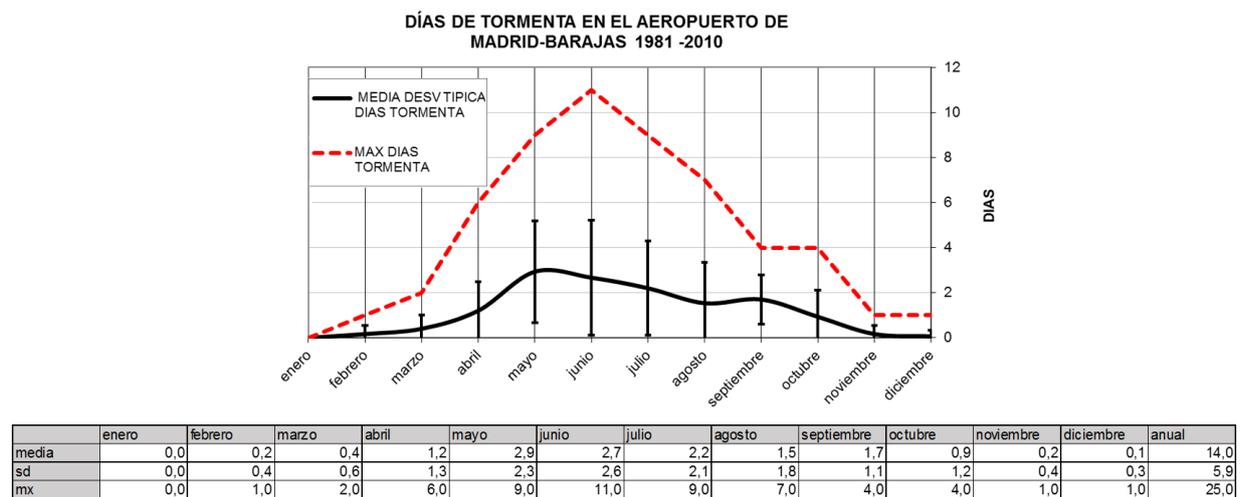
### 3.2.5. La cizalladura en LEMD, caso inestable: tormenta

El fenómeno meteorológico de impacto asociado a una situación de inestabilidad atmosférica que potencialmente puede provocar cizalladura en LEMD es la **tormenta**.

Una tormenta es un sistema atmosférico mesoescalar, cuya estructura nubosa suele presentar una apariencia cumular y gran desarrollo vertical, capaz de producir rayos, truenos, vientos racheados, lluvias fuertes y, en algunas ocasiones, granizo.

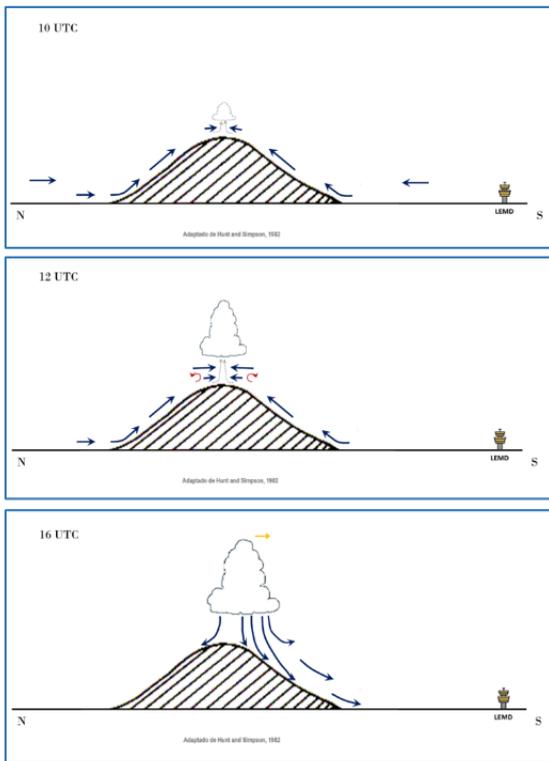
Las tormentas en sí mismas suponen un importante impacto en las operaciones aeroportuarias, tanto por las precipitaciones intensas como por las rachas (cambios súbitos del viento en intensidad o dirección), cizalladura y turbulencia asociadas. Según la localización de la tormenta respecto a las pistas cabría la posibilidad de vientos fuertes cruzados o de cola.

En la **figura 16** se muestra que, por término medio, suelen haber 14 días de tormenta al año en LEMD, concentrándose la mayor parte de ellas entre los meses de marzo y octubre.



**Figura 16.** Climatología básica de días de tormentas en LEMD (1981-2010). La estación climatológica está situada en la cabecera de pista 32L.

Una situación muy frecuente y de gran impacto en las operaciones ocurre cuando las tormentas se localizan al norte de LEMD, hacia el Sistema Central. Frecuentemente las situaciones de fuertes tormentas en esta zona ocurren con viento sinóptico del S, SW, o SE [4]. En efecto, en estas condiciones, es habitual que LEMD se encuentre en configuración Sur (**figura 17**).



