

# **SOBRE LOS REQUISITOS DE ESTABILIDAD AL VIENTO PARA BALIZAS TRIANGULARES RETRORREFLECTORAS.**

**Ana Scarabino<sup>a,b</sup>, Juan Sebastián Delnero<sup>a,c</sup>, Mauricio Camocardi<sup>a,c</sup>, Gonzalo Alasia<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Universidad Nacional de La Plata,  
Calle 116 entre 47 y 48, La Plata, Argentina, laclyfa@ing.unlp.edu.ar,  
<http://www.laclyfa.ing.unlp.edu.ar>*

<sup>b</sup> *Grupo Fluidodinámica Computacional GFC, Universidad Nacional de La Plata,  
Calle 116 entre 47 y 48, La Plata, Argentina, gfc@ing.unlp.edu.ar*

<sup>c</sup> *CONICET, Avda. Rivadavia 1917, CP C1033AAJ, Cdad. de Buenos Aires, Argentina*

**Palabras claves:** balizas triangulares, coeficiente de arrastre, estabilidad al viento.

**Resumen.** En este trabajo se discuten los requisitos de estabilidad al viento para balizas triangulares de uso automotor establecidos en el Reglamento 27 de Naciones Unidas y adoptados por la norma IRAM 10031/84. Se realizaron experimentos en túnel de viento para determinar los coeficientes aerodinámicos de los triángulos y los coeficientes de fricción entre su base y el asfalto. Las especificaciones reglamentarias son revisadas, comparadas con datos de presión obtenidos en mediciones de campo, y discutidas.

## 1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo se origina a partir de numerosos ensayos de certificación de triángulos reflectantes (balizas) de uso automotor, y de discusiones mantenidas en la Asociación de Ingenieros y Técnicos del Automotor (AITA). Al día de hoy, los triángulos reflectantes (de uso obligatorio en el automotor), para obtener el N° C.H.A.S. (Certificado de Homologación de Autopieza de Seguridad), deben cumplir la norma “*IRAM 10031/84- Balizas Triangulares Retrorreflectoras*” [1], la que adopta los requisitos del Addendum 26 al Reglamento Nro. 27 de Naciones Unidas, “**Uniform Provisions for the Approval of Advance-Warning Triangles**” [2]. Esta norma establece la forma y dimensiones de las balizas triangulares y su base y especifica, entre otros ítems, un ensayo de estabilidad al viento que las balizas deben superar para cumplir con los requerimientos del Reglamento.

La geometría básica del triángulo reflector es muy simple: armado para su uso, su forma es la de un triángulo equilátero, con un triángulo central hueco, sobre una base que consiste normalmente en cuatro patas que limitan como vértices una superficie de apoyo cuadrada, rectangular o romboidal. La base del triángulo debe despejar una altura mínima de 0.05 m. para un cuadrado de 0.3 m x 0.3 m. Los requisitos para la baliza son: un triángulo reflectante de material rígido y un área interior fluorescente, que no necesariamente debe ser rígida. De hecho, existen balizas en el mercado con ambos tipos de superficies interiores. El Reglamento 27 de Naciones Unidas establece literalmente “*The advance-warning triangle shall be open at the centre and shall comprise a red border composed of an outer retro-reflecting strip and an inner fluorescent strip, the whole supported at a certain height above the surface of the carriageway. The open centre and the fluorescent and retro-reflecting strips shall be bounded by concentric equilateral triangular contours*”. La Figura 1 muestra dos balizas distintas que cumplen estos requisitos geométricos.



**Fig. 1.** Distintos tipos de balizas triangulares. El triángulo exterior tiene 0.45 m de lado.

Se han llevado a cabo numerosos trabajos de investigación para determinar las fuerzas aerodinámicas sobre placas de distintas formas. Entre los análisis de cargas de viento sobre

placas utilizadas para señalización vial, se destacan los de Hoerner 1965 [3] y Quinn *et al* [4], cuyos resultados se comparan con los Requisitos del reglamento 27. En ambos trabajos se midieron en campo las fuerzas y presiones ejercidas por el viento sobre carteles de señalización vial, que representarían condiciones similares a las que sufren las balizas en uso. Estos y otros estudios muestran que la forma de las placas en el caso de discos, rectángulos y triángulos, no aparenta tener gran influencia en los coeficientes de resistencia de las mismas. Por otra parte, la altura sobre el suelo sí puede influir, como demuestran las mediciones de Letchford, 2001 [5].

