



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**VARIABILIDAD EN EL TIEMPO DE  
REACCIÓN SOBRE LOS TACOS DE  
SALIDA EN LAS CARRERAS DE  
VELOCIDAD DE ATLETISMO**

Alumna: Ángela del Ramo Sáez

Tutora académica: Carla Caballero Sánchez

Cotutor académico: Francisco Javier Moreno  
Hernández

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso académico: 2023 -2024

# Contenido

Resumen.....	3
Contextualización.....	4
Método.....	6
Participantes.....	6
Materiales y protocolo de medida.....	6
Recolección y análisis de los datos.....	8
Resultados.....	9
Discusión y conclusiones.....	11
Propuesta de intervención.....	13
Referencias.....	14
Anexos.....	16
ANEXO I: Gráfica de 'Ensayo 1'.....	16
ANEXO 2: Gráfica de 'Ensayo 2'.....	16
ANEXO 3: Gráfica de 'Ensayo 3'.....	17
ANEXO 4: Gráfica de 'Ensayo 4'.....	17
ANEXO 5: Gráfica de 'Ensayo 5'.....	17
ANEXO 6: Gráfica de 'Ensayo 6'.....	18
ANEXO 7: Gráfica de 'Ensayo 7'.....	18
ANEXO 8: Gráfica de 'Ensayo 8'.....	18
ANEXO 9: Gráfica de 'Ensayo 9'.....	19

## Resumen

Actualmente, el reglamento descrito por la *World Athletics* establece un mínimo tiempo de reacción legal de 100 milisegundos sobre los tacos tras el disparo de salida de las carreras de velocidad de atletismo. No obstante, la variabilidad en los tiempos de reacción de los/as atletas puede resultar problemática a la hora de determinar si se anticipan o no al pistoletazo de salida. Esta variabilidad puede deberse a aspectos fisiológicos, biomecánicos e instrumentales. Es por ello por lo que resulta relevante el análisis de la misma, con el fin de determinar el parámetro reglamentario más adecuado o aproximarse a este con la mayor exactitud posible, siendo este el objetivo final de este trabajo. Para ello, tras una revisión de la literatura, ha sido llevado a cabo un estudio de caso único con la utilización de acelerómetros que ha dado a conocer la secuencia de inicio del movimiento a cargo de diferentes puntos corporales sobre los tacos de salida. Los resultados han indicado que el tronco y la cadera, con tiempos de reacción promedios de 102.50 ms y 108.33 ms, respectivamente, son los puntos corporales que inician el movimiento de manera más temprana tras la emisión del estímulo de salida, por lo que resultaría interesante cederles especial atención en estudios futuros. En base a todo ello, ha sido propuesta una intervención en mayor profundidad capaz de probar la validez de los 100 milisegundos como parámetro temporal reglamentario, así como de estudiar la necesidad de distinción reglamentaria en función del sexo y de estandarizar los algoritmos de los Sistemas de Información de Salidas certificados por la *World Athletics*.



## Contextualización

El atletismo es un deporte que comprende diversas disciplinas, clasificadas, principalmente, en carreras, saltos y lanzamientos. En la modalidad de carrera, se encuentran, entre otras, las denominadas ‘carreras de velocidad’, que son aquellas que cubren distancias iguales o inferiores a 400 metros (World Athletics, 2024). En todas ellas, y en las carreras de relevos, el tiempo de reacción en la salida tiene una gran influencia sobre el rendimiento y la clasificación de la competición, cobrando mayor relevancia en las carreras de menor distancia, como son las carreras de 60 y 100 metros (Zhang et al., 2021).

Actualmente, el reglamento técnico de la *World Athletics*, órgano de gobierno del atletismo a nivel mundial, determina como ‘salida nula’ todo registro de tiempo de reacción simple menor a 100 milisegundos tras el estímulo auditivo de salida, emitido mediante una pistola (World Athletics, 2024). Este valor de tiempo de reacción legal sobre los tacos de salida, entendido como aquel sucedido desde la aparición del estímulo hasta el alcance de un valor criterio de fuerza o la producción de un umbral de aceleración (Brosnan et al., 2017), trata de impedir la anticipación al estímulo de salida en una carrera de velocidad.

