



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

SELECCIÓN DE INSTRUMENTACION PARA PRUEBAS DE HOMOLOGACIÓN DE SISTEMAS DE FRENO

Cruz, Camilo J., Sierra, Juan C.*, Muñoz, Luis E.

Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de los Andes

Carrera 1 Este # 19-40, Bogotá, Bogotá, D.C., Colombia

* correo-e: jc.sierra521@uniandes.edu.co

RESUMEN

Desde 2011 el gobierno colombiano cuenta con un nuevo reglamento técnico de frenos [1]. Dicho reglamento normaliza los sistemas de frenos utilizados en vehículos automotores importados, fabricados o comercializados en Colombia. Como parte de la armonización de normas se permite la homologación de diversos estándares internacionales, incluidos entre otros, los estándares norteamericanos, europeos y australianos. En cualquiera de estos casos, la evaluación final del sistema implica el desarrollo de pruebas de frenado sobre el vehículo de interés.

Este trabajo se concentra en seleccionar la instrumentación adecuada para el desarrollo de las pruebas que permiten evaluar el desempeño de los sistemas de frenos. Dentro de las alternativas consideradas para la adquisición de las variables cinemáticas se evaluó el uso de dos instrumentos diferentes: receptor GPS de altas prestaciones y sensor óptico de velocidad. Como criterio cuantitativo de evaluación se consideró la incertidumbre de la variable de aceptación (aceleración) propagada a partir de las variables de medición, según los esquemas de instrumentación y procesamiento implementados. Como criterio cualitativo se consideró la complejidad de la instrumentación, los requerimientos alrededor de la etapa de adquisición de datos y la alimentación de los diversos instrumentos. La evaluación se realizó teniendo en cuenta tanto las especificaciones técnicas de cada instrumento como los resultados de diversas pruebas piloto desarrolladas con las diferentes combinaciones de instrumentos.

Adicional a la metodología propuesta y su aplicación en el caso de estudio concreto, se obtuvo como resultado una composición y configuración tentativa de la instrumentación final para las pruebas deseadas.

Palabras Claves: *Desempeño de Frenado, Instrumentación de Vehículos, Adquisición de Señales, Protocolo de Pruebas*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de normas y estándares para la fabricación de productos es cada vez más común, dado que facilita el aseguramiento de calidad de cada etapa de producción, generando así confianza en el público consumidor al momento de usar los productos. En un campo más específico, el sector de las autopartes y los vehículos es líder en normalización, buscando garantizar la calidad, integridad y el correcto funcionamiento tanto de sistemas como de subsistemas, entre otros objetivos.

La industria de autopartes y afines es una de las más grandes en Colombia, ya que representa el 4% del PIB industrial y corresponde al 2,5% del empleo nacional [2]. Además de esta participación industrial, al país se importaron 193 mil vehículos durante el año 2013 [3]. Considerando la necesidad de un mejoramiento continuo en temas como la seguridad vial, el Ministerio de Industria y Comercio de Colombia, en la resolución 4983 del 13 de Diciembre de 2011 emitió el "reglamento técnico aplicable a sistemas de frenos o sus componentes para uso en vehículos automotores o en sus remolques, que se importen o se fabriquen nacionalmente para su uso o comercialización en Colombia"(RTF) [1]. En este reglamento se pueden observar referenciadas las distintas normas técnicas colombianas, aplicadas a cada uno de los componentes del sistema de frenos y su método de evaluación de conformidad aplicado al ensayo de estos. Adicional a esta evaluación de componentes, para la evaluación general del desempeño de los sistemas de frenos, el RTF hace referencia a un conjunto de posibles normas internacionales homologables en Colombia, que se muestran en la Figura 1. Se consideran como homologables los estándares provenientes de EE.UU (FMVSS), Canadá (CMVSS), Unión Europea (ECE R), Australia (ADR), China (GB) y Japón (JASIC).

