

Reproducimos a continuación el resumen en castellano del trabajo de Eimern y otros para el WMO, y publicado por el mismo en 1964, acompañado por una serie de gráficos ilustrativos de la influencia de los rompevientos y circunstancias conexas.

"El efecto principal de los rompevientos y las barreras de resguardo es la reducción de la velocidad del viento. Las variaciones del microclima y del clima del suelo, y los cambios en la vida de plantas y animales son principalmente consecuencia de la reducción de la velocidad del viento. La extensión horizontal de la zona de reducción de la velocidad del viento es proporcional a la altura  $H$  de la barrera. El porcentaje de reducción es independiente de la velocidad del viento, con pequeñas excepciones. La permeabilidad de las barreras de resguardo al paso del aire constituye el principal factor que influye en la intensidad de la velocidad del viento al otro lado de ellas. Las barreras de resguardo muy densas producen una fuerte reducción inmediatamente detrás del resguardo, asociada a remolinos y fuerte turbulencia. La distancia que va desde el resguardo hasta el punto donde se restablece libremente la velocidad del viento es relativamente pequeña. La zona más extensa de reducción del viento es la que se obtiene con barreras de una permeabilidad del 40 al 50 %. El punto donde se registra la velocidad mínima del viento está a una distancia de cuatro a seis veces mayor que la altura de la barrera. El grado de reducción del viento con barreras de espesores diferentes depende principalmente de su permeabilidad. Otros factores que influyen en la reducción del viento por medio de barreras de resguardo son la rugosidad de la superficie del suelo y la constancia de los vientos. El grado de reducción del viento aumenta a medida que se reduce la rugosidad de la superficie y a medida que aumenta la constancia de los vientos.

La disposición de las barreras de resguardo dependerá de la función a que se destinen. Habrá que tener también en cuenta la proximidad de otras barreras adyacentes, ya que varias barreras paralelas no producen el mismo efecto que una sola barrera aislada. No es fácil resolver el problema de determinar qué separación dará los mejores resultados, ya que depende de muchos factores. Con mucha frecuencia el sistema rectangular de barreras de resguardo es el que da más protección, a causa de las variaciones de la dirección del viento.

La irradiación sólo es reducida por las barreras de resguardo en sus proximidades inmediatas. Por lo general, detrás de los resguardos se registra un ligero aumento de las temperaturas diurnas del suelo y del aire.

Las barreras de resguardo pueden incrementar el riesgo de heladas tardías de primavera en laderas donde se estorba la salida del aire, pero tienen escasa influencia en el peligro de heladas por radiación en terreno llano, durante las noches serenas. Tampoco es uniforme la influencia de las barreras de resguardo sobre la humedad del aire. En general, por la noche se observa un aumento de la humedad relativa y de la cantidad de precipitación de rocío. Las barreras de resguardo tienen una fuerte influencia sobre la distribución de las precipitaciones en sus proximidades inmediatas, pero no producen un aumento apreciable de la cantidad de precipitaciones registrada en la totalidad de la zona resguardada. En los climas de invierno riguroso y verano seco, la finalidad principal que se pretende al instalar barreras de resguardo suele ser la de acumular la nieve tras ellas. La formación de ventisqueros depende en gran parte de la densidad de las barreras de resguardo.

La reducción de la evapotranspiración potencial o real, y de la pérdida de humedad del suelo gracias a la disminución de la velocidad del viento son, con frecuencia, la finalidad principal que se persigue con las barreras de resguardo. Sin embargo, la cuantía de la reducción de la evapotranspiración, es más pequeña que la reducción de la velocidad del viento, porque la evaporación depende de la raíz cuadrada de la velocidad del viento, y en gran parte también, de la cantidad de radiación, en la que no ejercen su influjo las barreras de resguardo; detrás de barreras muy densas, la evaporación puede aumentar, pese a la reducción de la velocidad del viento, a causa de la mayor turbulencia.

No se ha podido observar un aumento del contenido de  $CO_2$  del aire junto a la superficie del suelo, a causa de las barreras de resguardo. El efecto de las barreras sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas, cosechas y frutos varía según los climas, los suelos y las variedades mismas de las plantas. El efecto principal sobre el rendimiento se debe en la mayoría de los casos al mejoramiento del suministro de agua y en muchos casos a una temperatura más elevada. Frutas y verduras, y otros cultivos especiales, suelen reaccionar más favorablemente a una reducción de la velocidad del viento que los cereales, las plantas forrajeras y otros cultivos agrícolas. También se puede mejorar el rendimiento financiero de algunas cosechas plantadas en zonas resguardadas con barreras gracias a una mayor calidad y una maduración más temprana."



Se puede prescindir a los efectos de área protegida de si el rompevientos es una barrera natural o artificial, ya que se comprueba que no depende de esto. Similarmente, los resultados obtenidos en túnel de viento pueden ser aplicados al aire libre, con ciertos factores de conversión. (El modo de comportarse del viento es análogo en los casos de obstáculos de pequeña altura, caso del túnel, hasta escala atmosférica, como se puede comprobar en la figura 6, que ilustra la formación de remolinos y nubes de aspecto ordenado debido a los movimientos ondulatorios producidos por el obligado ascenso por la ladera de un sistema montañoso.). Las figuras 1 a 5 ilustran las relaciones entre la zona protegida y la permeabilidad de la barrera de resguardo.

