

Análisis ergonómico de la posición de conducción centrado en el pedal de embrague

Ergonomic analysis of the driver position focused on the clutch pedal

Sergio Fuentes-del Toro^{1,2}, Ester Olmeda-Santamaría^{1,2}, María Garrosa-Solana^{1,2} y Vicente Díaz-López^{1,2}

¹ Universidad Carlos III. Dpto. Ingeniería Mecánica (España)

² Institute for the Vehicle Safety Assurance (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8948>

Algunos estudios sugieren la influencia en la seguridad, el confort y la incomodidad basado en la ergonomía y en la forma de conducir [1]. Todo esto se relaciona con la forma en la que un conductor se sitúa en el puesto de conducción, en cómo esta persona ajusta el asiento, dónde se colocan los mandos ó cuánta fuerza se necesita para realizar la tarea.

Hasta ahora, las investigaciones centradas en este campo, se encuentran especialmente orientadas a los pedales. Un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Jiangchuan Li et al. [2], donde los autores analizan la influencia del pedal de embrague en el confort del vehículo mediante un cálculo teórico y pruebas prácticas, dando como resultado la propuesta de modificar el recorrido del pedal a una posición más apropiada. A parte, un estudio realizado por J. Giacomini et al. [3], ha intentado medir el confort del pedal de embrague basándose en diferentes experimentos. Además, hoy en día múltiples autores están motivados en la evaluación de la incomodidad, centrándose en los pedales, con el objetivo de identificar y optimizar factores [4].

De acuerdo con estos datos, se puede decir que el pedal del embrague juega un papel importante en la ergonomía. Por ello, se han llevado a cabo una serie de experimentos con voluntarios con la intención de recoger información suficiente para poder utilizar el método de evaluación ergonómica más adecuado, como OWAS [5], RULA [6], REBA [7] u OCRA [8],

entre otros.

Todas estas herramientas de evaluación ergonómica se encuentran relacionadas con los MSD (*MusculoSkeletal Disorders*). Los MSD se definen como los daños o trastornos que pueden ser causados debido a una tarea repetitiva o mal diseñada, siendo perjudiciales para el sistema musculoesquelético (músculos, tendones, ligamentos, nervios, vasos sanguíneos, etc.). Algunos de los MSD más conocidos son: daños o trastornos por movimientos repetitivos, daños o trastornos por estrés, daños ergonómicos, síndrome de sobreuso o trastorno traumático acumulativo.

En el caso de estudio de algunos de estos problemas, la definición dada podría ser algo confusa si lo que se quiere es diseñar una estrategia de prevención de lesiones. Por ello, la evolución y/o la aparición de MSD puede ser muy diferente según la persona que realiza la tarea, aunque el trabajo a desarrollar sea el mismo entre ellas.

Según Oakman et al. [9], los factores que pueden aumentar o disminuir la posibilidad de sufrir MSD son: sexo, IMC (Índice de Masa Corporal), experiencia, edad, ejercicio, habilidades físicas y mentales, entre otros. Por el contrario, otros autores consideran una distinción en base a dos factores: aquellos relacionados con la persona (falta de ejercicio, malos hábitos alimenticios, falta de descanso o mala nutrición y/o hidratación), y los relacionados con la ergonomía.

Este tipo de trastornos y/o lesiones no sólo son costosos y constituyen un problema generalizado, sino que también son perjudiciales para las personas y las empresas. Además, una población de edad avanzada es más sensible a la aparición de todos ellos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, este artículo pretende centrarse en el pedal del embrague, analizando la ergonomía del conductor como objetivo principal.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Como se muestra en la Figura 1, el método de pruebas diseñado se compone de 4 pasos:

- Paso 1: La prueba comienza con un cuestionario previo centrado en la obtención de algunos parámetros