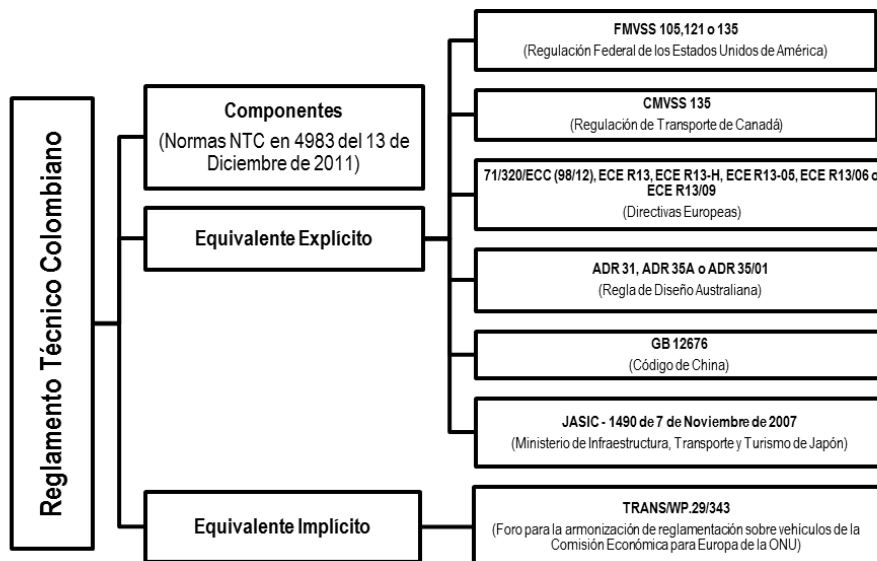


Figura 1. Esquema de equivalencias homologables en Colombia [1].



1.1. Antecedentes

Los vehículos terrestres y en particular sus sistemas de frenos son complejos, dicha complejidad se evidencia incluso en la etapa experimental. Además de múltiples estándares asociados a sistemas de frenos, cada estudio experimental se enfoca en un requerimiento particular y esto conlleva a un proceso de selección de instrumentación. Un ejemplo de ello se encuentra en [4], donde se presenta la instrumentación para un caso cinemático concreto en vehículos de carreras. Si el esquema de evaluación se amplía, se pueden involucrar otras características de los sistemas, como por ejemplo el desarrollo de pruebas térmicas sobre los frenos [5], o como la evaluación de los sistemas de seguridad de camiones [6].

Concentrándose en las pruebas de sistemas de frenos, el primer elemento a resaltar es la necesidad de realizar pruebas tanto cualitativas como cuantitativas [7]: la naturaleza de las mismas las hace complementarias, aunque cada vez más se prefieren las pruebas cuantitativas, se siguen utilizando múltiples pruebas basadas en la observación de un perito experto. Este trabajo se concentra en el caso de las pruebas cuantitativas, al estar estas basadas en la medición de variables físicas del desempeño. En particular, se presta atención a la selección de instrumentación para la evaluación de desempeño del sistema [8, 9]. Esta evaluación como sistema normalmente se combina con la evaluación de cumplimiento de requerimientos sobre los componentes, pero este trabajo se concentra en la evaluación del desempeño del sistema.

Al observar el panorama general de las pruebas de frenado se identifica que se requieren dos grandes grupos de mediciones: un primer grupo, enfocado en la limitación de condiciones externas que pueden afectar la prueba, y un segundo grupo enfocado a la evaluación del desempeño del vehículo ante diversos escenarios. Para el primer grupo se requiere la medición de variables de control como velocidad del viento, temperatura de superficies de freno, entre otras. En el segundo se incluyen variables dinámicas tales como velocidad del vehículo, distancia de frenado, desaceleración promedio, fuerza sobre el pedal y tiempo de frenado. Dado que las variables del primero grupo buscan evitar la afectación de los escenarios de prueba, los requerimientos de medición suelen ser más amplios, con lo cual la selección de los instrumentos para la medición de dichas variables resulta más simple. Considerando que los requisitos para la medición de las variables del segundo grupo suelen ser más exigentes se concentró la atención a la selección de la instrumentación necesaria para dicho grupo, concentrándose fundamentalmente en la instrumentación que permita la medición de las variables cinemáticas del vehículo.

En diversos trabajos se utiliza la incertidumbre como criterio para la selección de instrumentos de medición [10, 11]. En este trabajo se propone combinar el estimativo de la incertidumbre de medición con las consideraciones logísticas del proceso de instrumentación para definir los instrumentos adecuados. La razón de esta combinación es que se requiere un compromiso



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

entre la precisión de las mediciones y la sencillez de los montajes necesarios para que las pruebas sean realizadas de forma efectiva.

2. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para definir la selección de instrumentos considera dos elementos complementarios. Por un lado, se estimó la incertidumbre de medición de diversos instrumentos, considerando incluso la etapa de procesamiento de los datos obtenidos. Esta parte del estudio contempló tanto el estimativo analítico como el numérico de la incertidumbre de medición. Por otra parte, se evaluó la complejidad logística de cada sistema de medición evaluado, teniendo en cuenta diversas características de cada instrumento. Se evaluaron dos sistemas de medición, considerando la implementación de una prueba concreta de frenado, correspondiente al estándar Australiano ADR 35/01. Este estándar es uno de los aceptados como homologables en Colombia.

2.1. Prueba de frenado

Tras revisar las diversas normas homologables, se decidió escoger como caso de estudio para este trabajo la norma ADR 35/01 [12]. Considerando una hoja de ruta para el desarrollo de pruebas de frenado, la norma ADR 35/01 presenta dos condiciones que la hacen particularmente interesante: en primer lugar, su aplicabilidad contempla la evaluación de los sistemas de frenos en el tipo de vehículos de mayor producción en el mercado colombiano y es flexible en cuanto al tipo de sistema de freno (hidráulico o neumático). En segundo lugar, es una de las normas más compactas, con la ventaja adicional de que los requerimientos planteados por la misma preparan el camino para poder implementar a futuro otras normas, particularmente aquellas que han venido desarrollándose bajo el precepto de armonización internacional buscando llegar a un estándar global. Un esquema de las pruebas requeridas por dicha norma es mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1. Lista de pruebas a realizar según la norma ADR 35/01

Pruebas requeridas por Norma ADR 35/01 sobre freno de servicio					
Vehículo cargado				Vehículo sin carga	
Efectividad	Falla parcial	Efectividad recalentamiento	Frenado instantáneo (Spike stop)	Prueba de efectividad	Falla parcial

Este trabajo se desarrolló tomando como caso concreto la selección de la instrumentación para tres pruebas de la norma ADR 35/01, aplicadas al caso de evaluar un vehículo categoría NC, correspondiente a vehículos de carga pesada. Las tres pruebas son: prueba de efectividad del freno de servicio, prueba en condición de falla parcial del sistema y prueba de efectividad en



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

condición de frenada pico. La prueba de efectividad del freno de servicio consiste en llevar el vehículo a una velocidad de 100 km/h y frenar hasta detener completamente el vehículo, ejerciendo una fuerza sobre el pedal del freno no mayor a 685 N; para considerar que el vehículo aprobó la prueba la desaceleración promedio debe ser mayor a 4.19 m/s^2 . La prueba en condición de falla parcial del sistema consiste en simular diversas fallas del sistema de frenado, y para cada una de las fallas simuladas llevar el vehículo a una velocidad de 40 km/h y frenar hasta detener completamente el vehículo; para considerar que el vehículo aprobó la prueba la desaceleración promedio debe ser mayor a 1.80 m/s^2 . La prueba de efectividad en condición de frenada pico consiste en realizar un procedimiento preparatorio con múltiples frenadas bruscas para luego llevar el vehículo a una velocidad de 40 km/h y frenar hasta detener completamente el vehículo; para considerar que el vehículo aprobó la prueba la desaceleración promedio debe ser mayor a 2.47 m/s^2 . En todas las pruebas seleccionadas se debe respetar el límite para la fuerza aplicada sobre el pedal definidos para la prueba de efectividad del freno de servicio. Este conjunto de pruebas cubre el rango de posibles pruebas de la norma, con lo cual es un conjunto representativo, siendo entonces apropiado para tomarlo como base para seleccionar la instrumentación.

2.2. Instrumentos evaluados

Se evaluaron dos sistemas de medición diferentes, basados en las configuraciones típicamente utilizadas para el desarrollo de pruebas de frenado. Uno de los sistemas de medición, está basado en el uso de un GPS de altas prestaciones, mientras que el otro está basado en el uso de un instrumento de medición óptica de la velocidad por medio del efecto Doppler. En ambos casos se contaba con un conjunto de instrumentos complementarios, compuesto esencialmente por una celda de carga sobre el pedal y un sistema de adquisición de datos.