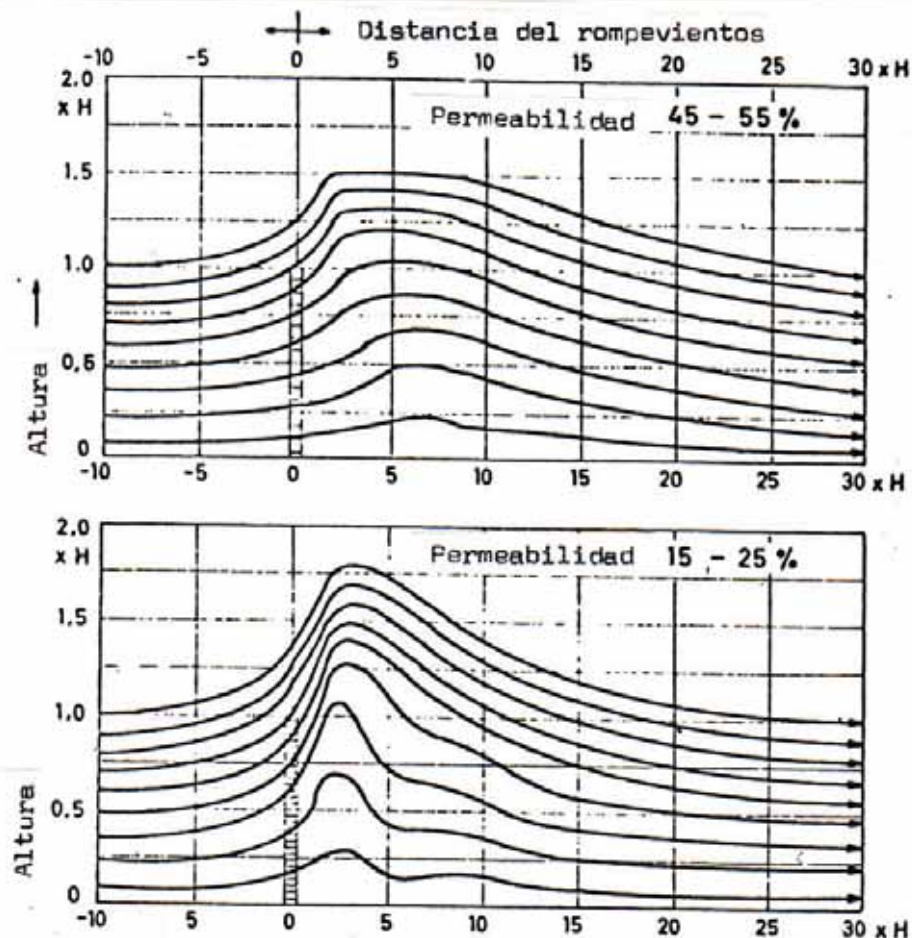
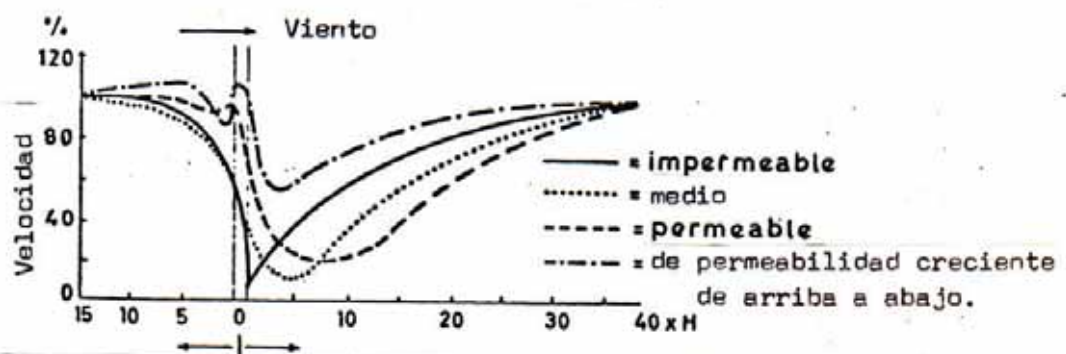


Figura 1 - Líneas de corriente en un rompevientos de media y baja permeabilidad (Kaiser, 1959)



Distancia del rompevientos en alturas de la barrera

Figura 2 - La velocidad del viento en rompevientos de diferentes grados de permeabilidad (Panfilov, 1948)

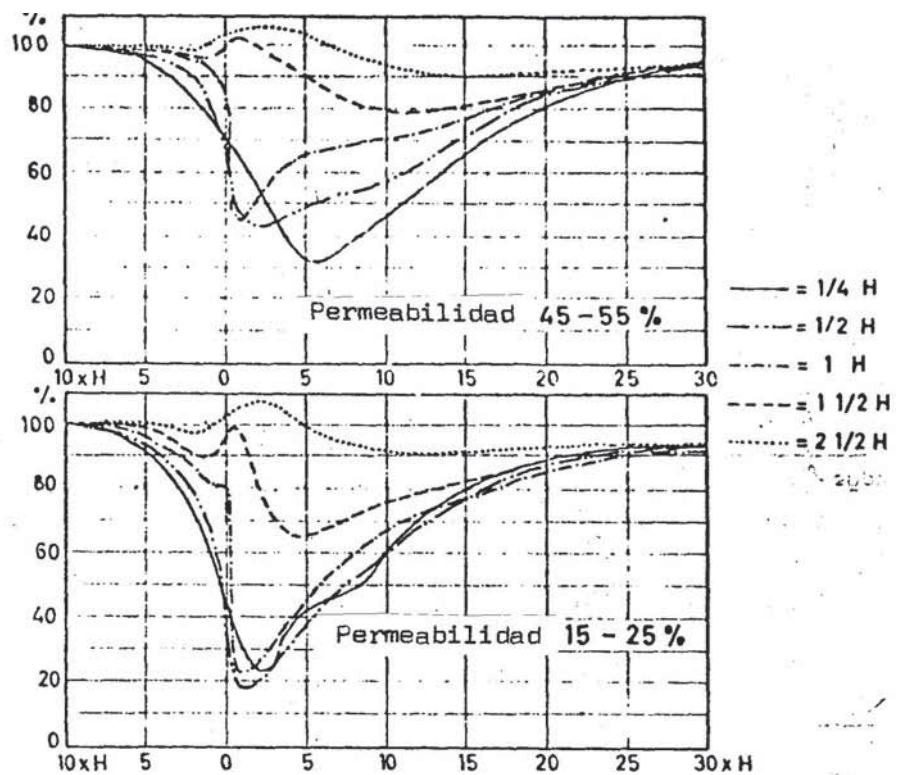


Figura 3 - Velocidad del viento (%) a diferentes alturas sobre el suelo en un rompevientos permeable y otro denso (100 % = velocidad del viento a altura relevante) (Naegeli, 1953)

¡LOLO ESTO  
FIGURA 8

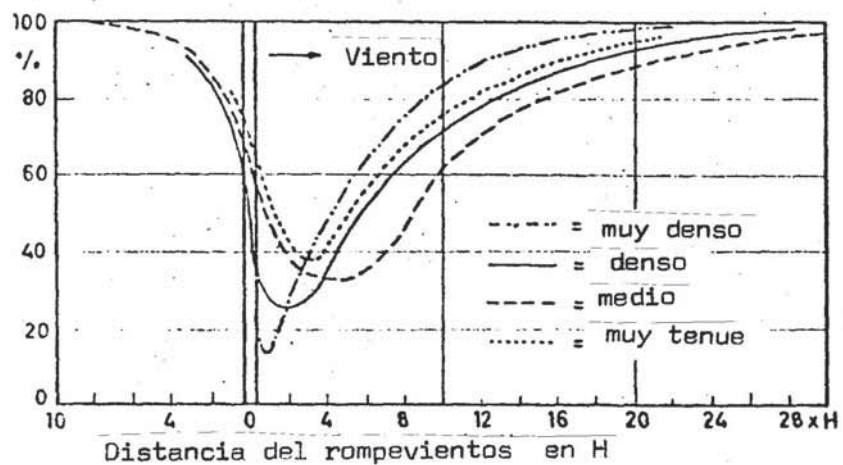


Figura 8 - La reducción de la velocidad del viento por diferentes barreras (Naegeli, 1946)

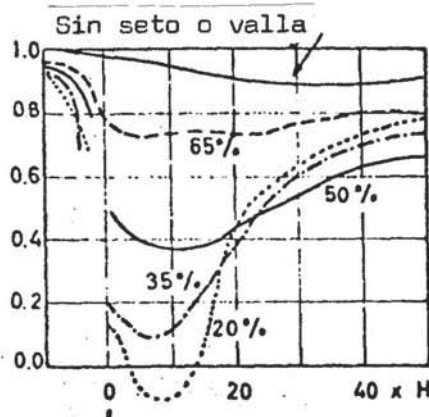


Figura 5 - Velocidad del viento en H/2 antes y después de vallas con diferentes grados de permeabilidad (%) (Túnel de viento) (Blenk - Trienes) 1956 .