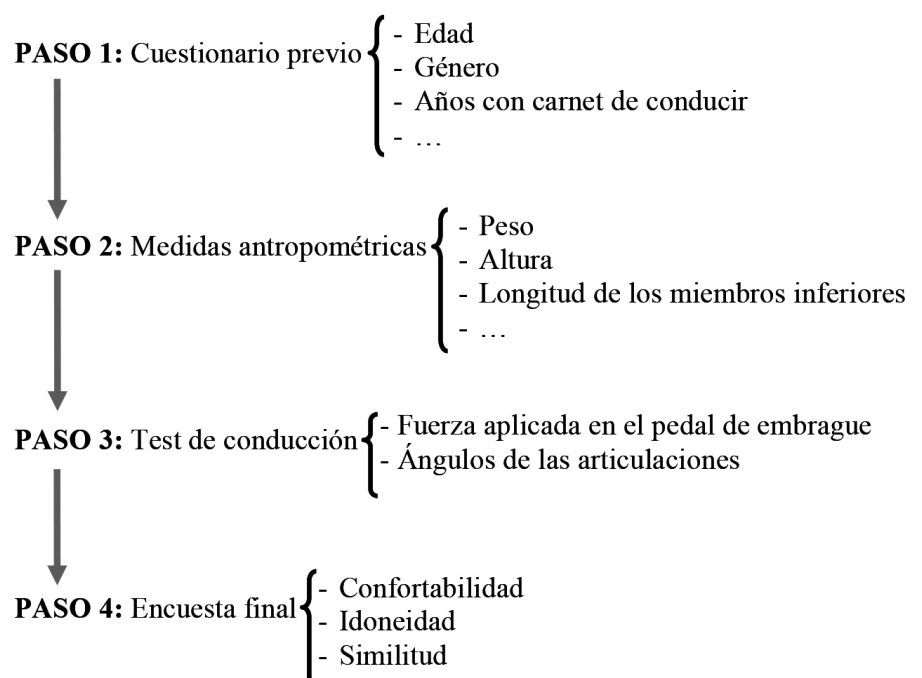


Fig. 1: Pasos del test de conducción a completar por cada voluntario y la información recopilada en el mismo

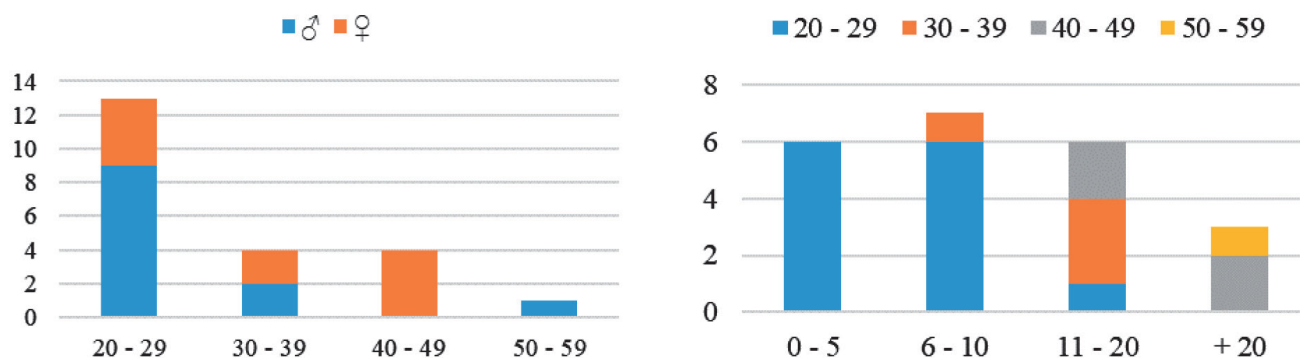


Fig. 2: N° personas VS. edades y sexo (izquierda) y N° personas VS. años de carnet (derecha)

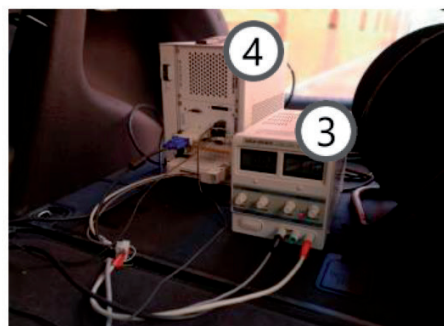
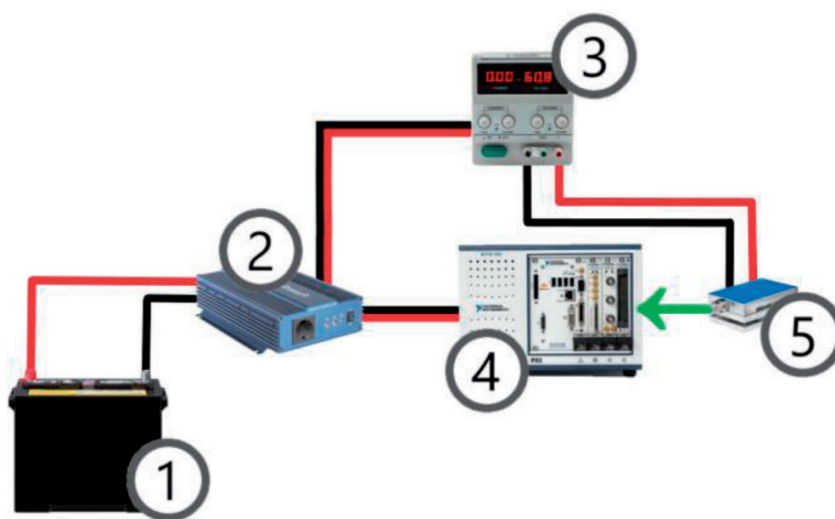