Los estudios de fuerzas sobre superficies flexibles son fundamentales, por ejemplo, en aerodinámica de velas náuticas o techos de tela, toldos, tiendas, etc. Viola y Fossatti, 2008 [6], han hecho una buena recopilación de casos estudiados. Sin embargo, la geometría particular de las balizas triangulares retrorreflectoras combina superficies rígidas y flexibles y es difícil encontrar referencias sobre estudios en casos similares. El hueco triangular interior es otra característica que afecta las fuerzas aerodinámicas, modificando completamente el flujo en la región aguas abajo. Entre los estudios sobre placas perforadas podemos citar el de Yaragal *et al*, 2002 [7].

La rugosidad superficial tiene una enorme influencia en la fricción y la mecánica de contacto, etc. [8] por lo que resulta fundamental cuantificarla de alguna forma estándar para la superficie de asfalto en la cual se apoyan las balizas en los ensayos de estabilidad al viento. El criterio establecido en la norma es el método de “patch test”, por el cual la superficie debe tener una rugosidad geométrica caracterizada por su altura en este test,  $HS = 0.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ . Debe considerarse como advertencia que la fricción es un tema complejo, que depende también de la microestructura del material [9,10], la que no es medible por este método.

Para cuantificar los efectos de la fricción entre la base asfáltica y los apoyos, se realizaron en este trabajo algunas cuentas simples, a partir de los coeficientes de resistencia aerodinámica determinados experimentalmente y la velocidad de viento que lograba hacer deslizar a las balizas, venciendo la fricción.

Para la determinación de coeficientes de resistencia aerodinámica, ensayamos dos triángulos típicos disponibles en el mercado: uno de superficie rígida y otro con la superficie interna hecha de un plástico flexible. Los triángulos se ensayaron a distintos ángulos de incidencia del viento, para obtener coeficientes de fuerza normal y tangencial a los mismos. Con estos resultados y los pesos y dimensiones de nueve triángulos de señalización distintos, se obtuvo un valor promedio de coeficiente de fricción entre el asfalto y las bases de las balizas.

Entre este y otros requisitos establecidos en el Reglamento 27, los triángulos deben pasar un ensayo de resistencia mecánica, en el que una fuerza perpendicular a la superficie es aplicada en el vértice superior, y se requiere que el desplazamiento por deformación elástica de la punta no supere un valor especificado. Sin embargo, se demuestra que el momento flector en la base del triángulo experimentado en este ensayo es menor que el requerido para superar el test de estabilidad al viento, por lo que este último es más conservativo en términos de resistencia mecánica.

Este trabajo no pretende ser un estudio exhaustivo de la aerodinámica de las balizas triangulares, sino más bien, pretende presentar algunos argumentos y consideraciones que deberían tenerse en cuenta en futuras revisiones de la norma *IRAM 10031/84* y, eventualmente, del Reglamento 27 de Naciones Unidas. También se constituye en un ejemplo de las posibilidades de las Universidades, al contar con los recursos físicos y profesionales, para contribuir de forma significativa al análisis y discusión de esta y otras normas, que involucran productos de uso masivo, con el consecuente impacto económico que esto implica.

## 2 DIMENSIONES Y ENSAYOS REQUERIDOS PARA LAS BALIZAS TRIANGULARES

La forma y dimensiones requeridas para los triángulos reflectantes de emergencia son las mostradas en la Figura 2. Entre otras pruebas, los triángulos deben cumplir:

- “Ensayo de estabilidad al viento” (*Wind stability test*): El triángulo de emergencia debe ser colocado en un túnel de viento, sobre una base de aproximadamente 1.50 m por 1.20 m, colocado sobre una superficie de pavimento de uso común por las autoridades competentes. Esta superficie será caracterizada por su “altura de rugosidad”  $HS = 0.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ , la que será definida y determinada por el método “*sandy beach*” (parche de arena). Montado de esta forma, el triángulo será sometido durante 3 minutos a una corriente de aire que ejerza una presión dinámica de 180 Pa (aproximadamente 60 km/h en condiciones normales), en la dirección más desfavorable para su estabilidad. La baliza no debe volcar ni desplazarse por acción del viento. Se permiten, sin embargo, pequeños deslizamientos de los puntos de apoyo, de no más de 5 cm. La componente triangular no debe rotar más de  $10^\circ$  sobre un eje horizontal o vertical, desde su posición inicial.