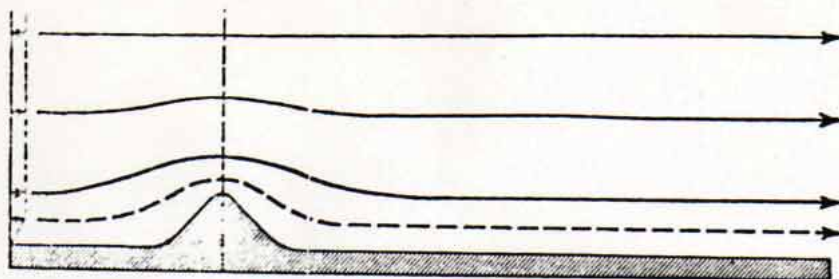


Fig. 3 a — Laminar streaming

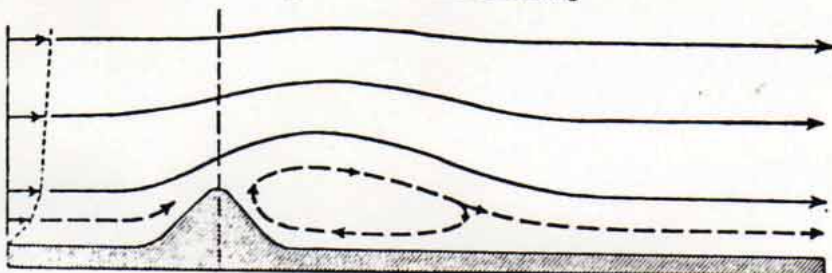


Fig. 3 b — Standing eddy streaming

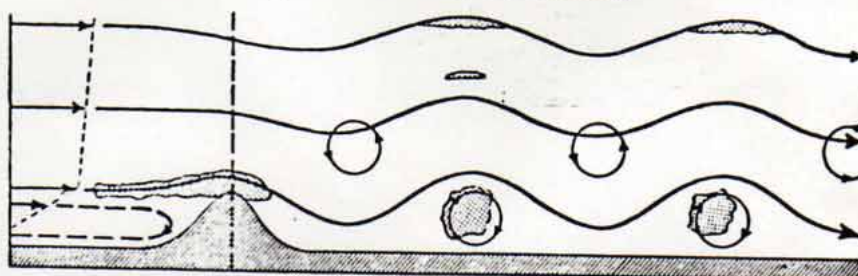


Fig. 3 c — Wave streaming

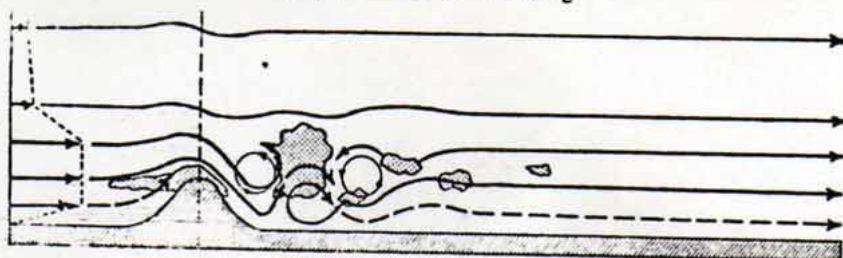


Fig. 3 d — Rotor streaming

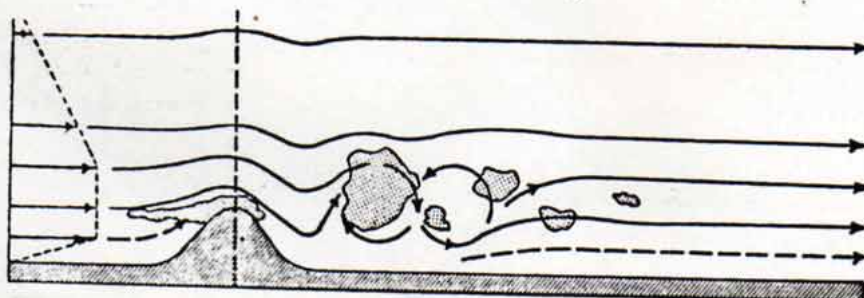


Fig. 3 e — Rotor streaming

Figura 6 - Flujo de aire sobre las cumbres.

Las figuras 7, 8, 9, 10 y 11, ilustran diversos aspectos relacionados con el frenado del aire en las barreras de resguardo, como la variación de la protección en función de la permeabilidad de una barrera de árboles (la fig. 7), la turbulencia asociada a la zona inmediata al rompevientos (8), la diferencia entre las curvas de velocidad según se trate de un bosque o una barrera artificial (9), el menor frenado registrado para los vientos fríos estratificados en flujo laminar (10) y la eficiencia de los rompevientos para direcciones no ortogonales del flujo de aire, (11).

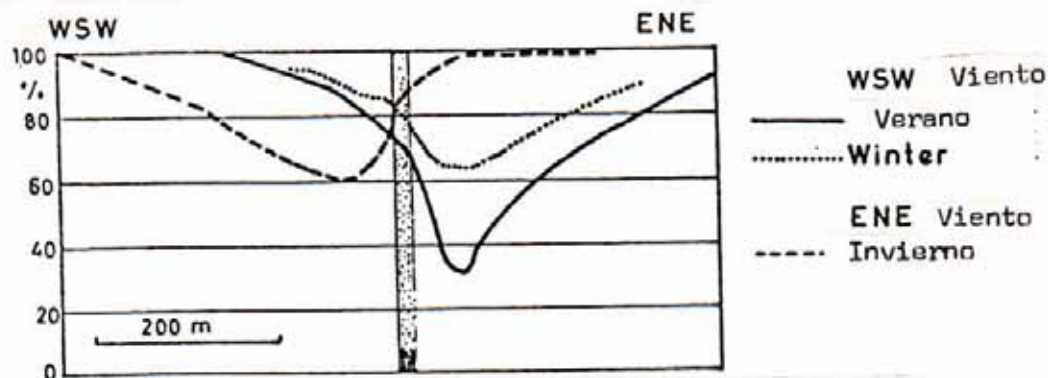


Figura 7 - La protección por una barrera de árboles de hoja caduca de 16 m. de altura en verano e invierno (Naegeli, 1946)

