

TRADUCCIÓN

No.17/10389

Se certifica que la presente es traducción fiel de un Informe,  
extendido en idioma alemán, cuyo tenor es el siguiente. -----

----- RUBRICATO NE VARIETUR -----



INFORME

----- Indicaciones relativas a la investigación y a la  
evaluación de las emisiones ópticas de instalaciones de  
energía eólica (indicaciones relativas a la proyección de  
sombras de las IEE) -----

----- Versión de 13.03.2002 -----

----- 0. Nota preliminar -----

----- En el marco de los recursos agotables disponi-  
bles, la generación de energía alternativa/renovable, en este  
caso especialmente el aprovechamiento de la energía eólica,

----- // -

-- // -----  
reviste gran importancia. Las modernas instalaciones de energía eólica (IEE) tienen prácticamente ya nada en común con los "molinos de viento" de las generaciones anteriores. Sin embargo, por su cantidad, tamaño y aspecto, éstas conllevan problemas desconocidos hasta ahora relacionados con las molestias provocadas por el ruido y los efectos ópticos. -----

----- En cuanto a los efectos del ruido, existen disposiciones que ofrecen protección a los residentes afectados en ese sentido. Para evaluar los efectos provocados por los rayos de luz y la proyección intermitente de sombras en movimiento por el rotor de una IEE, los legisladores no han establecido ni manifestado - hasta ahora - la intención de establecer disposiciones legales vinculantes con valores límite o recomendables. -----



----- Las investigaciones científicas confirman la experiencia de que las emisiones ópticas, especialmente en forma de proyección intermitente de sombras, pueden tener considerables efectos estresantes (estresores). Considerando estas investigaciones y la opinión de expertos, con estas indicaciones se pretende permitir una determinación y una evaluación uniforme y cercana a la práctica de las emisiones ópticas provenientes de instalaciones de energía eólica. -----

----- **1. Aspectos generales** -----

----- **1.1 Campo de aplicación y principios legales de la protección ante las emisiones** -----

----- Estas indicaciones son aplicables para la evaluación de los efectos ópticos de las IEE sobre el ser humano. Abarcan tanto la proyección intermitente de sombras ocasionada

----- // --

-- // -----  
por el rotor de la IEE como también los destellos de luz ("efecto discoteca"), que se consideran emisiones en el sentido de la Ley Federal de Protección ante Emisiones [1]. No se consideran emisiones los otros posibles efectos de una IEE como el característico movimiento del rotor que atrae obligadamente la atención, con las correspondientes irritaciones. -----

----- Las indicaciones comprenden pautas de evaluación para establecer las exigencias concretas derivadas del artículo 5, párrafo 1, números 1 y 2, y del artículo 22, párrafo 1, de la Ley Federal de Protección ante Emisiones. ---

----- Tanto las medidas técnicas como las restricciones del tiempo de operación de las IEE pueden ser objeto de disposiciones. Sólo se consideraría una posible paralización de las mismas si su operación significara un peligro para la vida, para la salud o para bienes materiales valiosos. En general, ello no debería ser aplicable a las emisiones ópticas de las IEE. -----



----- **1.2 Definiciones** -----

----- **Destellos de luz** (efecto discoteca) son reflejos intermitentes de la luz solar sobre las aspas de los rotores.-

----- Ellos dependen del grado de brillo en la superficie del rotor y de la reflectividad del color elegido. -----

----- **Sombra total** es la ocultación total del sol por el aspa del rotor, visto desde el lugar afectado por la emisión.

----- **Media sombra** es la ocultación parcial del sol por el aspa del rotor, visto desde el lugar afectado por la emisión. -----

----- // --

-- // -----  
----- **Proyección intermitente de sombras** es el sombreado repetitivo de la luz solar directa provocado por las aspas del rotor de una instalación de energía eólica, en que la proyección de sombras dependerá de las condiciones atmosféricas, la dirección del viento, la posición del sol y las horas de operación de la instalación. El ojo humano percibe diferencias de claridad superiores a 2,5% [3]. -----

----- **Área de sombreado** es la superficie en la cual ocurre la proyección intermitente de sombras. -----

----- **Duración máxima astronómicamente posible del sombreado (worst case)** es el tiempo durante el cual el sol teóricamente ilumina durante todo el período comprendido entre la salida y la puesta del sol, con el cielo totalmente despejado, la superficie del rotor se encuentra perpendicular a los rayos del sol y la instalación de energía eólica está en operación. -----

