

Inestabilidad de Kelvin-Helmholtz, KH, en la atmósfera

Redacción de la RAM



Imagen donde se observan formas nubosas onduladas asociadas a la inestabilidad de KH

Este artículo nace como respuesta a una petición de un lector de la RAM.

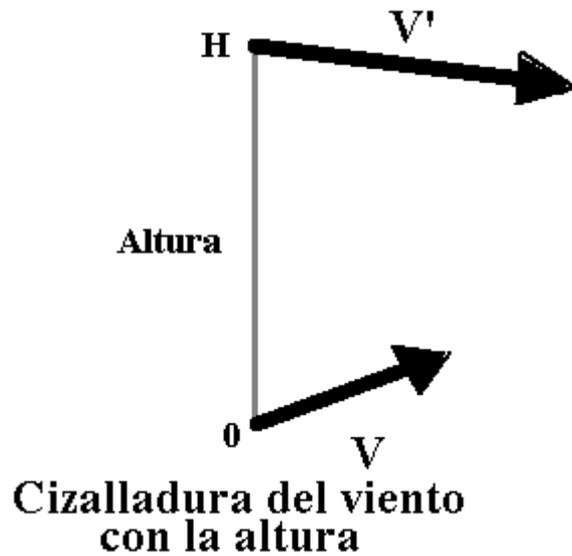
Para hablar de la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz, KH desde ahora, es necesario introducir unos conceptos básicos preliminares que presentamos a continuación.

Conceptos de Inestabilidad y Cizalladura en fluidos

Un fluido, como es la atmósfera, se caracteriza por sus propiedades dinámicas, térmicas y cinemáticas a las que están sometidas las partículas que lo forman. En los fluidos se emplean dos conceptos muy importantes como son la inestabilidad y la cizalladura. Estos no son mensurables mediante aparatos, como lo pueden ser, por ejemplo, la temperatura o la presión. Analicemos cada uno de ellos:

a.- La inestabilidad en un fluido es una propiedad tal que **al introducir una perturbación muy pequeña en su seno, está crece de forma significativa**, decimos entonces, que se amplifica a medida que pasa el tiempo. Por el contrario, la estabilidad tiende a atenuar y eliminar la presencia de cualquier perturbación que se haya introducido o generado en dicho sistema.

b.- La cizalladura en un fluido representa una magnitud que mide o cuantifica la variación de la velocidad de las partículas del fluido con la distancia. Esto es, si pasamos de un punto con una velocidad $V(x,y,z)$ a otro con una velocidad diferente $V'(x,y,z)$ decimos que existe una cizalladura de la velocidad: a mayor variación de la velocidad con el espacio, decimos que existe mayor cizalladura. Así, cuando nos elevamos en la atmósfera y nos encontramos que la velocidad aumenta o disminuye, tendremos que existe cizalladura vertical y está se incrementa o decrecienta, respectivamente, con la altura. Esta variación de la velocidad con la altura se puede deber a que o la intensidad o el módulo del viento varíe o que lo haga en la dirección. La cizalladura horizontal se tiene sin más que al analizar las variaciones del viento en la horizontal.

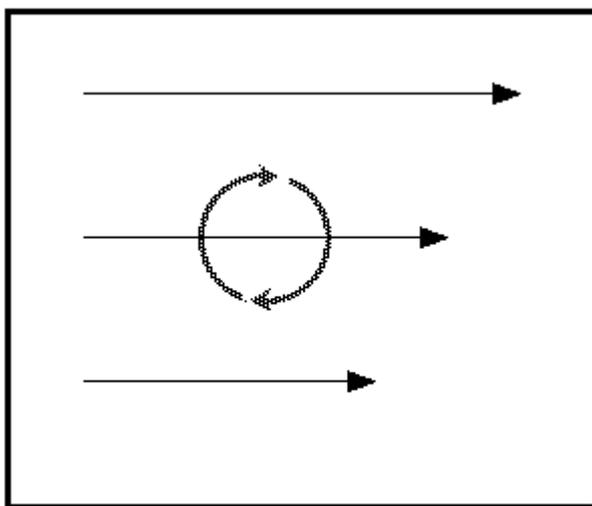


Obsérvese que la cizalladura existe siempre que la velocidad de las partículas del fluido varíe con la intensidad o la dirección de la velocidad o ambas a la vez. En Meteorología se suele distinguir la cizalladura vertical y la horizontal, ya que ambas condicionan ciertos tipos de fenomenologías.

