



Modelado de las pruebas de estabilidad en montacargas según la norma internacional ISO 22915

Modeling of forklift stability tests according to international standard ISO 22915

Jaime González - Albiza^{1,*}, Armando Delgado - Callejo^{II}

I. Empresa Cubana de Equipos Médicos, ICEM. La Habana, Cuba.

II. Empresa de Servicios y Comercialización de Equipos Automotores y Manipulación de Cargas, MONCAR, GESIME. La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: jaimeglezalbiza@gmail.com

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](#)



Recibido: 4 de julio de 2024

Aceptado: 12 de agosto de 2024

Resumen

Los montacargas son propensos a accidentes por pérdida de estabilidad. El objetivo de esta investigación fue evaluar la estabilidad del montacargas MCD25 cumpliendo con la norma ISO 22915 *Industrial trucks — Verification of stability*. Como alternativa a las pruebas experimentales, se realizó la simulación dinámica multicuerpos, trazándose el objetivo de: obtener y verificar un modelo para evaluar la estabilidad del montacargas MCD25 mediante la modelación y simulación de las pruebas de estabilidad según la norma ISO 22915-2. Empleando la modelación y simulación multicuerpos, se

implementó el modelo y las pruebas según las condiciones estipuladas en la norma. Se modeló 3D el MCD25 para así estimar su centro de gravedad y el ángulo de pérdida de estabilidad. Al comparar con los valores estipulados en la norma se determina que el montacargas MCD25 es estable de acuerdo a la norma ISO 22915.

Palabras claves: estabilidad de montacargas, pruebas de estabilidad usando ISO 22915, simulación dinámica multicuerpos.

Abstract

Forklifts are prone to accidents due to loss of stability. The objective this research was to evaluate the stability of the MCD25 forklift in compliance with the ISO 22915 *Industrial trucks — Verification stability standard*. As an alternative to experimental tests, multibody dynamic simulation was performed, with the objective of: obtaining and verifying a model to evaluate the stability of the MCD25 forklift by modeling and simulating the stability tests according to the ISO 22915-2 standard. Using multibody modeling and

simulation, the model and tests were implemented according to the conditions stipulated in the standard. The MCD25 was modeled in 3D to estimate its center of gravity and the angle of loss stability. When compared with the values stipulated in the standard, it is determined that the MCD25 forklift is stable according to the ISO 22915 standard.

Key words: forklift stability, stability testing using ISO 22915, multibody dynamic simulation.

Cómo citar este artículo, norma Vancouver:

González Albiza J, Delgado Callejo A. Modelado de las pruebas de estabilidad de montacargas según la norma internacional ISO 22915. Ingeniería Mecánica. 2024;27(3):e701.

1. Introducción

Durante la operación de los montacargas ocurren accidentes que llegan a ser graves para el operario, peatones y cargas, estando la pérdida de estabilidad (vuelco) entre los principales. Una de las exigencias internacionales a los fabricantes es evaluar experimentalmente la estabilidad de cada montacargas fabricado en una plataforma de inclinación, según la norma ISO 22915-2 *Industrial trucks - Verification of stability-Part 2: Counterbalanced trucks with mas*. Dicha norma establece cuatro pruebas que deben ser aprobadas por el prototipo, certificándolo para su empleo industrial.

La estabilidad estática o dinámica puede evaluarse experimental, pero requiere de una instalación experimental y solo pueden ser realizada a partir de un prototipo físico del montacargas. Una alternativa es la evaluación teórica mediante la modelación y simulación, en el año 2011 Lemerle, et al [1] y en el 2014 Hogg [2], desarrollan y validan modelos multicuerpos de montacargas para estudiar la estabilidad dinámica lateral durante los giros en esquinas, evidenciando la efectividad de los modelos para predecir la estabilidad dinámica lateral. Uno de los aspectos importantes que influyen en la estabilidad son los neumáticos, estos son estudiados en el

año 2017 por Stepanyuk, et al [3], obteniendo un modelo y los parámetros que caracterizan los neumáticos para evaluar su influencia en la estabilidad. En el modelo de tres grados de libertad propuesto por Huang 2019 [4], se puede evaluar la mejora de la estabilidad a partir de emplear un sistema de dirección por cable (*steer-by-wire*), desarrollando además el control automático para su aplicación.