Con lo que respecta a las consecuencias de cometer ‘salida nula’ en una carrera de velocidad, hasta 2004, el/la atleta responsable de la ‘salida nula’ recibía un aviso y disponía de una segunda oportunidad, en la que sería finalmente descalificado/a si nuevamente registraba un tiempo de reacción menor de 100 milisegundos. Posteriormente, a partir de 2004 y con el fin de evitar la posibilidad de diversas ‘salidas nulas’ en una misma serie y los retrasos de horario que ello podía conllevar, la ‘salida nula’ de cualquier velocista resultaba en el aviso sobre todos/as los/as atletas que componían la serie, independientemente de quien fuese el/la responsable de esta. Actualmente, desde 2010, una ‘salida nula’ tiene como consecuencia la descalificación directa del / de la atleta, según queda establecido en la regla 16.8 del reglamento técnico (Milloz et al., 2021; World Athletics, 2024).

Con el foco puesto sobre el tiempo de reacción legal de 100 milisegundos, este se instauró en la década de los 90, basándose en un estudio científico que data de 1990 y que fue realizado sobre ocho velocistas finlandeses de sexo masculino y nivel nacional. Sin embargo, este estudio carece de evidencia científica sólida, por no examinar una muestra ampliamente representativa a nivel de rendimiento, sexo y número de participantes (Mero & Komi, 1990).

Durante todo este tiempo, y sobre todo en los últimos años, ha surgido un debate acerca de si ese umbral debiese ser modificado. Por ese motivo, han sido varios los estudios que han dirigido la atención hacia la validez de dicho umbral, derivando en cierta controversia. (Milloz et al., 2021). Y es que los estudios realizados en la década de los 2000, generalmente con muestras pequeñas y poco representativas a nivel de alto rendimiento y diferenciación entre sexos, aportan, en su mayoría, conclusiones opuestas o diferentes a las obtenidas en los estudios realizados a partir de 2011.

Por un lado, y centrándonos primeramente en los estudios publicados en la década de los 2000, Pain & Hibbs (2007) concluyen en que son posibles tiempos de reacción auditiva simple inferiores a 85 ms y, por lo tanto, por debajo del umbral establecido por la *World Athletics*. Por otro lado, Brown et al. (2008) registran en su muestra un 21% de tiempos de reacción por debajo del umbral de 100 ms. No obstante, esos resultados se basan en el tiempo transcurrido desde la aparición del estímulo auditivo hasta el inicio de la aplicación de la fuerza, y no en el tiempo transcurrido desde la emisión del estímulo hasta el alcance de un valor criterio de fuerza aplicada o aceleración, como sí lo hacen algunos de los Sistemas de Información de Salidas certificados por la *World Athletics* (Brosnan et al., 2017). En esa misma década, Ishikawa et al. (2009) obtienen tiempos de reacción tanto superiores como inferiores a 100 ms, y puntualizan sobre el inicio del movimiento más temprano de los miembros superiores del cuerpo en comparación con los miembros inferiores.

Por otro lado, a partir de 2011 se comienzan a publicar estudios con muestras más amplias y representativas, generalmente extraídas de los tiempos de reacción registrados en campeonatos mundiales, europeos y/u olimpiadas, almacenados en las bases de datos de la *World Athletics*. Por un lado, basándose en una amplia muestra, Lipps et al. (2011) concluyen en que los/as atletas no pueden reaccionar en menos de 100 ms, pero sí pueden hacerlo en 109 ms, en el caso de los hombres, y 121 ms, en el caso de las mujeres. Por otro lado, Mitašík et al. (2022) encuentra muy pocos registros de tiempos de reacción de 100 – 130 ms, siendo estos los más rápidos de la muestra. En la misma línea de resultados, con tiempos de reacción por encima del umbral de 100 ms reglamentario, Brosnan et al. (2017) propone una revisión de este umbral en 115 ms y 119 ms para hombres y mujeres, respectivamente.

En todo este debate también adquieren importancia los Sistemas de Información de Salidas (SIS) certificados por al *World Athletics*, pues sus algoritmos de detección de ‘salida nula’ pueden resultar determinantes en los registros de tiempos de reacción, derivando en valores diferentes en función del SIS utilizado (Holmes et al., 2020; Pain & Hibbs, 2007).

A lo largo de los años, algunos de los sistemas informáticos han sido modificados y mejorados. A partir de 1985, los SIS Omega comenzaron a emitir el sonido de salida a través de altavoces situados tras cada uno de los tacos de salida, además del disparo ruidoso a cargo del / de la juez(a) de salida (Brown et al., 2008). En 2010, con el objetivo de reducir todavía más las posibles diferencias en los tiempos de reacción por el tiempo de propagación requerido por el sonido, los SIS Omega comenzaron a producir el disparo de salida desde una pistola silenciosa, siendo el sonido de los altavoces situados tras los tacos de salida el único estímulo auditivo que reciben los/as atletas (Milloz et al., 2021).