**Condiciones iniciales:** viento del S (sinóptico) en LEMD y entorno favorable para la convección en el Sistema Central. **LEMD opera en configuración sur.**

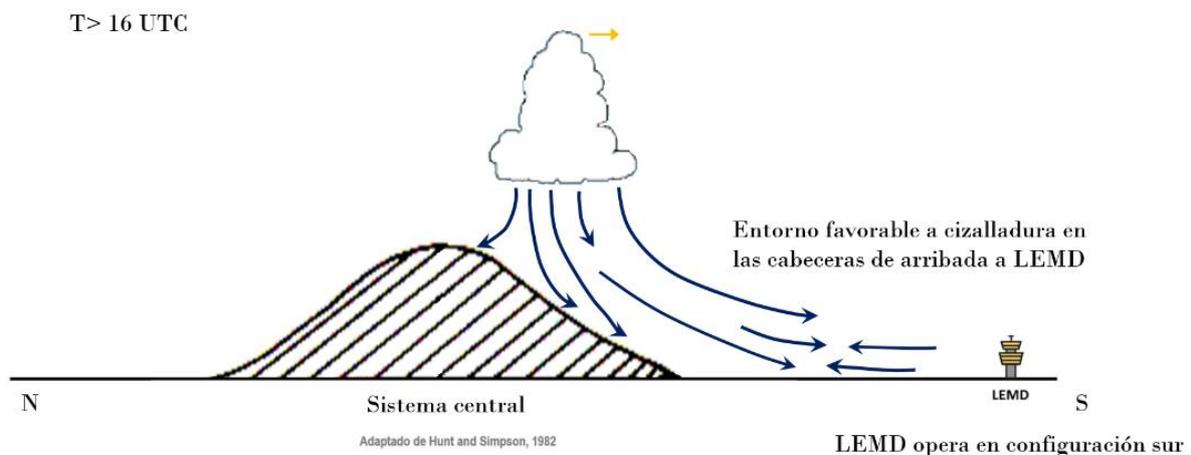
**10 UTC:** fase de formación: la convergencia en las cumbres montañosas se ve realizada por el viento del S. El aire húmedo asciende desde la superficie, se enfría y se condensa, formando un cúmulo, con aspecto algodónoso.

**12 UTC:** fase de madurez: La formación nubosa progresivamente va adquiriendo un desarrollo vertical mayor. Podría ocurrir, además, que la cizalladura actuase de tal forma que la célula convectiva inicial se transformara en una estructura multicelular o supercélula.

**16 UTC:** fase de disipación: reventón: se produce una intensa corriente descendente de aire más frío, cuyo frente de ataque constituye el frente de racha, produciendo un aumento súbito de la presión, descenso de la temperatura y variación brusca del viento que afecta a las inmediaciones de LEMD.

**Figura 17. Modelo conceptual de la formación de una tormenta típica sobre LEMD: los ingredientes fundamentales son la humedad, la inestabilidad y como mecanismo de disparo un flujo sinóptico del S.**

Aunque las tormentas no lleguen al aeródromo, un viento de componente N asociado al reventón frío, húmedo y con intensidades cercanas a los 20 kt puede ser detectado en las cabeceras de arribada (18R, 18L) que, junto con el flujo sinóptico del S detectado por las cabeceras (32R, 32L) constituye un entorno favorable a la presencia de cizalladura horizontal, con la consiguiente dificultad de establecer una configuración de operación adecuada (figura 18).



**Figura 18. Aunque las tormentas no lleguen a LEMD, su acción a distancia puede tener una afectación nada desdeñable en su operatividad. De hecho, en las inmediaciones de las**

**cabeceras de arribada (configuración sur) se puede crear un entorno favorable a cizalladura horizontal como consecuencia de la convergencia entre el frente de racha y el flujo sinóptico del S.**

Como LEMD opera en configuración sur, las cabeceras de arriba serán las que se sitúan más al norte. De esta forma, si las tormentas se localizasen en las inmediaciones del Sistema Central, las aeronaves se verían obligadas a rodearlas, lo cual podría provocar desvíos y afectaciones en la regularidad de las operaciones.

Si las tormentas se encuentran fuera de un radio de 8 km, no aparecerán reflejadas en el METAR ni tampoco en el TAF (ambos, productos de aeródromo dirigidos a la navegación aérea). Este hecho no quiere decir que no se observen sus efectos.

La [tabla 7](#) resume lo más importante en lo que concierne a las tormentas y su impacto en LEMD.

Tormenta en LEMD	
Ciclo	Impacto
Entorno inestable ⇒ convergencias y ascensos locales ⇒ nubes de desarrollo vertical ⇒ el viento sinóptico del S realza la convección ⇒ desplazamiento del sistema convectivo hacia LEMD ⇒ fase de madurez: frente de racha y precipitación. Aunque la tormenta no llegue a LEMD, sus efectos sí pueden sentirse a distancia ⇒ reventón: convulsión atmosférica que provoca fuertes rachas de viento ⇒ crea un entorno favorable a cizalladura en la proximidad a LEMD.	Cambio de configuración Reducción de la visibilidad Aterrizajes frustrados Acumulación de aeronaves en aproximación a LEMD ⇒ reducción de la capacidad Desvíos
Entorno atmosférico	Necesidades del usuario
Viento sinóptico cálido y húmedo del S Inestabilidad Forzamiento orográfico	Productos de TMA Apoyo meteorológico en los Centros de Control de Área