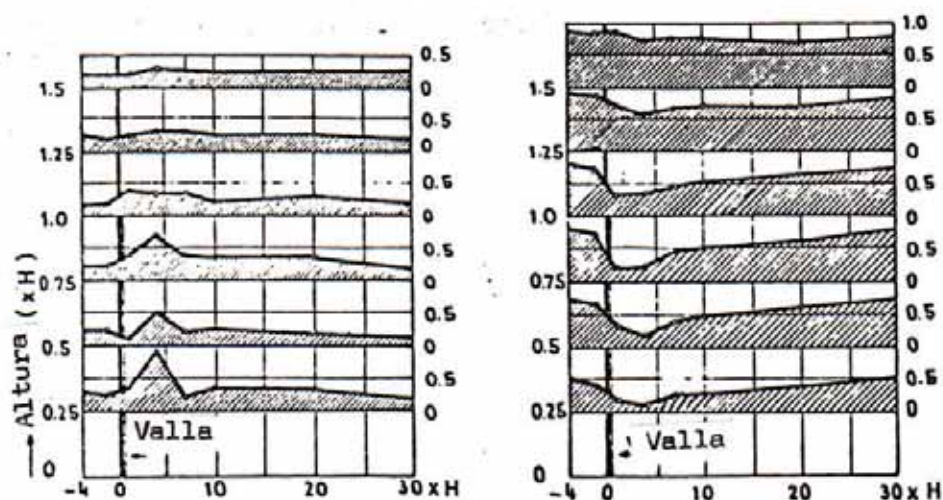


Figura 8 - Turbulencia (izquierda) y velocidad del viento a la cara y al dorso de una valla (permeabilidad 40 (Kaiser, 1959)

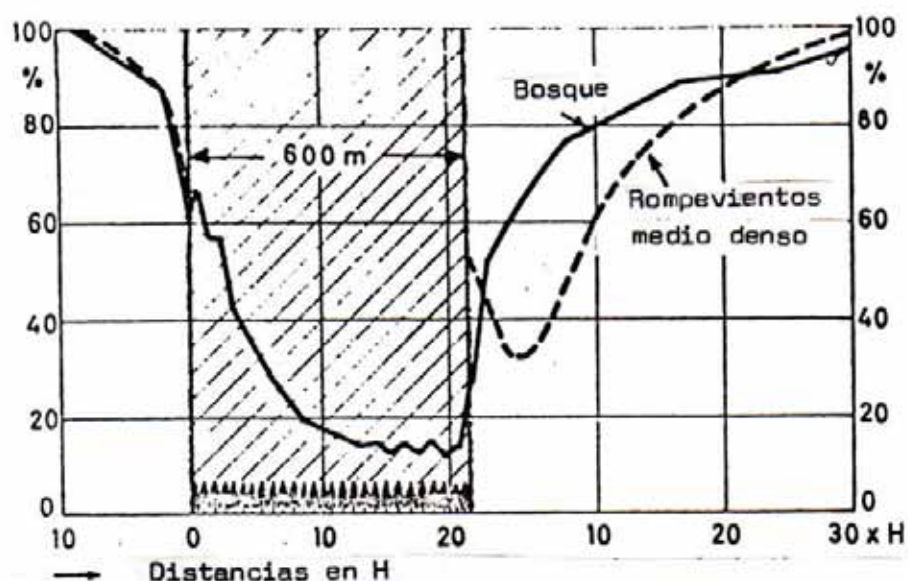


Figura 9 - Velocidad del viento a través de un bosque de coníferas (altura media 28 m.) y un rompevientos de densidad media (Naegeli, 1954)



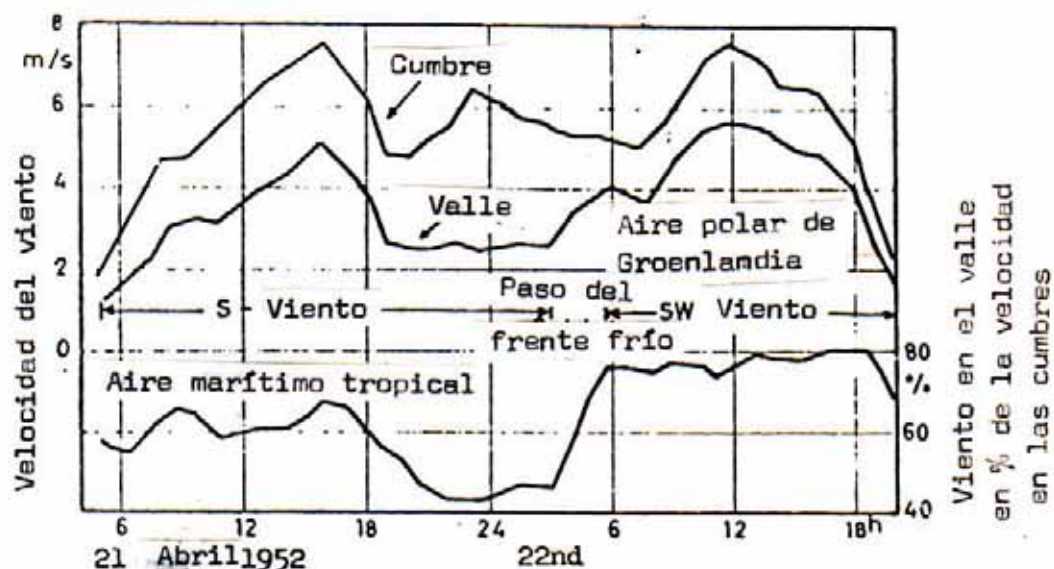


Figura 10-Gráfica de la velocidad del viento en un valle y las montañas que lo conforman en los montes Eifel. Viento perpendicular al valle (Kaiser, 1959)