En el año 2020 Gardella y Martini [5], realizan la modelación y validación de las pruebas 1 y 3 de la norma ISO-22915-2 con excelentes resultados, considerando en su modelo aspectos como la elasticidad de los neumáticos y la torre con una carga de prueba. En el año 2020 Khadim, et al [6] orientado al desarrollo de un simulador para integrar al operario desde la etapa de diseño del montacargas, obtienen un modelo en tiempo real de la operación de un montacargas, incluyendo su sistema hidráulico. Para evaluar la respuesta dinámica de un montacargas en el año 2020 Martini [7], desarrolló un modelo multicuerpos en el programa MSC ADAMS, mediante el que estudia la respuesta dinámica al cruce de un obstáculo en el pavimento. El desplazamiento de la carga durante su traslado puede ser una fuente de inestabilidad, en el año 2020 Zhang [9] propone un modelo para su evaluación durante la operación del montacargas. El empleo en los montacargas de la tecnología *Automated Guided Vehicle*, AGV, implica desarrollar un modelo que reproduzca el comportamiento del montacargas en especial su estabilidad, cuestión que aborda en el año 2021 Yan [9].

Una dirección del estudio de la estabilidad mediante modelos, está dirigida a desarrollar sistemas de control automático de la estabilidad estática o dinámica [10-12], estos sistemas activan medidas o alertan al operario ante la pérdida inminente de estabilidad. Los montacargas emplean aditamentos para trabajos específicos que varían sus límites de estabilidad, en el año 2023 Vita y Gattamelata [13] proponen y validan un método analítico para evaluar la estabilidad del montacarga con el aditamento incorporado, la metodología es efectiva, pero presupone que el montacargas era estable inicialmente sin el dispositivo. Un multimodelo es propuesto por Xia, et al [14] en el año 2023, la información de varios modelos se fusiona para predecir la posición del centro de masas del montacargas y con ello su estabilidad, la predicción se realiza con un error inferior al 5 %. Los antecedentes presentados, evidencian la utilidad de la modelación aplicada al estudio de la estabilidad de los montacargas, la predicción de su comportamiento estático y dinámico, así como el desarrollo de sistemas de control para la ayuda al operario o incluso la operación autónoma, pero solo Gardella y Martini [5] modelan dos de las cuatro pruebas de la norma ISO-22915-2, quedando las pruebas 2 y 4 sin evaluar.

Lo anterior fundamenta la carencia de un estudio mediante modelos de las cuatro pruebas de estabilidad de la norma ISO-22915-2, el modelo puede ser útil durante la etapa de diseño y como complemento a la vía experimental. Por lo anterior se planteó el objetivo siguiente: obtener y verificar un modelo para evaluar la estabilidad del montacargas MCD25 mediante la modelación y simulación de las pruebas de estabilidad según la norma ISO 22915-2. El modelo se implementó en un software de modelado de CAD 3D, dentro de su ambiente *Dynamic Simulation*, partiendo del modelo geométrico 3D e informaciones de catálogos. La modelación permite desde la etapa de diseño estimar el Centro de Gravedad y evaluar preliminarmente su efecto sobre el Ángulo de Pérdida de Estabilidad del montacargas MCD25 mediante la norma referenciada. Durante el modelado no se consideraron la elasticidad de los neumáticos y la torre, así como holguras entre sus elementos, estos aspectos influyen en la estabilidad, pero en una primera aproximación pueden ser despreciados.

La obtención de un modelo 3D y la simulación de las pruebas de estabilidad del montacargas MCD25 según la norma ISO-22915-2, fue el principal resultado del trabajo. Concluyendo que cumple con la evaluación teórica, aunque se requiere perfeccionar los modelos y/o evaluar experimentalmente la estabilidad del montacargas para su certificación.

2. Métodos y Materiales

2.1. Modelación y simulación dinámica multicuerpo de las pruebas de estabilidad

En la investigación se aplicó el método de modelación y simulación, específicamente la de sistemas multicuerpos. Empleando un software de modelado de la dinámica de sistemas multicuerpos como plataforma para implementar el modelo, correr las simulaciones y procesar los resultados. La modelación matemática en el estudio de la estabilidad de los montacargas ha empleado métodos analíticos y numéricos, orientados a resolver problemas del control automático para mejorar la seguridad de operación (estabilidad dinámica) o crear equipos autónomos [9]. La modelación de la estabilidad estática o las pruebas de la ISO 22915-2 tienen antecedentes recientes en el modelo analítico de Kim [15], que relacionó los parámetros geométricos y las pruebas previstas en la norma.