Tabla 7

### 3.3. 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 delimita la pista o que señalan su eje.

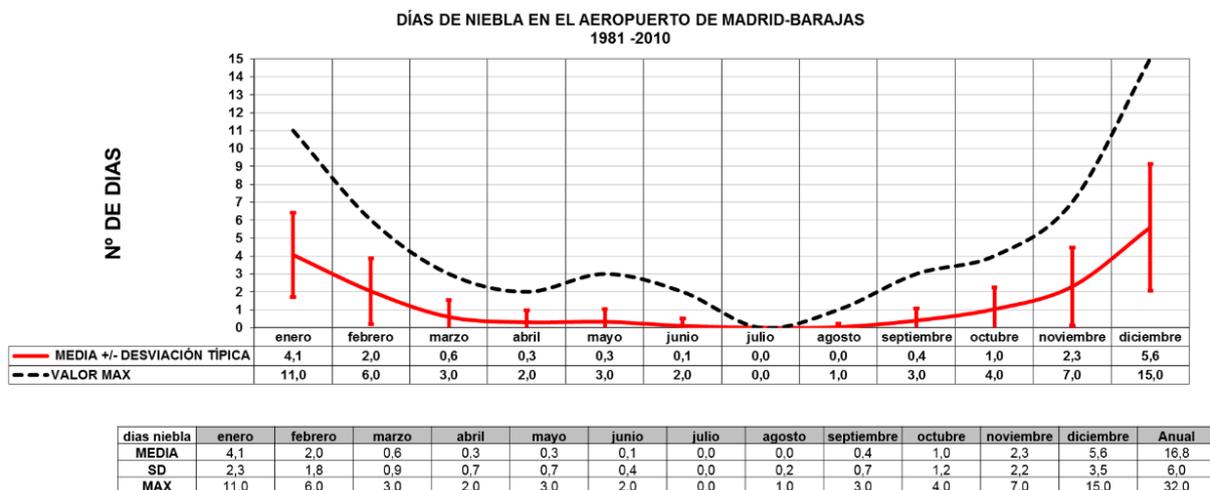
Fenómenos meteorológicos tales como la niebla, la calima o la tormenta pueden ser precursores de la reducción de visibilidad.

### 3.3.1. Fenómeno meteorológico de impacto en la visibilidad: niebla

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 la bruma) como fenómeno de impacto se debe al hecho de ser un fenómeno meteorológico que impacta de forma significativa en el alcance visual.

### 3.3.2. La niebla en LEMD

En LEMD, por lo general, hay una media de 18 días con niebla entre los meses de octubre y marzo (figura 20). También destaca que, por término medio, suelen suceder 11 eventos de niebla entre los meses de diciembre y enero.



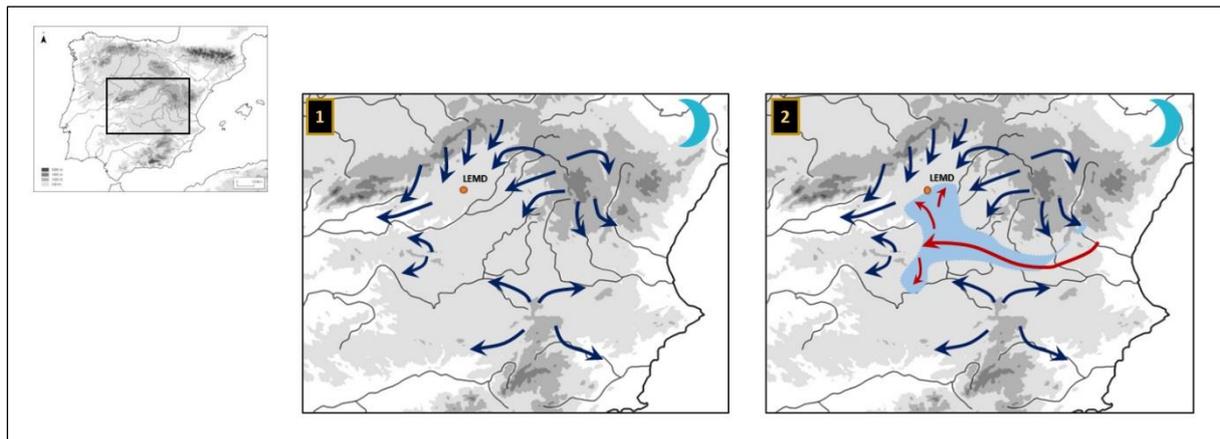
**Figura 19.** Climatología básica de días de niebla en LEMD (1981-2010). La estación climatológica está situada en la cabecera de pista 32L.

En este contexto, LEMD cuenta con dos procedimientos de baja visibilidad (en inglés LVP: *Low Visibility Procedure*) que se aplican en plataforma y en el área de maniobras, respectivamente. En ambos casos, AEMET interviene de manera distinta:

- LVP en plataforma: aportando datos proporcionados por los visibilímetros.
- LVP en el área de maniobras: contribuyendo con los techos de nubes cifrados en el METAR (BKN) para activar el LVP -además de datos proporcionados por los visibilímetros- y los pronósticos de aeródromo TREND y TAF para suspenderlos.

Al tratarse de un aeródromo tan considerable en cuanto a extensión y operaciones, los problemas relativos a visibilidad pueden llegar a ser muy complejos. En este sentido, hay que tener en cuenta que la visibilidad tipificada en el METAR es la **visibilidad prevalente**, la cual informa sobre la mitad del campo que mejor se observa. De esta forma, el pronóstico de visibilidad que aparece en los informes TREND y TAF va dirigida a la visibilidad prevalente que aparece en el METAR y SPECI. El equipamiento aeronáutico con el que cuenta LEMD son 18 visibilímetros (12 situados en las pistas y 6 en las plataformas).

Aunque son varias las situaciones meteorológicas que pueden ocasionar nubes bajas y baja visibilidad, hay una con especial incidencia en LEMD: se trata de la niebla formada por la intervención del enfriamiento radiativo y la advección cálida de aire marítimo de procedencia tanto atlántica como mediterránea. Por lo general, suelen formarse de madrugada, disipándose a medio día, durante los meses de mayor pérdida de calor por irradiación nocturna.



