

SISTEMA DE PROTECCION EFECTIVA EN CASO DE VUELCO EN PICK UP's

Ing. Anibal Suárez Schmitz, Ing. Jorge Zedan. Empresa AESA.
anibal.suarezschmitz@ypf.com, jorge.zedan@ypf.com

El Departamento de Ingeniería de Mantenimiento de AESA desarrolló un trabajo de análisis de falla vinculado a las roturas que ocurrían en las cajas de carga de la flota pick up de una empresa de Servicios Petroleros (SSPP) debido a las “barras antivuelco”.

Esta revisión determinó que los diferentes tipos de barras usadas actualmente en el mercado nacional, no garantizan una protección efectiva a las personas. Como consecuencia, se desprende que la flota de vehículos pick up se encuentra en estado de riesgo ante la ocurrencia de un vuelco, debido a que el diseño de la barra no cumple una función adecuada de protección del habitáculo en el caso de vuelco, y da una falsa sensación seguridad.

Se realizó una verificación del riesgo de vuelco presente en la flota, utilizando distintas aproximaciones, tales como datos estadísticos de accidentes de vuelco en la empresa de SSPP como en una operadora del Upstream, también se utilizaron algunos modelos matemáticos que relacionan el riesgo de vuelco con la geometría del vehículo, y por último, se verificó el performance de los vehículos de la flota en cuanto a maniobrabilidad. Esto permitió generar una matriz por marca y modelo de pick up respecto a su tendencia al vuelco.

Con el fin de aportar soluciones, AESA realizó una revisión de las protecciones en caso de vuelco disponibles en el mercado, tanto a nivel nacional como internacional. Actualmente, en el mercado nacional, no se detectó la existencia de una solución realmente efectiva y eficiente que cuente con diseños basados en ingeniería y respaldados mediante pruebas normalizadas. Junto a YPF, AESA avanza en el desarrollo de un modelo de protección en caso de vuelco de fabricación nacional que este diseñado y testeado con pruebas reales normalizadas para tal fin.

Conclusiones del trabajo:

Se debe avanzar en un desarrollo nacional de un sistema de protección en caso de vuelco, diseñado bajo estándares internacionales, y actualizar los elementos actuales de la flota pick up por los diseñados para tal fin.

- Utilizar como estándar de evaluación de la protección en caso de vuelco:
 - Pruebas dinámicas, pueden ser drop off test o JRS
 - Incluir en la prueba ATD (Anatomic Test Dummy)
 - No debe haber deformaciones superiores a las 5 pulgadas en el habitáculo.
 - No debe haber deformaciones residuales superiores a las 3 pulgadas en el habitáculo.

Contenido

1	Introducción	3
2	Falla: ruptura de la caja de carga	3
2.1	Descripción de la falla	3
2.2	Relevamiento de datos de ruptura de caja de carga.	3
2.3	Causas	5
2.4	Impacto económico de la falla sobre la operación	5
2.5	Barra petrolera como protección “antivuelco”	6
3	El vuelco como accidente.....	8
3.1	Iniciadores de vuelco [4][5].....	8
3.2	La mecánica del vuelco	8
3.3	Lesiones características	10
3.4	Estrategia de prevención de lesiones en caso de vuelco.....	10
4	Estudio estadístico de accidentes.....	11
4.1	Estadísticas de vuelco a nivel nacional e internacional.....	11
4.2	Estadísticas de vuelco disponibles de una empresa de SSPP y una operadora del Upstream.....	12
5	Estimación de riesgo de vuelco para vehículos pick up.....	14
5.1	Factor de estabilidad	14
5.2	Maniobrabilidad	17
6	Normativas	18
6.1	Organización Mundial de Productores de Gas y Petróleo (OGP).	18
6.2	Empresa operadora del Upstream	19
6.3	Empresa de Servicios Petroleros.....	19
7	Protecciones en caso de vuelco disponibles en el mercado nacional e internacional	20
7.1	Barra protectora actual (Diseño 1).....	20
7.2	Jaula Externa Británica (Diseño 2)	20
7.3	Estructura externa australiana (Diseño 3)	21
7.4	Estructura externa de atenuación de cargas, Diseño 4.....	22
8	Conclusiones y Recomendaciones	25
9	Referencias	25

1 Introducción

El presente trabajo es el resultado de un estudio realizado por los profesionales del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento (IDM) de AESA, con el fin de evaluar la incidencia, el impacto y corrección de una falla recurrente de rotura de la caja de carga de las pick up pertenecientes a la flota de una empresa de Servicios Petroleros (SSPP), las cuales son equipadas con barras de protección homologadas por el fabricante para su uso en dichos servicios. IDM, aplicando el Estado del Arte, y en línea con los estándares británicos PAS-55, (Public Available Standar) abordó este tema con una visión holística y sistémica, lo que induce un esquema metódico que considera el elemento y sus especificaciones, interdependencias funcionales e interacción con otros elementos.

Del análisis integral del performance de la barra protectora y su papel en la aparición de la falla, se desprende una consideración importante, la mal llamada “barra antivuelco” usada actualmente en la flota de la empresa de SSPP no está catalogada como elemento de seguridad, ya que es un elemento de trabajo que no cumple funciones de protección en el caso de vuelco de la unidad. De esa forma se inicia un proceso de revisión de opciones disponibles para solventar la problemática.

2 Falla: ruptura de la caja de carga

2.1 Descripción de la falla

El presente trabajo tiene como punto de partida el análisis de la ruptura de la caja de carga de las pick up asignadas al uso en una empresa de SSPP, la cual se manifiesta como una grieta que aparece en las estructuras laterales de la unidad, ver Figura 1, Figura 2.



Figura 1 Ruptura de la caja de carga



Figura 2 Ruptura de la caja de carga

2.2 Relevamiento de datos de ruptura de caja de carga.

Para poder determinar los índices de aparición y características de la falla, se realizó un relevamiento de los reportes de ruptura en las distintas regionales en donde dicha empresa presta SSPP. Para ello se tomaron los datos reportados en los últimos dos años, obteniendo información referida a tipo de vehículo (cabina simple o doble), ubicación de la grieta en la caja de carga, regional, kilometraje, régimen de uso y datos económicos asociados a la rotura. De la información reportada se desprenden los gráficos mostrados en la Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

En los últimos dos años se han registrado nueve (9) casos de agrietamiento de la caja de carga, la mayoría concentradas en las pick up que se encuentran en servicio en la zona de Neuquén, específicamente en Rincón de los Sauces, reportando 8 de los 9 casos contabilizados.

En promedio, los vehículos que presentan este tipo de falla, recorren alrededor de 85.000 Km antes de desarrollar la grieta.

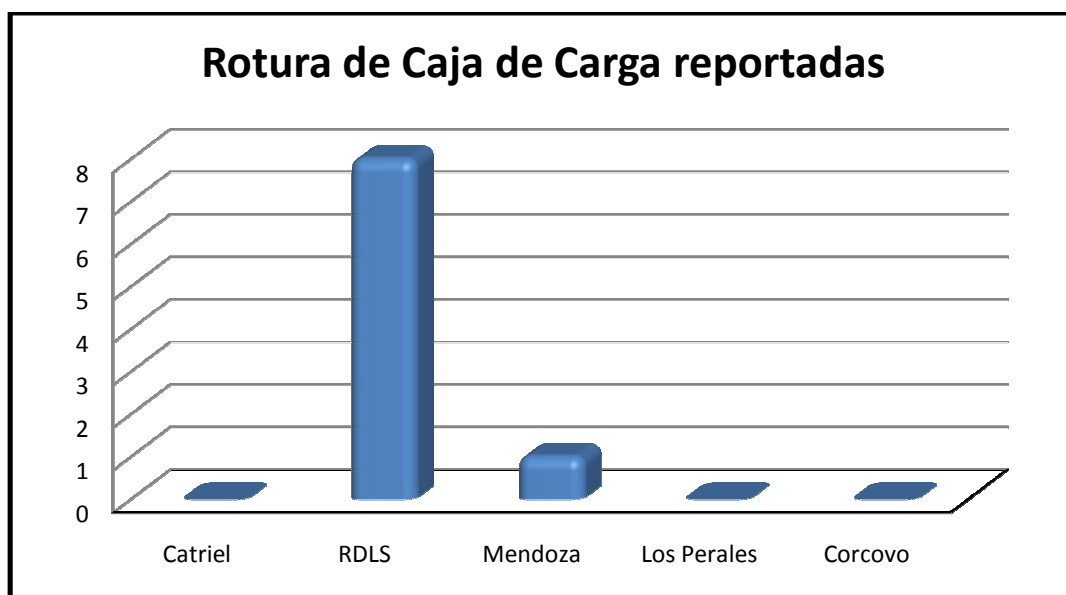


Figura 3 Distribución geográfica de fallas reportadas

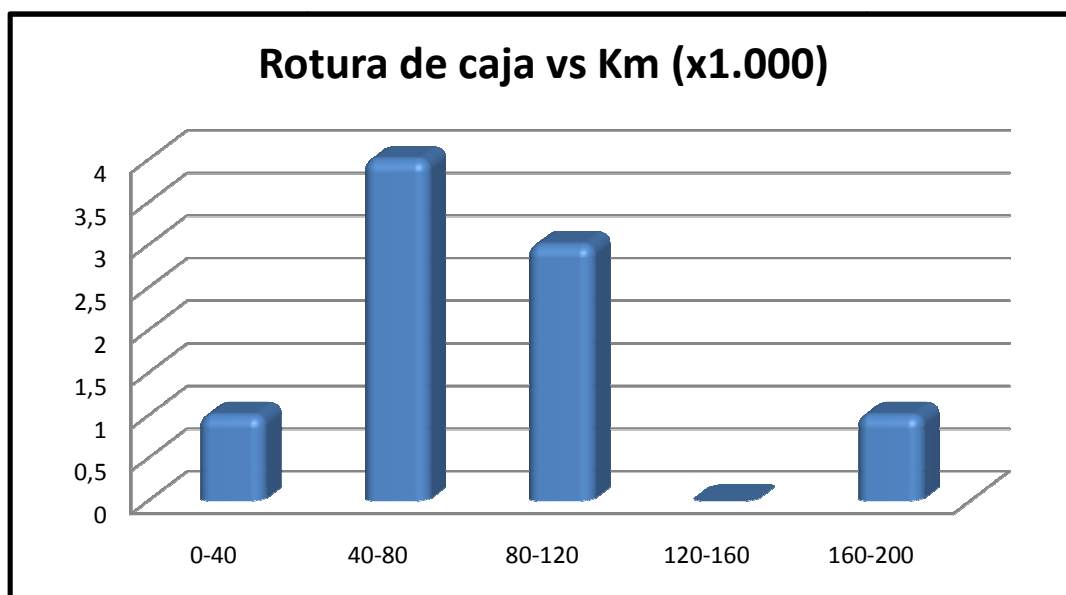


Figura 4 Fallas reportadas en función de kilómetros recorridos por el vehículo

Otro dato importante que se puede extraer de los datos analizados es la concentración de las fallas en las pick up modelo cabina simple utilizadas por los recorredores (89% de los casos reportados). Esto se debe a la mayor longitud que presenta la caja de este tipo de vehículos en comparación a las pick up cabina doble, asignadas a otros usos distintos a recorredores, generándose así mayores esfuerzos de tensión en los anclajes. Adicionalmente estas unidades se encuentran expuestas a un régimen de trabajo continuo y mayores kilómetros recorridos.