La modelación computacional de las pruebas, empleando herramientas de Simulación Dinámica Multicuerpos (SDM), han evaluado la estabilidad durante la etapa de diseño y para mejorar la seguridad de las pruebas. La funcionalidad del modelo que se propuso en esta investigación, permite el análisis de las pruebas de forma similar al modelo de Gardella [5], realizando las dos pruebas faltantes no abordadas en esa investigación. No se incorporó en el modelo las elasticidades y holguras del sistema, debido a que no se dispuso de la información y medios para caracterizar esos efectos, siendo además de segunda importancia, dado que la estabilidad estática del montacargas es dominada por las masas y su posición, factores que si permitió evaluar el modelo.

2.2. Montacargas MCD25

El montacargas diésel de 2,5 toneladas MCD25 basado en el similar chino CPCD25, fue diseñado en la industria nacional con la excepción de aquellos componentes que no podían producirse en Cuba. El montacargas MCD25 fue el material de estudio de la investigación, a partir de su información de diseño y la caracterización del prototipo fabricado y componentes importados. Las características técnicas del montacargas de interés en el estudio son: capacidad de 2500 kg, distancia estándar del centro de carga 500 mm, distancia entre ejes 1600 mm y altura máxima de elevación de las horquillas con carga 3000 mm.

2.3. Estabilidad de los montacargas según la ISO 22915-2

Las pruebas requeridas por la norma ISO 22915-2 son estáticas, pero permiten evaluar la estabilidad longitudinal/lateral estática y parcialmente la estabilidad lateral dinámica mediante una prueba equivalente al giro del montacargas. Durante las cuatro pruebas del montacargas cargado/descargado con la masa de prueba, en cada caso el montacargas debe mantenerse estable hasta el valor de inclinación establecido en la norma, la tabla 1 muestra cada prueba y el Ángulo de Pérdida de Estabilidad mínimo en cada caso.

Tabla 1. Criterios para cada prueba de estabilidad establecidos en la norma ISO 22915-2. Fuente: ISO 22915-2

Criterio	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Posición del montacargas en la plataforma	Longitudinal  X-Y	Longitudinal  X-Y	Lateral  X-Y	Lateral  X-Y
Altura de horquillas	Máxima	Mínima (300 mm)	Máxima	Mínima (300 mm)
Ángulo de Torre	0° / Vertical	- 6° / Atrás	- 6° / Atrás	- 6° / Atrás
Ángulo de Pérdida de Estabilidad (para sistema con masa $\geq$ 5000 kg)	3,5 % = 2,00°	18 % = 10,20°	6 % = 3,43°	40 % = 21,80°

2.4. Modelado geométrico del montacargas

Para caracterizar los agregados importados (torre, motor, puentes delantero y trasero), de los cuales no se contaba con información de diseño, se realizaron mediciones y el posterior modelado 3D. El modelo 3D de la torre se realizó con el movimiento relativo de sus componentes (mástil exterior, mástil interior, mástil medio, porta horquillas y horquillas). Para los elementos restantes, modelados previamente, se verificaron sus medidas respecto a un MCD25 producido, se realizaron ajustes menores y finalmente el ensamble completo. Para el objetivo del estudio se agruparon los elementos en las partes siguientes: Torre, Chasis, Contrapeso y Componentes Varios. Agrupando los de mayor incertidumbre en cuanto a sus masas y geometría en Componentes Varios. A partir del modelo geométrico 3D del montacargas MCD25, se estimaron las propiedades geométrico-másicas: centro de masas y momentos de inercia.