No obstante, los diferentes SIS certificados por la *World Athletics* responsables de la detección de ‘salida nula’ revelan una gran inconsistencia debido a la falta de referencias estándar establecidas para examinar el tiempo de reacción (Milloz et al., 2021), además del desconocimiento público del algoritmo de detección que emplea cada SIS, ya que no se encuentran publicados. Mientras que por un lado los SIS Seiko hacen uso de transductores de fuerza colocados sobre los tacos de salida y determinan el tiempo de reacción en función del aumento pronunciado de la curva, los SIS Omega emplean un sistema de cierre vinculado con un interruptor deslizante y los SIS Lynx System Developers utilizan un acelerómetro mediante un sistema de velcro anclado a los tacos de salida y un umbral sin publicar (Pain & Hibbs, 2007).

Por otra parte, la posible diferencia en los tiempos de reacción en función del sexo es un aspecto que no se tuvo en cuenta para el establecimiento del valor de 100 milisegundos. En la misma línea, en los primeros artículos revisados no se incluyeron mujeres en las muestras. Lo cierto es que, a nivel central, las mujeres son capaces de registrar tiempos de reacción más cortos que los hombres, debido a la transformación más rápida del estímulo mecánico en eléctrico y su transmisión más veloz a través de la vía neuronal, por ser esta más corta a causa de la estatura más baja que, generalmente, tienen las mujeres (Lipps et al., 2011). Por lo tanto, el motivo por el que en las bases de datos de la *World Athletics* los tiempos de reacción mayores se encuentren registrados por parte de mujeres se atribuye a las diferencias a nivel periférico entre sexos. En el caso de las mujeres, estas tienen un desarrollo de fuerza en sus flexores plantares de un 22% menos que los hombres (Lipps et al., 2011) y, a su vez, presentan un 32% menos de masa muscular que sus homólogos masculinos (Thelen et al., 1996). Estos datos justifican los tiempos mayores requeridos por las mujeres para alcanzar los umbrales de fuerza establecidos por algunos SIS, permitiéndoles una mayor posibilidad de anticipación sin detección de ‘salida nula’ (Lipps et al., 2011).

Además, el debate sobre el que este trabajo pone el foco plantea el interrogante acerca de si la evolución de la exigencia reglamentaria ha influido sobre los tiempos de reacción de los/as atletas. Según muestran los resultados de algunos estudios que comparan periodos

determinados por los cambios en la regla de 'salida nula', la descalificación directa, como última modificación introducida en 2010, no ha derivado en diferencias estadísticamente significativas sobre los tiempos de reacción (Mitašik et al., 2020). Además, los tiempos de reacción registrados en las bases de datos de la *World Athletics* demuestran una probabilidad total de ser mayores de 120 milisegundos tras la regla introducida en 2010 (Brosnan et al., 2017).

Tras todo lo comentado, queda revelada la relevancia de estudio y revisión reglamentaria sobre evidencia científica sólida, atendiendo tanto a la diferenciación de tiempos de reacción entre sexos como a la estandarización de los algoritmos de los SIS certificados por la *World Athletics*, entre otros aspectos, como puede ser el margen de mejora de la capacidad de reacción sobre los tacos de salida gracias al entrenamiento (Milloz et al., 2021).

Con todo ello, este trabajo tiene por objetivo final probar la validez del valor de tiempo de reacción legal de 100 milisegundos que la *World Athletics* establece para las carreras de velocidad de atletismo. Además, a modo de ampliación a la literatura revisada, el procedimiento de medida planteado busca determinar la secuencia de inicio del movimiento por parte de diferentes puntos corporales durante una salida de tacos, para, con ella, plantear una propuesta de intervención con una amplia muestra y con el foco puesto sobre la posibilidad de registrar tiempos de reacción inferiores a 100 milisegundos sobre los tacos de salida. No obstante, en el estudio único descrito a continuación ya es discutida dicha posibilidad en función de los resultados obtenidos.

## Método

### Participantes

En este estudio de caso único ha tomado parte 1 atleta fémina especializada en carreras de velocidad corta, de 60 y 100 metros lisos, con mejores marcas personales de 8.28 segundos y 13.10 segundos, respectivamente (edad = 22 años; talla = 1,56 m; masa = 52.6 kg). Esta velocista es de nivel autonómico y tiene 13 años de experiencia sobre las pistas de atletismo.

### Materiales y protocolo de medida

La recogida de datos se llevó a cabo en el módulo de atletismo del Complejo de Formación Deportiva El Clot, ubicado en el Campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández. Dicho módulo cuenta con una superficie de tartán que cubre toda una recta de 60 metros, permitiendo la utilización de tacos de salida.