En este punto se impone una consideración a tener en cuenta. El criterio para determinar la velocidad de 60 Km/h parecería basado en los efectos del movimiento de aire inducido por el pasaje de grandes vehículos, posiblemente sumando efectos del viento. Sin embargo, mediciones de campo de presiones, velocidad de viento y cargas aerodinámicas sobre señales de tráfico en una autopista resultaron mucho menores, abarcando, por ejemplo, las fluctuaciones de presión medidas, un rango entre -40 Pa y 20 Pa [4]. Estos valores son considerablemente menores que los 180 Pa requeridos por la reglamentación.

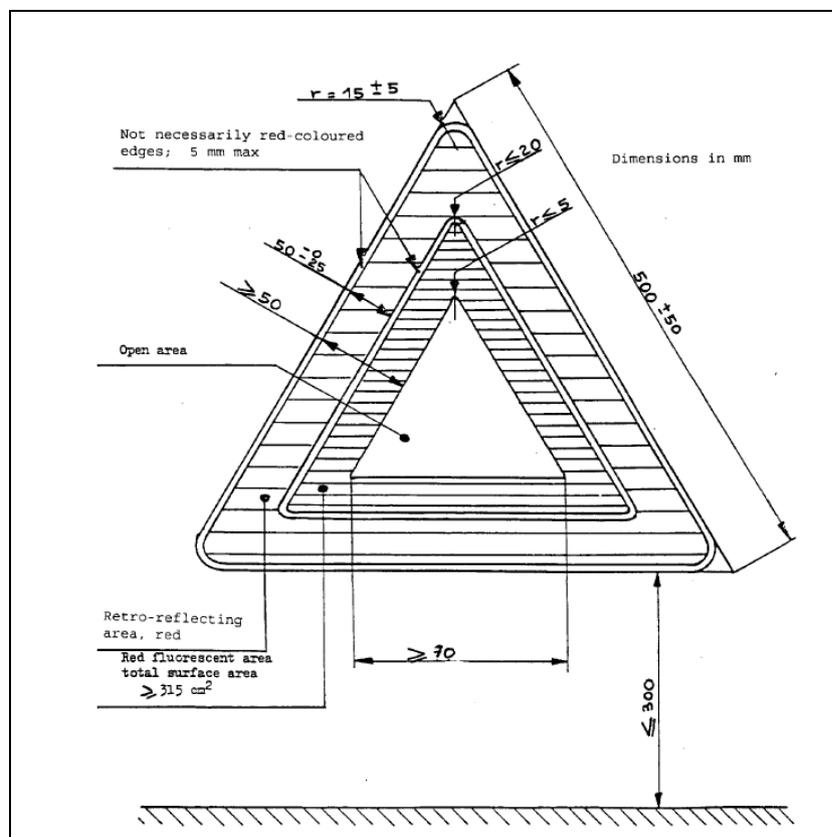


Fig. 2. (De Reg. 27 de Naciones Unidas) Forma y dimensiones de un triángulo retroreflector.

