Facultad 7 Ingeniería Mecánica
Facultad 5 Técnica de Fabricación
Prof. Dr.-Ing. Dietrich Elbracht
Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt

Gerhard Mercator Universität Duisburg

Dictamen

Sistema de retención de conductores para los conductores de carretillas de horquillas elevadoras - estribo de puerta del tipo "PilotProtector" de la empresa IWS (Ingenieurgesellschaft Weiner & Schröter mbH)

1. Tarea

La empresa IWS nos entregó el estribo de puerta del tipo "PilotProtector", fabricado por ésta, rogando comprobar en un dictamen si dicho estribo de puerta reduce el riesgo para el conductor de una carretilla de horquillas elevadoras conforme a la exigencia de la cifra 3.1.5 de la directiva 95/63/CEE, de ser protegido por el techo protector del conductor en caso de volcarse lateralmente el vehículo industrial. IWS es una empresa del sector privado, cofundada por el ingeniero Weiner, antiguo empleado de la Facultad de Técnica de Fabricación de la Universidad Gerhard Mercator de Duisburg. El Sr. Weiner se dedicó dentro del marco de su actividad durante varios años a los problemas de accidentes en el entorno laboral de carretillas de horquillas elevadoras, contribuyendo en gran parte al éxito del proyecto de investigación mencionado en el apartado 2. El desarrollo del sistema de estribos de puerta aquí valorado no tuvo lugar dentro del marco de su relación de empleo en esta Facultad.

2. Fundamentos de la valoración

El siguiente dictamen se basa en sus conocimientos fundamentales en el informe final del proyecto de investigación "Sistemas de retención para conductores de carretillas de horquillas elevadoras" del 30/09/1998, elaborado por el Laboratorio de Técnica de Fabricación (FTL) de la Universidad Gerhard Mercator de Duisburg bajo dirección del infrascrito y por encargo de la asociación cúpula de las mutualidades de accidentes profesionales con intervención de varios fabricantes de carretillas de horquillas elevadoras y asientos de tales vehículos. El informe final concluye que cinturones abdominales rígidos, sistemas de cinturón con sensores mecánicos de vuelco, soportes de cadera, estribos laterales integrados en el asiento así como estribos de puerta integrados en el vehículo cumplen en forma diferente las exigencias formuladas para un sistema de retención protector de los conductores de carretillas de horquillas elevadoras.

Dentro del marco de este proyecto de investigación se llevaron a cabo pruebas experimentales integradas por ensayos de conducción con una carretilla de horquillas elevadoras de asiento frontal (marca Linde, tipo H30 D) hasta un ángulo de vuelco de 15° así como estudios en el banco de pruebas desarrollado especialmente para ello en el FTL Duisburg. Se registraron los siguientes resultados:

2.1 Ensayos de conducción hasta un ángulo de vuelco de 15°

En el ensayo de conducción "Entrada en la curva", la carretilla de horquillas elevadoras fue acelerada desde la parada en marcha recta hasta un máximo de 24 km/h. El conductor la conduce con la mano izquierda que encierra la empuñadura del volante, mientras que el brazo derecho reposa sobre su muslo derecho. El conductor conduce la carretilla de horquillas elevadoras en una curva a la derecha con un radio de 5 m. El mismo experimento de conducción fue efectuado con marcha hacia atrás, si bien en este caso con una curva a la izquierda. Esta diferencia resulta de la disposición del brazo de soporte (dispuesto en el lado izquierdo de la carretilla para evitar el vuelco del aparato) así como de la construcción del vehículo del experimento. Todos los sistemas de retención ensayados y arriba indicados sujetaron en estos experimentos de conducción al conductor hasta un ángulo de vuelco de 15° en su cabina, si bien en forma diferente.

2.2 Ensayos en el banco de pruebas del FTL Duisburg

En el banco de pruebas desarrollado y construido por el FTL Duisburg pudieron realizarse experimentos de vuelco dinámicos y estáticos hasta un ángulo de vuelco de 90°.

La plataforma experimental (foto 1) es capaz de acelerar la cabina de conductor a investigar en radios ajustables así como a velocidades cada vez mayores hasta el momento del vuelco. En el momento del vuelco se produce una aceleración transversal de 0,6 g aproximadamente. El movimiento del conductor durante el vuelco puede analizarse mediante las imágenes de vídeo grabadas por una cámara montada en el soporte experimental. El impacto de la cabina del conductor es amortiguado por cilindros hidráulicos de frenado. Por ello no pueden formularse pronósticos acerca de los riesgos de herida para el conductor en el impacto: Además y por motivos de seguridad, los sujetos de prueba sólo pudieron emplearse en el banco de pruebas hasta un ángulo de vuelco de 60°.