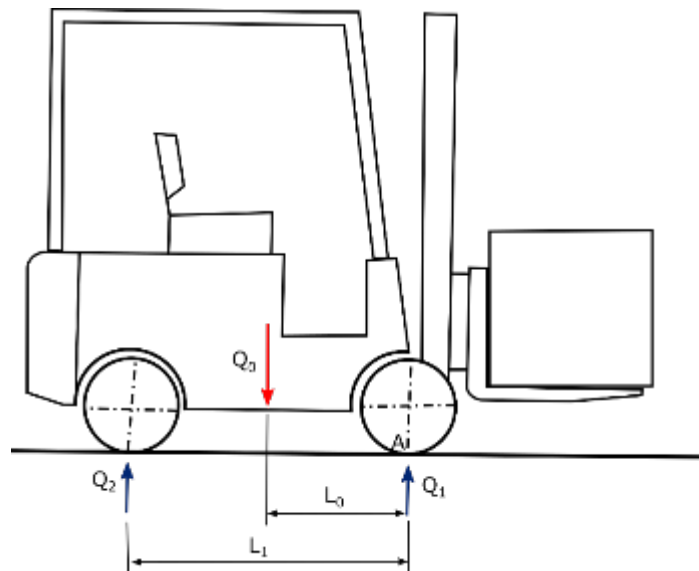
2.5. Calibración y verificación geométrico-másica del modelo 3D

Debido a la aproximación geométrica y a que se desconoce la densidad de los materiales de los componentes importados y/o fabricados, fue necesario calibrar la masa de las partes del modelo 3D del MCD25. La geometría y masa de la Torre se conoce por el embalaje, mientras el Chasis y Contrapeso se conocen con precisión, dado que fueron diseñados y pesados los prototipos fabricados. En Componentes Varios están agrupados los elementos importados que no fueron modelados en detalle o se desconoce la masa individual: motor, transmisión, sistema hidráulico, puente delantero, puente trasero y otros. Estos fueron asumidos iguales a los del montacargas HELI CPCD25, debido a que fueron adquiridos como elementos de recambio para ese modelo de montacargas al proveedor original. Partiendo de la información del catálogo del proveedor se estimó su masa y el valor fue asumido igual para el montacargas MCD25, los valores de masa de cada parte se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de las masas de los agregados principales del MCD25 y CPCD25. Fuente: autores

Partes	MONCAR MCD25	HELI CPCD25	Observación
	Masa (kg)		
Masa de Prueba, M	2500	2500	Carga nominal del montacargas
Masa del montacargas, M_0	-	3680*	Descargado
	-	6180	Cargado = Descargado + M
Masa de la Torre, M_t	915	915**	Dato de embalaje
Masa de las Horquillas, M_h	120	120**	Cada horquilla 60 kg (dato de embalaje)
Masa de la Torre & Horquillas con Masa de Prueba, M_{th}	1035	1035	$M_{th} = M_t + M_h + M$
Masa del Chasis, M_{ch}	475	491	Determinado en balanza industrial
Masa del Contrapeso, M_{cp}	1365	1200	Determinado en balanza industrial
Masa de Componentes Varios, M_{cv}	954***	954	$M_{cv} = M_0 - M_{th} - M_{ch} - M_{cp}$
* Catálogo Forklift Heli Engine Powered 2 – 3 t, ANHUI HELI Machinery IMP & EXP.COLTD., China, 2014.			
** Asumido igual al tomado del embalaje de torres importadas, por ser de igual proveedor, la empresa china Heli.			
*** Asumido igual al determinado en los datos del montacargas CPCD25, dado que incluye elementos similares y de igual proveedor.			

Dada la similitud geométrica de la Torre, Chasis, Contrapeso y Componentes Varios del CPCD25 con el MCD25, se asumen iguales las coordenadas de los centros de masa. La masa de la Torre y Componentes Varios se asume igual en ambos, la diferencias en la masa del Chasis es pequeña y el Contrapeso del MCD25 es más pesado que el CPCD25. Pero las diferencias son pequeñas considerando la masa total de los montacargas cargados, fundamentando asumir valores iguales de las propiedades geométrico-másicas de ambos montacargas. Como criterio preliminar de verificación, se toma la distancia desde el centro de masas del montacargas cargado hasta la línea de apoyo de las ruedas delanteras L_0 , determinado para el MCD25 a partir del modelo 3D calibrado, mientras que el CPCD25 se analiza mediante el modelo de equilibrio representado en la figura 1.