**Figura 20.** Modelo conceptual de la formación de nieblas en LEMD, en el que la convergencia de los vientos catabáticos juega un importante papel. La forma habitual de estos bancos es de media luna creciente desde La Mancha, dejando en el límite LEMD. Los bancos que se forman al sur de LEMD, aunque no le afecten directamente, sí lo hacen a la senda de aproximación.

Durante la noche, cuando el enfriamiento radiativo es efectivo se produce la convergencia de los vientos catabáticos que fluyen desde las cumbres hacia el valle del Jarama acumulando aire frío. Si a ello se unen los procesos turbulentos de microescala que favorecen la mezcla en las capas superficiales y además, por encima (entre 850 hPa y 925 hPa) hay una advección de una masa de aire más cálida del S- SW (e incluso del SE), acaba formándose una inversión térmica que favorece la retención del aire frío en capas bajas y en última instancia la formación de bancos de niebla que potencialmente tienen afección en LEMD (figura 20).

Así, los ingredientes fundamentales para la formación de este tipo de nieblas son:

- Enfriamiento radiativo: favorece el régimen de los catabáticos (frío y seco) cuyo efecto más inmediato es desplazar la niebla («limpiar»). El espesor de los catabáticos suele situarse en torno a 500 metros. Si soplan durante toda la noche en LEMD es probable que no se acaben formando nieblas.
- Advección de aire cálido: contribuye a la formación de la inversión térmica que posibilita un ambiente estable y la retención del aire frío acumulado en el valle del Jarama.
- Mezcla turbulenta: contribuye al transporte del aire frío y húmedo hacia la superficie y la posterior condensación.

El momento de la disipación de este tipo de niebla suele coincidir con las horas de máxima afluencia de tráfico en LEMD. Por este motivo es de vital importancia la predicción del final de este episodio.

La fase de disipación tiene mayor impacto que la de formación, de ahí su importancia en la predicción final del episodio. Es mejor hacer esperar una aeronave en su aeródromo de origen hasta que las condiciones en LEMD sean favorables (destino) a que tenga que esperar sobrevolando el espacio aéreo.

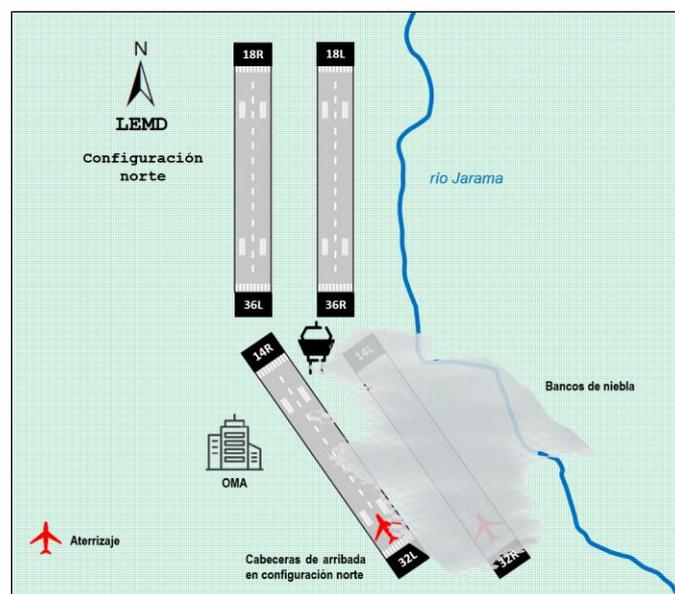
Aunque LEMD quede fuera de la niebla, éste puede estar afectado si se encuentra en sus inmediaciones, ya que la senda de aproximación puede estar afectada durante varios kilómetros. En estos casos, no es extraño que el límite de los bancos de niebla sea detectado por alguna de las cabeceras 32 que son las de arribada en configuración norte, que es la *preferente* de LEMD.

### 3.3.3. Nieblas de río en LEMD

Las nieblas de río suelen afectar a las pistas contiguas al Jarama y, ocasionalmente al resto. Este hecho hace pensar que podría aplicarse un procedimiento de baja visibilidad por “fases” a fin de permitir una mayor fluidez del tráfico. En este sentido, un hipotético METAR, en configuración norte, para un banco de niebla en el río en disipación, sería el siguiente:

30/11/2018	METAR LEMD 311000Z 03004KT 8000 0300SE R32R/0200U BCFG
10:00	FEW003 04/04 Q1008 BECMG NSW=

A las 10 UTC del 30-11-2018, en LEMD sopla un viento de N con intensidad de 4 kt y con una buena visibilidad prevalente (estimada por el observador de la OMA). Ahora bien, se advierte de la existencia de un banco de nieblas por el SE que estaría afectando sobre todo a la cabecera 32R (cabecera de arribada en esta configuración). En las próximas dos horas, desaparecerá. En estas situaciones, es común que la torre de control quede sumida en la niebla (figura 21).



**Figura 21.** Imagen conceptual de un episodio de nieblas de río y su afcción en LEMD en una situación de configuración norte. A diferencia de la OMA (Oficina Meteorológica de Aeródromo) la TWR (Torre de Control) podría quedar cubierta (o al menos, parcialmente).

En la [tabla 8](#) se muestra un resumen de lo anteriormente descrito.