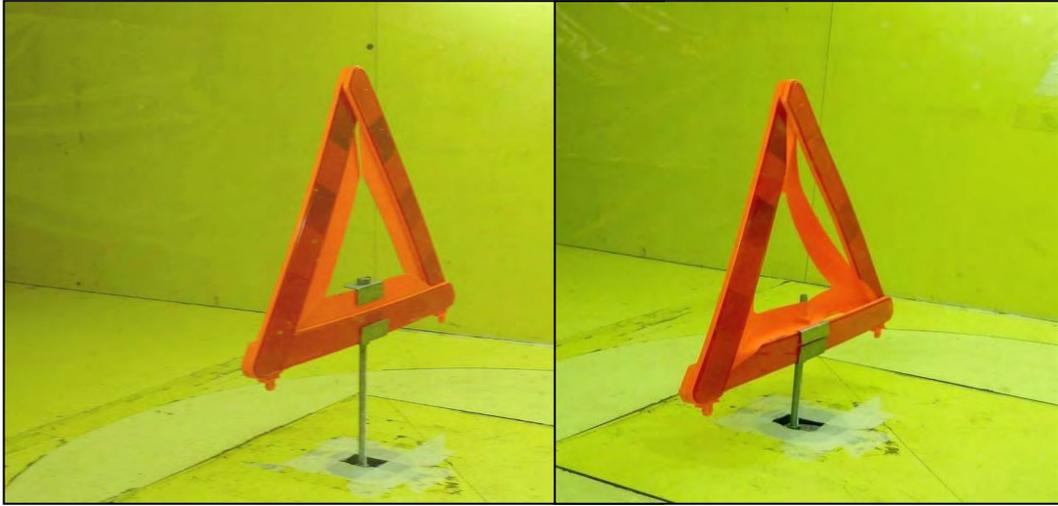
- “Ensayo de solidez mecánica” (*Mechanical solidity test*): Con el triángulo de emergencia montado según las instrucciones del fabricante y su base sujeta firmemente, una fuerza de 2 N será aplicada sobre el vértice superior, paralela a la superficie de soporte y perpendicular al lado inferior del triángulo. El vértice superior no debe desplazarse más de 5 cm en la dirección de la fuerza ejercida. Después de la prueba, la posición del triángulo no debe diferir en forma significativa de su posición original.

### 3 METODOLOGÍA

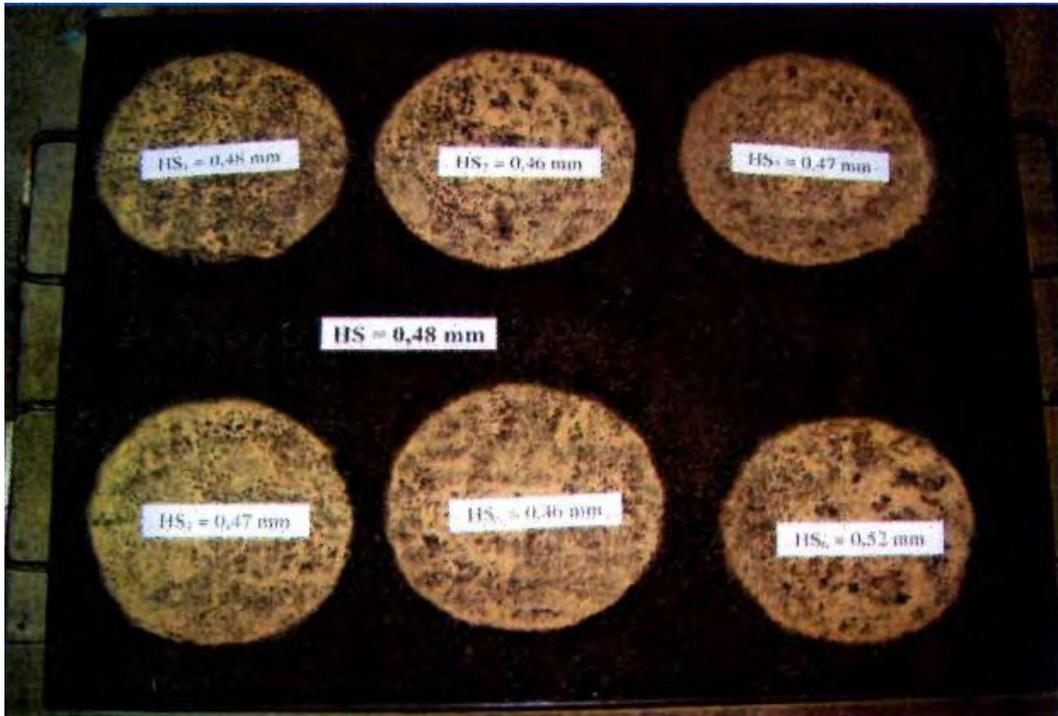
Los experimentos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental (LaCLyFA) de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, con el fin de determinar los coeficientes de resistencia y fuerza lateral de dos tipos de balizas triangulares estandarizadas, y obtener de ellos los coeficientes de fuerza normal y tangencial.