Figura 1: Banco de pruebas para ensayos estáticos y dinámicos de vuelco

Los sistemas de retención comprobados dentro del marco del proyecto de investigación mantuvieron a los sujetos de prueba dentro del habitáculo del conductor conformado por los soportes de techo y el techo protector.
Luego, se efectuaron ensayos de vuelco con un maniquí hasta un ángulo de vuelco de 90° (véase la foto 2).

Figura 2: Ensayo de vuelco con un maniquí

3. Descripción del estribo de puerta del tipo "PilotProtector" de IWS

El estribo de puerta a dictaminar (foto 3) es montado en el larguero de techo trasero con placas de bisagra así como en el larguero de techo delantero con una cerradura de resorte, conformando con ello una zona de protección entre los largueros trasero y delantero protectores del techo, con delimitación a la izquierda del conductor. Además y con el estribo de puerta cerrado, el conductor no puede abandonar el vehículo saltando. La libertad de movimiento del conductor, especialmente al conducir hacia atrás, no resulta perjudicada. El estribo de puerta puesto a nuestra disposición fue fácil de abrir y cerrar. Además, el estribo de puerta ofrece al conductor en la zona de la pelvis, la cadera y la espalda así como del brazo una protección adicional en forma de un acolchado montado en el interior contra heridas y su salida indeseable de la zona protectora mediante deslizamiento por debajo del estribo de puerta.

Figura 3: El estribo de puerta ensayado

La altura de montaje del estribo de puerta fue elegida conforme a la directiva VDI 2198 según la altura del asiento h7. Conforme a la norma DIN 33402 Parte II partimos de una altura del muslo de 165 mm (95. percentila, masculino, edad entre 26 y 40 años). Conforme a ello, la línea céntrica del soporte inferior del estribo de puerta debe transcurrir a una altura de 80 a 90 mm aproximadamente por encima de la altura del asiento de la cabina del conductor experimental (cabina de conductor original de la carretilla de horquillas elevadoras de asiento frontal de Linde AG, tipo E16).

Las dimensiones indicadas deben corregirse en función del tipo de carretilla de horquillas elevadoras y del fabricante. Debe tenerse en cuenta especialmente el recorrido de resorte del asiento del conductor. Sólo entonces podrá alcanzarse el efecto de retención del estribo de puerta condicionado en forma ergonómica.

4. Descripción de los experimentos efectuados

Hemos comprobado el sistema de estribo puesto a nuestra disposición en varias series experimentales dinámicas con un maniquí hasta un ángulo de vuelco de 90°. La cabina del conductor da en un ángulo máximo de 90° contra cilindros hidráulicos de frenado, siendo frenada con retardo uniforme durante los próximos 10°.

Figura 4: El maniquí empleado

La velocidad de la plataforma experimental que recorre en trayectoria circular, controlada exteriormente, fue incrementada hasta alcanzar el punto de vuelco. Esto corresponde

en principio al viaje de una carretilla de horquillas elevadoras que aumenta en una curva de radio constante su velocidad hasta alcanzar la velocidad del límite de vuelco.

Durante cada recorrido experimental se midió la velocidad, el ángulo de vuelco así como las aceleraciones que actúan en los tres ejes. Estas mediciones sirven en primer lugar para controlar los parámetros de ensayo especificados y a respetar. Del radio de trayectoria de la cabina de 2,57 m (rueda exterior de curva) y la altura del punto de gravedad total de cabina, dispositivo de vuelco y maniquí resulta una velocidad límite de vuelco de 3,9 $^{m}/_{s}$ aproximadamente. Este valor corresponde a una aceleración transversal (asimismo en la rueda exterior de la curva) de 0,6 g aproximadamente. En un ángulo de vuelco de 7,5° , se inicia el proceso de frenado a fin de acercar la curva de velocidad de la plataforma a la curva de velocidad de una carretilla de horquillas elevadoras en un caso real de vuelco (estas curvas de velocidad fueron determinadas mediante cálculo y simulaciones en el curso del proyecto de investigación). En la figura 5 se muestran la curva del ángulo de vuelco así como de las aceleraciones transversalmente al asiento o bien verticalmente al mismo. El sensor de aceleración se halla a la derecha del asiento del conductor cerca de las palancas de mando para el dispositivo de elevación (a unos 0,9 m del borde de vuelco exterior).