----- **Duración efectiva del sombreado** es la suma del tiempo real determinado en el lugar de la proyección intermitente de sombras. Si la intensidad de radiación de los rayos del sol directos sobre el plano normal al sentido de la incidencia es superior a  $120 \text{ W/m}^2$ , debe considerarse que la luz solar proyectará sombras. En el anexo se indica la inversión en luminancia. -----

----- **Duración del sombreado meteorológicamente probable** es el período para el cual se calcula la proyección de sombras considerando las condiciones atmosféricas habituales. Para ello, sirven de base las series de mediciones a largo plazo del servicio meteorológico alemán "Deutscher Wetterdienst

----- // --



-- // -----  
(DWD)". -----

----- **Lugares determinantes afectados por las emisiones**  
**son** -----

----- a) Espacios que deben protegerse, que se utilizan  
como -----

----- - espacios habitables, incluidos los pasillos  
habitables; -----

----- - dormitorios, incluidas las habitaciones en  
hoteles, hospitales y sanatorios; -----

----- - salas de clases de colegios, universidades y  
establecimientos similares; -----

----- - oficinas, consultas médicas, salas de trabajo,  
salas de capacitación y lugares de trabajo similares. -----

----- Las superficies exteriores directamente adyacentes  
a edificios (por ejemplo terrazas y balcones) corresponden a  
espacios que deben protegerse durante el día, entre las 6:00 y  
las 22:00 horas. -----



----- b) Sitios eriazos en una altura referencial de 2m  
sobre el terreno en la orilla más afectada de las superficies  
sobre las cuales las disposiciones de edificación o los planes  
reguladores permiten construcciones con espacios que deben  
protegerse. -----

----- **1.3 Bases del cálculo y de la evaluación de las**  
**emisiones provocadas por la proyección intermitente de sombras**

----- El objetivo es evitar, de manera segura, las moles-  
tias considerables por los posibles efectos de luz intermiten-  
te (emisiones ópticas) de las IEE. El grado de molestia no  
depende únicamente de su intensidad, sino también esencial-

----- // --

-- // -----  
mente del uso del área afectada, del tipo de efecto y de la duración de los efectos. Al evaluar la situación, deben considerarse **todas las IEE del entorno** que actúan de alguna manera sobre el punto afectado por las emisiones en cuestión. Pueden descartarse con seguridad los efectos de una proyección intermitente de sombras si todos los lugares que podrían verse afectados por las emisiones en el entorno de la instalación se encuentran fuera del posible área de sombreado de la IEE respectiva. -----

----- El área que corresponda analizar resulta de la distancia desde la IEE en la cual el 20% de la superficie de sol es ocultada por un aspa de rotor. Dado que el espesor del aspa no es constante en toda su extensión, sino que disminuye hacia la punta del aspa, debe calcularse y emplearse como base - en su reemplazo - un aspa de rotor rectangular con un espesor promedio: -----



----- (Espesor promedio del aspa =  $\frac{1}{2}$  (espesor máximo del aspa + espesor mínimo del aspa a  $0,9 * \text{radio del rotor}$ )) [7].

----- El área de sombreado para una instalación específica puede verse de manera conservadora en la ilustración del anexo, o comprobarse en cada caso concreto. Además, puede determinarse el área de sombreado conforme a Freund [3].

----- Si varias IEE pueden aportar a las emisiones, rigen las explicaciones para cada instalación individual. Deben considerarse las diferencias de elevación del terreno entre la ubicación de la IEE y el lugar afectado por las emisiones (por ejemplo, al colocar una IEE en una colina). -----

----- Para determinar la molestia, **no es esencial**  
----- // --

-- // -----  
diferenciar entre el sombreado total y el sombreado medio.-  
----- Si los lugares afectados por las emisiones que  
deban considerarse se encuentran dentro del área de sombreado  
de una IEE, es posible que se produzcan efectos molestos  
transitorios recurrentes. -----  
----- Son relevantes las emisiones perceptibles o bien  
efectivamente existentes en un lugar afectado por las  
emisiones, que sólo pueden ocurrir bajo ciertas condiciones  
atmosféricas. El efecto de la proyección intermitente esperada  
de sombras no se considera como muy molesto si la **duración  
máxima astronómicamente posible del sombreado** [8] [9],  
considerando la suma de todos los aportes de las IEE en el  
lugar afectado en cuestión a una altura referencial de 2m  
sobre el terreno, no supera las **30 horas por año calendario ni  
los 30 minutos por día calendario**. AL evaluar el grado de  
molestia, se tomó como referencia a una persona medianamente  
sensible. -----  
----- Si se superan los valores de la **duración máxima  
astronómicamente posible del sombreado**, pueden aplicarse,  
entre otras, medidas técnicas para la restricción transitoria  
de la operación de la IEE. Una medida técnica importante,  
sujeta a exigencias y disposiciones, es la instalación de un  
sistema automático de desconexión que capta la condición de  
sombreado meteorológico concreto mediante sensores que miden  
la intensidad de la radiación o luminancia, y limita la  
duración del sombreado concretamente existente en el lugar.  
Dado que el valor de 30 horas por año calendario se estableció  
sobre la base del sombreado astronómicamente posible, para los  
----- // --