El túnel de viento del Departamento de Aeronáutica está equipado con un control electrónico de velocidad el cual permite velocidades de hasta 20 m/s. Es un túnel de sección cerrada, con una sección de prueba de 1.40 m de ancho, 1 m de alto y 7.2 m de longitud, activado por un motor eléctrico de corriente continua con flujo axial de 50 HP, con hélice de paso variable. La intensidad de turbulencia del túnel de viento en el rango de velocidades para este experimento estuvo por debajo del 2%. El número de Reynolds basado en la cara del triángulo y con la velocidad del viento entre 5.72 m/s y 17.3 m/s fue entre 171000 y 519000. La relación de bloqueo fue del 6.3% basado en el área que envuelve el triángulo exterior. No se aplicó ninguna corrección por bloqueo. Las balizas triangulares fueron montadas verticalmente en la sección de prueba con una balanza aerodinámica de dos canales (celdas de cargas y un amplificador/acondicionador de señal V-Shay 2310), ubicada debajo del piso del túnel.

Los ensayos para determinar los coeficientes aerodinámicos se llevaron a cabo sólo en los triángulos, con la configuración mostrada en la Figura 3. Las pruebas para determinar la estabilidad de los triángulos y la velocidad del viento en la que estos dejaban de ser estables, se realizaron con los triángulos montados en sus bases comerciales (dos ejemplos se muestran en la Figura 1) apoyados sobre una superficie de asfalto con rugosidad predeterminada. Dos tipos diferentes de triángulos fueron ensayados para determinar los coeficientes aerodinámicos, con diferentes áreas fluorescentes: un triángulo con una superficie rígida de plástico en su interior y el otro con una superficie flexible, también en su interior (Figura 3). Su longitud lateral de 0.45 m es el límite inferior permitido por la Reg. 27 (Figura 2). Los dos triángulos tienen las mismas dimensiones exteriores y la misma relación área abierta/área total.



**Fig. 3.** Triángulo rígido (izquierda) y rígido-flexible (derecha), montados en el túnel de viento.



**Fig. 4.** Base de asfalto para los ensayos, con “parches de arena” para caracterizar su rugosidad.

La base de asfalto para la certificación del ensayo y la determinación de los coeficientes de fricción fue provista por el Laboratorio de Pavimentos de la Universidad Nacional de La Plata.

La rugosidad promedio de la misma fue de 0.48 mm. El método de “parche de arena” aplicado en seis puntos diferentes de la base dio valores de HS entre 0.46 mm y 0.52 mm, todas ellas dentro del rango requerido de  $0.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ . (Figura 4).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Coeficientes aerodinámicos

Se calcularon los coeficientes de fuerza normal y tangencial a los triángulos, a partir de las fuerzas de arrastre y lateral medidas a diferentes alturas sobre el suelo y a diferentes ángulos de incidencia del viento, al rotar los triángulos sobre su eje vertical. Los resultados se muestran en la Tabla 1. H es la altura de la base del triángulo.

Para cada condición se realizaron tres mediciones, y los desvíos del valor promedio no superaron el 7 % en ningún caso. No se detectó ninguna variación con el número de Reynolds en el rango de velocidades estudiado.

Rígido, Cn				
H(m) \ Ang(°)	90	60	45	30
0.05	1.281	1.200	1.123	0.911
0.1	1.392	1.328	1.289	1.021
0.15	1.390	1.293	1.268	1.085

Rig-Flex. Cn				
H(m) \ Ang(°)	90	60	45	30
0.05	1.713	1.509	1.418	1.066
0.1	1.701	1.537	1.401	1.028
0.15	1.513	1.372	1.277	0.973

**Tabla 1:** Coeficientes de fuerza normal par un triángulo rígido y uno rígido-flexible.

Es evidente a partir de los resultados, que la forma cóncava que adopta la región de tela flexible aumenta significativamente el arrastre aerodinámico. Sin embargo, esta es una configuración común en balizas comerciales, adoptada probablemente por razones económicas, ya que cumple con los requisitos ópticos y geométricos con materiales de menor costo.

La influencia de la distancia al suelo en estos ensayos no permite formular conclusiones definitivas.

Los coeficientes obtenidos son consistentes con otros reportados en la literatura. En el texto clásico de Hoerner [3], se reportan coeficientes de fuerza normal de 1.17 para discos y placas cuadradas, y para los primeros no aparecen reducciones apreciables en estos coeficientes, si tienen agujeros centrales de diámetros hasta el 25% del diámetro del disco. Más recientemente, Quinn *et al* [4] reportan coeficientes de arrastre para placas triangulares entre 0.98 y 1.40 para números de Reynolds comparables a los de los ensayos presentados en este trabajo.