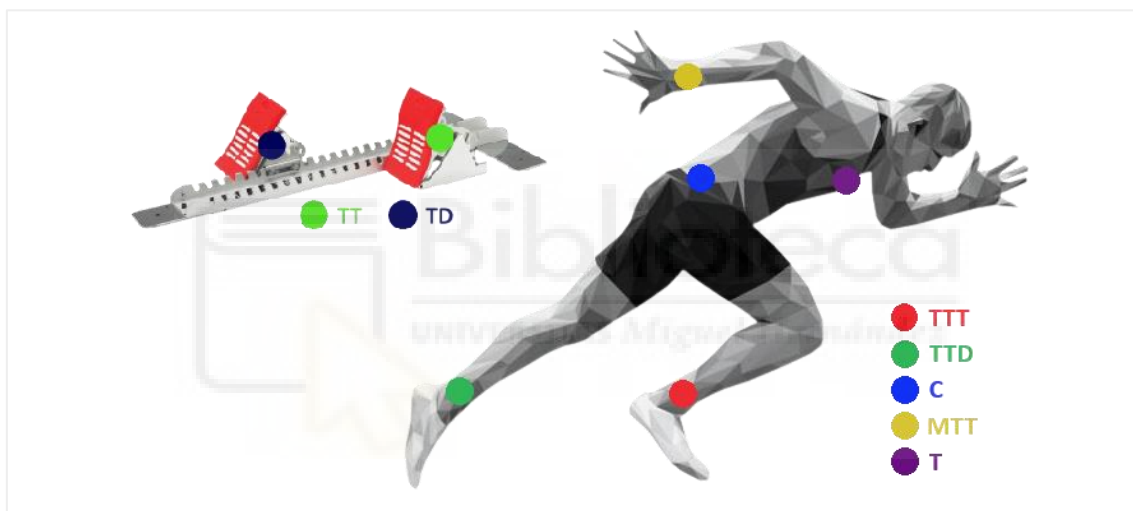
La prueba tenía por objetivo conocer en qué parte del cuerpo puede ser detectado movimiento de manera más temprana durante una salida de tacos, para, así, determinar el lugar más preciso en que realizar la medición del tiempo de reacción en una salida de velocidad y, en consecuencia, probar la validez del valor de tiempo de reacción legal de 100 milisegundos establecido por la *World Athletics*.

Para realizar la prueba fue empleada la herramienta iSen (Inertial motion capture, STT Systems, San Sebastián, España), que permite analizar el movimiento en 3D mediante sus elementos hardware y software, instalado en un ordenador portátil, de marca Lenovo. Dicho conjunto de instrumentos fue utilizado para medir la aceleración local, con una frecuencia de registro de 400 Hz. Fueron empleados hasta 5 acelerómetros por ensayo, y se optó por este instrumento de medida por su mayor accesibilidad frente a las células de carga, a pesar de conocer que la capacidad de detección de los acelerómetros puede registrar los datos hasta 20 ms, de diferencia media, más tardíamente que las células de carga (Holmes et al., 2020). No obstante, al registrar el estímulo de salida a través de uno de los acelerómetros, dicho retardo

se mantendría estable en el registro de los datos, y, por lo tanto, no influiría en la discusión de la secuencia de movimiento durante una salida de tacos.

A lo largo de los ensayos se fue variando el lugar de colocación de los acelerómetros, y, para ello, se consideraron cinco puntos corporales y dos puntos materiales fijos: tobillo del taco trasero (TTT), tobillo del taco delantero (TTD), cadera (C), muñeca del taco trasero (MTT), tronco (T), taco trasero (TT) y taco delantero (TD) (Figura 1). Por un lado, tanto los tobillos como los tacos han sido considerados como puntos por ser aquellos de mayor protagonismo en la detección de 'salida nula' de los SIS certificados por la *World Athletics*. Por otro lado, la cadera y el tronco han sido incluidos en el estudio por ser aquellos que inician la participación de contribución segmentaria al desplazamiento horizontal del centro de masas de manera próximo distal en una salida de tacos (Gutiérrez-Cruz et al., 2022). Por último, la muñeca ha sido incluida como punto de estudio debido a los valores de tiempo de reacción más bajos que se le atribuyen a los brazos en comparación con los atribuidos a las piernas, según queda descrito en la literatura científica (Ishikawa et al., 2009).

Figura 1. Localizaciones de los acelerómetros.



TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; C = cadera; MTT = muñeca del taco trasero; T = tronco; TT = taco trasero; TD = taco delantero.