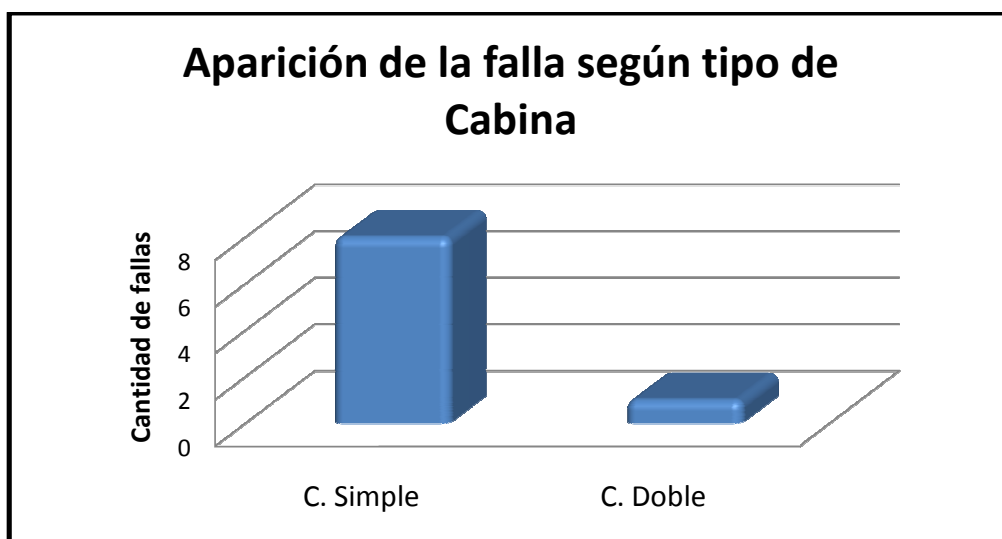


Figura 5 Aparición de fallas según el tipo de cabina

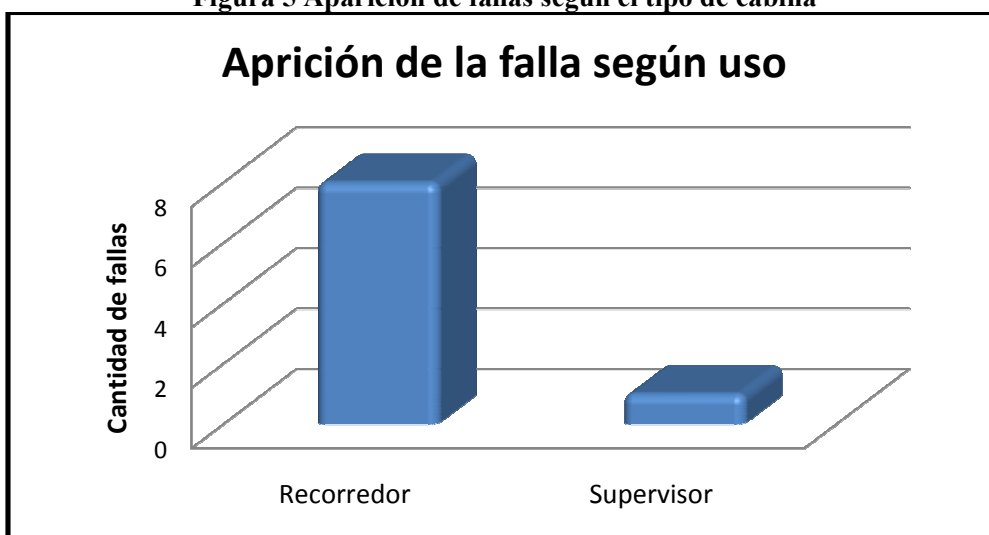


Figura 6 Aparición de fallas según el servicio del vehículo

2.3 Causas

La aparición de la rajadura de la caja de carga es consecuencia de un proceso de fatiga generado por la colocación de la barra de protección, rigidizando así la estructura, lo que limita el movimiento original de diseño dado por el fabricante. Las zonas más propensas para la aparición de esta falla son las cercanas a los puntos de anclaje de la barra. Este hecho se ve agravado en los vehículos de recorredores, que como se comentó anteriormente, presentan un régimen continuo de trabajo y son típicamente de caja larga.

Esta conclusión es abalada tanto por el fabricante de los vehículos como diversos fabricantes internacionales de elementos de protección para flotas, con amplia experiencia en este campo, los cuales fueron consultados sobre este aspecto.

Se han realizado modificaciones a lo largo del tiempo que han reducido la incidencia, mas nunca eliminar por completo la aparición de la falla, ya que es un hecho inexorable que en mayor o menor grado, la barra aporta rigidez que no está contemplada en el diseño del vehículo, limitando su movilidad.

2.4 Impacto económico de la falla sobre la operación

Según los datos aportados por el personal de la empresa de SSPP, el costo promedio de reparación es cercano a los 1.600 pesos por evento (costos a Marzo 2.012) y un tiempo fuera de servicio de dos días.

Como se puede observar, realmente el impacto sobre la operación es muy bajo, y el no poder contar con un vehículo durante su reparación se puede sobrellevar sin complicaciones mediante el uso de alguna unidad adicional, dispuesta para tal fin.

2.5 Barra petrolera como protección “antivuelco”

En primer lugar, el uso de la palabra *antivuelco* representa un error en sí, ya que ante la ocurrencia de un vuelco se refiere a un elemento que impide o reduce la ocurrencia del vuelco, lo que no es cierto para ningún tipo de barra. El término correcto para referirse a este tipo de sistemas debe ser Sistema de Protección en el Caso de Vuelco (ROPS por sus siglas en inglés). Este tipo de protecciones son sistemas integrales, donde, la barra o la jaula utilizada representan solo un elemento, con una función bien definida: evitar deformaciones excesivas del habitáculo del vehículo que pudiesen generar lesiones en los ocupantes.



Figura 7 Deformación del habitáculo característico de vuelco. [2]

Existe la noción de que la barra utilizada actualmente por la flota de pick up's en los diversos servicios es una protección, pero si se analiza desde el punto de vista de la concepción de este elemento, no es así. El fabricante de la mayoría de los vehículos de la flota, describe este elemento como barra de protección de la caja, no como elemento de protección del habitáculo, y es desde esa perspectiva que fue diseñado, lo que se ve reflejado en la posición de la barra superior, ya que no está ubicada de forma tal como para representar un punto de apoyo efectivo que limite las deformaciones de la cabina. Adicionalmente el anclaje no es lo suficientemente robusto, ya que se fija a la lámina de la caja, la cual no es capaz de soportar las cargas que se pueden generar durante un vuelco. Es por esta razón que en algunos casos, la barra se ha desprendido de la caja durante la ocurrencia de algunos accidentes, según refieren los inspectores de Seguridad y Medio Ambiente de la empresa de SSPP.

Como parte de este trabajo, fue considerado, entre varios estudios, uno realizado por el CESVI [3] en Febrero 2011 sobre la conveniencia del uso de estructuras internas (jaulas) y externas (barras) como protecciones en caso de vuelco. Para ello realizó un análisis de los accidentes de vuelco donde se vieron envueltas Pick Up en la Argentina, sembrando grandes dudas sobre la efectividad de estos sistemas.



Figura 8 Deformación en una pick up siniestrada (lesiones graves) [3]



Figura 9 Aplastamiento de la cabina desde la barra externa hasta el frente del vehículo [3]

Entre varios casos analizados en ese estudio, en la Figura 9 se puede observar una pick up equipada con una barra externa similar a las utilizadas por la flota de la empresa de SSPP y la operadora del Upstream, donde se producen daños al habitáculo a pesar del uso de la "barra antivuelco".

Pero esta situación no solo afecta a la flota de la empresa de SSPP, ya que en ese mismo informe el CESVI amplía su investigación, incluyendo no solo las barras externas artesanales, como la utilizada por la flota, sino también las barras que los fabricantes de vehículos ofrecen como accesorios, en ese aspecto refieren que esos elementos son estéticos (ver Figura 10), y no representan ninguna protección en caso de vuelco.



Figura 10 Advertencia que un fabricante ubica en la barras [3]

También fueron revisadas las jaulas internas, pero de igual forma, este tipo de protecciones reporta muchos problemas de seguridad, ya que reducen el espacio del habitáculo, interfieren con otros elementos de seguridad como air bags y cinturones de seguridad, sumado a que la estructura interna puede generar lesiones por impacto durante el accidente.

Dada la gran importancia que representa la seguridad de los trabajadores, la resolución de esta falla de rotura de la caja de carga pierde sentido. Por lo que se decidió avanzar en el desarrollo de una solución efectiva para este

tipo de accidentes, ya que la importancia de la necesidad de protección en caso de vuelco se prioriza sobre cualquier otro aspecto.

3 El vuelco como accidente

Para entender por qué el vuelco de los vehículos representa un riesgo importante para las personas, es necesario entender el proceso del vuelco y sus detalles.