### 4.2 Coeficiente de fricción y estabilidad de las balizas.

La Figura 5 muestra un esquema simple de las fuerzas que actúan sobre un triángulo de señalización colocado sobre el asfalto.

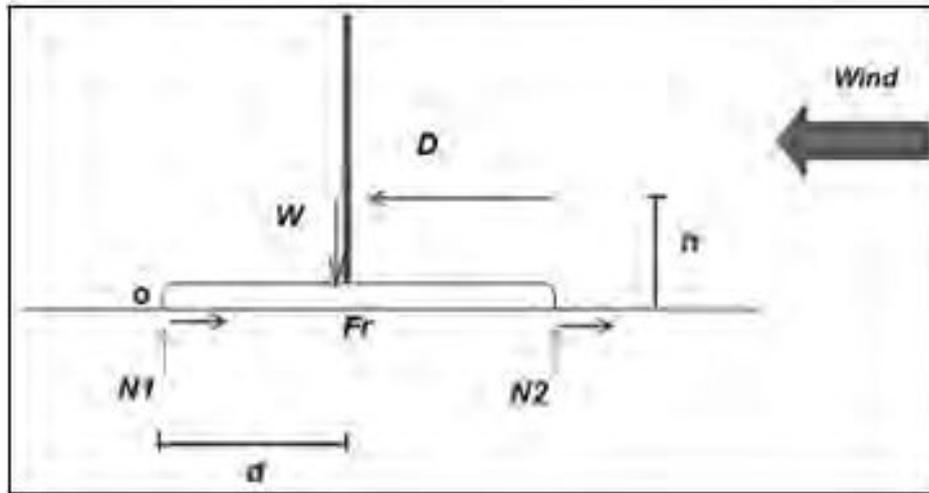


Fig. 5: Esquema de las fuerzas que actúan sobre el triángulo retroreflector.

$W$  es el peso total del triángulo y su base,  $D$  es la fuerza de resistencia o arrastre aerodinámico,  $Fr$  la fuerza de fricción entre la base de asfalto y los apoyos de la baliza,  $N1$  y  $N2$  las fuerzas normales ejercidas por la superficie sobre los apoyos traseros y delanteros de la base de la baliza;  $h$  es la altura del centro de presión aerodinámico y  $d$  la distancia entre el centro de gravedad de la baliza y el/los apoyos posteriores.

El equilibrio de fuerzas requiere que hasta el momento en que la baliza está a punto de deslizarse por acción del viento, la fricción estática sea igual al arrastre aerodinámico, de manera que, llamando  $Pd$  a la presión dinámica y  $CD$  al coeficiente de arrastre o resistencia:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow Fr = \mu.W = D = C_D.Pd.A \quad (1)$$

Aquí  $\mu$  es el coeficiente de fricción estático entre el asfalto y los apoyos de la base de la baliza.

También debe ser cero la suma de momentos sobre el punto de apoyo posterior, hasta el instante en que las fuerzas aerodinámicas hacen que el triángulo vuelque, instante en el que la fuerza normal  $N2$  en los apoyos anteriores se hace igual a cero.

$$\sum M_o = 0 \Rightarrow W.d = D.h = C_D.Pd.A.h \quad (2)$$

La ecuación (2) da una orientación sobre el peso y dimensiones de la base de apoyo de una baliza que permita cumplir con los requerimientos de estabilidad al viento en lo que respecta al vuelco.

Por otra parte, se calculó el factor de fricción estático entre apoyos y asfalto para nueve distintos modelos de balizas triangulares disponibles en el mercado, a partir de la ecuación (1) y la máxima velocidad de viento que fueron capaces de resistir sin deslizarse. El factor de fricción promedio obtenido fue  $\mu = 0.891$ , con un desvío standard  $\sigma\mu = 0.15$ .

Las bases plásticas y las metálicas dieron resultados comparables en los coeficientes de fricción calculados. Sin embargo, en el caso de balizas con patas con puntas metálicas agudas, estas tendían a “clavarse” en la superficie asfáltica, y en estos casos la falla en pasar el ensayo se debía al vuelco del triángulo sobre sus apoyos traseros, en vez de al deslizamiento.