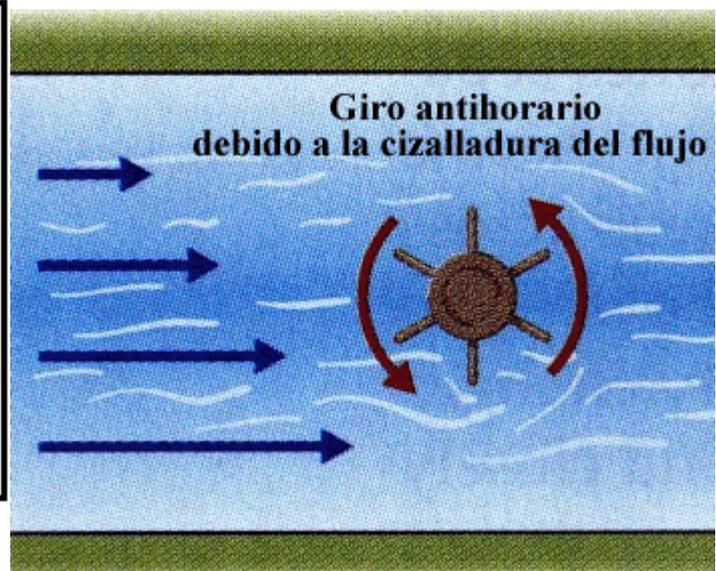
Vorticidad por cizalladura: ciclónica y anticiclónica

La variación del viento con la distancia, o la existencia de cizalladura, tiende a generar giros o rotaciones en los fluidos. Este hecho se puede cuantificar mediante una magnitud teórica y muy útil en meteorología: la vorticidad. Es una propiedad teórica porque la vorticidad no se puede medir con un aparato, como se hace con la temperatura, aunque es una característica intrínseca muy importante del fluido.

Vayamos a un ejemplo conceptual. Si tenemos un viento del Oeste que aumenta con la altura, en el hemisferio norte, en su seno se estará produciendo vorticidad positiva o ciclónica. Cuando en un estrato, la parte superior esta sometida a un viento del oeste y la inferior a un viento del este, aún siendo de la misma intensidad, también se dice que existe vorticidad positiva o ciclónica en su seno.



Vorticidad por cizalladura



La presencia de cizalladura en los fluidos tiende a generar giros ciclónicos (derecha) o anticiclónico (izquierda) en su seno.

En las bajas presiones o vaguadas del hemisferio norte, a medida que nos alejamos de su centro o mínimo depresionario nos encontramos que, por lo general, el viento aumenta. En otras palabras existe una zona con vorticidad ciclónica o positiva. Lo contrario ocurre en las altas presiones o cuñas anticiclónicas, decimos entonces que existe una zona de vorticidad anticiclónica o negativa.

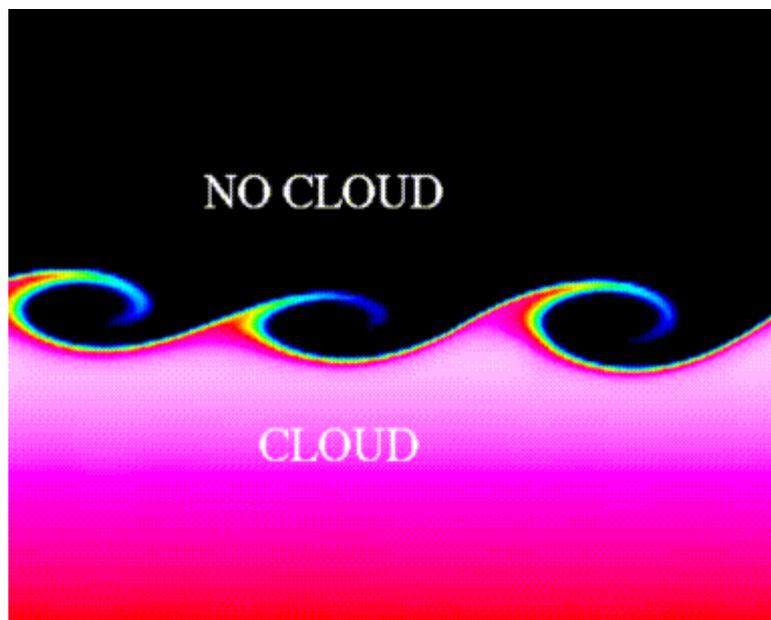
La presencia de vorticidad en un fluido es sinónimo de la existencia de rotaciones ciclónicas o anticiclónicas, o lo que es lo mismo, de la existencia de cizalladura en él. Lógicamente, flujos uniformes donde la velocidad y