**Fig. 1.** Esquema de fuerzas en el montacargas cargado. Fuente: autores

Aplicando la ecuación de equilibrio estático, suma de momentos respecto al punto A en el esquema del montacargas cargado de la figura 1, se obtiene la ecuación (1):

$$\circlearrowleft + \Sigma M_A = Q_2 L_1 - Q_0 L_0 = 0 \quad (1)$$

Resolviendo la ecuación (1) para L_0 , se obtiene la ecuación (2) para su cálculo:

$$L_0 = \frac{Q_2}{Q_0} L_1 \quad (2)$$

Donde:

Q_1, Q_2 : reacciones en el puente delantero y trasero, N

Q_0 : peso del montacargas cargado, N

L_1 : distancia longitudinal entre ruedas, mm

L_0 : brazo del peso respecto al puente delantero, mm

Cuando está cargado el CPCD25, según el catálogo del fabricante:

$Q_0 = 6180 \text{ kgf} = 60605 \text{ N}$

$Q_1 = 5562 \text{ kgf} = 54545 \text{ N}$

$Q_2 = 618 \text{ kgf} = 6061 \text{ N}$

$L_1 = 1600 \text{ mm}$

Sustituyendo los valores en la ecuación (2): $L_0 = 160 \text{ mm}$.

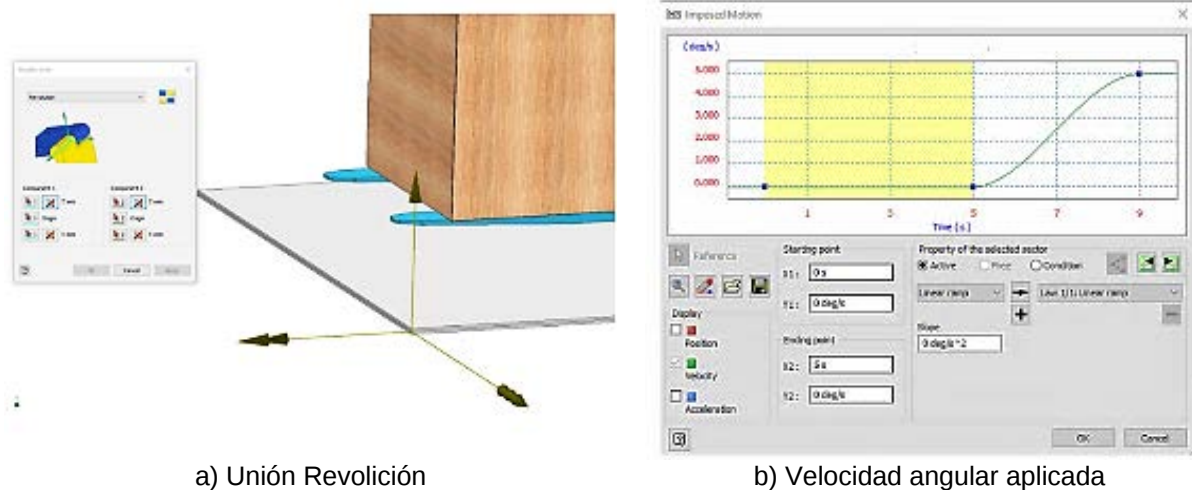
El valor para el modelo 3D del MCD25 es $L_0 = 142 \text{ mm}$, que respecto al $L_0 = 160 \text{ mm}$ del CPCD25 es un 13 % menor. Otro elemento a considerar es la masa del montacargas cargado, en el modelo 3D del MCD25 es $M_0 = 6228 \text{ kg}$ y el CPCD25 es $M_0 = 6180 \text{ kg}$, un 1 % de diferencia. Las diferencias obtenidas se consideran aceptables para el propósito de verificar preliminarmente el modelo.

2.6. Modelado de la plataforma de pruebas

Para realizar la simulación de las pruebas de estabilidad según la norma ISO 22915-2, las pruebas se dividen en 2 grupos: longitudinales y laterales. Para la simulación de las pruebas de estabilidad se asumen las siguientes condiciones:

- Los parámetros físicos del montacargas, como la holgura de la torre y la elasticidad y rigidez de los neumáticos, se descartan para así no sobrecargar el modelo y la simulación.
- El modelo de cada prueba estará compuesto por el modelo del MCD25, una plancha que representa el terreno sobre el que está apoyada la plataforma y una plancha que representa la plataforma de inclinación.