Los ensayos consistían en una salida de tacos, dispuestos a preferencia de la velocista, a máxima velocidad a la orden de un estímulo de salida. Este estímulo de salida, emitido a través de un altavoz, era un archivo de audio que anunciaba la posición de listos ('set') y el disparo, entre los cuales transcurría de 1 a 3 segundos. Dicho lapso temporal se encontraba aleatorizado con el objetivo de disminuir la posibilidad de anticipación por aprendizaje. Tras la salida de tacos, la atleta continuaba la aceleración hasta cubrir 10 metros de distancia.

La medición se inició una vez la atleta había realizado de manera libre y autónoma un calentamiento general y otro específico. Tras estos, fueron registrados un total de 9 ensayos entre los que la velocista disponía de un mínimo de 4' de descanso, es decir, de una recuperación completa.



## Recolección y análisis de los datos

En cada ensayo se calculó la aceleración local en los 3 ejes (x, y, z) de cada una de las partes del cuerpo o taco en que estuviesen colocados los acelerómetros, en sincronización con el acelerómetro colocado sobre la superficie de salida del sonido del altavoz, a través del que era emitido el estímulo de salida, registrándose la vibración de su onda mecánica.

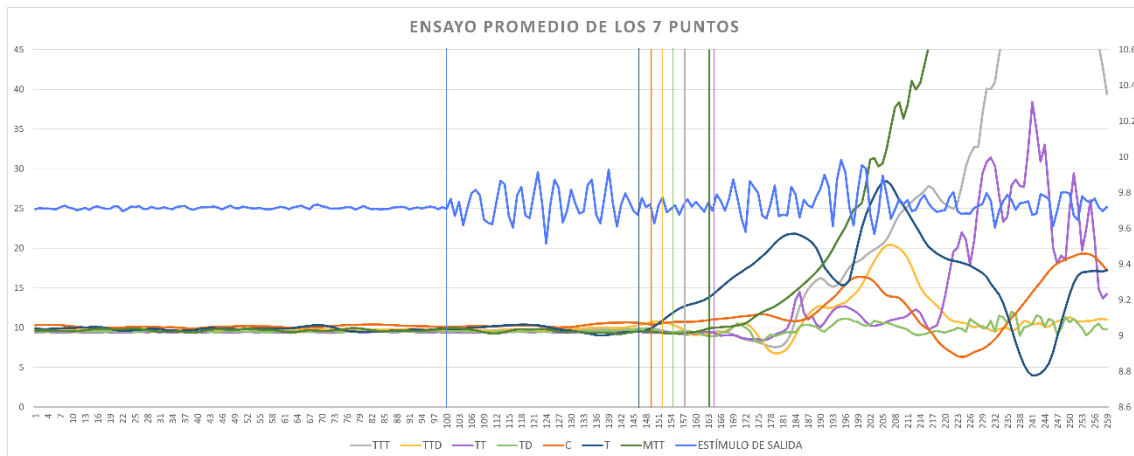
Tras la recolección de los datos, fueron calculados todos los módulos de los datos registrados con el fin de obtener la cantidad vectorial resultante de los tres componentes registrados por acelerómetro en cada ensayo.

Una vez alcanzado dicho punto, fueron representadas las aceleraciones de cada ensayo. Sobre todas estas se llevó a cabo una acotación del rango en la selección de datos de las gráficas, que permitió poner el foco sobre los instantes previos y posteriores a la emisión del estímulo auditivo simple de salida. De esa manera, los módulos calculados quedaron representados gráficamente desde los 250 milisegundos previos a la aparición del estímulo de salida hasta los 400 milisegundos posteriores a esta, aproximadamente. De este modo, era posible el análisis de los 400 milisegundos transcurridos tras la emisión del estímulo de salida, y, por lo tanto, de la secuencia de inicio del movimiento por parte de los diferentes puntos corporales de estudio y del umbral mínimo de tiempo de reacción para la velocista participante en la prueba (Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8 y Anexo 9).

Las gráficas han sido analizadas mediante inspección visual, ya que, según Holmes et al. (2020) es un método efectivo para la detección del inicio de la salida, resultando en una mayor precisión que el análisis estadístico basado en las desviaciones estándar sobre la media. Además, los algoritmos de detección de 'salida nula' de los SIS certificados por la *World Athletics* forman parte de las patentes de estos, por lo que no pueden ser empleados como referencia en la exploración de los datos de este estudio.