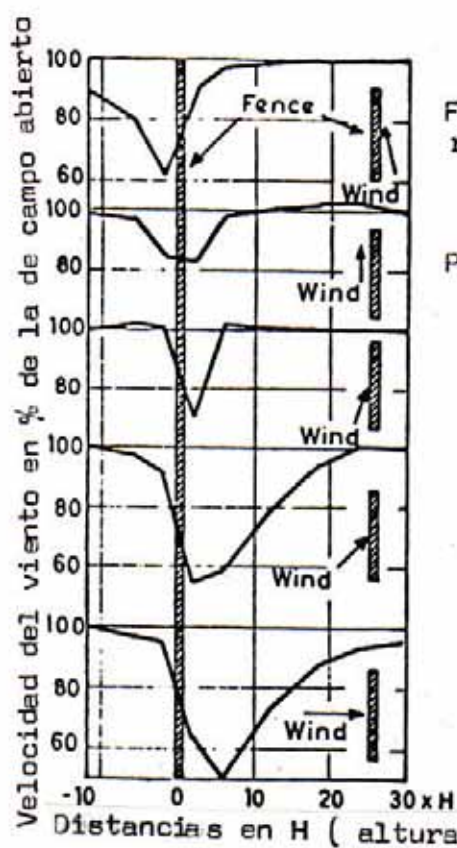
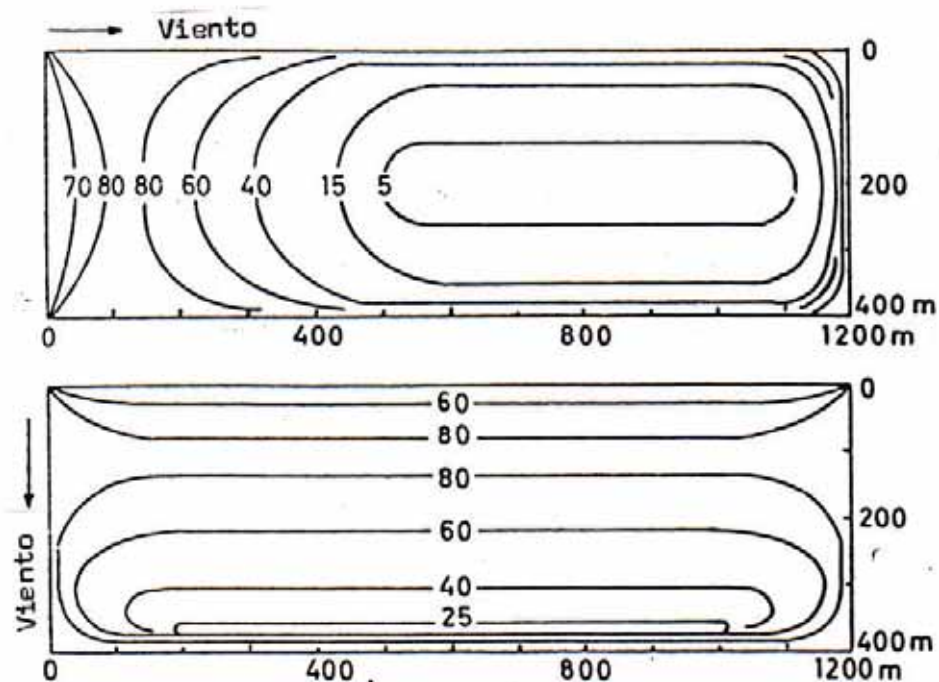
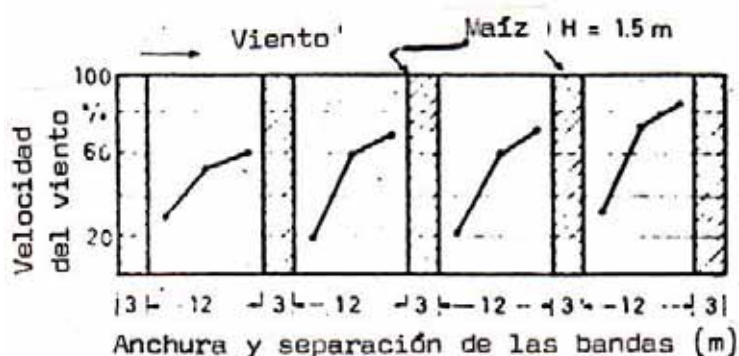
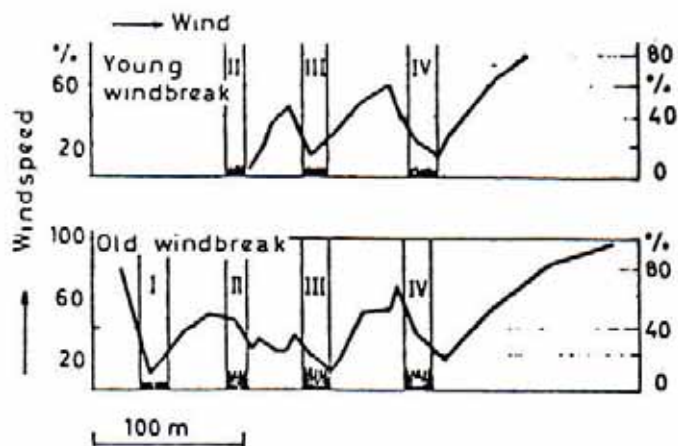
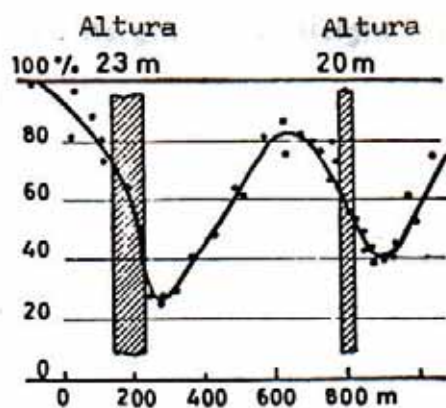


Figura 11 - La velocidad del viento en relación con el ángulo de incidencia

Permeabilidad 50% (Kaiser, 1959)

A continuación, las figuras de la 12 a la 20 ilustran la protección conseguida con dobles y múltiples barreras (12,13 y 14), en zonas resguardadas en direcciones ortogonales (15), y diversos efectos en zonas de transición entre zonas protegidas y no protegidas, o discontinuidades en los rompevientos (agujeros y otros) (16-20)





# Rompevientos



## Situación

Campo

Figura 18 Velocidad al filo de un rompevientos (Naegeli, 1943)

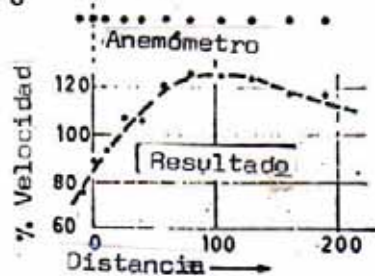


Figura 19

El efecto de un agujero en la esquina de un campo protegido. (Kaiser, 1959)

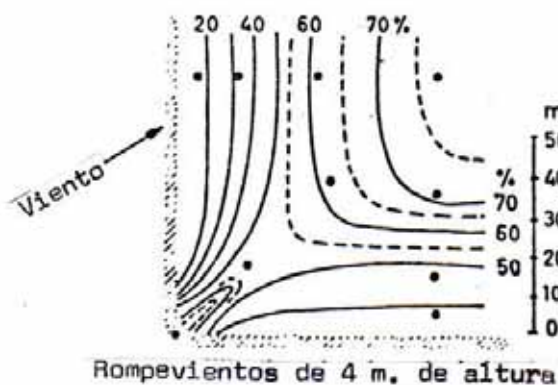
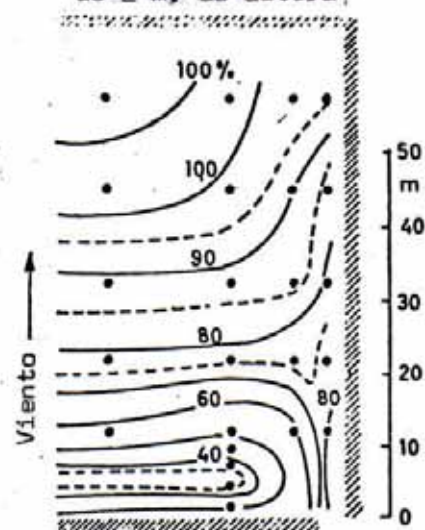