-- // -----  
sistemas automáticos de desconexión se fijó un valor correspondiente para la duración efectiva y real del sombreado, la **duración meteorológica de sombreado**. Sobre la base de [2], este valor corresponde a 8 horas por año calendario. -----

----- **2. Predicción de la proyección intermitente de sombras** -----

----- Por motivos de comparabilidad y comprobabilidad, al elaborar pronósticos de emisiones debe partirse de los siguientes supuestos y simplificaciones: El sol es una fuente con forma de punto y brilla durante el día, todos los días del año. El cielo está despejado y hay suficiente viento para mover el rotor (100% disponibilidad). El sentido del viento equivale al ángulo acimut del sol; entonces, la superficie circular del rotor es perpendicular al sentido de la incidencia de los rayos directos del sol. Los cálculos se basan en el norte geográfico. No se consideran las distancias entre el plano del rotor y el eje de la torre. No se considera la refracción de la luz en la atmósfera. -----



----- En terrenos planos, debido a la vegetación, a construcciones y a las capas de la atmósfera que deben traspasarse, no es necesario considerar la proyección de sombras para posiciones del sol inferiores a 3° sobre el horizonte. Para un cálculo más preciso de la duración máxima astronómicamente posible de sombreado, debe partirse de la zona que efectivamente produce sombras de una IEE. Este valor se obtiene considerando la difusión de la radiación en la atmósfera [12]. -----

----- En la suma de horas anuales se toma como base el -----  
----- // --

-- // -----  
año calendario de 365 días; en la suma de las horas diarias con sombra, se toma como base el día de 24 horas. -----

----- Pueden considerarse los obstáculos opacos naturales y artificiales permanentes que limitan la proyección intermitente de sombras de la IEE. -----

----- En el resumen final debe indicarse la duración máxima astronómicamente posible de sombreado. -----

----- **3. Evaluación** -----

----- No existe una molestia considerable a causa de una proyección intermitente de sombras si no se superan los valores referenciales de emisiones ni para la duración diaria ni para la duración anual del sombreado de todas las instalaciones de energía eólica que afectan un lugar específico. -----

----- **3.1 Valores referenciales de emisiones para la duración anual del sombreado** -----

----- Para poder autorizar instalaciones de energía eólica, debe garantizarse que no se supere la duración máxima astronómicamente posible de sombreado de **30 horas por año calendario**. En caso de quejas respecto de la proyección de sombras por instalaciones ya existentes, debe comprobarse el cumplimiento de este valor referencial. -----

----- Si se superan los valores, debe garantizarse el cumplimiento de las exigencias de protección ante las emisiones de estas indicaciones por medidas apropiadas (véase 4.1). Al utilizar un sistema automático de desconexión que no considere parámetros meteorológicos, debe lograrse a través de éste limitar la duración máxima astronómicamente posible a 30 -----

----- // --



-- // -----  
horas por año calendario. Si se utiliza un sistema automático de desconexión que considere parámetros meteorológicos (por ejemplo, la intensidad de la luz solar), la duración efectiva de sombreado debe limitarse a 8 horas. -----

----- **3.2 Valor referencial de emisión para la duración diaria del sombreado** -----

----- El valor referencial de emisión para la duración diaria del sombreado corresponde a **30 minutos**. -----

----- En un estudio de laboratorio de la Universidad de Kiel [9] se determinó que una exposición única a una proyección de sombras de 60 minutos ya puede conducir a reacciones de estrés. Por lo tanto, como prevención, la duración máxima de sombreado diario se limita a **30 minutos**. --

----- Este valor rige como **duración máxima astronómicamente posible de sombreado** para las instalaciones proyectadas y como duración efectiva de sombreado para las instalaciones ya existentes. Si este valor referencial se supera en mínimo tres días, debe garantizarse la limitación de la duración del sombreado diario a 30 minutos por medidas apropiadas. -----