Niebla en LEMD		
Entorno atmosférico		Impacto
Marco sinóptico	Ingredientes	Procedimiento de baja visibilidad Aterrizajes frustrados Desvíos Aumento del espaciado entre aterrizajes ⇒ reducción de la capacidad Acumulación de aeronaves en el espacio aéreo
Ambiente anticiclónico con advecciones cálidas Estabilidad y cielos despejados	Enfriamiento radiativo: catabáticos Advección cálida en 850 hPa de origen marítimo. Aporte de humedad: río Jarama Interacción de dos masas de aire: fría y seca (local) y cálida y húmeda (advectada)	
Ciclo		
Régimen de catabáticos ⇒ canalización por los cauces del Manzanares, Jarama y Henares ⇒ pequeñas convergencias en el fondo del valle ⇒ pequeños ascensos verticales ⇒ mezcla turbulenta ⇒ saturación ⇒ condensación:		
si hay viento más cálido en 850 hPa ⇒ formación de la inversión ⇒ <b>se forma la niebla</b>	si no hay viento más cálido en 850 hPa ⇒ no se forma la inversión ⇒ <b>no se forma la niebla</b>	

Tabla 8

## 3.4. NIEVE

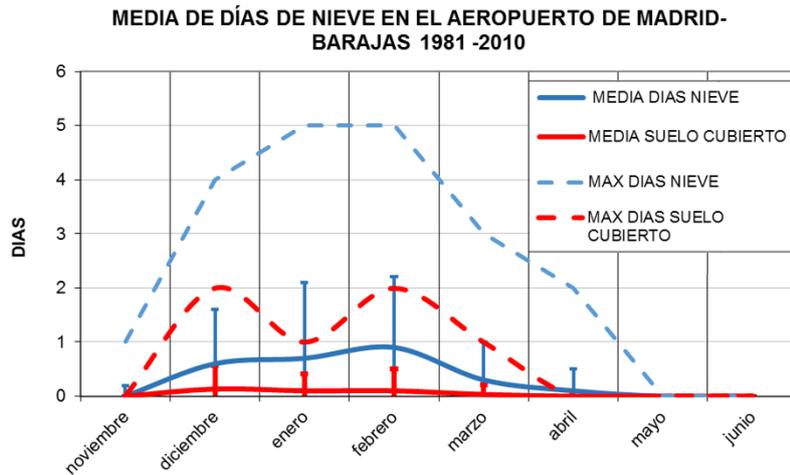
Para que la precipitación llegue en forma de nieve es necesario que las condiciones de temperatura y humedad sean las adecuadas.

La nieve cuaja en el suelo con temperatura inferior a 0°C, incluso puede bastar que la temperatura del aire sea inferior a 3°C. Si la temperatura está por debajo de 0°C se acumula nieve seca y si es de 0°C o más, nieve húmeda. La acumulación dependerá no sólo de la cantidad precipitada, sino también del tamaño de los copos y de que se trate de nieve seca o húmeda.

### 3.4.1. La nieve en LEMD

Aunque se trata de un fenómeno poco común en LEMD, la nieve con depósito en el suelo constituye un fenómeno de impacto nada desdeñable. El actual procedimiento de condiciones invernales necesita de varios productos proporcionados por AEMET: predicción de plazo medio (3 días), TAF y avisos de aeródromo con información de la probabilidad de ocurrencia y espesor del depósito. Para las tareas de limpieza de las pistas y uso de fundentes es de vital importancia la predicción de muy corto plazo (TREND) tanto para el comienzo como la finalización de cada episodio.

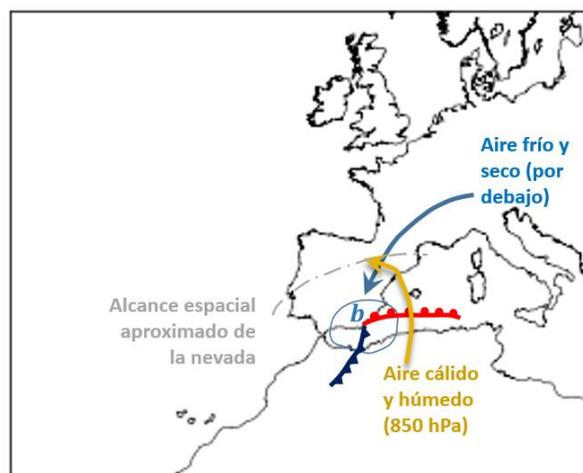
En la [figura 23](#), se presenta una climatología básica de días de nieve en LEMD (1981-2010). Aquellas situaciones en las que el suelo queda totalmente cubierto por el manto nivoso (línea roja) son las de mayor impacto en el aeródromo. Éstas, por término medio, suceden 0.4 veces al año, lo que equivale a afirmar que, aproximadamente, ocurren una vez cada 2 o 3 años.



días nieve	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Annual
MEDIA	0,0	0,6	0,8	0,8	0,4	0,1	0,0	2,6
DESV	0,2	1,0	1,4	1,2	0,8	0,4	0,0	2,6
MAX	1,0	4,0	5,0	5,0	3,0	2,0	0,0	9,0
suelo cubierto	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Annual
MEDIA	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4
DESV	0,0	0,4	0,3	0,4	0,2	0,0	0,0	0,8
MAX	0,0	2,0	1,0	2,0	1,0	0,0	0,0	3,0

**Figura 23.** Climatología básica de días de nieve y días en que la nieve se deposita como contaminante en las pistas LEMD (1981-2010). La estación climatológica está situada en la cabecera 32L.

El forzamiento sinóptico es fundamental. Así, un entorno sinóptico tipo, precursor de un episodio de nieve en la meseta sur, es el que se representa en la figura 24. Para ello, tiene que haber una advección de aire frío y seco del N en niveles bajos sobrevolada por otra de aire cálido y húmedo del S. Esta distribución favorece el establecimiento de una inversión térmica sobre LEMD y, en última instancia, que la precipitación llegue al suelo en forma sólida.