La plataforma gira sobre un eje, variando su inclinación durante la prueba, modelada mediante una unión en revolución, ya que permite representar el movimiento de rotación, pero sin traslación, cómo se muestra en la figura 2a. Al seleccionar esa unión se limitan los movimientos en ese par cinemático, para cambiar su inclinación se activó la opción de imponer movimiento. La ley de movimiento se muestra en la figura 2b, especificando valores en una gráfica de velocidad contra tiempo para un movimiento suave.



a) Unión Revolución

b) Velocidad angular aplicada

Fig. 2. Unión de revolución Plataforma-Suelo. Fuente: autores

2.7. Pruebas Longitudinales

Para las pruebas 1 y 2 se utilizaron dos modelos con los mismos pares cinemáticos, ya que en ambas pruebas el montacargas mantiene su posición con respecto a la plataforma, solo cambia la elevación de las horquillas y la inclinación del mástil, cómo se mostró en la tabla 1.

Rueda Delantera Derecha-Plataforma y Rueda Delantera Izquierda-Plataforma: se utiliza la unión punto-línea, ya que permite limitar los movimientos de traslación, para así representar la situación en la que las ruedas están detenidas y permite la rotación respecto a la línea que une los puntos de contacto de cada rueda delantera con la plataforma, estos puntos de pivote se representan en la figura 3a.

Ruedas Traseras-Plataforma: se utiliza el contacto 2D como se ilustra en la figura 3b, para modelar el contacto entre las ruedas traseras y la plataforma, impide que las ruedas penetren la plataforma, pero permite que puedan separarse de la misma cuando llega al punto de pérdida de estabilidad, identificado como el ángulo de inclinación φ para el que la reacción toma valor cero $Q_2 = 0 \text{ N}$.

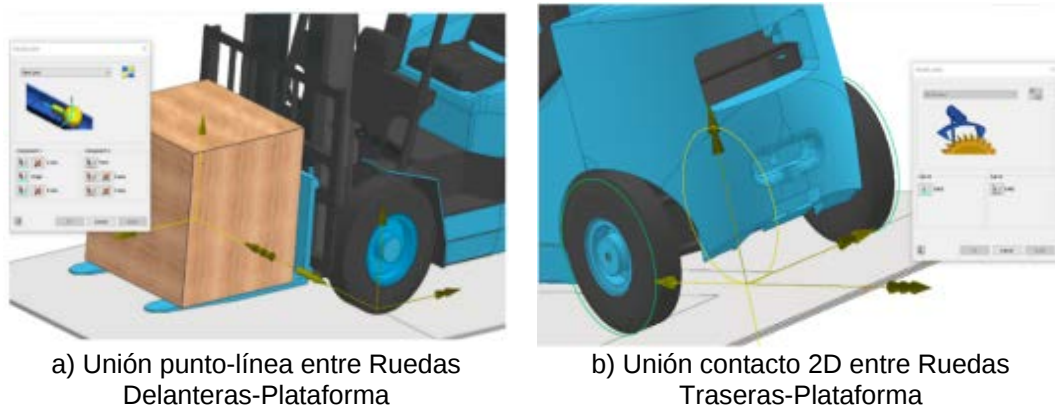


Fig. 3. Uniones para las pruebas longitudinales. Fuente: autores

2.8. Pruebas Laterales

Para las pruebas 3 y 4 se utilizaron dos modelos con los mismos pares cinemáticos, ya que ambas pruebas representan la misma posición del montacargas con respecto a la plataforma, solo cambia la elevación de las horquillas y si está cargado o descargado el montacargas, según la tabla 1.

Rueda Delantera Derecha-Plataforma y Rueda Trasera Derecha-Plataforma: se utiliza la unión punto-línea, ya que permite limitar los movimientos de traslación, para así representar la situación en la que las ruedas están completamente detenidas y permite la rotación respecto a la línea que une los puntos de contacto de la rueda delantera y trasera derechas con la plataforma, estos puntos de pivote se representan en la figura 4a.