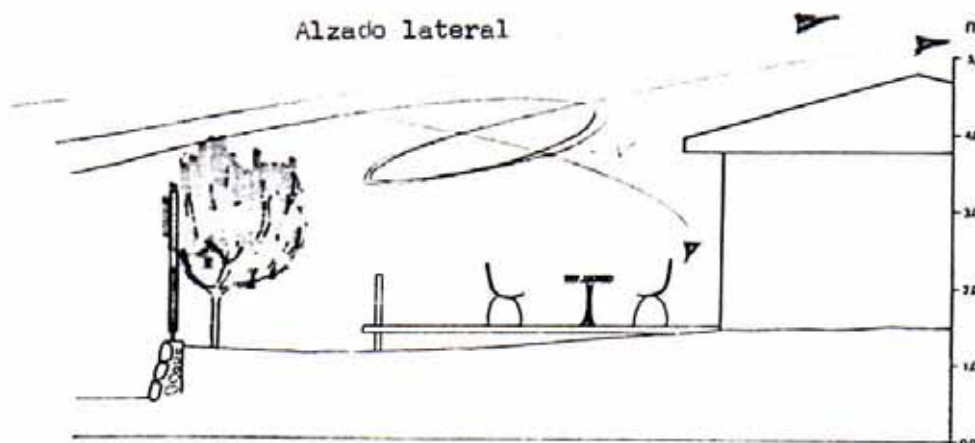
Figura 20

de 2 m. de altura,



Geoforum/Volume 8/Number 5/6/1977

## Alzado lateral



## Alzado frontal

Adición planeada

Estructura existente

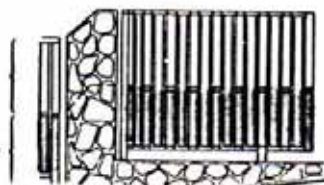
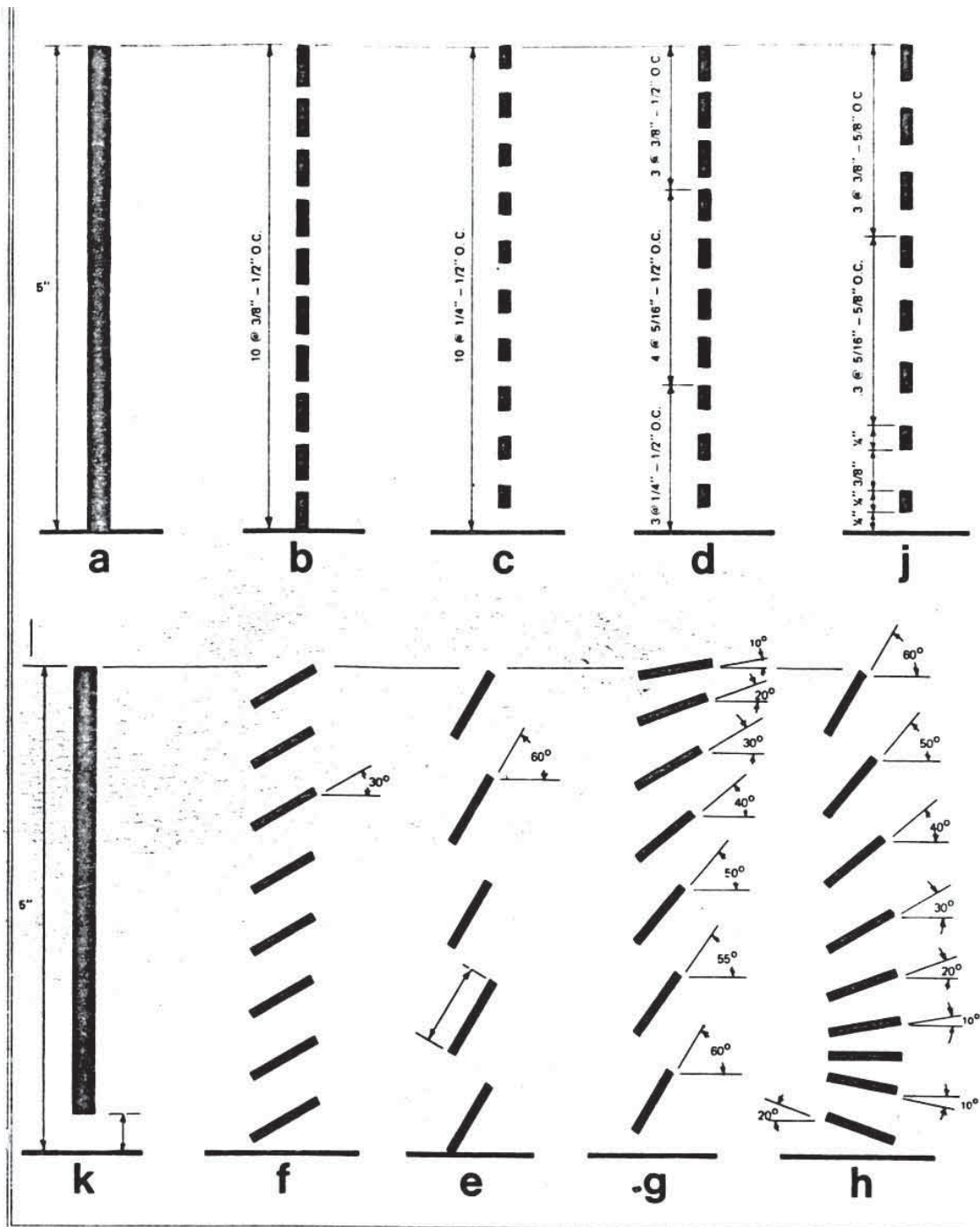