----- **4. Exigencias y medidas de reducción** -----

----- **4.1 Proyección de sombras** -----

----- Al elegir la ubicación de las instalaciones de energía eólica, la extensión del deber de prevención en cuanto a reducir las emisiones alcanzables de sombreado en los lugares afectados se establece para cada caso individual, considerando la proporcionalidad y las exigencias de la dirección de planificación/ dirección de obras estatal. -----

----- Si una IEE supera los valores referenciales

----- // --

-- // -----  
permitidos según el número 3, deben reducirse las emisiones con el fin de cumplir, de manera comprobable, con los valores referenciales para las emisiones. Ello se efectúa desconectando puntualmente la instalación durante los períodos en que se produce la proyección real de sombras o la proyección astronómicamente posible de sombras en los lugares respectivos afectados por las emisiones. Al establecer los horarios precisos de desconexión, debe considerarse la extensión espacial del lugar afectado por las emisiones (por ejemplo, superficie de ventanas o balcones). En las habitaciones interiores, la altura referencial es la mitad de las ventanas. En las áreas exteriores, la altura referencial es de 2m sobre el piso. -----

----- Los datos calculados para la duración de la radiación solar y para el tiempo de desconexión deben documentarse durante al menos un año por la unidad de control; los protocolos respectivos deben estar a disposición de la autoridad competente para su examen a petición de ésta. En caso de un aporte por parte de varios IEE, pueden dividirse los aportes de emisiones para cada lugar en cuestión afectado por las mismas. -----



----- **4.2. Destellos de luz** -----

----- Deben evitarse los destellos molestos de luz utilizando pinturas medianamente reflectantes, por ejemplo RAL 7035-HR [6], y grados de brillo opacos conforme a la norma DIN 67530/ISO 2813-1978 [5], para el recubrimiento de los rotores. De ese modo, se minimizan la intensidad de los posibles reflejos de luz y los efectos molestos ocasionados (efecto

----- // --

-- // -----  
discoteca). No se consideran los destellos de luz causados por  
humedad o hielo. -----

----- **Anexo** -----

----- **Procedimiento de cálculo** -----

----- La prueba de que una IEE específica no tiene  
efectos nocivos para su entorno por la proyección intermitente  
de sombras, se basa en un pronóstico de proyección de sombras,  
en el marco de los proyectos de planificación y de la  
supervisión de las instalaciones. Ello rige también para  
establecer los tiempos de desconexión de las IEE eventualmente  
necesarios. -----

----- Un pronóstico de proyección de sombras se basa en  
un algoritmo para calcular la posición del sol según el lugar,  
el día y la hora. Para garantizar una realización uniforme y  
una comprobabilidad simplificada, se recomienda emplear los  
modelos normados de cálculo de acceso general [10] o [11]. ---

----- La precisión básica de los parámetros geométricos  
incorporados a un pronóstico debe ser de  $\pm 3$  ..... 10m .... La  
determinación de los tiempos de proyección de sombras debe  
cumplir con una precisión de 1 min por día. Las indicaciones  
absolutas de tiempo deben ser en CET o bien CEST. -----

----- Los posibles tiempos de sombreado en todos los  
lugares relevantes afectados por emisiones deben identificarse  
en el pronóstico de proyección de sombras por día, con el  
punto de inicio, punto de término y duración del sombreado; en  
caso de varias IEE, los aportes de las instalaciones deben  
poder obtenerse individualmente y sumados por días. Por cada  
lugar afectado por las emisiones debe indicarse la suma de la

----- // --



-- // -----  
duración anual de sombreado. -----

----- También forman parte de un pronóstico de proyección de sombras los extractos de mapas topográficos, las ubicaciones de las instalaciones y los lugares afectados por las emisiones, indicando sus coordenadas de Gauss-Krüger y las elevaciones. Como resultado, también pueden indicarse isolíneas de sombreado (curvas de igual duración anual de sombreado, especialmente la isolínea de sombreado de 30 h, en el entorno de la instalación). -----

----- **Software** -----

----- Por los cálculos relativamente extensos y por las buenas posibilidades de cálculo con ayuda de programas de computación, se recomienda utilizar un software apropiado. Para ello pueden emplearse programas corrientes en el mercado. También puede realizarse un pronóstico con ayuda de tablas adecuadas. -----



----- Al utilizar estas herramientas, deben considerarse las exigencias de las presentes indicaciones, por ejemplo, en cuanto a los procedimientos de cálculo. -----