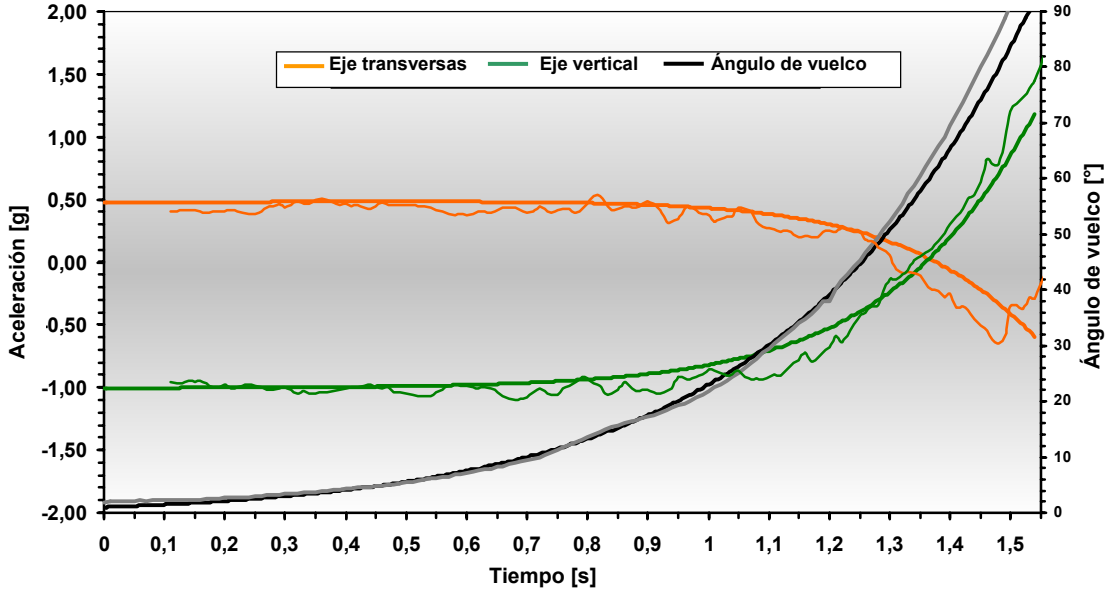


Figura 5: Curva de valores de medición en el proceso dinámico de vuelco

Para cada valor de aceleración se aprecian dos líneas. Las curvas algo "irregulares" representan los valores medidos, mientras que las líneas "alisadas" corresponden a las curvas calculadas. Para la curva del ángulo de vuelco, la línea gris señala el valor de medición y la línea negra el valor calculado. El dispositivo de vuelco con cabina y maniquí tiene su punto de equilibrio a 27° aproximadamente. Hasta alcanzar este valor, transcurre desde el vuelco inicial (1°) 1 segundo aproximadamente. Hasta este momento apenas si cambian los valores de aceleración. En el eje vertical se registra la aceleración negativa de la tierra (-1g), en el eje transversal la aceleración transversal eficaz de 0,6 g. Mientras va aumentando el ángulo de vuelco puede apreciarse más claramente la dinámica de vuelco. El tiempo de vuelco residual desde el punto de equilibrio (27°) hasta el impacto a 90° ($^{2}/_{3}$ del recorrido total) sólo es de 0,5 s. Entre un ángulo de vuelco de 50°

y 55°, la influencia de la aceleración vertical terrestre será cero (referido a la posición del sensor). Éste es el momento en el que el maniquí pierde el contacto con el asiento, moviéndose en dirección al techo protector del conductor.

5. Resultados de los ensayos dinámicos de vuelco

Nota: Los experimentos aquí descritos representan los ensayos finales en los que se simuló la velocidad de recorrido máxima y con ello también la carga máxima para el maniquí y el sistema de retención.

Ya antes del comienzo del vuelco, el maniquí es desplazado ligeramente hacia el estribo de la puerta. Ya a un ángulo de vuelco entre 45° y 50° (figura 6), el maniquí pierde la estabilidad en el asiento, si bien ya no es apretado en forma más fuerte contra el estribo de la puerta.