3.1 Iniciadores de vuelco [4][5]

Existen diversos tipos de mecanismos identificados como iniciadores de vuelco. Tomando en cuenta las condiciones de uso de los vehículos de la flota, los más resaltantes son:

Tripping: este disparador puede ocurrir tanto dentro como fuera de la vía, ocurre cuando un vehículo se desplaza lateralmente luego de haber perdido el control y algún elemento “tropieza” la unidad evitando que continúe su desplazamiento. Este elemento puede ser algún objeto como piedras, cordón, destalonamiento del neumático, entre otros, o una superficie blanda o desnivelada, como pasto, ripio, nieve.

Untripping: ocurre típicamente sobre la cinta asfáltica cuando el conductor realiza una maniobra del volante abrupta y brusca y el vehículo se desliza lateralmente hasta llegar al punto de volcar. Se caracteriza por una alta resistencia a fuerzas laterales (alto coeficiente de fricción) y baja estabilidad lateral (bajo SSF).

Estos dos iniciadores de vuelco se relacionan con la casi totalidad de vuelcos. Por tal razón son los únicos que revisten importancia en las investigaciones, diseño y desarrollo de elementos y políticas de seguridad relacionadas con este tipo de accidentes.

3.2 La mecánica del vuelco

Una vez que el accidente inicia, como consecuencia de algunos de los mecanismos antes mencionados, el vehículo comienza a girar sobre su eje longitudinal. Es un hecho demostrado de forma estadística que el primer contacto suele darse sobre el marco del vehículo, sin que entre en contacto con el suelo el lateral del vehículo por donde comenzó el vuelco (de ahora en adelante llamado lado cercano). Sobre este punto se generan fuerzas de interacción que inciden sobre el pilar A del vehículo. Las fuerzas generadas son de menor intensidad que en otros momentos y tienen un dirección prácticamente axial sobre el pilar A, comportándose aproximadamente como un viga a compresión con carga excéntrica y por tal razón el pilar A suele tener la capacidad de soportar el primer contacto (ver Figura 11).

Se define el Pilar A, como el primer pilar desde la trompa hacia atrás, es el pilar inclinado que le da soporte al parabrisas. Adicionalmente, existen los Pilares B y C, que son los pilares posteriores, y pueden ser uno o dos dependiendo si el vehículo es cabina simple o doble.

En segundo lugar entra en contacto el techo, el cual, por ser una superficie amplia, puede soportar las cargas y representa una fuente de disipación de energía debido al roce con el suelo.

El siguiente contacto es el que ha demostrado ser crítico, ya que cuando el vehículo continúa en su rotación, este se apoya sobre el pilar A del lado opuesto al del inicio del vuelco (de ahora en adelante llamado lado lejano). En este punto la estructura busca desplazar hacia arriba el centro de gravedad, lo que genera cargas de interacción de mayor amplitud, a lo que se suma el hecho de que las fuerzas tienen una dirección casi perpendicular al pilar A, la que se comporta aproximadamente como una viga en voladizo. Este es el punto donde suele colapsar el techo, reduciéndose el espacio vital del habitáculo lo que representa la mayor causa de heridas en este tipo de vuelco. Cuando existe deformación excesiva puede llegar a haber ruptura del parabrisas, el cual es importante para evitar la eyección total o parcial de los ocupantes del vehículo, si estos no tuvieran puesto el cinturón de seguridad.

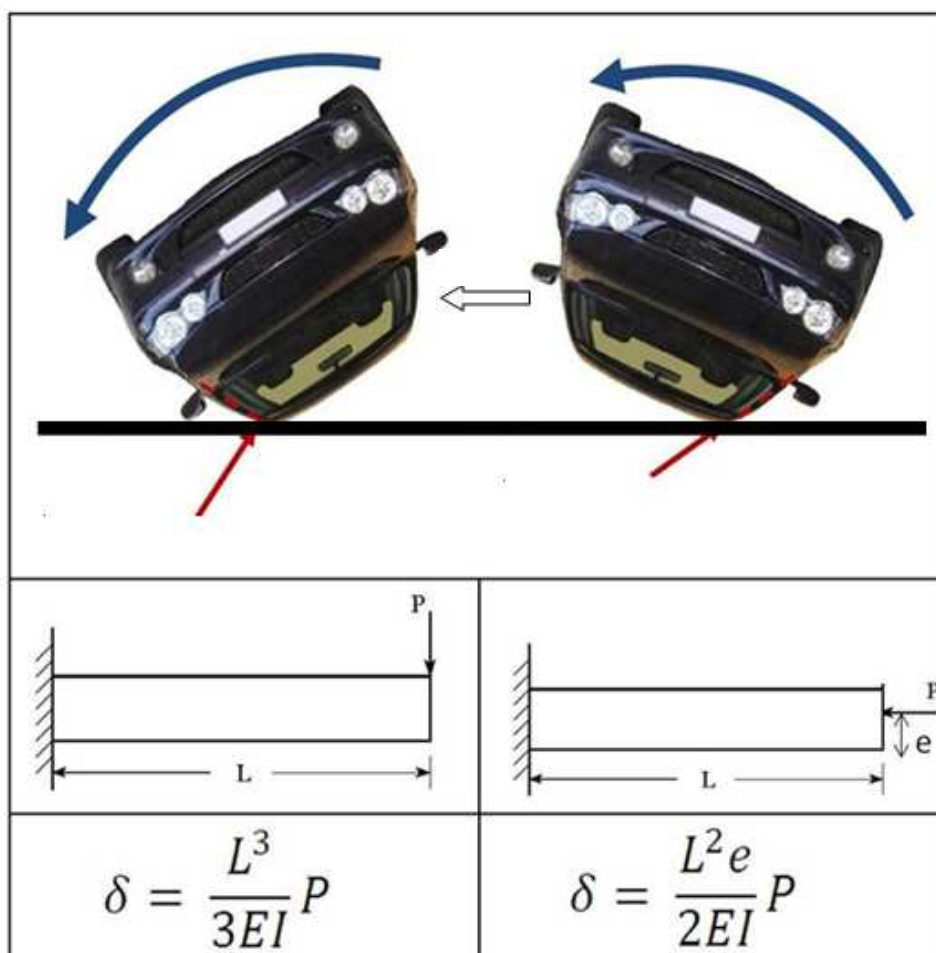


Figura 11 Fuerzas de interacción Vehículo/Suelo durante el vuelco [2]

Otro factor que acentúa las cargas sobre el pilar A, es que el peso del motor inclina el vehículo hacia adelante, aumentando la distribución del peso sobre el pilar A, más que los otros pilares, pilar B y pilar C (de corresponder). Como muestra de este mecanismo de falla, que determina la forma en que el techo del vehículo colapsa, se pueden observar las Figura 12 y Figura 13.

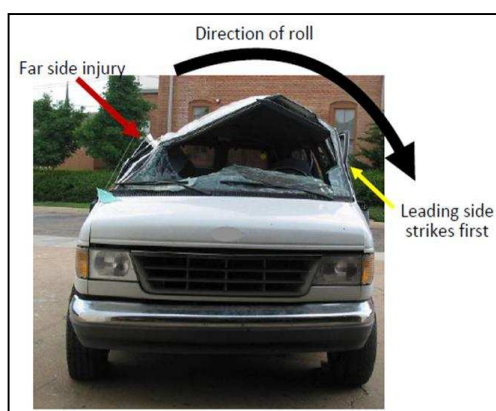


Figura 12 Vuelco hacia la izquierda [2]



Figura 13 Vuelco hacia la derecha [2]

Según un estudio realizado por el *Center for Injury Research (CfIR)*[6] de Estados Unidos, se demuestra que las cargas aplicadas sobre los marcos del vehículo (pilar A) tienen una magnitud promedio de 4 veces el peso del

vehículo, que aplicada de forma perpendicular (lado lejano) genera una mayor deflexión del parante o pilar, que aplicada a compresión (que en el lado cercano).

3.3 Lesiones características

El vuelco, a pesar de ser considerado un accidente de baja ocurrencia, es responsable de una gran cantidad de muertes y lesiones graves a los ocupantes, ya que con el frecuente colapso del techo de los vehículos siniestrados, se generan lesiones principalmente en la cabeza, cuello (espina dorsal) y parte superior del torso. Como consecuencia del colapso del pilar A en vehículos con una estructura débil, el techo se deforma de tal manera que se reduce el espacio del habitáculo, más allá del denominado espacio de supervivencia, produciéndose el contacto (transmisión de cargas) entre las zonas de la parte superior del cuerpo y los elementos estructurales del vehículo.

La Figura 14 muestra las cargas axiales medidas por los instrumentos ubicados en el cuello de un muñeco de pruebas (ATD) durante un ensayo de vuelco. En este caso el techo del vehículo colapsó golpeando la cabeza del ATD. En este ensayo se registró en el cuello del muñeco fuerzas de compresión de 10.000 N, 62% superior al valor definido como crítico (6.160 N) por los investigadores Eppinger y Sum [4].

Este tipo de impacto, característico de vuelcos donde cede el techo, es el responsable de causar innumerables fracturas de cráneo, daños cerebrales, lesiones cervicales, entre otras.

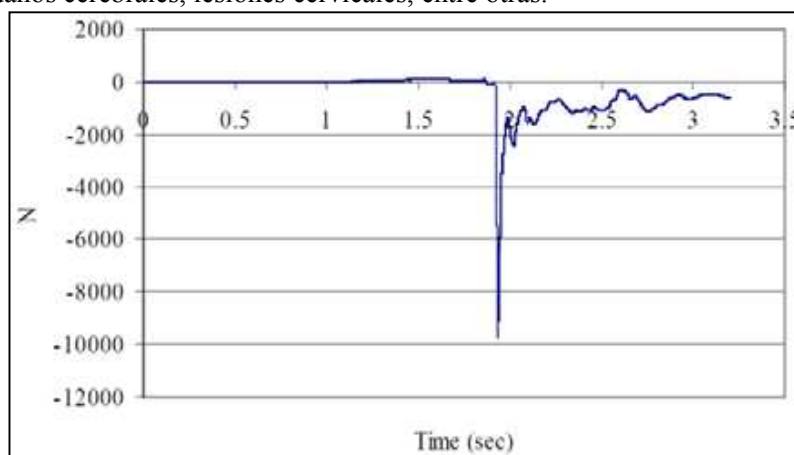


Figura 14 Cargas medidas sobre el cuello de un ATD en una prueba de vuelco [7]

Otro elemento importante que se puede extraer de la gráfica, es el hecho de que las cargas sobre el cuello y cabeza se generan cuando la estructura del vehículo golpea al ocupante, momento que el espacio de supervivencia no se mantiene. Esto indica que no importa cuantas vueltas puede dar un vehículo en un vuelco, mientras la estructura mantenga el espacio de supervivencia, los ocupantes no corren un riesgo alto de sufrir lesiones graves, salvo los generados por cargas laterales, pero tiene una incidencia muy inferior.