Figura 21. Creación de un rompevientos eficiente

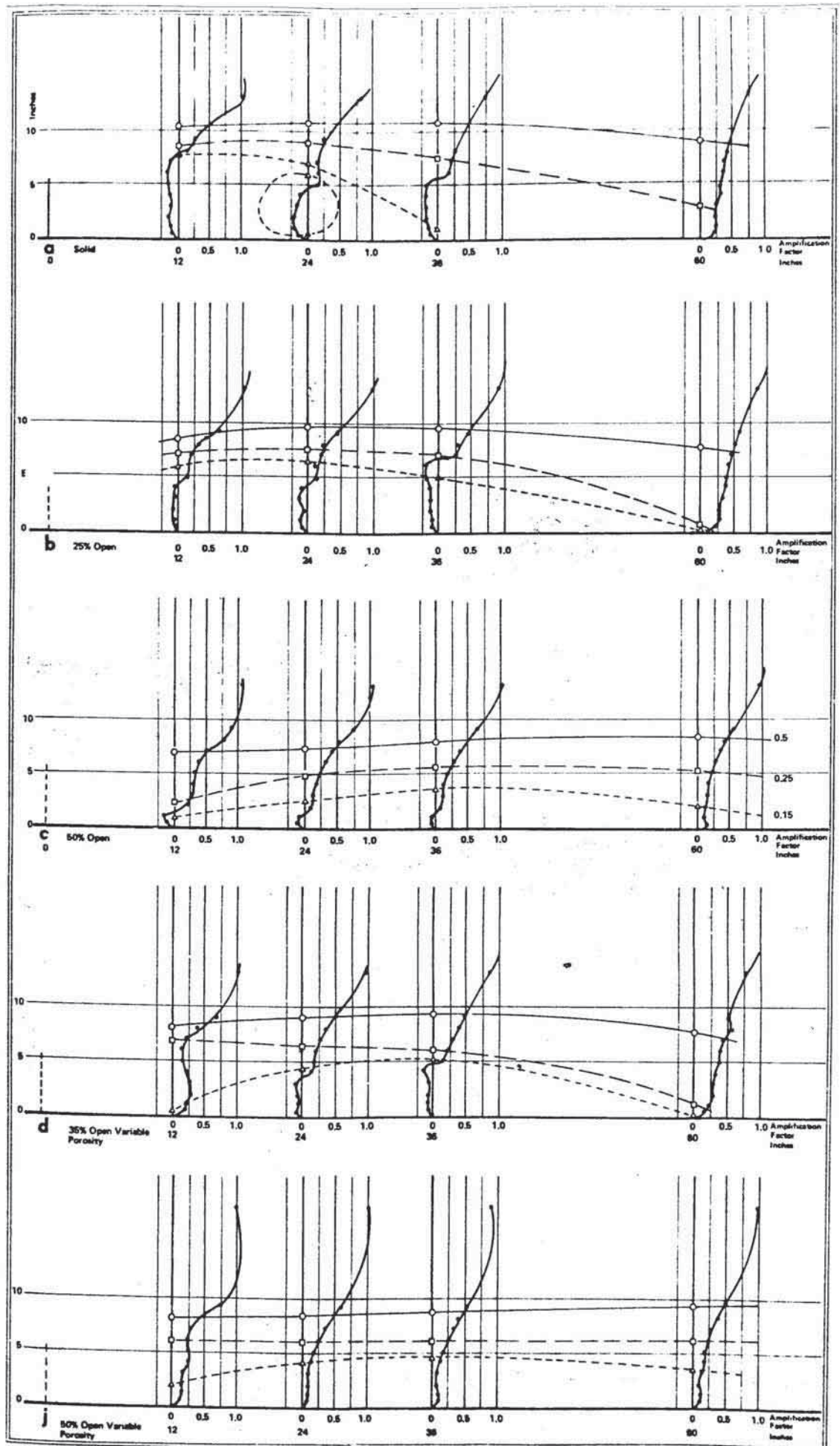
La más rápida recuperación de la velocidad en los rompientes opacos se puede atribuir a la recuperación estática, después de la compresión obligada por la reducción de la sección que tiene lugar en el filo de la barrera. Los gráficos anteriores y los que a continuación siguen, provenientes de un estudio efectuado publicado en "The Architectural Record", sirven directamente para evaluar la protección en espacios abiertos, en general espacios verdes o de edificación dispersa, y de una manera indirecta, y esto es más importante, para comprender los aspectos fundamentales del comportamiento del flujo de aire.



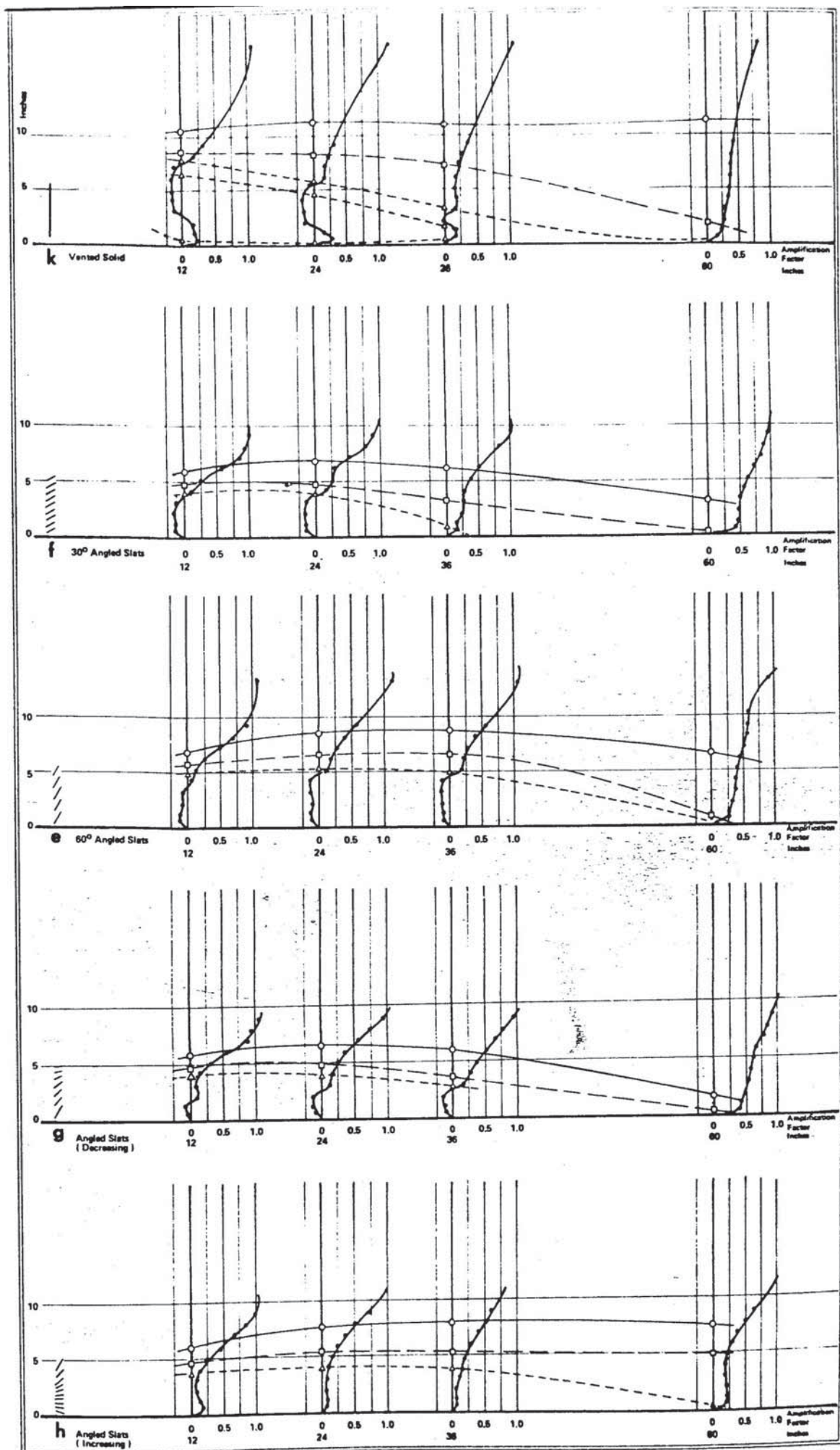


Reproducimos a continuación de Architectural Record, Julio de 1969, los ensayos en túnel de viento efectuados en la Universidad de Harvard sobre los rompevientos a-h aquí arriba reproducidos. (Michael O'Hare, Richard Kronauer).