Se entendió por tiempo de reacción el tiempo transcurrido entre la aparición del estímulo de salida y el primer cambio sobre la tendencia de la aceleración local de cada una de las partes corporales o taco de salida (Figura 2). En base a ello y con todos los puntos de interés localizados, fueron calculadas las diferencias de puntos gráficos entre el inicio del estímulo de salida y el inicio del movimiento, y convertidas en un valor temporal en segundos, y, posteriormente, en milisegundos, obteniéndose, de este modo, los tiempos de reacción.

Figura 2. Gráfica de ensayo promedio de los 7 puntos de estudio con líneas adicionales que indican los puntos gráficos de inicio del estímulo y del movimiento.



TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; TT = taco trasero; TD = taco delantero; C = cadera; T = tronco; MTT = muñeca del taco trasero.



Tras la obtención de los tiempos de reacción, se prosiguió con un análisis estadístico simple para conocer los datos de diversas variables de interés, como son la media, la desviación estándar, el mínimo valor y el máximo valor y el intervalo de confianza al 95% con respecto a cada uno de los puntos corporales y fijos sobre los que fueron colocados los acelerómetros. En lo que respecta a los valores promedios de tiempo de reacción de cada punto, estos permitieron conocer la secuencia de inicio del movimiento en la serie de ensayos.

## Resultados

Las desviaciones típicas de las medias resultantes de los tiempos de reacción registrados revelan una alta variabilidad en el inicio del movimiento entre los diferentes puntos corporales durante una salida de tacos (Tabla 1). El tiempo de reacción medio más corto fue registrado en el tronco, seguido por la cadera tras un corto periodo de milésimas (102.50 ms y 108.33 ms, respectivamente; Tabla 1, Tabla 2 y Figura 3). Con lo que respecta a los puntos de mayor protagonismo en la detección de 'salida nula' por parte de los SIS certificados por la *World Athletics*, el TTD registra mejor tiempo de reacción promedio que el TTT, el TD y el TT (116.56 ms frente a 143.93 ms, 128.75 ms y 166.88 ms, respectivamente; Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de los tiempos de reacción de cada punto.

PUNTO	N	$\bar{X}$ (ms)	S (ms)	95% IC (ms)
TTT	7	143.93	15.60	(132.4, 155.5)
TTD	8	116.56	21.13	(101.9, 131.2)
C	3	108.33	28.87	(75.7, 141.0)
MTT	4	166.25	15.07	(151.5, 181.0)
T	2	102.50	14.14	(82.9, 122.1)
TT	4	166.88	48.28	(119.6, 214.2)
TD	4	128.75	28.03	(101.3, 156.2)

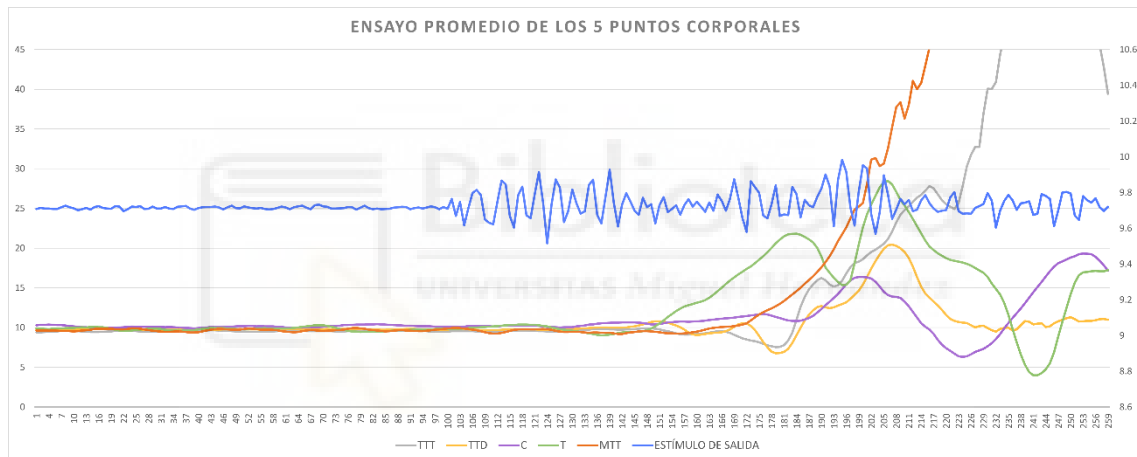
N = tamaño (número de ensayos);  $\bar{X}$  = media; ms = milisegundos; S = desviación estándar; IC = intervalo de confianza; TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; C = cadera; MTT = muñeca del taco trasero; T = tronco; TT = taco trasero; TD = taco delantero.

Tabla 2. Secuencia de los puntos corporales en el inicio del movimiento de una salida de tacos.