Rueda Delantera Izquierda-Plataforma: se utiliza el contacto 2D como se ilustra en la figura 4b, para modelar el contacto entre las ruedas traseras y la plataforma, impide que las ruedas penetren la plataforma, pero permite que puedan separarse de la misma cuando llega al punto de pérdida de estabilidad, identificado como el ángulo de inclinación ϕ para el que la reacción toma valor cero $Q_1 = 0$ N.

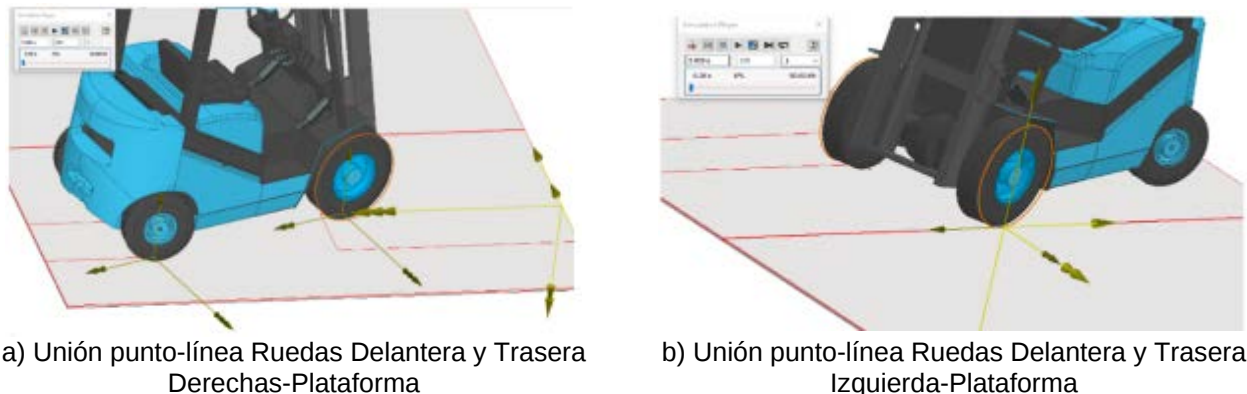


Fig. 4. Uniones para las pruebas laterales. Fuente: autores

3. Resultados y Discusión

Para simular la Prueba #1 según la norma ISO 22915-2, se modelan las condiciones estipuladas en la tabla 1. Se utiliza el modelo para las pruebas longitudinales y se posiciona el MCD25 en la plataforma de prueba. De manera similar se realiza para la Prueba #2, variando la posición de la torre y la carga como se ilustra en la tabla 1, el resto de las condiciones son iguales que para la Prueba #1.

Para simular la Prueba #3 y Prueba #4 según la norma ISO 22915-2 se modelan las condiciones correspondientes. Se utiliza las condiciones para las pruebas laterales y se posiciona el MCD25 en la plataforma de prueba. El Ángulo de Pérdida de Estabilidad se resume y compara con la ISO-22915-2 en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de Ángulo de Pérdida de Estabilidad. Fuente: autores

Ángulo de Pérdida de Estabilidad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
ISO 22915-2	2,00°	10,20°	3,43°	21,80°
Simulación	4,73°	18,05°	9,75°	34,64°

Por una parte los resultados al incluir las cuatro pruebas previstas en la norma ISO-22915-2 son más completos que los de Gardella y Martini [4], pero al no incorporar otros parámetros que inciden en la estabilidad, es un modelo más simple y permite la evaluación preliminar. El modelo predice reserva de estabilidad del

montacargas MCD25 en todas las pruebas, indicando su posible certificación para el empleo industrial. Estos resultados no pueden tomarse como definitivos, por la incertidumbre del modelo en cuanto a los Componentes Varios y la no consideración de las elasticidades y holguras en las uniones, pero permite simular las pruebas y obtener una estimación preliminar durante el diseño y cuando se dispone de los sólidos 3D.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permitieron validar la metodología y el modelo implementado, tanto geométrico 3D como simulación multicuerpos, para predecir la estabilidad del montacargas MCD25 según la norma ISO 22915-2. El procedimiento se puede integrar principalmente durante la etapa de diseño conceptual y detallado de montacargas, permitiendo realizar análisis paramétricos del diseño y evaluación virtual de la estabilidad del montacargas desde etapas tempranas y antes de la fabricación del prototipo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal técnico y directivo de la empresa MONCAR, en especial al Director de Desarrollo Ing. Juan Ramón Fernández García, por permitir el acceso a la información necesaria para realizar esta investigación.