3.4 Estrategia de prevención de lesiones en caso de vuelco

Para evitar lesiones en caso de vuelco se debe desarrollar una estrategia que tome en consideración cuatro elementos fundamentales, en cada caso se asocian elementos:

- Evitar la ocurrencia del vuelco: en este punto entran en consideración elementos como capacitación y entrenamiento de los conductores, estabilidad del vehículo y control electrónico de estabilidad.
- Mantener los ocupantes dentro de la unidad: en este punto se consideran elementos como cinturones de seguridad y parabrisas.
- Mantener el espacio vital en caso de vuelco: aquí es donde se consideran las estructuras ROPS internas y externas
- Evitar lesiones con elementos internos del vehículo: en este punto se considera airbags (especialmente laterales), recubrimiento interno (en caso de estructuras internas) y utilización de accesorios (que usualmente no se encuentran adecuadamente sujetos).

4 Estudio estadístico de accidentes

4.1 Estadísticas de vuelco a nivel nacional e internacional

Según diversos estudios de relevamiento de datos de vuelcos alrededor del mundo, conducidos por entes gubernamentales tales como la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Australian Coroners, Australian Military, Federal Office for Road Safety (FORS) en adición a una serie de investigadores particulares como PhD Raphael Grzebetia, PhD Shane Richardson, PhD Don Friedman, Rechnitzer, Ing. Gustavo Brambati, Hernán de Jorge, muestran que:

- En los Estados Unidos aproximadamente 10.000 personas mueren al año como consecuencia de lesiones sufridas durante un vuelco. Lo que representa un 33% de las muertes totales en las vías, aún cuando el vuelco solo representa un 3% de los accidentes, ver Figura 15.
- En Australia el vuelco representa el 19% de las causas de muerte en accidentes de tránsito. Pero al separar esas estadísticas por zonas, se observa que en áreas rurales ese porcentaje oscila entre 44% y 54% debido al poco tránsito vehicular y el tipo de vías.
- Hay consenso de que a nivel global, el vuelco tiene una incidencia entre el 7% y el 15% de los accidentes, pero representa aproximadamente el 30% de las muertes en las carreteras (a veces más que las ocasionadas por choques frontales)

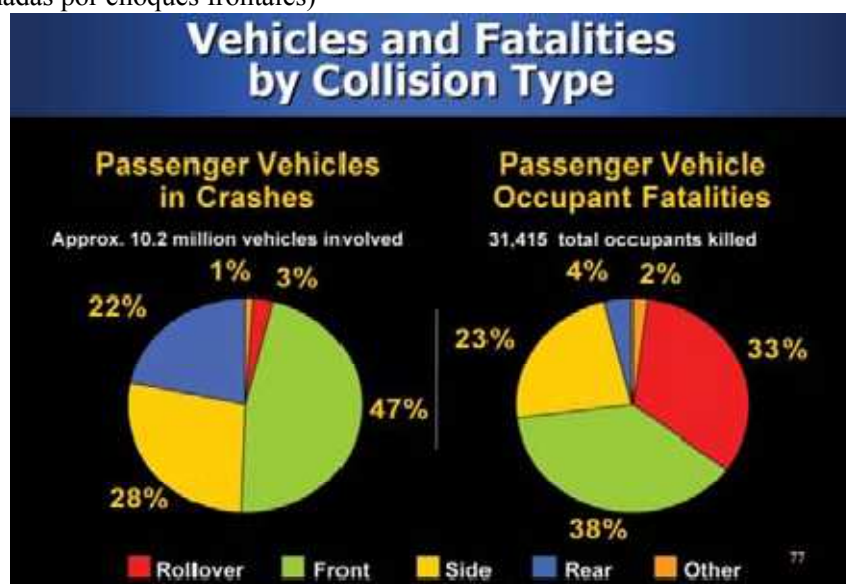


Figura 15 Incidencia de vuelco en EEUU (2007) [19]

Según los datos reportados por las aseguradoras en Argentina para el período del 2.009 [3], considerando solo en los casos donde vehículos tipo pick up se vieron envueltos en accidentes, se determinó una incidencia de vuelcos de 7.4% de los casos de accidentes reportados, adicionalmente reportaron la distribución geográfica de ocurrencia, determinándose que la zona Santa Cruz abarca más del 22% de los casos, ver Figura 16.



Figura 16 Incidencia de vuelcos en Argentina (2009) [3]

4.2 Estadísticas de vuelco disponibles de una empresa de SSPP y una operadora del Upstream.
Para la verificación de los antecedentes de accidentes, se utilizó como fuente la información reportada en el software de Gestión de Accidentes, tanto para la empresa de servicios como para la operadora del Upstream, la cual fue analizada por el personal de IDM AESA.

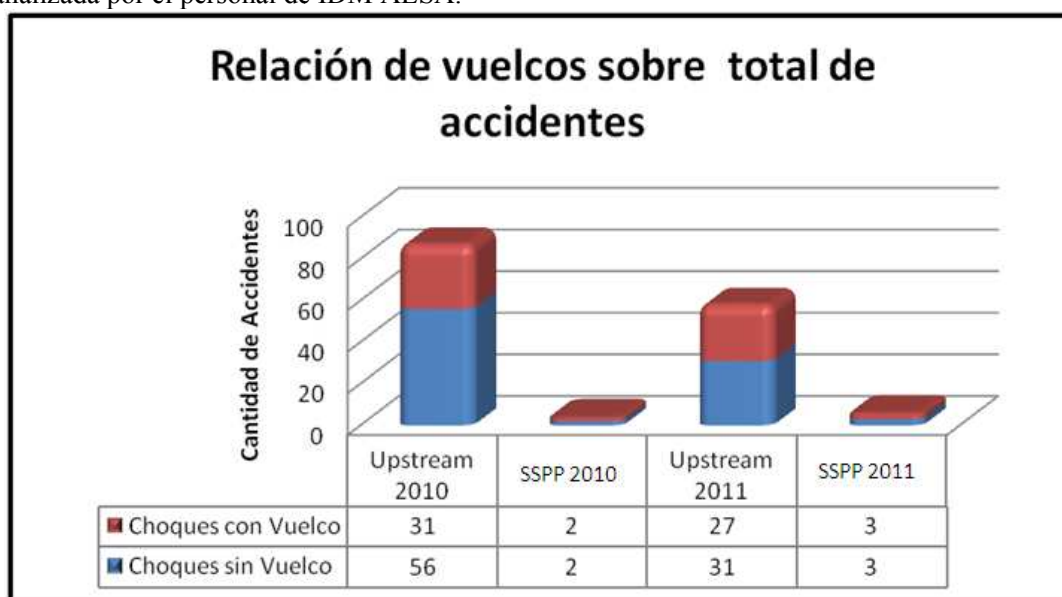


Figura 17 Incidencia de vuelco empresa SSPP y Operadora Upstream (2010-2011)

De la

Figura 17 se puede extraer que en los últimos dos años, han ocurrido 58 vuelcos asociados a pick ups que fueron computados a la operadora del Upstream y 5 para la flota de la empresa de servicios. Aunque la comparación es desproporcionada entre ambas flotas, por la cantidad de accidentes, la Figura 18 muestra la comparación porcentual entre ambas flotas, donde se observa que dichos porcentajes son bastante similares en todos los casos. La incidencia de vuelcos está acotada entre el 36% y el 50% de los accidentes.

De las descripciones asociadas a cada uno de los accidentes reportados en el software de gestión de accidentes, en algunos casos fue posible extraer datos necesarios para establecer tendencias sobre las condiciones donde ocurrieron los accidentes dentro de ambas flotas.

En algunos casos fue posible definir si el accidente ocurrió dentro de las instalaciones de la operación, o si por el contrario ocurrió en vía urbana y provincial, ver

operadora del Upstream no hay tendencia definida, ya que la cantidad de vuelcos ocurridos dentro de las operaciones es similar a la cantidad de accidentes en vías urbanas y provinciales. Por otro lado, para la flota de la empresa de SSPP, la mayoría de los accidentes ocurrieron dentro las instalaciones de la operación.

Figura 19. Para el caso de la flota de la

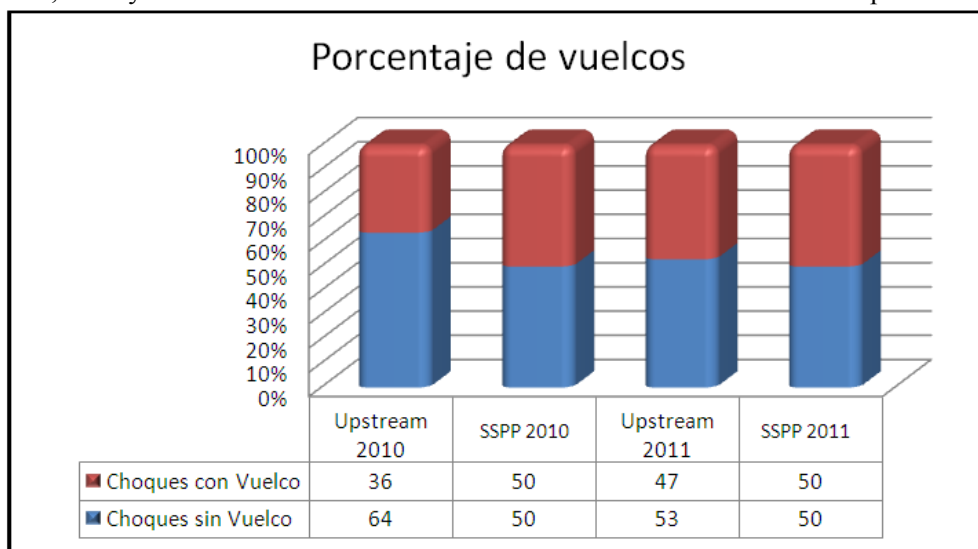


Figura 18 Porcentaje de vuelco sobre total de accidentes empresa SSPP y Operadora Upstream (2010-2011)

La Figura 20 se refiere a la cantidad de vehículos involucrados en el accidente, se observa una clara tendencia donde la gran mayoría de los accidentes ocurrieron sin la interacción de otro vehículo, salvo el siniestrado. Esta particularidad es esperada, ya que las operaciones se desarrollan en lugares aislados, de poco tránsito y las vías no son de asfalto.