Dentro de esta selección de opciones iniciales a comparar es necesario resaltar dos hechos. Primero, no se consideró el uso simultáneo de los dos sistemas de medición, puesto que dentro de la complejidad logística se contaría no solo con la suma de las complejidades de los dos sistemas, sino que además se incluiría tanto la necesidad de un disparador o de un reloj común para sincronizar los dos sistemas, como de contar con los sistemas de alimentación de cada sistema, superando los límites máximos de peso destinados a la instrumentación y afectando fuertemente la distribución de la carga dentro del vehículo. El segundo hecho a resaltar es que el uso de acelerómetros como instrumento se descartó por su sensibilidad al cambio de orientación del vehículo (originada por la transferencia de carga), así como por la sensibilidad del acelerómetro a las vibraciones del vehículo durante la prueba, originadas tanto por las irregularidades de la vía como por la operación de los diferentes sistemas del vehículo.

2.2.1. GPS

Se utilizó un GPS de altas prestaciones, que cuenta con una frecuencia de muestreo de hasta 100 Hz. Este dispositivo se puede utilizar en diversas configuraciones, partiendo con un círculo



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

de error probable en posición del 95% de 3 m de diámetro en la más básica y llegando a un círculo de error probable del 95% de 2 cm de diámetro cuando se implementa tanto un sistema diferencial de posicionamiento global (DGPS, por su sigla en inglés) como un procesamiento de cinemática en tiempo real (RTK, por su sigla en inglés). Las características generales del GPS se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características generales del GPS

Velocidad		Distancia	
Precisión	0,1 km/h	Precisión	0,05%
Resolución	0,01 km/h	Resolución	1 cm

2.2.2. Sensor óptico de velocidad

El sensor óptico utilizado determina la velocidad a partir de la proyección de un haz de luz sobre la pista de pruebas. La frecuencia de muestreo del dispositivo llega hasta 250 Hz. La Tabla 3 presenta las características generales del sensor óptico.

Tabla 3. Características generales del sensor óptico de velocidad.

Rango de Velocidad	km/h	0,5 - 250
Precisión de Medición	%FSO	<±0,2

2.3. Estimación de la incertidumbre

Para cada sistema de medición evaluado se estimó la incertidumbre esperada en la determinación de la aceleración promedio. La estimación de la incertidumbre se realizó tanto analíticamente como numéricamente. El estimativo fue utilizado como uno de los criterios para la comparación de los sistemas de medición. En cada caso se determinaron las variables a medir y el método de cálculo para llegar a la aceleración promedio.

Partiendo desde el sistema de medición basado en el GPS se identifica que la medición directa es de posición, y mediante el procesamiento el sistema entrega valores de distancia y velocidad. La ecuación 1 presenta la relación que permite encontrar la desaceleración partiendo de estos datos. En la Ecuación (1) la velocidad inicial de la maniobra de frenado se encuentra en km/h, la distancia total de frenado en m y la desaceleración promedio en m/s².

$$a = \frac{(v/3.6)^2}{2d} \quad (1)$$

Para el sensor óptico se debe considerar que se entregan las mediciones de velocidad y tiempo, de las cuales se calcula la desaceleración promedio a partir de la Ecuación (2), donde la velocidad inicial se encuentra en km/h y el tiempo total de la maniobra de frenado en s, obteniendo la aceleración promedio en m/s².

$$a = \frac{(v/3.6)}{t} \quad (2)$$



Tras analizar las fuentes que originan la incertidumbre en el tiempo se encontró que la fuente más relevante es el procesamiento para determinar el instante en que se finaliza la prueba. Dado que las demás fuentes están varios órdenes de magnitud por debajo de esta, se consideró como la única fuente relevante.

2.3.1. Estimación analítica de la incertidumbre

La propagación analítica de la incertidumbre permite estimar la incertidumbre que se espera en la variable de salida, a partir de la incertidumbre de las variables de entrada y la sensibilidad de las variables de salida frente a las variables de entrada [13]. Se considera una versión linealizada de sensibilidad, y adicionalmente se asume la independencia de las variables de entrada y la distribución normal de las mismas. En la Ecuación (3) se puede ver la forma general para el cálculo de esta incertidumbre.

$$\delta f(x, y, \dots, z) \approx \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \delta y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \delta z\right)^2} \quad (3)$$