SECUENCIA DE MOVIMIENTO	PUNTO	$\bar{X}$ (ms)
1º	Tronco (T)	102.50
2º	Cadera (C)	108.33
3º	Tobillo del taco delantero (TTD)	116.56
4º	Tobillo del taco trasero (TTT)	143.93
5º	Muñeca del taco trasero (MTT)	166.25

$\bar{X}$  = media; ms = milisegundos; T = tronco; C = cadera; TTD = tobillo del taco delantero; TTT = tobillo del taco trasero; MTT = muñeca del taco trasero.

Figura 3. Gráfica de ensayo promedio de los 5 puntos corporales.



TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; C = cadera; T = tronco; MTT = muñeca del taco trasero.

Con lo que respecta a la posibilidad de registrar tiempos de reacción menores de 100 milisegundos, los límites inferiores del intervalo de confianza al 95% de la cadera y el tronco muestran valores de 76 ms y 83 ms, respectivamente (Tabla 1), y no serían detectados como 'salida nula' debido a los algoritmos de los SIS. En la misma línea, el mínimo tiempo registrado por el TTD fue de 85 milisegundos (Tabla 3), por lo que, posiblemente, hubiese sido considerado como anticipación al estímulo de salida.

Tabla 3. Tiempos de reacción mínimos y máximos registrados.

PUNTO	TR mínimo (ms)	TR máximo (ms)
TTT	115.0	162.5
TTD	85.0	155.0
C	75.0	125.0
MTT	145.0	180.0
T	92.5	112.5
TT	115.0	230.0
TD	100.0	157.5

TR = tiempo de reacción; ms = milisegundos; TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; C = cadera; MTT = muñeca del taco trasero; T = tronco; TT = taco trasero; TD = taco delantero.

También han sido detectadas grandes diferencias entre tiempos de reacción registrados en un mismo ensayo, como sucede en el caso del 'Ensayo 9', en que es observada una diferencia de 117.5 ms entre el T y el TT, con tiempos de reacción de 112.5 ms y 230 ms, respectivamente (Tabla 4 y Anexo 9).

Tabla 4. Tiempos de reacción registrados en el 'Ensayo 9'.

PUNTO	TR (ms)
TT	230.0
TD	157.5
T	112.5
TTT	142.5

TR = tiempo de reacción; ms = milisegundos; TT = taco trasero; TD = taco delantero; T = tronco; TTT = tobillo del taco trasero.

## Discusión y conclusiones

Este trabajo pone el foco sobre la necesidad de revisión y estudio acerca del registro de tiempo de reacción y detección de 'salida nula' sobre los tacos de salida de las carreras de velocidad de atletismo. Por ello, ha sido llevado a cabo un estudio de caso único que pudiese servir como base a estudios futuros de muestras más amplias y representativas, tanto a nivel de rendimiento como a nivel de diferenciación entre sexos, y con objetivos orientados hacia la determinación más precisa del umbral mínimo de tiempo de reacción legal y la estandarización de los SIS certificados por la *World Athletics*, que, actualmente, establece dicho parámetro

temporal en 100 milisegundos y hace uso de diversos SIS, cuyos algoritmos para la detección de 'salida nula' no se encuentran estandarizados y, por lo tanto, pueden resultar en tiempos de reacción diferentes (Holmes et al., 2020; Milloz et al., 2021; Pain & Hibbs, 2007).

Los resultados del estudio muestran una gran variabilidad intraindividual del tiempo de reacción en la salida de tacos (Tabla 1 y Tabla 3). Además, esta variabilidad no aparece únicamente entre ensayos, sino que también lo hace entre los registros de un único ensayo, es decir, entre los diferentes puntos de estudio durante un mismo ensayo (Tabla 4). El tiempo de reacción puede resultar en un valor registrado menor o mayor en función del punto corporal o fijo, en el caso de estudiar el cambio sobre los tacos de salida, que haya sido analizado. Dicho aspecto se encuentra basado en la existencia de una secuencia de inicio del movimiento durante la salida de tacos que puede resultar de interés para una mayor precisión en el estudio de tiempo de reacción mínimo posible, y que coloca al tronco y la cadera como primeros en esta secuencia de participación (Tabla 2). Sin embargo, ninguno de los SIS certificados por la *World Athletics* basa su evaluación del tiempo de reacción en ningún de los dos puntos corporales en cuestión (Pain & Hibbs, 2007).