Referencias

1. Lemerle P, Höppner O, Rebelle J. Dynamic stability of forklift trucks in cornering situations: parametrical analysis using a driving simulator. *Vehicle system dynamics*. 2011;49(10):1673-93. DOI: 10.1080/00423114.2010.532557.
2. Hogg JA. Development of a multibody dynamics based simulation of a lift-truck in a high speed turn to evaluate dynamic lateral stability. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*. 2015;8:332-42. DOI: <https://doi.org/10.4271/2015-01-2752>
3. Stepanyuk S, Bruns R, Krivenkov K. Empirical lateral-force-model for forklift tires. *Logist Res*. 2017;10(1):1-12. DOI: 10.23773/2017_1.
4. Huang J, Xiao B. Variable steering ratio design and handling stability research for steer-by-wire forklift. *Advances in Mechanical Engineering*. 2019;11(3):1687814018822898. DOI: 10.1177/1687814018822898.
5. Gardella M, Martini A. Multibody models and simulations to assess the stability of counterbalance forklift trucks. In: *Multibody Dynamics 2019. Proceedings of the 9th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics*. Springer International Publishing; 2020 [Citado el: 2 de abril de 2024] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23132-3_63
6. Khadim Q, Kaikko EP, Puolatie E, Mikkola A. Targeting the user experience in the development of mobile machinery using real-time multibody simulation. *Advances in Mechanical Engineering*. 2020;12(6):1687814020923176. DOI: 10.1177/1687814020923176.
7. Martini A, Bonelli GP, Rivola A. Virtual testing of counterbalance forklift trucks: Implementation and experimental validation of a numerical multibody model. *Machines*. 2020;8(2):26. DOI: 10.3390/machines8020026.
8. Zhang Z, Xiao B. The influence of cargo moving and sliding mode control strategy for forklift. *IEEE Access*. 2020;8:16637-46. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2968372.
9. Yan W, Fang J, Chu W, Fu Z, Zhu S. Dynamic and Static Analysis of a AGV Forklift. In: *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1875/1/012006.
10. Xia G, Li J, Tang X, Zhao L, Sun B. Layered control of forklift lateral stability based on Takagi–Sugenofuzzy neural network. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2021 May;235(6):1767-80. DOI: 10.1177/0954407020969495.
11. Zhang Y, Xia G, Tang X, Zhao L, Sun B. Variable universe fuzzy control of the lateral stability of forklift trucks based on roll grading. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2022;236(2-3):253-67. DOI: 10.1177/09544070211029233.
12. Xia G, Li J, Tang X, Zhang Y, Zhao L, Wang S. Anti-Rollover Control of a Counterbalance Forklift Based on Roll Energy Classification. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2022;236(11):5796-5814. DOI: 10.1177/09544062211065311.
13. Vita L, Gattamelata D. Analytical method for assessing stability of a counterbalanced forklift truck assembled with interchangeable equipment. *Applied Sciences*. 2023;13(2):1206. DOI: 10.3390/app13021206.
14. Xia G, Zhang C, Tang X, Zhang Y, Zhao L. Center of gravity position estimation of counterbalanced forklift truck based on multi model data fusion. *International journal of automotive technology*. 2023;24(5):1335-47. DOI: 10.1007/s12239-023-0108-4.
15. Kim JB, Shin W, Park JH. Stability analysis of counterbalanced forklift trucks. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2015;30(2):1-8. DOI: 10.14346/JKOSOS.2015.30.2.1.

Editores:

Alberto Julio Rodríguez Piñeiro, Armando Díaz Concepción.
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Jaime González Albiza. <https://orcid.org/0000-0003-1561-0218>

Diseñó el tema investigación y su dirección metodológica, contribuyó a definir aspectos de la modelación multicuerpos. Participó en la búsqueda de información, en el diseño de la investigación, en la recolección de los datos, análisis de los resultados y en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del informe final.

Armando Delgado Callejo. <https://orcid.org/0009-0007-9693-1182>

Ejecutó el modelado geométrico 3D del montacargas y realizó las corridas del modelo multicuerpos. Participó en la búsqueda de información, en la recolección de los datos, análisis de los resultados y en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del informe final.