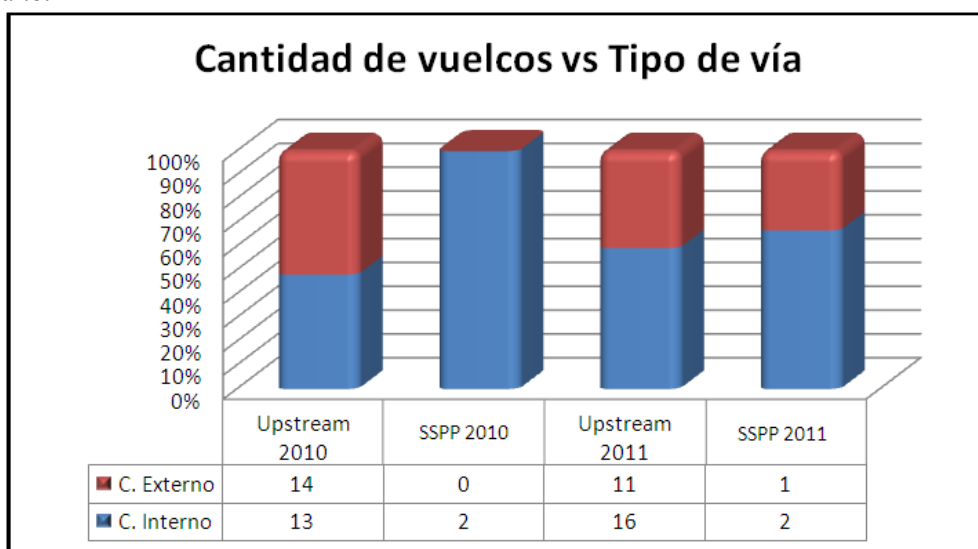


Figura 19 Distribución de vuelcos con relación tipo de vía (2010-2011)

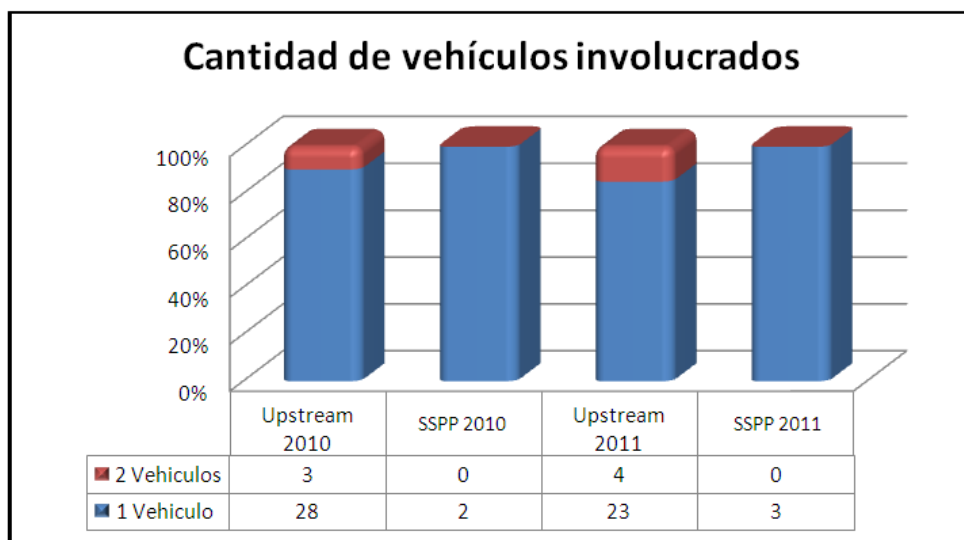


Figura 20 Cantidad de vehículos involucrados en vuelco.

De la revisión de las descripciones de los distintos accidentes, solo en 33 reportes se pudieron extraer los elementos o condiciones que provocan los accidentes tipo vuelco. De esos casos se desprende:

- Interacción con la Banquina (14)
- Hielo y/o nieve (7)
- Barro/lluvia (4)
- Visibilidad limitada (polvo, sol) (3)
- Falla de neumático (3)
- Animales (2)

La revisión de las estadísticas de accidentes de ambas flotas muestra que el 91% de vuelcos identificados están relacionados con el entorno en el cual se desarrollan las actividades de SSPP.

Dada la incidencia considerable de vuelcos en la flota y la gravedad de las posibles lesiones que pueden ocurrir, el vuelco debe y es considerado como un riesgo de seguridad para los trabajadores.

5 Estimación de riesgo de vuelco para vehículos pick up

Existen dos factores considerados como propensiones al vuelco, un elemento de estabilidad intrínseco de la unidad, y un elemento de maniobrabilidad mayormente relacionado con el conductor (aún cuando el vehículo también influye).

5.1 Factor de estabilidad

El SSF o factor estático de estabilidad relaciona la propensión al vuelco considerando, la altura del centro de masas y la trocha de la unidad, ver Figura 21, y se calcula de la siguiente forma:

$$SSF = a/2h_{CG} \quad \text{donde} \quad a = \text{Distancia lineal entre el centro de ambas ruedas}$$

$$h_{CG} = \text{Altura del centro de gravedad del vehículo}$$

De la formula se desprende que a menor SSF, menor estabilidad tiene un vehículo.

Este primer acercamiento al cálculo de la predisposición al vuelco da una idea general, pero tiene la debilidad de considerar el vehículo como elemento rígido, sin tomar en cuenta el efecto de la amortiguación y suspensión. Por esa razón se han desarrollado otros modelos de cálculo a partir del análisis estadístico de los datos de accidentes reales, lo que toma en consideración de forma indirecta factores como tipo de neumáticos, material de la vía, condiciones climáticas, interacción con otros vehículos, entre otros.



Figura 21 Cálculo del factor estático de estabilidad

Modelo 1 desarrollado por Mengert [4]:

$$\text{Probabilidad de vuelco} = \frac{100}{(1 + SSF^{6.9})}$$

Modelo 2 desarrollado por NHTSA [8]:

$$\text{Probabilidad de vuelco} = 10.99e^{(-3.2356.SSF)}$$

Partiendo de un estudio de tendencias de SSF [9] desarrollado por la NHTSA, el cual muestra la dispersión del SSF para distintos vehículos hasta el año 2003, particularizando por marca, modelo, y año de fabricación. Con esa data, se promediaron los valores para, utilizando ambos modelos matemáticos, estimar la propensión al vuelco para las 3 marcas de vehículos más vendidos a nivel regional, que representan las dos marcas utilizadas principalmente por la empresa en sus operaciones y otra a nivel comparativo, ver Figura 22. Del análisis de los datos obtenidos para los vehículos utilizados por la operadora del Upstream y la empresa de SSPP y demás contratistas (Fabricantes 1 y 2), se puede estimar una probabilidad de vuelco cercana al 29%.

	SSF	Modelo 1	Modelo 2
Fabricante 1	1,11	33	30
Fabricante 2	1,16	26	26
Fabricante 3	1,17	25	25

Figura 22 Tabla de propensión al vuelco para distintos vehículos

Dado que la muestra de accidentes de la empresa de SSpp es muy pequeña, podemos tomar un promedio ponderado de los accidentes de ambas flotas, lo que refleja una incidencia de vuelco del 41% sobre el total de los accidentes reportados en el software de gestión de accidentes. Este valor es un poco superior a lo expresado por lo modelos, esto es debido a las condiciones de riesgo características de SSPP.

Del análisis de los datos de propensión de vuelco, la NHTSA desarrollo un sistema de calificación de estrellas de los vehículos en cuanto a su propensión a este tipo de accidentes. En la Figura 23 se muestra el criterio de evaluación junto con los rangos y promedios de riesgo de vuelco para los distintos tipos de vehículos.

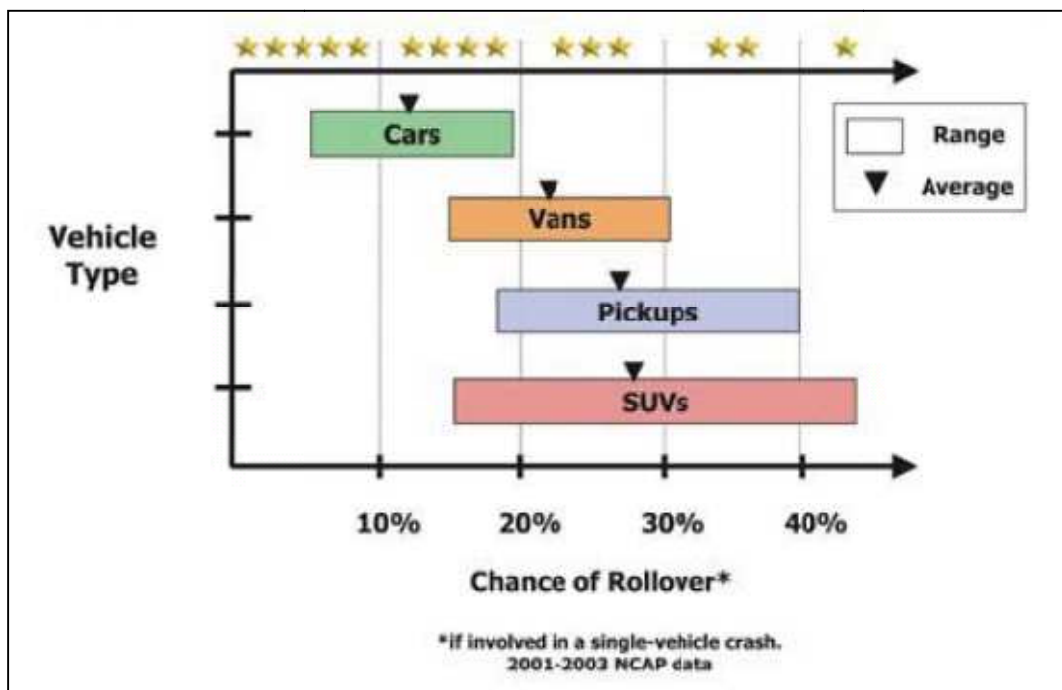


Figura 23 Modelo de calificación de la NHTSA sobre vuelcos [9]

Estos datos catalogan las pick up utilizadas en la empresa de SSPP y la Operadora del Upstream, contratitas y otras empresas del sector Petróleo & Gas y Minería como dos estrellas (**) y tres estrellas (***) en cuanto a su propensión al vuelco. Adicionalmente un estudio de estabilidad realizado por el CESVI refiere que la unidad correspondiente al Fabricante 1 (ampliamente utilizada en las operaciones), presenta una incidencia de vuelco superior a otras marcas del mercado. La Figura 24 muestra los datos de porcentajes de vuelco particularizados para los tres fabricantes más importantes por su presencia a nivel local.