Fig. 3: En la parte superior: esquema eléctrico de conexiones para el test de conducción (1. Batería, 2. Inversor DC/AC, 3. Fuente eléctrica, 4. Sistema de adquisición National Instruments, 5. Sensor de fuerza del pedal). En la parte inferior: Elementos instalados en el vehículo de pruebas

de clasificación, como la edad o la experiencia de conducción.

- Paso 2: Por medio de fotografías y una báscula se tomaron las medidas y el peso de los voluntarios.
- Paso 3: Tanto la posición de conducción como la fuerza aplicada sobre el pedal de embrague fueron recogidas. Todo ello se empelo para puntuar a cada uno de los voluntarios con la herramienta REBA (*Rapid Entire Body Assessment*). Para poder realizar todo ello, el pedal de embrague se sensorizó según se comenta en la sección 1.2.
- Paso 4: Tras la prueba de conducción, se recogió la encuesta de opi-

nión sobre el experimento y el coche de prueba.

1.1. VOLUNTARIOS

En los experimentos se ha contado con la participación de 22 voluntarios, con una distribución por edades y sexo según se muestra en la Figura. 2.

Entre los 20 y los 29 años fue el rango de edades entre los que se contaron con un mayor número de voluntarios (13 de 22). Es importante también comentar que el número de mujeres que han realizado el experimento es inferior al de los hombres (45% mujeres y 55% hombres). Todos ellos tenían carnet de conducir antes de proceder con el experimento.

Ninguno de los voluntarios sufría de lesiones que pudieran afectar al curso del experimento. A partes, antes de comenzar la prueba, todos ellos fueron informados y se obtuvo el consentimiento de su parte para proceder con el ensayo.

1.2. MATERIALES Y PUESTA EN MARCHA

El vehículo empleado para los ensayos ha sido un Hyundai i30, en el que el pedal del embrague ha sido sensorizado para la medición de la fuerza aplicada con un sensor de la serie PK-PKH de HMK-Messtechnik (Fig. 3).

Al ser todos los test sobre circuito real se tuvieron que tener en cuenta una serie