dirección de viento son constantes no poseen cizalladura.

Inestabilidad de KH

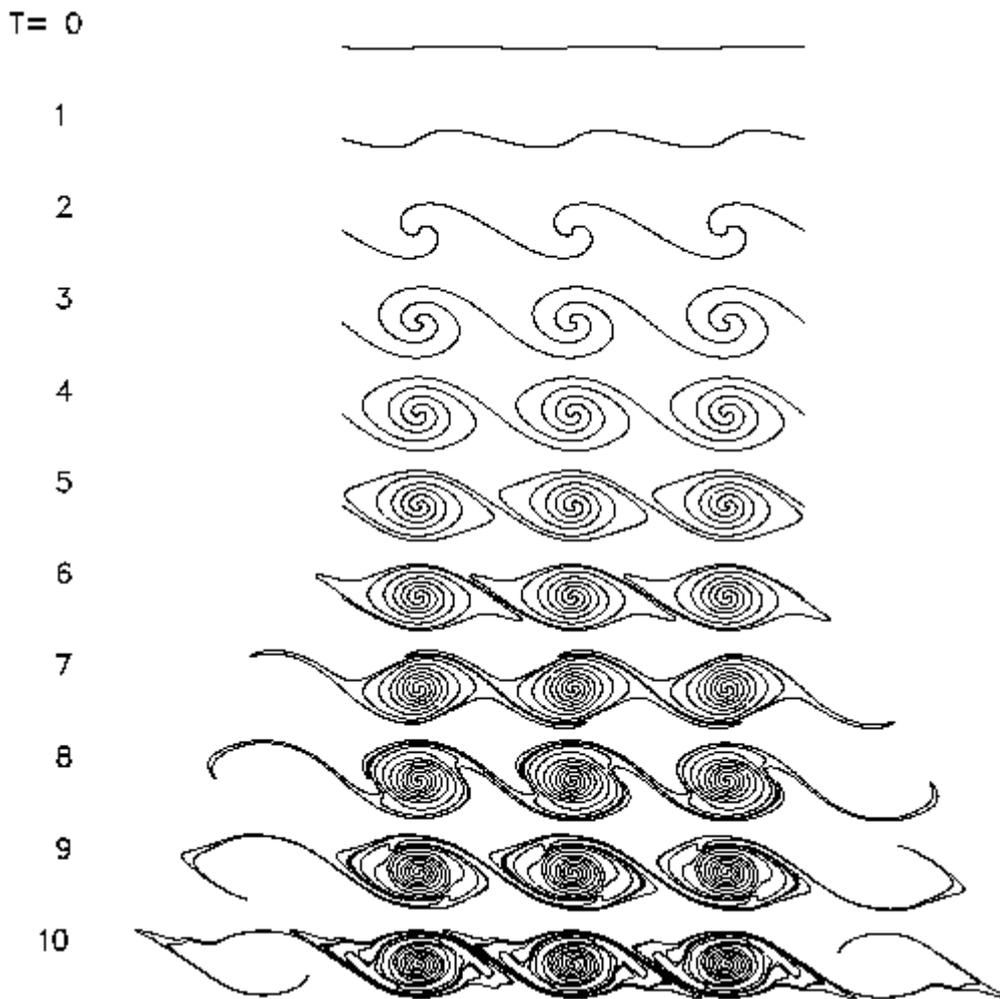
La inestabilidad KH, y particularizando nos en la atmósfera, nace como consecuencia de la existencia de cizalladura del viento con la altura y con la presencia de dos fluidos diferente o iguales tales que el menos denso se encuentra encima del más denso. En estas condiciones existe estabilidad estática atmosférica: una burbuja ideal del fluido situado más abajo no puede ascender y situarse en el fluido del nivel superior. En ausencia de viento, la capa o interfase separadora entre los dos fluidos de distinta densidad permanecería plana o sin alteraciones.