2.3.2. Propagación numérica de la incertidumbre (Método de cuasi Monte Carlo)

Otra forma para estimar la propagación de la incertidumbre es mediante el uso de métodos de Monte Carlo [14]. Un caso particular de dichos métodos son los métodos de cuasi Monte Carlo, basados en el uso de sucesiones de baja discrepancia, utilizadas para generar sucesiones de números conocidos como cuasi aleatorios [15]. Los métodos tipo Monte Carlo se basan en simulaciones numéricas en las que se generan números, buscando representar de la mejor manera posible variables aleatorias con distribuciones uniformes. Cuando se generan estos números con una sucesión de baja discrepancia, el método se llama de cuasi Monte Carlo y presenta condiciones de convergencia favorables, razón por la cual son ampliamente usados. El mayor reto consiste en la determinación de las funciones de densidad de probabilidad requeridas como insumo. Cuando se desconoce la función de probabilidad de alguna variable, la estimación de la misma resulta difícil. La literatura recomienda considerar en estos casos un estimativo conservador, suponiendo que la función de probabilidad de las variables de entrada es uniforme, para a partir de ello realizar la estimación de la incertidumbre [16].

2.4. Evaluación de la complejidad logística

Para la evaluación de la complejidad logística se definió un conjunto de indicadores, incluidas ocho características que comprenden: la capacidad de medición de cada variable, el contar con un sistema de adquisición único, la conectividad con otros instrumentos (transductores de temperatura, fuerza, etc.), la independencia energética del sistema de medición, la independencia de otros dispositivos periféricos, la afectación de la calidad de la medición frente a las condiciones climáticas o geográficas en el momento de la prueba y la capacidad de acondicionar la señal en el instante en que se adquiere.



Cada uno de estos indicadores contribuye a plasmar el panorama general de la logística de la prueba. Para la evaluación de los mismos se otorgó una valoración cualitativa del índice. Posteriormente se generó el indicador general, considerando el conjunto de indicadores individuales.

3. RESULTADOS

3.1. Incertidumbre de los diversos sistemas de medición

A continuación se puede observar el análisis general, utilizando la estimación analítica de incertidumbre. La figura 2 presenta los resultados analíticos obtenidos para diferentes combinaciones de las variables medidas. La escala de colores representa la magnitud de la incertidumbre porcentual que varía en función de las correspondientes variables mencionadas anteriormente. Por su parte, en la figura 3 se muestran los resultados utilizando el método numérico de cuasi Monte Carlo para los casos de las pruebas realizadas. En ambas figuras se resaltan los puntos correspondientes a las tres pruebas seleccionadas para la comparación, efectividad del freno de servicio (asterisco), simulación de falla parcial (cruz) y efectividad en frenada pico (rombo).

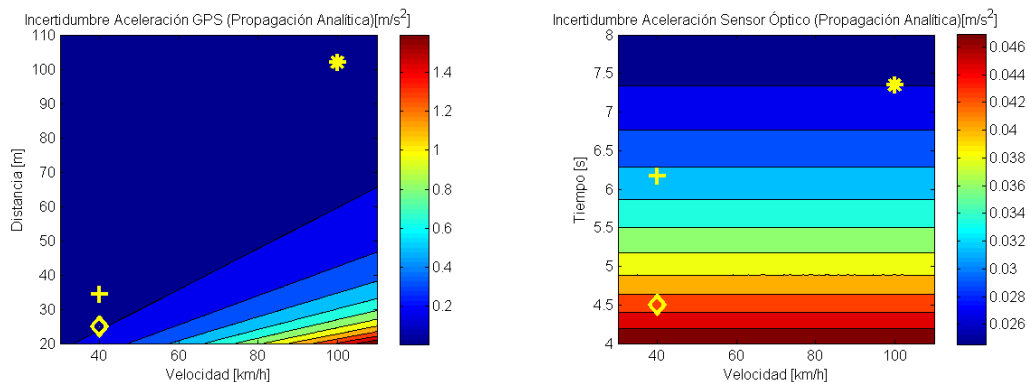


Figura 2. Propagación analítica de la incertidumbre para los dos sistemas de medición analizados. Izquierda, sistema basado en GPS. Derecha, sistema basado en sensor óptico.