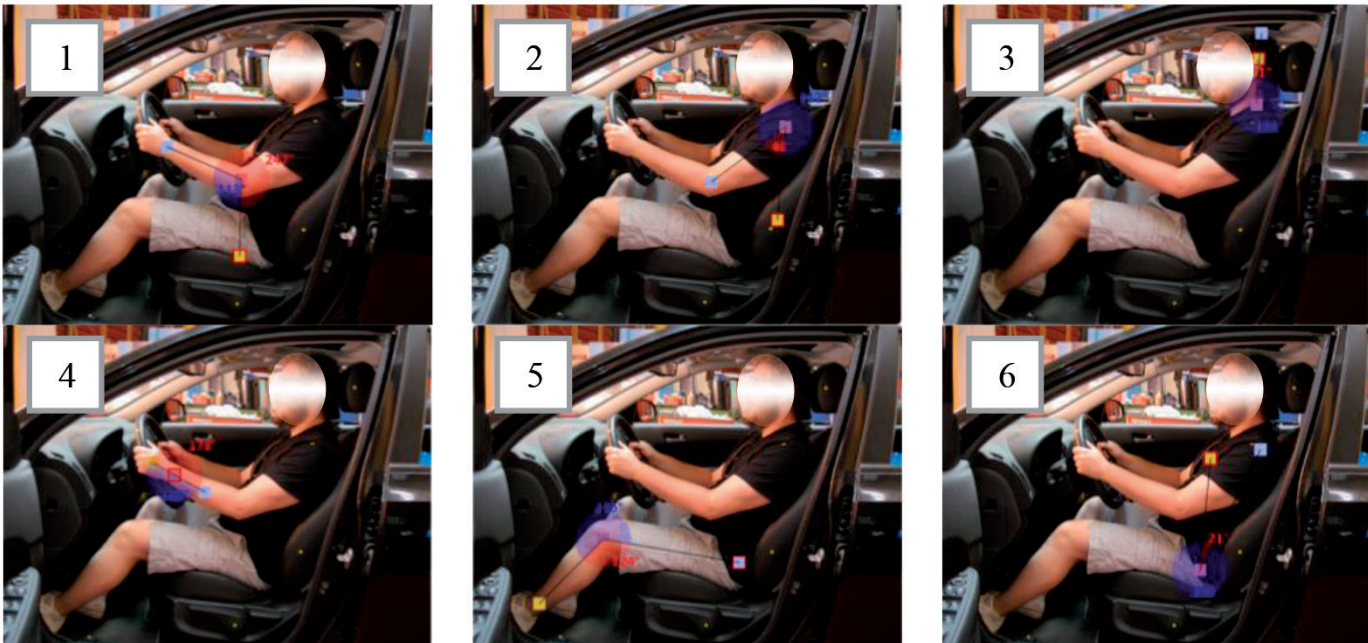


Fig. 2: Ángulos en las articulaciones de uno de los voluntarios durante el ensayo. 1: Tobillo, 2: Hombro, 3: Cuello, 4: Muñeca, 5: Rodilla, 6: Tronco

de consideraciones. La fuente de energía empleada para alimentar todos los dispositivos empleados en el ensayo ha sido un sistema de baterías portátiles (1 en el esquema de conexiones de la Fig. 3). El sensor del pedal de embrague (5 en la Fig. 3) se conectó con una fuente de alimentación externa (3 en la Fig. 3). La señal de salida fue recogida por el sistema de adquisición de datos, 4 en la Fig. 3. Además, fue necesario instalar un inversor CC/CA (2 en la Fig. 3) entre la batería y los dispositivos con el fin de transformar la corriente continua en corriente alterna.

1.3. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

La Fig. 1 indica los pasos que cada voluntario debe seguir para completar el experimento.

- Paso 1. Rellenar el cuestionario previo.
- Paso 2. Toma de medidas antropométricas.
- Paso 3. Test de conducción sobre circuito.
- Paso 4. Completar la encuesta final.

Todas las medidas antropométricas realizadas se han llevado a cabo en base

a las recomendaciones presentadas por el INSHT. Para ello, cada voluntario fue marcado con 18 puntos para definir cada uno de los miembros. Posteriormente, y con la ayuda de un cierto número de fotografías, se pudo calcular un total de 23 distancias diferentes, tanto del plano frontal como del de perfil.

En el paso 3 se pidió a los voluntarios que condujeran sobre un circuito previamente diseñado. Para ello, previamente cada uno de los voluntarios debía de regular, a su antojo, todos los ajustes del asiento (altura, inclinación y altura), así

	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	Total
Edad (años)	20 - 25		26 - 30		31 - 35		36 - 40		20 - 40
Nº de sujetos	9	4	2	2	0	4	1	0	22
Peso (kg)	82 ± 16	58 ± 8	85 ± 7	55 ± 16	-	59 ± 11	86 ± 0	-	72 ± 17
Altura (mm)	1802 ± 36	1648 ± 44	1791 ± 41	1690 ± 95	-	1632 ± 27	1827 ± 0	-	1733 ± 88
Altura de la cadera (mm)	1043 ± 42	967 ± 54	1016 ± 30	943 ± 103	-	927 ± 16	1111 ± 0	-	1000 ± 68
Altura de la rodilla (mm)	466 ± 31	449 ± 66	478 ± 14	441 ± 58	-	422 ± 11	547 ± 0	-	458 ± 44
F _{máx} (N)	172 ± 48	145 ± 12	120 ± 43	87 ± 4	-	111 ± 34	129 ± 0	-	142 ± 47
IMC*	25 ± 4	21 ± 3	27 ± 4	19 ± 3	-	22 ± 4	26 ± 0	-	24 ± 4

Tabla I: Principales dimensiones antropométricas (μ ± σ) clasificadas por sexo y rango de edad. (*Índice de Masa Corporal).

como los espejos y el volante (altura y profundidad).