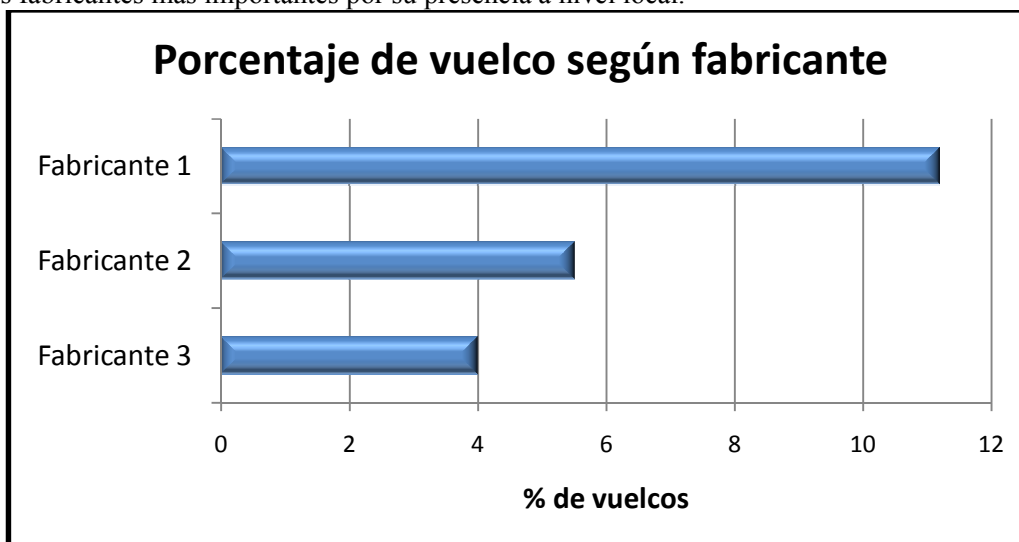


Figura 24 Porcentaje de vuelco según marca [11]

Aún cuando todas estas pick up's han sido modificadas a lo largo de los años, y en algunos casos vienen de profundos rediseños, en conjunto con el fabricante, el nuevo modelo de la marca más ampliamente usada en la flota, fue revisada bajo esta misma metodología, presentando una tendencia de comportamiento estimada igual a las presentadas con la data anterior.

5.2 Maniobrabilidad

La maniobrabilidad del vehículo incluye elementos de conducción referidos a la brusquedad de la maniobra por parte de conductor. Este hecho está relacionado con la capacitación y entrenamiento, ya que se reducen los errores de conducción que pueden terminar en este tipo de accidente.

Por otro lado, existe un elemento de maniobrabilidad referido directamente al vehículo. Para revisar este punto en particular se realizan diversas pruebas de manejo, pero siempre están condicionadas a la destreza del personal que realice la prueba, haciéndola de esa forma poco objetiva.

Estas pruebas incluyen que el vehículo tome curvas cerradas, tipo gancho, tipo "J", maniobras de esquite de obstáculos en la vía, pruebas descritas por Federal Motor Vehicle Safety Estándar (FMVSS), ISO 3888 Parte 2, NHTSA (J-turn, FishHook 1A y 1B), fabricante de vehículos, entre otros [10].



Figura 25 Vehículo preparado para pruebas de estabilidad [10]

En Noviembre 2008, el CESVI [11] presentó en la revista Crash Test un artículo donde se muestran los resultados de pruebas de maniobrabilidad realizadas a las pick up más utilizadas en el mercado argentino, y por ende son los modelos seleccionados por las empresas para ser parte de la flota de trabajo.

Para este estudio realizaron las pruebas según el criterio establecido por la norma ISO 3888-2, que establece que en una pista de 61 metros el vehículo debe entrar en un régimen de 2000 rpm en la mayor velocidad (5° marcha), soltar el acelerador y realizar una serie de maniobras sin que ningún neumático se separe del suelo más de 5 cm, ver Figura 26.

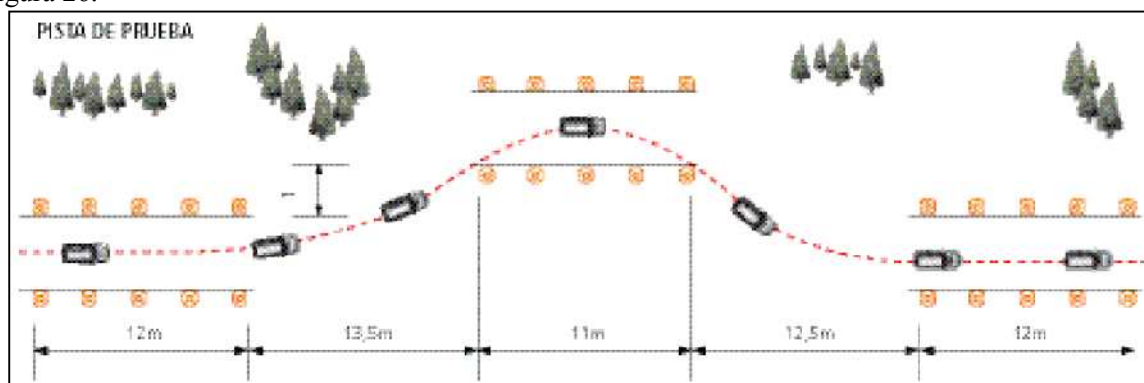


Figura 26 Pista de pruebas para maniobra de estabilidad ISO 3888-2 [11]

Ese estudio refiere que ninguna de las pick up logró superar con éxito la prueba, en la Figura 27 se observa a una pick up fallando en su intento, de la misma forma que lo hicieron los vehículos de los otros fabricantes. Lo que si se pudo definir fue la máxima velocidad que puede alcanzar cada una de las unidades estudiadas para superar la ISO 3888. Los resultados se observan en la Figura 28.

Considerando los datos obtenidos por los modelos estadísticos (Modelo 1 y Modelo 2) que refieren una probabilidad de vuelco alrededor del 30%-33%, una incidencia histórica de vuelco en pick up's del 41%, y una baja maniobrabilidad de los vehículos de la flota, es que Ingeniería de Mantenimiento puede determinar que el riesgo de vuelco de la flota de pick up en las tareas de SSPP es elevado.



Figura 27 Prueba ISO 3888-2 sobre una pick up [11]

	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3
Velocidad Crítica Sin Carga[Km/h]	60	65	65
Velocidad Crítica Con Carga[Km/h]	50	55	60

Figura 28 Velocidades críticas en prueba de maniobrabilidad [11]

6 Normativas

Existen diversas normativas que rigen el equipamiento de seguridad que deben contemplar los vehículos de flota para operar en Servicio Petroleros, pero ninguna define de forma explícita cuales son las características y especificaciones de los sistemas de protección en caso de vuelco, al igual que tampoco refieren los estándares de protección que deben cumplir.

6.1 Organización Mundial de Productores de Gas y Petróleo (OGP).

En primer lugar la OGP, en un documento de Lineamientos de Seguridad de Transporte Terrestre [12] actualizado en el 2011, especifica que cada vehículo debe contar con:

- Apoya cabezas para todos los asientos.
- Air Bags (todas las posibles, pero por lo menos el conductor)
- Frenos ABS
- Protección de choques laterales
- Cinturones de seguridad, preferiblemente inerciales y pretensados.
- Matafuegos
- Aire acondicionado (frio/calor)
- Alarma de retroceso, entre otros.

Pero al referirse al sistema de protección en caso de vuelco indican: “cuando una evaluación de riesgos demuestre que el riesgo de vuelco causado por el terreno, tipo de vehículo o condiciones de trabajo es mayor a lo normal, un elemento de protección en el caso de vuelco (interno o externo) diseñado específicamente para este fin debe ser instalado”.

En efecto, este criterio transfiere la responsabilidad de evaluación, diseño y selección a la empresa, a diferencia del criterio establecido por el mismo organismo anteriormente, donde especificaba que la estructura debería soportar de forma simultánea:

- ✓ 3 veces el peso del vehículo aplicado verticalmente sobre el marco.
- ✓ 3 veces el peso del vehículo aplicado longitudinalmente en la esquina superior del marco.

- ✓ 1.5 veces el peso del vehículo aplicado lateralmente en la esquina superior del marco
- ✓ Y la deformación registrada no puede superar los 50 mm.

6.2 Empresa operadora del Upstream

Como se observa en la Figura 29, la normativa de Gestión Integral de Vehículos de la operadora, indica que la flota debe contar con protección antivuelco.

Equipamiento	
1	Caja porta objetos.
2	Jaula "antivuelco" (de fábrica, básica, o similar modelo "Limited")
3	Matafuego 10 Kg fijado en jaula exterior.
4	Llanta para rueda de auxilio adicional.
5	Porta rueda auxilio reforzado para dos ruedas, con tuerca de seguridad y candado. Ubicado en laterales. No en la caja, dado que se rompen.
6	Cant. 2. Faros adicionales de largo alcance marca Hella para instalar sobre jaula "antivuelco" externa. Instalados con sus correspondientes relay, fusibles, cableado con protección y teclas originales.
7	Cant. 1. Faro rectangular orientado hacia atrás para iluminación de caja de carga. Instalado con su correspondientes relay, fusibles, cableado con protección y teclas originales.
8	Alarma de reversa.
9	Balizas triangulares.
10	Sistema de encendido permanente de luces bajas.
11	Protectores fabricados en chapa de 1/8", de carter, caja de cambio, tanque de combustible, diferencial, radiador, aire acondicionado, dirección y cardan.