----- **Herramientas de trabajo** -----

----- **Duración efectiva de sombreado: posición del sol e iluminancia** -----

----- La iluminancia resultante  $E$  [lx] sobre un área de medición horizontal depende del ángulo de incidencia (posición del sol) [ $^{\circ}$ ] y del equivalente de radiación fotométrico [lx/Wm<sup>2</sup>] determinado por la refracción de la luz y por la turbiedad del aire, y que también depende de la posición del sol. -----

----- // --

-- // -----  
 ----- El servicio meteorológico alemán DWD supone los  
 siguientes datos de referencia para la iluminancia: -----

Posición del sol [°]	Iluminancia [lx]	Equivalente de radiación [lx/Wm <sup>-2</sup> ]
3	389	62
60	10.912	105

----- En una primera aproximación, resultan de lo  
 anterior las siguientes iluminancias según la posición del  
 sol: -----

Posición del sol [°]	Iluminancia [lx]
3	389
5	664
10	1402
15	2207
20	3071
25	3986
30	4942
35	5929
40	6935
45	7949
50	8959
55	9951
60	10912



----- Para sumar las horas anuales, se considera el año  
 calendario de 365 días y para sumar los períodos diarios de  
 sombra, el día de 24 horas. -----

----- **Horas del amanecer y ocaso [h:min; h:min]** -----

	Berlín	Essen	Hannover

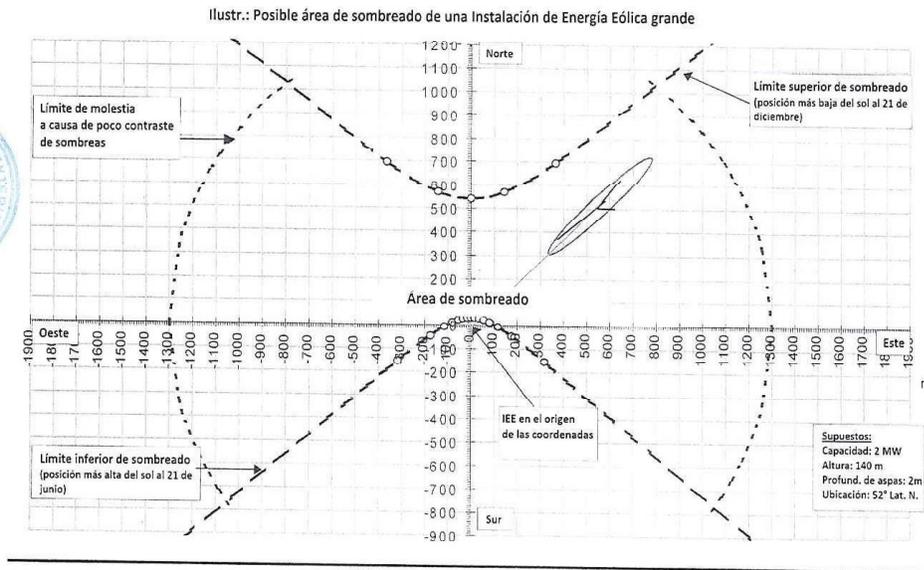
----- // --

-- // --

1 de enero	8:17; 16:03	8:37; 16:34	8:32; 16:18
1 de abril	5:41; 18:41	6:08; 19:07	5:56; 18:56
1 de julio	3:48; 20:32	4:20; 20:52	4:03; 20:47
1 de octubre	6:07; 17:44	6:33; 18:10	6:22; 17:59

	Karlsruhe	Múnich	Schleswig	Schwerin
1 de enero	8:21; 16:40	8:04; 16:31	8:44; 16:07	8:32; 16:05
1 de abril	6:04; 18:59	5:52; 18:44	5:54; 18:58	5:48; 18:50
1 de julio	4:26; 20:34	4:18; 20:17	3:51; 21:00	3:49; 20:47
1 de octubre	6:26; 18:06	6:13; 17:53	6:24; 17:58	6:16; 17:51

----- Fuente: Servicio meteorológico alemán DWD/ Oficina federal para el transporte marítimo y la hidrografía, 2001. -



----- Duración del sombreado en el entorno de una instalación de energía eólica - Ejemplo -----

----- Coordenadas del lugar de referencia de la IEE en -----

// --

-- // -----  
 terreno plano: -----  
 ----- Geográficas: 52°00'00'' N - 10°00'00'' E (centro de  
 Alemania) -----  
 ----- Gauss-Krüger (Bessel): 2 637 333 | 5 764 640 -----  
 ----- Altura referencial: 2m sobre el terreno; receptor  
 horizontal 0,1 x 0,1 m2 -----