El circuito planeado está situado dentro de las instalaciones de la Universidad Carlos III de Madrid. El recorrido completo (ida y vuelta) es de unos 450 m con una inclinación del 0 % y sin curvas cerradas, facilitando la conducción.

Gracias a la información tomada en el segundo y tercer paso (Fig. 1) se han calculado los ángulos de las diferentes articulaciones. Todos estos valores son necesarios para aplicar la herramienta ergonómica seleccionada, de la que se van a presentar posteriormente los resultados obtenidos.

Como cuarto, los voluntarios debían completar el experimento llenando una encuesta final. Este formulario se basó en el trabajo realizado por Jiangchuan, Li et al [2], donde los resultados se obtienen se basan en la tasa de comodidad de cada voluntario.

2. ANÁLISIS

Una vez finalizados los cuatro pasos con datos suficientes para el análisis, la herramienta ergonómica que mejor se adapta a la tarea es REBA.

Otras herramientas que podrían haberse contempladas son el método OWAS u OCRA, un método recomendado en las normas ISO 11228-3 y EN 1005-5.

REBA proporciona una puntuación fotograma a fotograma de trabajo desarrollado y de cada lado del cuerpo por separado. Además, es uno de los métodos más extendidos para el análisis postural y tiene la ventaja de que permite analizar el cuerpo completo, a diferencia de RULA, con lo que se podría indentificar el área más crítica para luego mejorarla.

De acuerdo con el método REBA, se debe evaluar una puntuación y un nivel de riesgo, que se definen mediante:

- Puntuación REBA 1: Primer nivel en el que no se requieren acciones

- Puntuación del REBA entre 2 y 3: Segundo nivel en el que pueden ser necesarias para algunas acciones.
- Puntuación del REBA entre 4 y 7: Tercer nivel de riesgo que determina que se necesitan acciones correctivas y estudios adicionales que definan mejor la tarea.
- Puntuación del REBA entre 8 y 10: Cuarto nivel donde riesgo es alto, por lo que algunas acciones correctivas de la actividad son necesarias a corto plazo.
- Puntuación de REBA entre 11 y 15: Quinto nivel que alerta sobre las necesidades de realizar cambios urgentes.

Teniendo en cuenta el funcionamiento del pedal de embrague, se seleccionaron dos momentos opuestos para evaluar y calcular la puntuación REBA. El primero de ellos fue con el pedal desembragado (ángulo de la rodilla alrededor de 160°) y el segundo con el pedal embragado (ángulo de la rodilla alrededor de 100°) (Fig. 4). Ambos instantes han sido capturados por una cámara digital y por medio de la herramienta RULER® se han obtenido los ángulos necesarios, tal y como se puede ver en la siguiente figura (Fig. 4).

3. RESULTADOS

Pasando a los resultados obtenidos, la Tabla 1 muestra un resumen de las principales características y fuerzas tomadas a lo largo de las pruebas, ordenado por rango de edad y género.

4. FUERZA APLICADA SOBRE EL PEDAL

Los resultados de la fuerza ejercida sobre el pedal del embrague se muestran en la Fig. 5. Cada curva representa un cambio de marcha en el que se pueden distinguir claramente dos zonas diferentes por medio de la pendiente. La primera cuando la

fuerza aumenta desde la base (9,5 y 15,5s) hasta su pico máximo, y la segunda cuando esta fuerza disminuye hasta la base.

De esta manera, y teniendo en cuenta el ciclo completo (un cambio de marcha), se observa que el proceso dura menos de 5 segundos, pudiendo afectar negativamente debido a una alta tasa de repeticiones, según REBA.

Cabe señalar que los resultados de fuerza obtenidos a lo largo de los diferentes test de conducción son similares a los resultados que otros investigadores han obtenido en ensayos anteriores [10].

A. PUNTUACIÓN REBA

Se ha obtenido una puntuación REBA para cada voluntario y posición de forma independiente (pedal conectado y desconectado).