- a .... rompevientos opaco
- b .... porosidad 25 % constante
- c .... porosidad 50 % constante
- d .... porosidad media 35 %, creciente de arriba a abajo
- j .... porosidad media 50 %, creciente de arriba a abajo
- k .... opaco con ventana inferior
- f .... lamas paralelas inclinadas 30°, sección ortogonal al viento libre 25%
- e .... idem 60°
- g .... lamas de inclinación variable convergentes hacia arriba
- h .... lamas divergentes en la dirección del viento, hacia 1/3 de la altura.







Los modelos que se ensayaron tenían 5 pulgadas de altura, y se grafican las curvas que representan, por una parte, las velocidades en los puntos en los que se dispusieron los aparatos de medida, y las curvas de límite de reducción del viento al 50 % de la velocidad libre (círculos), al 25 % de la misma (cuadrados) y al 10 % (triángulos).

Dentro de los rompevientos de lamas verticales, a-k, la mayor reducción de la velocidad en una amplia zona tras la barrera corresponde al e, 50%; el menor flujo de retorno (correspondiente al tramo inferior del remolino inducido por el obstáculo) al d, de porosidad creciente de arriba a abajo, media 35%, y las más bajas velocidades cerca del rompevientos con el de porosidad constante 25 %.

Para los rompevientos de lamas inclinadas, el h, en el que el viento diverge después de atravesarlo, no presenta en ningún punto corriente inducida de retorno, alcanzando disminuciones notables de la velocidad en un amplio espacio.

El fundamento de la manera de evitar, por tanto, la corriente inducida de retorno, consiste en oponer otra corriente o presión mediante el artificio de dejar una mayor porosidad a la altura (parte baja del rompevientos) a la que se supone se va a producir.

En líneas generales, para obtener bajas velocidades cerca del rompevientos, se recomienda por tanto el empleo de los de 25% de porosidad u opacos, teniendo presente que estos inducirán corrientes inversas y ascendentes de efectos indeseados; de cara a conseguir una amplia zona de protección convendrá disponer barreras de 50 % de porosidad, lo que puede llegar a ser una solución económica .

De cara a la aplicación práctica convendrá tener en cuenta que una rendija o perforación viene a dejar pasar una corriente de velocidad alta hasta siete veces su dimensión típica, de manera que convendrá acudir a rompevientos muy tupidos en número de lamas, a los efectos de disminuir al mínimo la percepción de este fenómeno.

Es claro que los rompevientos tienen aplicación en los espacios libres y en los canales de viento que se producen entre dos hileras de edificación en zonas urbanas. Sistemas de rompevientos asociados en todas las direcciones del espacio urbano, entendidos como canalizadores del viento fuera de los límites de lo molesto para los habitantes de la ciudad pueden ser un instrumento interesante



para ciudades como Zaragoza, o al menos para determinadas zonas de la misma, siempre que no se olvide que una buena ventilación a nivel urbano es tan necesaria o más que una convección fuerte de aire frío indeseable.

Las propuestas por tanto se inscriben en los supuestos higienistas del racionalismo, si, previa la ubicación de las industrias contaminantes fuera de la línea NO-SE, se da paso a unas ordenaciones de manzana que, orientadas al SE, produzcan espacios protegidos del cierzo, y contrariamente dejen paso a los vientos minoritarios del Mediterráneo. Tal esquema, puede servir a título de caricatura para conseguir una ciudad contra el viento, pero quizás es más interesante considerar la posibilidad de diseñarla con el viento, mediante la introducción de elementos de protección en los lugares o zonas claramente necesitados, lo cual, felizmente en el caso de Zaragoza, es bastante fácil de reconocer debido a la gran constancia del viento dominante.

Tabla para la conversión de la velocidad en presiones dinámicas

Nudos	● 0	● 10	● 20	● 30	● 40	● 50	● 60	● 70	● 80	● 90	● 100	
Millas/hora	● 0	● 10	● 20	● 30	● 40	● 50	● 60	● 70	● 80	● 90	● 100	● 110
m/sg	● 0	● 5	● 10	● 15	● 20	● 25	● 30	● 35	● 40	● 45	● 50	
km/h	● 0	● 25	● 50	● 75	● 100		● 125	● 150		● 175		
libras/pie <sup>2</sup>	● 0	● 1		● 5	● 10		● 15	● 20	● 25	● 30		
	● 0	● 50	● 100	● 200		● 400	● 600	● 800	● 1400	● 1200	● 1000	● 1600
kg/m <sup>2</sup>	● 0	● 5	● 10	● 15	● 20	● 40	● 60	● 80	● 100	● 120	● 140	● 160
mmca	● 0	● 5	● 10	● 15	● 20	● 40	● 60	● 80	● 100	● 120	● 140	● 160

La tabla de presiones dinámicas en función de la velocidad nos da directamente un índice de la molestia que por efectos dinámicos puede ocasionar un fuerte viento.

Por ejemplo; para una persona que presente 0,57 m<sup>2</sup> ortogonalmente al viento a 75 km/h, éste le ejercerá una fuerza de unos 14 kp a unos 85 cms de altura; si pesa 75 kg., el equilibrio le obligará a inclinarse unos 11° en conjunto, acompañado por la sensación de inestabilidad y disminución de la seguridad ocasionada por una utilización al límite del rozamiento con el suelo. Si, en cambio, sólo está sometido a la acción de un viento de 32,5 km/h, la mitad, tal acción se verá reducida a la cuarta parte en virtud de la ley  $p = \frac{v^2}{16}$ , y tal reducción y muy superiores se pueden

obtener de los rompevientos.

(en todo lo anterior hemos prescindido de factores de corrección en función de la forma del obstáculo)

Asimismo existen fórmulas que relacionan la velocidad y temperatura del viento con el poder refrigerante del aire sobre la piel humana, que son utilizadas para clasificar los vientos desde el punto de vista de la sensación que producen en el hombre. En "Determinación del bienestar climático humano", de José Garmendia y en "Aportación al estudio de los microclimas urbanos en Zaragoza" de J.L. Calvo se pueden encontrar referencias.

Importa aquí especialmente reseñar las ventajas de la reducción de la velocidad excesiva del viento a través de la ciudad.