N° corr.	Altura de buje[m]	Diámetro de rotor [m]	Acimut de N hacia E [°]	Distancia IEE - Lugar afectado [m]	Horas/Año	Días/Año	Minutos/Día
1	60	40	0°	150	90	124	60
2			40°	300	25	62	32
3			120°	450	15	49	22
4	90	60	0°	250	83	111	56
5			40°	400	28	61	36
6			120°	650	14	46	22
7	100	80	0°	300	98	108	62
8			40°	500	37	76	38
9			120°	750	20	54	26



----- Por la simetría del área de sombreado, correspondiente al trayecto (aparente) del sol según el día, se esperan emisiones similares para los puntos afectados por las emisiones ubicados simétricamente al eje norte-sur. Al superponerse las emisiones de varias IEE, la duración total de sombreado en un punto afectado por las emisiones es, como máximo, igual a la suma de la duración de sombreado de las diferentes IEE que aportan a las emisiones. -----

----- **Bibliografía:** -----

----- [1.] Ley Federal de Protección ante las Emisiones:  
 Ley de protección ante los efectos nocivos del entorno por

----- // -----

-- // -----  
contaminación del aire, ruidos, vibraciones y eventos similares (Ley Federal de Protección ante Emisiones) de 15 de marzo de 1974 (Diario Oficial I p. 721, 1193) en la versión publicada el 14 de mayo de 1990 (Diario Oficial I p. 880), modificado por última vez el 27 de julio de 2001 (Diario Oficial I p. 1950, 1973). -----  
----- [2.] H. D. Freund: Tiempo real de efecto  $T_w$  de la proyección de sombras, siendo  $T_{\max} = 30$  h/año; estudio; Instituto de Física y Electrotecnia General, Universidad de Kiel, (24.01.2001). -----  
----- [3.] H. D. Freund: Extensión de la proyección de sombras de las instalaciones de energía eólica, Banco de Datos para la Investigación del Medio Ambiente UFORDAT (junio de 1999). -----  
----- [4.] K. Bohne, D. Michelbrand: Proyección de sombras de las instalaciones de energía eólica; tesis de título, Universidad de Kiel (abril de 2000). -----  
----- [5.] Norma DIN 67530/ISO 2813 - El reflectómetro como ayuda para evaluar el brillo de superficies sintéticas y de pinturas lisas, Instituto Alemán de Normalización, Berlín (1978). -----  
----- [6.] RAL 7035-HR - Carta de colores, Instituto Alemán para la Calidad y Clasificación, Bonn y St. Augustin (1998). -----  
----- [7.] Oficina Medioambiental Estatal de Schleswig, Acta del resultado del tercer consejo de especialistas de 19.11.1999 sobre los efectos de las instalaciones de energía eólica sobre el medio ambiente, Schleswig (1999). -----  
----- // --



- // -----
- [8.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Molestias  
causadas por la proyección intermitente de sombras de las  
instalaciones de energía eólica, estudio de campo, Instituto  
de Psicología de la Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,  
31.07.1999. -----
- [9.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Molestias  
causadas por la proyección intermitente de sombras de las  
instalaciones de energía eólica, estudio piloto, Instituto de  
Psicología de la Christian-Albrechts-Universität, Kiel,  
15.05.2000. -----
- [10.] Norma DIN 5034-2: Luz de día en habitaciones  
interiores - bases, editorial Beuth-Verlag, Berlín, 1985. ----
- [11.] Asociación de Ingenieros de Alemania 3789  
Hoja2 -10/94: Meteorología medioambiental - Interacción entre  
la atmósfera y las superficies, cálculo de las radiaciones de  
ondas cortas y largas, Asociación de Ingenieros de Alemania,  
Dusseldorf, 1994. -----
- [12.] H. D. Freund, Efecto de la turbiedad del  
aire, la expansión solar y la forma de las aspas sobre la  
proyección de sombras de las instalaciones de energía eólica,  
informe de investigación en técnicas medioambientales,  
Universidad de Kiel, enero de 2002. -----

=====

TRADUCTORA: ANA KAROLA RIHM JACOB - RES. N°568 DE 06/07/1988 -  
SANTIAGO, CHILE, a 14 de julio de 2017.



ALEJANDRA VERGARA ZAPATA,  
TRADUCTORA.