La primera tanda de representa las puntuaciones cuando el pedal de embrague se encuentra accionado (fuerza máxima). En este caso, la mayoría de los ensayos (86,4%) obtienen una puntuación REBA entre 4 y 7, lo que se traduce en que estudios futuros que mejoren el mecanismo de embrague son necesarios. La puntuación del resto de voluntarios (13,6%) es menor, lo que indica que el riesgo también es menor, no siendo necesario realizar ninguna modificación.

En la segunda tanda (posición de desembragado) las puntuaciones REBA inferiores. Esto es debido principalmente a la disminución del ángulo de la rodilla y a la fuerza aplicada en el embrague. Esto hace que el riesgo quede repartido en tres niveles diferentes. El 4,5% de los voluntarios tienen un riesgo medio (son necesarios nuevos estudios que definan un cambio), el 68,2% tienen un riesgo bajo (podrían ser necesarias acciones) y finalmente, el 27,3% tienen un riesgo insignificante (no es necesario ningún tipo de acción).

En ambos casos, la distribución de los resultados cumple la hipótesis nula de que la población empleada está distribuida de forma normal, con valores de asimetría de 1,16611 en posición de desembrague y 0,56299 en posición de embrague, y de Curtosis de 0,820563 para la posición desembrague y -0,564252 para la posición de embragado, Ambos entre los límites de -2 y 2.

B. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

La siguiente sección tiene por objeto presentar las respuestas recogidas en la encuesta entregada al final de cada uno de los test realizados (Fig. 1). En ellas se preguntaba a cada conductor si el vehículo de prueba era similar a su vehículo

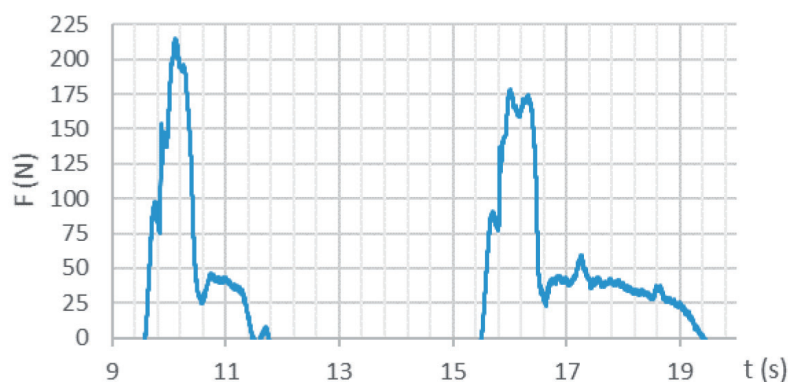


Fig. 5: Fuerza (N) VS. t(s) relacionada(s) con dos cambios de marcha consecutivos

habitual y si la dureza y recorrido del pedal de embrague eran adecuadas para él.

Se diseñó con el objetivo de tener una visión completa de la prueba, y de esta forma conocer la opinión de los voluntarios sobre el coche y la prueba, que pudieran guiar en la obtención de resultado más precisos en base a proponer nuevas modificaciones.

Los voluntarios fueron preguntados acerca de:

- La similitud del vehículo empleado en las pruebas con su propio vehículo habitual, donde el 73% de los sujetos cree que la manejabilidad de ambos vehículos es bastante similar.
- La idoneidad del mecanismo de embrague, donde el 86% de los voluntarios lo encuentran apropiado y el 14% han respondido lo contrario.
- La dureza del pedal del embrague, en el que todos los participantes que han respondido piensan que es cómodo.

5. CONCLUSIONES

A lo largo del presente estudio se ha expuesto el análisis ergonómico realizado sobre el conductor y su posición al volante, habiéndose centrado los resultados en el pedal de embrague. Para ello se han realizado una serie de pruebas para determinar el valor de determinadas variables ergonómicas, tales como: altura, longitud de la pierna o fuerza aplicada sobre el pedal de embrague. Todos estos test se han llevado a cabo con voluntarios jóvenes con experiencia en la conducción entre cero y veinte años.

Los datos recogidos han sido analizados mediante el método REBA (Rapid Entire Body Assessment), debido a su flexibilidad y precisión. Además, este método clasifica cada postura bajo 5 posibles niveles de riesgo (sección 3).