**Figura 24.** Entorno sinóptico favorable a la formación de nieve en la meseta sur. El alcance espacial de la nieve es donde intersectan los flujos señalados.

Dado que el depósito de nieve sobre las pistas del aeródromo supone un importante impacto en la operatividad del aeródromo, en esta situación el gestor aeroportuario se ve

obligado a imponer ciertas regulaciones que reducirían la cadencia de las arribas y despegues. Existe un doble procedimiento de actuación:

- Sobre la plataforma: eliminación del depósito de nieve. Para ello, el TREND (predicción a muy corto plazo en el aeródromo) es determinante tanto para la predicción del inicio del episodio (labores de prevención) como su finalización.
- Sobre las aeronaves: procesos de deshielo y eliminación de restos adheridos a su fuselaje.

Por consiguiente, la observación y predicción del estado de la pista son de gran importancia. Hay que tener en cuenta que el espesor de nieve depositada es fundamental para decidir si una aeronave puede despegar ya que si ésta efectúa su carrera de despegue sobre una pista contaminada, corre el riesgo de que la nieve se adhiera sobre el tren de aterrizaje, pudiendo provocar fallos en el aterrizaje posterior. Numerosas compañías tienen establecidos protocolos de actuación según el espesor de nieve observado.

Hay que destacar que el aguanieve (RASN) no es motivo de aviso pero puede ocasionar los mismos problemas, o incluso aún mayores, si se deposita sobre la pista ya que su retirada es más complicada que en el caso de la nieve. Por otra parte, la lluvia engelante (lluvia que se congela cuando toca el suelo) se observa rara vez en LEMD. No obstante, en LEMD los sistemas automáticos de tiempo presente lo detectan arbitrariamente cada que vez llueve y la temperatura ambiental es 0 °C o inferior a ésta.

En la [tabla 9](#) se muestra un resumen de lo anteriormente descrito.

Nieve en LEMD			
Entorno atmosférico	Impacto		
	Aeródromo	Aeronave	
Viento cálido y húmedo del S que sobrevuela una masa fría y seca del N Interacción de dos masas de aire: <b>fría y seca</b> (advectada por un viento del N) y <b>cálida y húmeda</b> (viento del S)	Contaminación de la pista. Visibilidad reducida Aumento del espaciado entre aterrizajes y despegues: reducción de la capacidad	<b>Aterrizaje:</b> disminución de la eficaz de frenado	<b>Despegue:</b> contaminación del tren de aterrizaje
	<b>Clave:</b> conocimiento del estado de la pista		
	Necesidades de los usuarios		
	Gestor aeroportuario	Compañías aéreas	
Programas de actuación y planes invernales: protocolización de trabajos preventivos para evitar acumulación de nieve en las pistas	Operación de deshielo Información del espesor de nieve acumulado en las pistas por afectación al tren de aterrizaje		

**Tabla 9**

## 4. Impactos

---

Como ya se comentó en la introducción, un impacto constituye una perturbación de la operatividad de un aeródromo como consecuencia de la ocurrencia de uno (o varios) fenómenos meteorológicos de impacto.

Cuantificar en qué grado un aeródromo podría verse afectado por la fenomenología atmosférica dependerá no sólo del fenómeno meteorológico *per se*, sino de otros condicionantes externos que quedan resumidos en el concepto de vulnerabilidad. Así, a modo de ejemplo, LEMD sería vulnerable al régimen de brisas de montaña ya que, además de su cercanía al Sistema Central, soporta un volumen de tráfico elevado. El impacto correspondiente implicaría un cambio de configuración que afectaría de forma notable en el posicionamiento de las aeronaves que se encuentran en aproximación.