Considerando un coeficiente de arrastre promedio de 1.35 para los triángulos y una

presión dinámica de 180 Pa, como es requerida por el Reglamento 27, la fuerza de fricción debe ser de 21.3 N para prevenir el deslizamiento. Un coeficiente de fricción de 0.891 hace que un triángulo de 0.45 m de lado necesite tener un peso de 23.9 N o 2.44 kgf para pasar el ensayo. Una pequeña inclinación de no más de  $10^\circ$  está permitida; esta inclinación aumenta hasta un 17.3% la fuerza normal sobre los apoyos posteriores, aumentando la fricción el mismo factor, y reduciendo el momento de vuelco multiplicándolo por un factor 0.985. En este caso, el peso necesario para evitar el deslizamiento es 20.4 N o 2.08 kgf. Esto claramente no es económico para un fabricante.

Debido a la simetría del triángulo equilátero y la uniformidad del flujo, es esperable que el centro de presiones coincida con el baricentro de la superficie triangular. Aunque esta suposición incluya cierta incertidumbre cuando el triángulo está cerca del suelo, medidas del peso y dimensiones de la base, para siete triángulos que no pasaron el ensayo por volcar, confirman esta hipótesis, al menos para la peor condición aerodinámica, con el triángulo enfrentado  $90^\circ$  al viento.

La distancia entre el triángulo y los apoyos traseros que impide que el triángulo vuelque depende del peso total y la altura del centro de presiones. Este último está a una altura igual a  $1/3$  de la del triángulo, más la altura de la base del mismo. Para la mínima altura de base establecida por la norma, igual a 0.05 m, y la menor longitud de lado permitida, 0.45 m, la altura sobre el suelo del centro de presión es de 0.18 m y el producto del peso por la distancia a los apoyos traseros debe ser al menos de 3.8 Nm, para balancear el momento de las cargas aerodinámicas, aumentando este producto si aumenta la altura de la base. En el caso de un triángulo rígido-flexible, con un coeficiente de fuerza normal igual a 1.7, el producto del peso por la distancia de los apoyos traseros es 4.78 Nm. Con patas de 0.5 m de longitud y una inclinación de  $10^\circ$  el peso necesario es 9.41 N o 0.96 kgf.

Estos valores son confirmados por nuestra experiencia en el Laboratorio, con 17 modelos de balizas triangulares ensayadas, donde se comprobó que las balizas más livianas tienden a fallar en el ensayo, ya sea por deslizamiento, vuelco o inclinaciones mayores que los  $10^\circ$  permitidos por la norma. Una excepción exitosa, sin embargo, la constituyó un triángulo que rompe la simetría aerodinámica en su diseño, pegando el borde la cinta de tela inferior al plástico rígido, con lo que cambia la flexibilidad de la misma y logra una configuración que desplaza hacia abajo el centro de presión e inclina hacia abajo la resultante aerodinámica, con lo que aumenta la fricción y reduce el momento de vuelco, permitiendo que balizas tan livianas como 0.5 kgf puedan pasar la prueba.

## 5 DISCUSIÓN

El criterio para los requisitos de velocidad de viento de aproximadamente 60 km/h (16.7 m/s) o 180 Pa de presión dinámica, especificados en el Reglamento 27, están aparentemente definidos basados en estimaciones de velocidad inducida por el paso de grandes vehículos. Sin embargo, mediciones de campo de presiones, velocidad de viento y cargas aerodinámicas sobre señales de tránsito inducidas por el pasaje de vehículos en autopistas europeas son mucho menores, causando fluctuaciones de presión de  $\pm 40$  Pa. A la luz de estos resultados, el requerimiento de la norma parece excesivamente conservativo y conlleva la necesidad de uso de bases más pesadas (y en consecuencia más caras). La intensidad y escala de la turbulencia, factores que pueden afectar la resistencia aerodinámica [11-13], y presentan diferencias importantes entre experimentos de campo y en el túnel de viento, no son tenidas en

cuenta en los ensayos de certificación. Además, observamos que el momento flector en la base del triángulo en el ensayo obligatorio de deflexión estática para una carga de 2 N en el vértice superior es, para un triángulo de 0.5 m de lado, de 0.866 Nm, con un desplazamiento máximo permitido de 0.05 m, en régimen elástico. Por otra parte, considerando un coeficiente aerodinámico de fuerza normal  $C_n = 1.35$  y el centro de presión a 1/3 de altura, el momento resultante en la base debido a las cargas de viento es 3.8 Nm, más de cuatro veces el valor experimentado en los ensayos de carga estática. Los requerimientos para estabilidad al viento prueban ser más conservativos en términos de resistencia mecánica que aquellos del ensayo, justamente, de solidez mecánica.