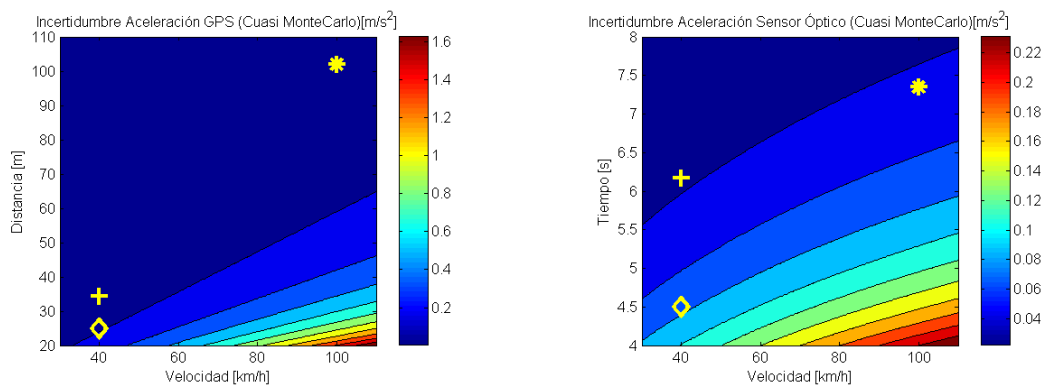


Figura 3. Propagación numérica de la incertidumbre para los dos sistemas de medición analizados. Izquierda, sistema basado en GPS. Derecha, sistema basado en sensor óptico.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Se puede observar como los valores obtenidos para el caso del sistema basado en GPS están por encima de aquellos obtenidos para el sistema basado en el sensor óptico. Con el ánimo de poder comparar un caso concreto, la tabla 4 muestra las incertidumbres obtenidas numéricamente para la aceleración promedio en cada prueba, para un vehículo que esté justo en el límite superior de aprobación.

Tabla 4. Estimativo numérica de la incertidumbre. Intervalos con 95% de Confiabilidad.

Prueba	GPS	Sensor Óptico
Efectividad freno de servicio	$3.78 \pm 0.06 \text{ m/s}^2$	$3.78 \pm 0.05 \text{ m/s}^2$
Simulación de falla parcial	$1.80 \pm 0.08 \text{ m/s}^2$	$1.80 \pm 0.08 \text{ m/s}^2$
Efectividad en frenada pico	$2.47 \pm 0.15 \text{ m/s}^2$	$2.47 \pm 0.04 \text{ m/s}^2$

La incertidumbre obtenida para ambos sistemas es baja y acorde con los requerimientos de la ADR 35/01. La diferencia más significativa se presenta en la incertidumbre para la prueba de efectividad en frenada pico, donde el sensor óptico tiene presenta una incertidumbre menor.

3.2. Análisis de la complejidad logística

La Tabla 5 presenta los resultados para los diversos índices individuales considerados para la evaluación de la complejidad logística.

Tabla 5. Características Cualitativas.

Característica	GPS	Sensor Óptico
Medición de Posición	+	-
Medición de Velocidad	-	+
Medición de Aceleración	-	-
Sistema de Adquisición Propio	+	+
Fácil Conectividad con Otros Instrumentos	-	-
Independencia Energética	+	-
Independencia de Ubicación y cond. Meteorológica	-	+
Filtro para Señales dentro del Instrumento	+	-

Como resultado de los indicadores cualitativos la mejor alternativa es aquella que involucra el GPS. Si adicionalmente se requiere la medición directa de aceleración, se recomienda agrupar dicho dispositivo con una unidad de medición inercial (IMU, por su sigla en inglés), la cual combina un acelerómetro triaxial con tres giróscopos y permite obtener una señal directa. La sugerencia incluye revisar la sensibilidad de la IMU a las vibraciones del vehículo.

La valoración general no se puede obtener simplemente como la suma de los diferentes índices propuestos, dado que la evaluación es cualitativa y el indicador binario usado de bueno/malo reduce fuertemente la información. Si se considera la individualidad de los



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

sistemas, el sistema basado en el sensor óptico presenta las siguientes desventajas: la necesidad de utilizar una fuente externa de alimentación, la dificultad para la interacción con otros dispositivos para la adquisición de datos como tarjetas de adquisición externas y la ausencia de una etapa de acondicionamiento de señal (particularmente de filtrado) dentro del sistema. Por otro lado, una de las ventajas de este sistema es relativa, puesto que no es totalmente independiente de las condiciones meteorológicas y presenta algunos problemas para las pruebas en las cuales se requiere que la superficie de la pista esté mojada.