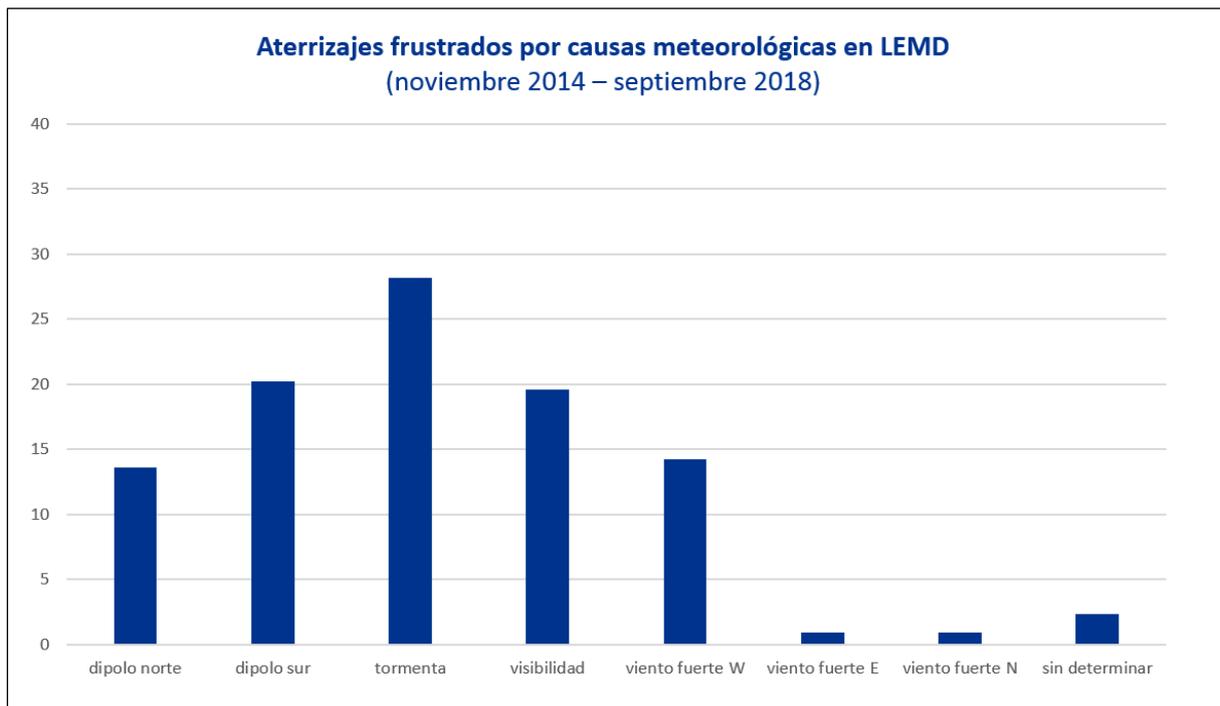
Como ya se indicó anteriormente, los fenómenos meteorológicos de impacto que se han considerado son: dipolos orográficos con viento de N y de S, tormenta, visibilidad, viento fuerte del W, viento fuerte del E y otros que se catalogarían por «desconocidos», al no ajustarse a ninguno de los modelos conceptuales conocidos debido a su escasa frecuencia de aparición en el entorno del aeródromo. Por otra parte, hay que advertir que los dipolos orográficos, la tormenta y los vientos fuertes del W y del E respectivamente, podrían resumirse en el concepto de cizalladura. Ahora bien, dado que el presente trabajo tiene un marcado enfoque meteorológico, el objetivo es hacer alusión de los fenómenos meteorológicos que favorecen la presencia de cizalladura en LEMD y no estrictamente de la cizalladura. Así, el planteamiento más completo sería considerar la cizalladura causada por dipolo orográfico con viento de N, la cizalladura causada por una tormenta (más en concreto por el frente de racha), etc.

Se mostrará un pequeño resumen estadístico que permitirá valorar el impacto de las condiciones meteorológicas, categorizado por sus causas y según las cabeceras de pista de LEMD. Se han elaborado a partir de datos proporcionados por AENA, en el periodo comprendido entre noviembre de 2014 y septiembre de 2018. En este resumen no se ha incluido la nieve por su escasa ocurrencia.

En primer lugar, la [figura 25](#) muestra el número de aterrizajes frustrados (en adelante, frustradas) causadas por los fenómenos meteorológicos de impacto mencionados. Así, las tormentas son el fenómeno de mayor número de frustradas registradas, con un 28 % del total, ya que éstas son las responsables de la presencia de cizalladura en las inmediaciones del aeródromo y ocasionalmente de la reducción por visibilidad.

Además, hay que destacar que la reducción de visibilidad asociada a las nieblas es otro de los fenómenos meteorológicos a considerar en este contexto pues representan un 20 %. Suelen tener lugar en la estación climatológica de invierno.

Por otra parte, la cercanía de LEMD al Sistema Central explicaría la contribución de los dipolos orográficos con viento de N (un 13 % del total de frustradas) y con viento de S (un 20 % del total de frustradas). En comparación con éstos, las situaciones con vientos fuertes de N son prácticamente irrelevantes debido a que, en este caso, LEMD se localiza a sotavento.