## 6 CONCLUSIONES

Se obtuvieron experimentalmente y se reportan los coeficientes aerodinámicos para dos tipos de triángulos reflectores. De ellos, y de las velocidades de viento de deslizamiento de distintos modelos, se obtuvieron también coeficientes de fricción entre las bases y el asfalto, y algunas consideraciones sobre el peso necesario de una baliza para satisfacer los requerimientos del Reglamento 27 de NU. Para prevenir el deslizamiento sobre el asfalto es necesario un peso mínimo elevado, o bien un coeficiente de fricción importante entre los puntos de apoyo de la base y el asfalto. Otra solución posible es prevenir el deslizamiento con patas afiladas que se “clavan” en el asfalto, conjugando la longitud de las mismas con un peso adecuado para que las balizas no “vuelquen” hacia atrás por acción del viento. En general, desde un punto de vista económico, esta última solución es preferible.

De los resultados de este trabajo se desprende la posibilidad de una revisión del Reglamento 27 de Naciones Unidas y la Norma *IRAM*, que contemple los conocimientos actuales, ya que se ha establecido que es poco probable que las cargas aerodinámicas sobre las balizas alcancen los valores exigidos, excepto quizás en días de mucho viento, cuando, en todo caso, la prudencia indica colocar algún peso adicional sobre la base de las balizas, si se necesita usarlas para una emergencia.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen a Mariano García Sainz, Federico Muñoz y Julián Iriondo por su valiosa ayuda en las pruebas en túnel de viento, y a AITA por la invitación a desarrollar este trabajo y por las interesantes discusiones generadas en sus reuniones de trabajo.

## REFERENCIAS.

1. IRAM 10.031/84 - Balizas Triangulares Retrorreflectoras. Available through [www.iram.org.ar](http://www.iram.org.ar) (webpage of the Instituto Argentino de Certificación y Normalización).
2. UN Regulation No. 27 (1998): UNIFORM PROVISIONS FOR THE APPROVAL OF ADVANCE-WARNING TRIANGLES. Disponible en <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs/r027r1e.pdf>
3. Hoerner, S. F.(1965) “Fluid-dynamic drag”. Hoerner Fluid Dynamics.
4. Quinn A., Baker C., Right N. (2001a): “Wind and vehicle induced forces on flat plates. Part 1: wind induced force. J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics 89 817–829.
5. Letchford C. W. (2001), Wind loads on rectangular signboards and hoardings, J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, 89 135-151
6. Viola I. and Fossatti F. (2008), Downwind sails aerodynamic analysis, BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, Milano, Italy, July, 20-24 2008
7. Yaragal S. C., Ram H.S.G., Murthy K.K. (2002), Two-dimensional flow field behind perforated plates on a flat surface .J. Wind Eng. Ind. Aerodyn 90 75–90
8. Persson B. N. J., Albohr O., Tartaglino U., Volokitin A. I. and Tosatti E. (2005): “On the nature of surface roughness with application to contact mechanics, sealing, rubber friction and adhesion”. J. Phys.: Condens. Matter 17 R1–R62 doi:10.1088/0953-8984/17/1/R01
9. Fenech R. (2000): “The Influence of Mixture Composition on the Skidding Resistance of Asphalt Wearing Courses”. Faculty of Architecture and Civil Engineering, University of Malta. June 2000.
10. Asi I.M. (2007): “Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes”. Building and Environment, Vol. 42, Issue 1, January 2007, Pages 325-329
11. Lee B. (1990): Some observations of the effect of aspect ratio on the influence of turbulence on the drag of rectangular cylinders. J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics 33, 1-2, 107-111
12. Tieleman H., Ge Z., Hajj M., Reinhold T. (1997): Importance of turbulence for the prediction of surface pressures on low-rise structures. J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, 69-71, pp. 519-528
13. Tieleman H., Ge Z., Hajj M., Reinhold T. (2003), Pressures on a surface-mounted rectangular prism under varying incident turbulence, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 91 1095–1115.