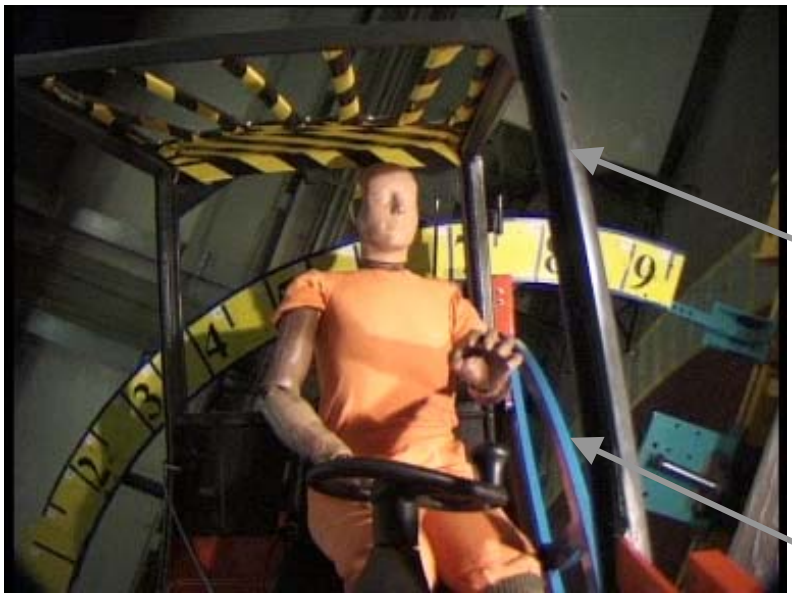
Figura 6: Ensayo dinámico de vuelco a un ángulo de 45° aprox.

Hemos repetido varias veces este ensayo siempre bajo las mismas condiciones experimentales. En ninguno de las pruebas, el cuerpo de ensayo tocó apreciablemente al estribo de puerta durante la fase del vuelco. Esto puede reconocerse claramente en la figura 7 que señala la posición del maniquí a título de ejemplo para todos los experimentos durante la segunda fase del proceso de vuelco. El maniquí se encuentra a un ángulo de vuelco de 75° aproximadamente aún en forma completa dentro del espacio protector delimitado por el estribo de la puerta, sin tocar éste en forma apreciable. Incluso inmediatamente antes del impacto (figura 9), el maniquí no toca el estribo de puerta.

Sólo en el impacto de la cabina del conductor el maniquí es arrojado contra el estribo de la puerta. Sin embargo, no fue posible llegar a resultados válidos para la práctica, puesto que en nuestros experimentos debemos emplear cilindros hidráulicos amortiguadores de choques.

6. Ensayo estático de vuelco

En el ensayo estático de vuelco, la cabina del conductor es levantada en la plataforma de ensayo fijada in situ hasta alcanzar el punto de vuelco. Aquí, el sujeto de prueba se desliza primero contra el estribo de puerta. En el vuelco subsiguiente, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo de prueba son numéricamente mucho más bajas que en el experimento dinámico de vuelco. Aquí, el estribo de puerta cumple una función provechosa para recibir el conductor de la carretilla, el cual en el vuelco estático no puede salir de la zona protectora formada por los largueros del techo protector y el estribo de la puerta.



Techo protector del conductor

Esribo de retención

Figura 7: Ensayo dinámico de vuelco con cámara que sigue el vuelco

Volante

Figura 8: Ensayo dinámico de vuelco a 76° aproximadamente

Figura 9: Ensayo dinámico de vuelco - impacto

7. Prueba de resistencia del estribo de la puerta

Hemos sometido al estribo de puerta suministrado en otro ensayo a una fuerza estática horizontal de 200 dN. En este caso, el estribo de puerta no acusó ninguna deformación permanente.

8. Valoración final

El estribo de puerta a examinar del tipo "PilotProtector" permite conformar adecuadamente, al ser sujetado en ambos lados del vehículo en el larguero trasero y enclavamiento en el larguero delantero respectivo del techo protector del conductor, una zona protectora adicional. Es suficientemente estable como para absorber fuerzas laterales hasta 200 dN sin deformación permanente. Es capaz de evitar muy probablemente y gracias a su construcción ergonómica que el conductor de la carretilla de horquillas elevadoras sea expulsado del vehículo en caso de aceleraciones centrífugas inesperadas, tal como suelen presentarse en los recorridos por curvas. En el vuelco lateral (p. ej. a causa de errores de manejo con carga levantada), el conductor es retenido por la construcción ergonómica del estribo de puerta de la zona protectora formada.

Independientemente de ello, el sistema de estribo investigado impide, tal como ya habíamos comprobado en el proyecto de investigación arriba mencionado, que el conductor de la carretilla de horquillas elevadoras salte del vehículo en caso de un vuelco repentino e inesperado. El riesgo del conductor de ser alcanzado en caso de un vuelco lateral del vehículo industrial por los largueros del techo protector del conductor, es por lo tanto limitado adicionalmente por el estribo de puerta examinado.

Prof. Dr.-Ing. D. Elbracht Duisburg, 30/10/2000