El sistema basado en el GPS se puede integrar fácilmente con una IMU para registrar datos de aceleración (y con otros sistemas de ser necesario, por ejemplo con la celda de carga), su alimentación eléctrica es muy simple y la adquisición de las variables se realiza en una misma tarjeta. Se identifica como desventaja que el sistema se afecta en cercanía a montañas y en condiciones de alta nubosidad.

4. CONCLUSIONES

Luego de comparar los resultados, se observa que para obtener una menor incertidumbre durante las pruebas de efectividad descritas por la norma ADR 35/01, se debe escoger entre los dos sistemas evaluados el que está basado en el sensor óptico. Es necesario resaltar que en cualquier caso la incertidumbre obtenida es suficientemente baja como para permitir el correcto desarrollo de la prueba. Comparando las incertidumbres obtenidas para los dos sistemas se obtuvo que el sistema basado en el sensor óptico presenta una incertidumbre esperada levemente inferior a la del sistema basado en el GPS.

De acuerdo a los resultados mostrados en las figuras 2 y 3, para una condición general de prueba se observa que la condición crítica para ambos sistemas de medición será aquella en que la prueba implique combinar velocidad iniciales altas con desaceleraciones más bruscas.

Considerando las limitaciones logísticas analizadas para el desarrollo de pruebas basadas en cada uno de los dos sistemas, se observa una fuerte diferencia a favor del uso del sistema GPS analizado. Considerando que la diferencia en este indicador es grande y que ambos sistemas presentan una incertidumbre similar, se sugiere utilizar la configuración de instrumentación basada en el GPS.

5. REFERENCIAS

- [1] Resolución Número 4983, Reglamento Técnico aplicable a sistemas de frenos o sus componentes para uso en vehículos automotores o en sus remolques, que se importen o se fabriquen nacionalmente para su uso o comercialización en Colombia, 2011.
- [2] Proexport Colombia, Industria Automotriz en Colombia, Colombia, 2012.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

- [3] Redacción de Economía y Negocios, Chevrolet aún manda en ventas de carros, Portafolio.co, 2014.
- [4] D. Katzourakis, E. Velenis, D. Abbink, R. Happee, E. Holweg, Race-Car Instrumentation for Driving Behavior Studies, {IEEE} Instrum. Meas. Mag., Vol. 61, Issue 2, 462 – 474, 2012.
- [5] A. Orellana, J. Songor, F. Cabrera, Diseño y construcción de un banco de pruebas térmico para discos de freno, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2007.
- [6] K. Donoughe, H. Rakha, W. Swanson, S. Park, J. Bryson, Development of Hardware-in-the-Loop Testbed for Evaluating Truck Safety Systems, Transport. Res. Rec., Vol. 2265, 43 – 53, 2012.
- [7] S. Shaffer and G. Alexander, Commercial Vehicle Brake Testing - Part 1: Visual Inspection Versus Performance-Based Test, SAE Technical Paper 952671, 1995.
- [8] P. Hart, Review of Heavy Vehicle Braking Systems Requirements (PBS Vehicle Aspects), National Road Transport Commission, Australia, 2003.
- [9] A. Rozaini, M. Ishak, A. Abu, M. Mohd, Performance of a fully mechanical parking brake system for passenger cars, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Vol. 50, 2013.
- [10] C. Wei, M. Xin Nie, Research on the Measurement Error of Portable Braking Performance Tester, Appl. Mech. Mater., Vol. 397-400, 1677-1680, 2013.
- [11] E. Bjorkman, S. Sarkani, T. Mazzuchi, Test and Evaluation Resource Allocation Using Uncertainty Reduction, {IEEE} Trans. Eng. Manage., 541 – 551, 2013.
- [12] F2007C00514, Vehicle Standard (Australian Design Rule 35/01 - Commercial Vehicle Brake Systems), 2005.
- [13] T. Beckwith, R. Marangoni, J. Lienhard, Mechanical Measurements, Addison Wesley, 1995.
- [14] R. Christian, G. Casella, Monte Carlo statistical methods, Springer, USA, 1999.
- [15] J. Matusov, Multicriteria Optimization and Engineering, Chapman & Hall, USA, 1995.
- [16] JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, 2008.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias por el apoyo para el desarrollo de esta investigación.