Dos momentos diferentes fueron seleccionados para el análisis, y los resultados obtenidos se pueden ver resumidos en la sección 4.2. Aunque el momento de mayor índice de riesgo se produce cuando se activa el pedal del embrague (86,4% con una puntuación REBA entre 4 y 7), es necesario realizar nuevos estudios para ambos casos (posición de embragado y posición de desembragado). Estos nuevos estudios deben proporcionar una nueva forma de activar el embrague o cambiar el mecanismo del pedal del embrague para mejorar la posición de conducción. Es importante que todos estos cambios deben de basarse en una nueva propuesta que haya sido previamente evaluada.

Como se ha comentado anteriormente, la posición más crítica se produce con el pedal del embrague accionado, cuando la pierna está en la posición más estirada y el valor del ángulo de la rodilla y la fuerza aplicada son mayores (Fig. 5). Así bien, introducir mejoras en el sistema que permitan reducir la fuerza aplicada, haciendo que la forma de activar el mecanismo sea más efectiva, es una tarea futura del presente estudio.

Al mismo tiempo, hay que matizar que el valor máximo registrado para cada voluntario no es el mismo, por lo que en futuros estudios sería necesario analizar si una de las razones para este alto nivel de riesgo es exclusivamente debido a los altos niveles de fuerza registrados.

También es importante conocer y tener en cuenta la opinión del conductor después de terminar la prueba de conducción. Debido a esto se desarrolló una encuesta tras haber realizado la prueba de conducción. En ella se preguntaba respecto a la similitud, comodidad e idoneidad del sistema de embrague del vehículo de prueba. Estos resultados ayudan a hacer una interpretación más precisa de la reacción de los voluntarios y facilitan el desarrollo mejoras para el sistema.

La mayoría de ellos respondió que el mecanismo de embrague del vehículo les resultaba cómodo, apropiado y similar al de su vehículo. Aun así, hubo una parte de los voluntarios que encontraban el recorrido del embrague demasiado largo. Por lo tanto, se recomienda mejorar el sistema sin modificar el mecanismo en exceso.

Aparte de eso, el presente estudio tiene algunas limitaciones, que radican en que la medición de algunos parámetros puede estar muy influenciada por el estado de ánimo de cada uno de los voluntarios, siendo esta una variable difícil de cuantificar. Por eso es interesante continuar con el estudio para obtener resultados más precisos.

REFERENCIAS

- [1] Wang, X.; Verriest, J.P.; Lebreton-Gadegbeku, B.; Tessier, Y.; Trasbot, J. Experimental Investigation and Biomechanical Analysis of Lower Limb Movements for Clutch Pedal Operation. *Ergonomics* 2000, 43, 1405-1429.
- [2] Jiangchuan Li; Feng Deng; Shaojin Liu; Hao Hu. Analysis of the Influence of Clutch Pedal to Vehicle Comfort. *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress 2012*, 5, 15-20.
- [3] J. Giacomini; S. Bretin. Measurement of the Comfort of Automobile Clutch Pedal Actuation. *ATA 4th International Conference on Comfort in the Automobile Industry*, Bologna, Italy 1997, 1.

- [4] Olmeda, E.; Fuentes del Toro, S.; Garrosa, M.; Pajares Redondo, J.; Díaz, V. Clutch Pedal Sensorization and Evaluation of the Main Parameters Related to Driver Posture. *Sensors* 2018, 18, 2797.
- [5] Karhu, O.; Kansil, P.; Kuorinka, I. Correcting Working Postures in Industry: A Practical Method for Analysis. *Applied Ergonomics* 1977, 8, 199-201.
- [6] McAtamney, L.; Nigel Corlett, E. RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders. *Applied Ergonomics* 1993, 24, 91-99.
- [7] Hignett, S.; McAtamney, L. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Appl. Ergon.* 2000, 31, 201-205.
- [8] Occhipinti, E. OCRA: A Concise Index for the Assessment of Exposure to Repetitive Movements of the Upper Limbs. *Ergonomics* 1998, 41, 1290-1311.
- [9] Oakman, J.; Neupane, S.; Nygard, C. Does Age Matter in Predicting Musculoskeletal Disorder Risk? an Analysis of Workplace Predictors Over 4 Years. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2016, 89, 1127-1136.
- [10] Pannetier, R.; Wang, X. A Comparison of Clutching Movements of Freely Adjusted and Imposed Pedal Configurations for Identifying Discomfort Assessment Criteria. *Appl. Ergon.* 2014, 45, 1010-1018.