Figura 29 Equipamiento básico de vehículos según la normativa de la operadora Upstream [13]

6.3 Empresa de Servicios Petroleros

Al igual que la operadora, la empresa de SSPP tiene definidas las especificaciones para los vehículos en un procedimiento de gestión. En el punto de Equipamiento de Vehículos, se establece que las camionetas deben contar con barra antivuelco si correspondiera.

Adicionalmente, la Política de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud Ocupacional vigente, en el punto de Mejora continua dice: "Establecer objetivos y metas de calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional, evaluando sistemáticamente el desempeño y facilitando los recursos necesarios".

Las normativas revisadas vinculan la necesidad de la empresa de SSPP de contar con sistemas efectivos de protección en caso de vuelco, capaz de proteger a los ocupantes en caso de accidente, ya que como se ha demostrado en puntos anteriores, el riesgo de este tipo de accidentes es muy alto y representa un peligro para los trabajadores. El sistema utilizado actualmente en la flota, no reúne las condiciones óptimas de diseño para este tipo de elementos de protección.

Dada esta necesidad y la falta de estándares claros, el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento recomienda los requerimientos de evaluación que deben cumplir las protecciones:

- Pruebas dinámicas, pueden ser drop off test o JRS
- Incluir en la prueba ATD (Anatomic Test Dummy)
- No debe haber deformaciones superiores a las 5 pulgadas
- No debe haber deformaciones residuales superiores a las 3 pulgadas

7 Protecciones en caso de vuelco disponibles en el mercado nacional e internacional

Para dar respuesta satisfactoria y de esa manera cubrir la necesidad de una protección efectiva en caso de vuelco, establecida como necesaria a partir de las normativas y el alto riesgo de vuelco al que está expuesta la flota de SSPP, el departamento de Ingeniería de Mantenimiento realizó un estudio de diversas opciones disponibles en el mercado. Algunas de las opciones presentan conceptos de diseño innovadores y de vanguardia. Se presentan las 4 opciones principales que detectamos, cada una con un concepto de diseño bien diferenciado, ellas son:

7.1 Barra protectora actual (Diseño 1)

Aún cuando se ha discutido y llegado a la conclusión que esta barra, con la cual se equipan todas las unidades de SSPP, no es una protección efectiva en caso de vuelco, se incluye en la comparación por ser la opción usada hasta el momento. Ver Figura 30.



Figura 30 Barra petrolera homologada por el fabricante (Diseño 1).

Esta barra cuenta con homologación del Fabricante 1 en Argentina como equipamiento de protección de la caja [1], con validez a partir del 11 de Septiembre del 2006.

Esta barra tiene en su parte delantera un sistema de sujeción similar a la barra accesorio ofrecida por los concesionarios, pero el anclaje posterior, a diferencia de diseños anteriores, se realiza sobre un perfil tipo "U", eso con la intención de otorgarle un poco mas de movilidad a la caja durante la operación. Esta fue una modificación introducida como mejora para reducir la incidencia de rupturas de cajas, ocasionada con la versión anterior.

7.2 Jaula Externa Británica (Diseño 2)

Una empresa británica ha desarrollado dos líneas de jaulas externas, una de trabajo pesado y otra estándar. La Figura 31 muestra la jaula desarrollada por esta compañía para una línea Pick Up, mientras que la Figura 32 muestra un diagrama esquemático. Revisando ambas figuras también se puede observar que la jaula lleva parales internos ubicados detrás de la línea del conductor, los cuales se fijan sobre el chasis del vehículo, lo cual reduce el espacio del interior del vehículo y limita el desplazamiento de los asientos delanteros, entre otras cosas.



Figura 31 ROPS Jaula Externa Inglesa (Diseño 2) [14]

La línea de trabajo pesado, está diseñada para cumplir los antiguos estándares exigidos por la OGP, los que especifican el esquema de cargas 3x3x1.5 antes mencionado en la sección 6.1.

Los diseños desarrollados por esta empresa son validados por el Motor Industry Research Association (MIRA) de Inglaterra, quienes verifican el desempeño de la protección aplicando un modelo de elementos finitos.

Un punto importante a resaltar es que el diseño de las jaulas posee uniones flexibles en algunos puntos de anclaje para minimizar la fatiga de la estructura.

El proveedor refiere que sus productos son utilizados principalmente en las operaciones ubicadas en África y el Medio Oriente por empresas de sector Petróleo y Gas, principalmente.

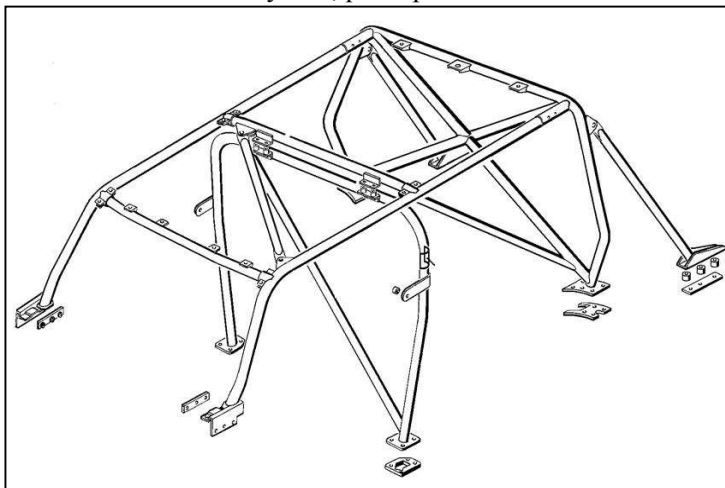


Figura 32 Esquema constructiva del ROPS según Diseño 2 [14]

7.3 Estructura externa australiana (Diseño 3)

Esta empresa australiana especializada en el diseño de elementos de seguridad para vehículos livianos y pesados, ha desarrollado una línea ROPS para pick up, la cual se muestra en la **Figura 33** y **Figura 34** Punto de apoyo de ROPS Diseño 3 [15]



Figura 33 Vista lateral del Diseño 3 [15]



Figura 34 Punto de apoyo de ROPS Diseño 3 [15]

Esta línea puede considerarse como una barra externa modificada, la cual es más alta y se desplaza hacia el frente, con la idea de representar un punto de pivote que de forma más efectiva proteja la cabina del vehículo, evitando así deformaciones potencialmente dañinas, a diferencia de casos donde el punto de pivote es más bajo y está desplazado hacia atrás (ver Figura 7), como la fabricada actualmente en el mercado nacional.

Esta serie está diseñada para soportar una fuerza entre 4 y 6 veces el peso del vehículo según el caso particular, el estándar que debe cumplir este elemento según su diseño es no permitir una deformación del habitáculo superior a 4 pulgadas cuando se aplica una fuerza de 4 veces el peso del vehículo. Al reducir la deformación se minimiza la ruptura y desprendimiento del parabrisas, lo que es un elemento importante para evitar la eyección de los ocupantes.

Este diseño ha sido validado internamente por el desarrollador de la estructura, mediante la aplicación de un modelo de elemento finito. Adicionalmente, para completar la validación del diseño, la ROPS Diseño 3 fue probada dinámicamente, aplicando una metodología de *inverted drop test*, la Figura 35 muestra una secuencia de la prueba realizada en el 2011, durante la cual la pick up de prueba realiza un vuelco de más de 3 vueltas completas.

Al igual que el caso del Diseño 2, esta empresa australiana tomó en cuenta para el diseño de su solución el fenómeno de fatiga de la estructura que induce la aparición de la falla de ruptura de la caja de carga. Para evitar este problema, la sujeción de la misma se efectúa sobre el piso de la caja, lo que no rigidiza la estructura y permite el movimiento según parámetros de diseño del fabricante, más aún, con más de 5.000 ROPS ubicadas en el mercado, refieren no haber tenido reporte de fisura del piso de la caja.

Esta solución ha sido aceptada por empresas del sector de Gas & Petróleo y Minería.



Figura 35 Prueba dinámica Diseño 3

7.4 Estructura externa de atenuación de cargas, Diseño 4

Una empresa estadounidense ha desarrollado este sistema en conjunto que otra empresa australiana, bajo un concepto innovador, el cual va más allá de rigidizar una estructura o buscar un punto de pivote efectivo. Este sistema trabaja bajo un concepto de variación de la geometría del vehículo para reducir las cargas durante el vuelco que deben soportar los parantes y techo, mejorando la distribución de fuerzas y reducción de velocidades de deformación, ver Figura 36. Como se puede observar, la idea de este sistema radica en evitar variaciones bruscas del centro de gravedad, lo que reduce las cargas de impacto durante el accidente.

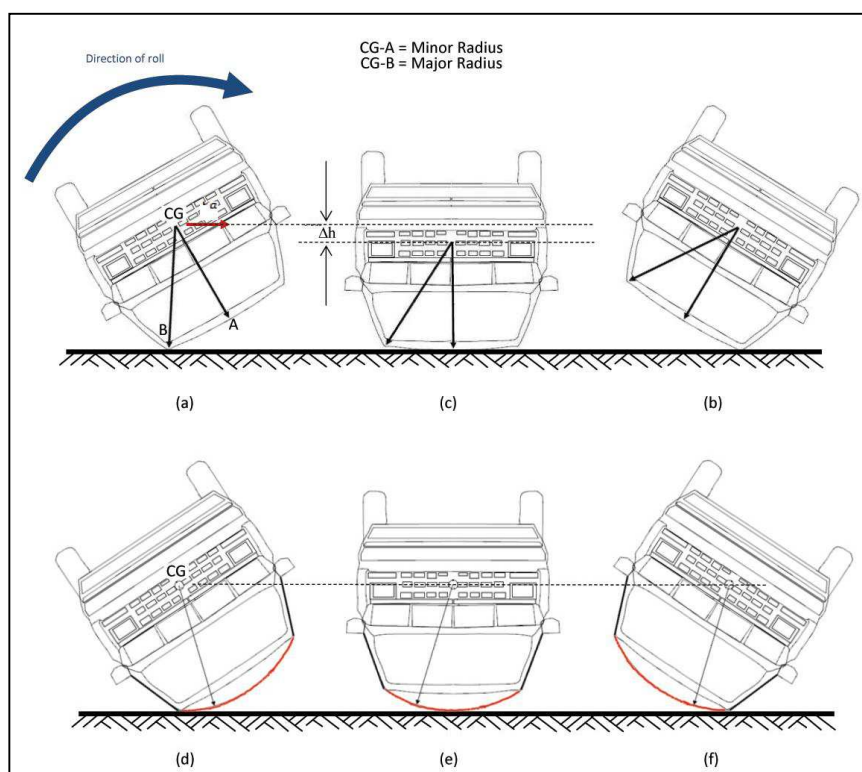


Figura 36 Concepto de funcionamiento del Diseño 4 [17]

La Figura 37 y Figura 38 muestran este sistema, el cual es un elemento externo, que se fija sobre el techo del vehículo, por ende, no interfiere en el funcionamiento de elementos de seguridad internos desarrollados por el fabricante.