Si la intensidad del viento aumenta en la capa superior entonces se producen un conjunto de ondas estables en la superficie de separación. Si la intensidad o cizalladura del viento sigue aumentando, entonces las pequeñas ondas entran en un modo inestable y comienzan a crecer a medida que pasa el tiempo dando lugar a formas que nada tiene que ver con las ondas iniciales. La superficie separadora comienza a ondularse, a retorcerse sobre si misma a medida que crece hasta dar unas formas características, llamadas de "ojos de gato".



Ondas de KH generadas en simulaciones de laboratorio, para un instante dado. Inicialmente, la parte inferior podría ser una zona nubosa limitada por una inversión y la superior una zona sin nubes. Al cabo del tiempo se ha manifestado la presencia de inestabilidad de KH cuando la cizalladura del viento es apropiada.

Si la estabilidad entre los dos fluidos es muy grande y la cizalladura vertical es pequeña, entonces las ondas tienden a manifestarse en su modo estable. Si la estabilidad disminuye y la cizalladura aumenta, existirá un momento en que las ondas pasan a un modo de crecimiento inestable, dando lugar a los fenómenos asociados a la inestabilidad de KH.



Evolución conceptual y temporal de la zona de separación de dos fluidos donde se generan inestabilidad de KH. Obsérvese al final las formas tan peculiares llamadas "ojos de buey o de gato"

Podemos resumir que las condiciones ideales para generar inestabilidad de KH en la atmósfera son:

- Presencia de dos capas en condiciones de estabilidad, la capa superior debe ser más estable que la inferior.
- Presencia de una zona frontera bien definida entre ambas capas donde exista cierta cizalladura vertical del viento.

Las condiciones anteriormente enumeradas pueden dar lugar a fenómenos atmosféricos que vayan acompañados por o sin nubes.

Manifestaciones en la troposfera de la inestabilidad de KH: Nubes y Turbulencia en Aire Claro, TAC

Este tipo de inestabilidad tiene varias manifestaciones en la atmósfera, a cualquier nivel, siempre que se den las dos condiciones básicas comentadas con anterioridad. Si existe suficiente humedad en alguna de las capas puestas en juego, se generan nubes muy particulares que aparecen en forma de espiral en la vertical. Estas denotan la presencia de una importante zona de cizalladura atmosférica que son muy útiles para los pilotos. Estos tratarán de evitarlas pues en su seno se generan turbulencias no deseables para el confort de los vuelos.



Manifestación de inestabilidad de KH en nubes

Si no se generan nubes, su detección se hace muy difícil y aparecen las típicas zonas de turbulencia en aire claro, fruto de la cizalladura inmersa en ellas.

Los microfrentes de rachas asociados a la convección son otros lugares donde se pueden generar inestabilidad de KH: el aire frío, denso y descendente originado por la convección se expande en superficie con vientos fuertes, haciendo que el aire más cálido y "lento" quede por encima de él.

Las formas asociadas y generadas a la inestabilidad de KH han sido utilizadas comercialmente y para usos decorativos: barras cilíndricas transparentes y huecas, llenas de dos líquidos viscosos y que son sometidos a vaivenes continuos y suaves.

Portales relativos a la inestabilidad de KH

Aquí tenéis algunas direcciones útiles donde podéis profundizar, ver ejemplos, y manifestaciones de la inestabilidad de KH en la atmósfera:

<http://www.enseeiht.fr/hmf/travaux/CD0001/travaux/optmfn/gpfmho/00-01/grp6/pa05.htm>

Animaciones, fotos de nubes afectadas por remolinos KH. Está en inglés pero es muy fácil de visualizar y entender lo que enseñan. Aquí te ofrecen otras direcciones muy interesantes donde puedes seguir investigando.

Mas animaciones y simulaciones de la inestabilidad de KH en:

http://www.cita.utoronto.ca/~armitage/gallery/kelvin_helmholtz.html

Muy interesante la simulación que presentan.

[Bajate este reportaje en pdf \(226 Kb\)](#)

[**ram@meteored.com**](mailto:ram@meteored.com)