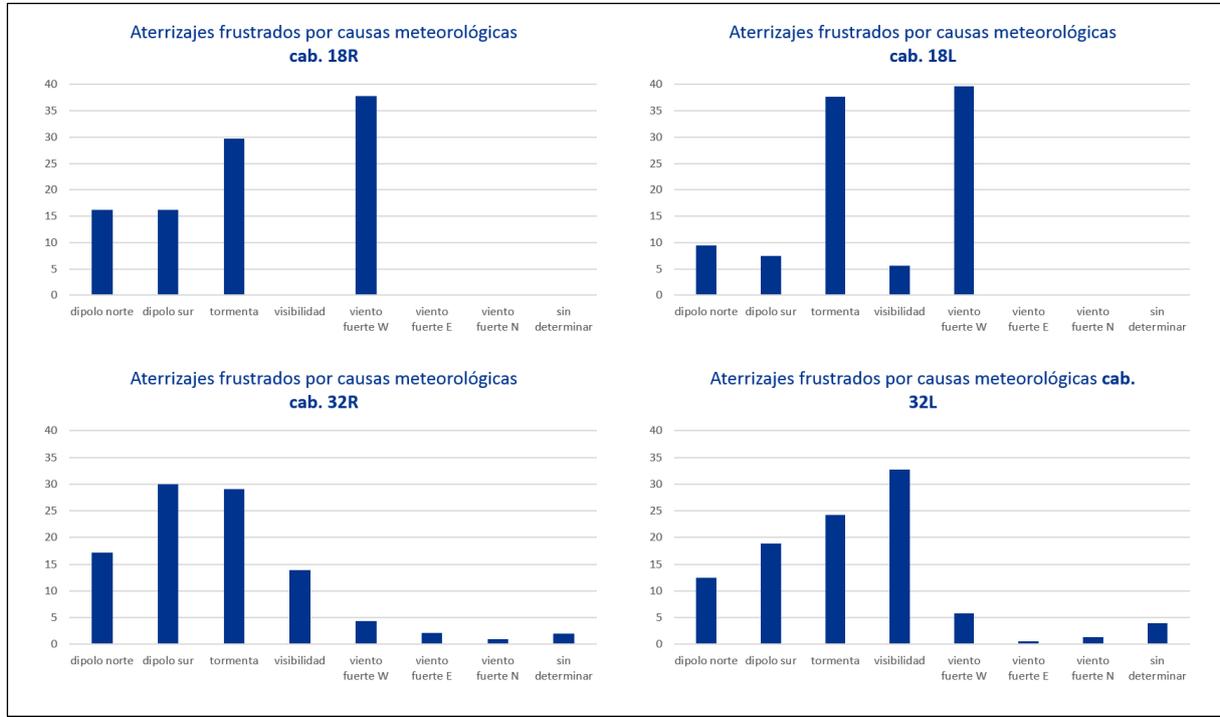


**Figura 25.** Relación de aterrizajes frustrados por causas meteorológicas en LEMD en el periodo entre noviembre 2014 y septiembre 2018, expresadas en tanto por ciento y clasificadas según los siguientes fenómenos meteorológicos de impacto considerados. Fuente: datos proporcionados por AENA.

En segundo lugar, en la [figura 26](#) se muestran las frustradas categorizadas por las cuatro cabeceras con las que cuenta LEMD. Teniendo en cuenta que una frustrada hace alusión a un aterrizaje que no ha sido culminado con éxito y que, además, la configuración de operación preferente en LEMD es la de norte (aterrizajes por la cabecera 32L) es lógico que el mayor número de ellas aparezcan reflejadas en las dos gráficas inferiores (más en concreto, en la inferior izquierda) de la [figura 26](#). En este caso, los datos confirman que el dipolo orográfico con viento de S tiene mayor impacto que el de N. De igual forma, la reducción de visibilidad por las nieblas es mayor en las cabeceras 32R/32L que en las 18R/18L (concretamente, un 14 % en la 32R y un 33 % en la 32L) a causa de la cercanía de éstas últimas al río Jarama aunque hay que señalar que no todas las nieblas en LEMD son las de este tipo (véase sección 3.3.3).

Por último, mencionar que en un escenario operativo de configuración sur, en la que los aterrizajes se efectúan por las cabeceras de pista 18R/18L, el fenómeno de impacto más

relevante es el de viento fuerte del W ya que, habida cuenta de la orientación de las pistas, éste es un viento cruzado a éstas. En la 18L representa un 40 % del total de frustradas.



**Figura 26.** Frustradas por causas meteorológicas en LEMD en el periodo entre noviembre 2014 y septiembre 2018, expresadas en tanto por ciento y clasificadas según los siguientes fenómenos meteorológicos de impacto: dipolo sur, dipolo norte, tormenta, visibilidad, viento fuerte del W, viento fuerte del E y situaciones desconocidas. Fuente: datos proporcionados por AENA.

## 5. Resumen

---

El conjunto de fenómenos meteorológicos que potencialmente son adversos en el entorno operativo en LEMD son: brisa de montaña, cizalladura, niebla y nieve. La elección de todos ellos se ha basado fundamentalmente en su grado de adversidad cuantificado por el número de regulaciones (retrasos, aterrizajes frustrados, desvíos, cambios de configuración, etc.) registradas por TWR a lo largo del periodo 2014-2018.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que la brisa de montaña -causada por el calentamiento de la superficie por la insolación- no provoca frustradas pero sí cambios de configuración que podrían alterar el posicionamiento de las aeronaves en el circuito de espera.

En segundo lugar, la cizalladura puede formarse tanto en un ambiente atmosférico estable, como podría corresponderse a la formación de un dipolo orográfico, como en uno inestable: viento sinóptico fuerte (realzado por la orografía) o las tormentas. Sin lugar a dudas, ésta última es la que registra el mayor número de aterrizajes frustrados en LEMD en el periodo de estudio (un 28 % del total).

Por último, la nieve y la reducción de visibilidad por niebla pueden generar aterrizajes frustrados en ambos casos. Además de ello, en el primer caso hay que añadir otros tipos de afección como es el aumento de espaciado entre los aterrizajes o el mayor tiempo de permanencia de la aeronave en la pista o plataformas, mientras que en el segundo caso, la contaminación de la pista es otro de los impactos a tener en cuenta.

## 6. Summary

---

The set of meteorological phenomena that are potentially adverse in the operating environment in LEMD are: mountain breeze, windshear, fog and snow. The choice has been mainly based on their degree of adversity according to the number of regulations (delays, missed approaches, deviations, configuration changes, etc.) recorded by TWR throughout the 2014-2018 period.

Firstly, it is important to bear in mind that the mountain breeze -caused by the heating effect of the surface by insolation- does not cause missed landings but configuration changes that could alter the positioning of the aircraft in the waiting circuit.

Secondly, windshear can occur both in a stable atmospheric environment, and could correspond to the formation of an orographic dipole as in an unstable one: strong synoptic wind (enhanced by orography) and storms. Undoubtedly, the latter is the one that records the highest number of missed landings in LEMD in the period (28% of the total).

Finally, snow and the reduction of visibility due to the formation of fog can generate missed approaches in both cases. Moreover, in the first case, it is necessary to consider other impacts such as the increase in spacing between landings or in the time the aircraft stays on the runway or platforms, while in the second case, runway contaminated should be considered.

## 7. Agradecimientos

---

AENA Aeropuertos

Torre de control del aeropuerto Adolfo Suárez - Madrid Barajas (ENAIRE).



---

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