La efectividad de este sistema es corroborada en primer momento con un análisis de elemento finito desarrollado por la misma empresa en conjunto con el CfIR (ver Figura 39). En segundo lugar, se han realizado diversas pruebas dinámicas sobre diferentes tipos, marcas y modelos de vehículos, aplicando la metodología del *Jordan Rollover System* (JRS), la cual es una prueba de laboratorio bajo condiciones controladas, altamente repetible.

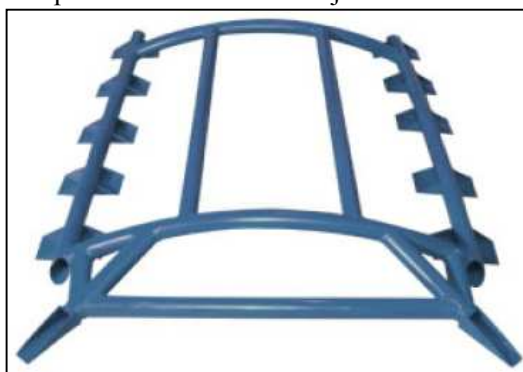


Figura 37 Diseño 4[19]



Figura 38 Sistema ubicado en una flota de pick ups [18]



Figura 39 Análisis de elemento finito del comportamiento [6]

La Figura 40 muestra una toma de la cámara interior ubicada dentro de un vehículo tipo SUV durante una prueba JRS. Se puede observar que este sistema reduce de forma significativa la deformación del techo, evitando el contacto con la cabeza del ATD de pruebas, lo que en la vida real generaría una lesión grave o hasta la muerte del ocupante.

En esa misma prueba se tomaron los datos de cargas y deformaciones a lo largo de toda la prueba, los resultados se observan también en la Figura 40, allí se puede observar como el cambio de geometría del vehículo al incorporar el sistema, tiene un impacto considerable sobre las deformaciones del techo, la línea roja, referida a la deformación del pilar A lado lejano, muestra en un caso una deformación máxima de 30 cm, mientras que el caso donde es utilizada la estructura protectora la deformación se reduce hasta en 90% con relación al mismo caso pero sin ese sistema.

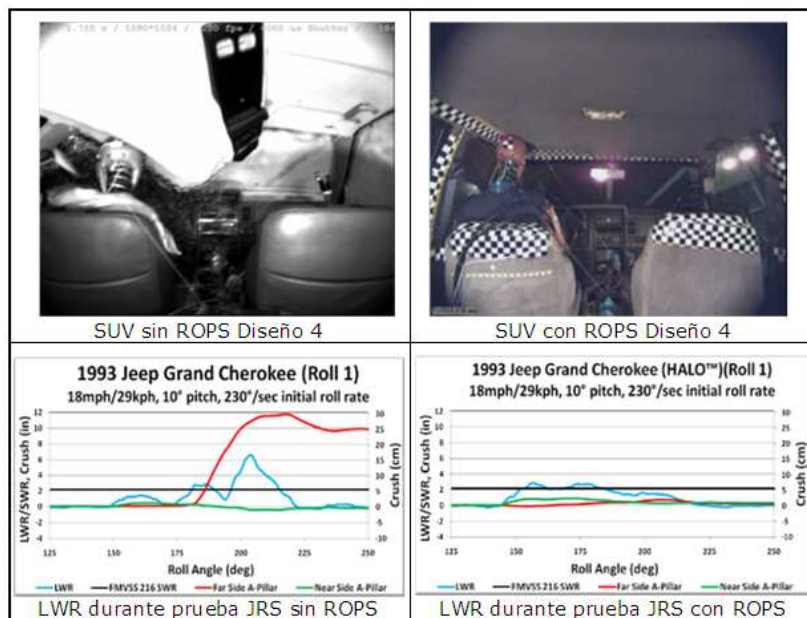


Figura 40 Comparación del comportamiento de SUV con y sin la ROPD Diseño 4 [6][17]

Este sistema, por su concepto operativo, no rigidiza la estructura del vehículo y de igual forma posee anclajes flexibles, por tal razón no desencadena el proceso de fatiga causal de potenciales fallas de la estructura. Este producto es de reciente aparición en el mercado, hasta la fecha se han ubicado varias unidades en distintas aplicaciones, en el sector de Petróleo y Gas las empresas en el Medio Oriente y Sur América.

8 Conclusiones y Recomendaciones

- Resolver el problema de falla de la caja de carga pierde validez al ser necesario sustituir la protección en caso de vuelco actualmente presente en la flota de las empresas de SSPP.
- El riesgo de vuelco en las pick up que operan en los Servicios Petroleros es considerable, y radica en factores geométricos de este tipo de vehículo, aunado con las condiciones de rutas y climáticas de las zonas donde operan.
- Estudiar en conjunto con algún centro de pruebas de vehículos, el desarrollo del procedimiento e instalaciones de pruebas para evaluar elementos de seguridad seleccionados y futuros rediseños.
- Utilizar como estándar de evaluación de la protección el criterio:
 - Pruebas dinámicas, pueden ser drop off test o JRS.
 - Incluir en la prueba ATD en conductor y acompañante.
 - No debe haber deformaciones superiores a las 5 pulgadas.
 - No debe haber deformaciones residuales superiores a las 3 pulgadas.

9 Referencias

1. FORD Argentina SA, Boletín Electrónico de Servicio N° 346, Septiembre 2.006
2. Grzebieta, R, Friedman D, Bozzini S, Shipp C, Jama H. "Retrofitting for Rollover Crashworthiness Occupant Protection". Proceedings Road Safety Research, Policing and Education Conference, Sydney, Australia, 2009
3. Brambati G, De Jorge H (Febrero 2.001). "Informe Técnico: Jaulas Internas y Barras Externas (Antivuelco)". CESVI Argentina.
4. Richardson R. PhD Thesis "Performance Criteria for Effective Structural Rollover Protective System for Light Passenger Vehicles". Monash University. Victoria, Australia. 2.009
5. IIHS www.iihs.org/research/qanda/rollover.html
6. Friedman D, Grzebieta R. "Vehicle Roof Geometry and its Effects on Rollover Roof Performance". 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 2.009
7. Grzebieta R, McIntosh A, Bambach M. "How Stronger Roof Prevent Diving Injuries in Rollover Crashes".
8. www.nhtsa.gov/cars/rules/rulings/roll_resistance
9. NHTSA Technical Report "Trends in the Static Stability Factor of Passenger Cars, Light Trucks and Vans", Junio 2.005
10. NHTSA Technical Report."A Comprehensive Experimental Evaluation of Tests Maneuvers that may Induce On-Road, Untripped Light Vehicle Rollover". DOT HS 809 513. Octubre 2.002
11. CESVI. "Las Pick Up están comprometidas" Revista Crash Test, Noviembre 2.008
12. OGP."Land Transportation Safety Recommended Practice". Reporte N° 365, Versión 1.1, Julio 2.011.
13. Norma YPF 400-NO090LG.AR. "Gestión integral de Vehículos". Revisión 0
14. Departamento de Flotas Safety Devices
15. Richardson S. "DVE Presentation on Swan ROPS and Crashed Vehicles".
16. Video
17. Bozzini S, Jimenez J, Mattos G, Grzebieta R, Paver J. "Commercial, Police and Military Vehicle Rollover Protection and Evaluating the Effectiveness of Geometry and Retrofit Rollover Testing".
18. www.safeteyei.com
19. Bozzini S, Jimenez J, Grzebieta R, Friedman D. "ROLLOVER PROTECTION- a Meaningful & Effective Solution". Society of Petroleum Engineers, ESP 127231, 2.010

Otras Fuentes consultadas

- Página oficial de la NHTSA <http://www.nhtsa.gov>
- Página oficial de la ANCAP <http://www.ancap.com.au>
- Página oficial de la OGP <http://www.ogp.org.uk/>
- Página oficial del CESVI <http://www.cesvi.com.ar/>
- Página oficial del FMVSS <http://www.fmvss.com/>
- Manage Logistic Road Transportation HSE Shell, EP 2005-0261
- ISO 3888-2 http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=57253

Abreviaturas

ANCAP: Australian New Car Assessment Program
CESVI: Centro de Experimentación y Seguridad Vial (Argentina)
CfIR: Center for Injury Research (EEUU)
EuroNCAP: European New Car Assessment Program (UE)
FEA: Finite Element Analysis
FMVSS: Federal Motor Vehicle Safety Standard (EEUU)
FORS: Federal Office for Road Safety (Australia)
IDM: Ingeniería de Mantenimiento
IDT: Inverted Drop Test
IIHS: Insurance Institute for Highway Safety (EEUU)
JRS: Jordan Rollover System
LWR: Load to Wight Ratio
MIRA: Motor Industry Research Association (Inglaterra)
NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration (EEUU)
OGP: International Association of Oil & Gas Producers
ROPS: Rollover Protection System
SSF: Static Stability Factor
SSPP: Servicios Petroleros
SWR: Strength to Weight Ratio
SyMA: Seguridad y Medio Ambiente
UN: Unidad de Negocios