Por otro lado, algunos de los resultados obtenidos en este estudio demostrarían la posibilidad de reaccionar en una salida de tacos de una carrera de velocidad en menos 100 milisegundos, con registros de tiempo de reacción como los de la cadera, el tronco y el tobillo del taco delantero, con valores de 75 ms, 92.5 ms y 85 ms, respectivamente (Tabla 3). No obstante, es necesario destacar que en este estudio no existe un valor criterio de fuerza aplicada o umbral de aceleración que superar para determinar el inicio del movimiento, como sí se encuentra predeterminado en algunos de los SIS (Brosnan et al., 2017), sino que ha sido entendido el tiempo de reacción como aquel sucedido desde la aparición del estímulo de salida hasta el mínimo cambio detectable en la línea de aceleración local de cada punto, que podría implicar una obtención de tiempos de reacción menores a los que serían registrados por los SIS certificados por la *World Athletics*.

El estudio de caso único de este trabajo final de grado presenta limitaciones tanto a nivel muestral como material. Por un lado, la muestra es de tan solo una velocista fémina, imposibilitando la comparación entre participantes y la extracción de conclusiones acerca de las posibles diferencias de tiempos de reacción en base a la diferenciación entre sexos, además de ser esta de nivel de competición autonómico, alejándose mucho su rendimiento de aquel de nivel nacional e internacional. Por otro lado, los acelerómetros como instrumento de medida suponen un posible retardo de 20 ms en la detección del tiempo de reacción frente a las células de carga (Holmes et al., 2020), lo que dificulta la obtención de datos precisos de los tiempos de reacción reales durante una salida de tacos, pero no suponen una limitación en el estudio de la secuencia de inicio del movimiento por parte de los diferentes puntos corporales seleccionados para este caso, pues, al encontrarse en sincronización con el estímulo de salida, también registrado por el mismo instrumental de medida, dicho retraso en el registro de datos se mantiene estable a lo largo de toda la medición.

En definitiva, tanto la contextualización de este trabajo como el estudio llevado a cabo ponen en manifiesto la relevancia de estudio sobre la variabilidad en el tiempo de reacción sobre los tacos de salida en las carreras de velocidad de atletismo. Y es que toda esta variabilidad guarda relación con multitud de aspectos, como pueden ser los de tipo fisiológicos y/o biomecánico o aquellos de tipo instrumental. Por ello se requiere de un estudio en profundidad capaz de unir todos estos aspectos y resultar en un reglamento de competición válido y preciso, cuya influencia es muy alta en las carreras de velocidad de menor distancia, como son las de 60 y 100 metros lisos, en que los puestos de clasificación en un campeonato se distancian milésimas de segundo unos de otros en muchas ocasiones, además de que tan solo unas milésimas de segundo pueden resultar determinantes en la consecución de un récord en estas pruebas (Zhang et al., 2021).

## Propuesta de intervención

En base a los resultados obtenidos de este estudio, se propone un estudio de campo de mayor magnitud, tanto a nivel muestral como a nivel de variables de evaluación, capaz de atender a todos los aspectos influyentes en la variabilidad del tiempo de reacción sobre los tacos de salida en las carreras de velocidad de atletismo.

Por un lado, la muestra debería ser lo suficientemente representativa a nivel de rendimiento internacional y lo suficientemente amplia como para que los resultados extraídos en base a esta presenten una evidencia científica sólida. Además, esta muestra debería contemplar la diferenciación entre sexos con el objetivo de comparar resultados entre ambos, así como de examinar las posibilidades de tiempos de reacción mínimos de manera independiente.

Por otro lado, y en referencia al instrumental de medida, este debería ser válido para aquel aspecto de estudio sobre el que se pusiese el foco. En el caso de la medición realizada en este trabajo, los acelerómetros fueron empleados como un instrumento de medida válido en el establecimiento de la secuencia de inicio del movimiento de los distintos puntos corporales durante la salida de tacos, pero en el caso de tener por finalidad conocer el tiempo de reacción mínimo posible a registrar por el ser humano sobre los tacos de salida debería ser utilizada otra herramienta de medida de mayor precisión temporal en el registro de los datos, como podrían ser las plataformas de fuerza (Holmes et al., 2020).

Atendiendo a los aspectos muestrales e instrumentales descritos, el estudio debería orientar la atención hacia la validación del umbral de tiempo de reacción mínimo legal de 100 milisegundos sobre los tacos de salida, o, en su defecto, hacia la propuesta de un nuevo valor temporal más ajustado a las capacidades límite del ser humano, ya sea superior o inferior de 100 milisegundos. Junto a ello, debería ser estudiada y propuesta la distinción reglamentaria de 'salida nula' en función del sexo, ya sea en base al valor temporal permitido a registrar durante la salida de tacos o en el algoritmo de registro del tiempo de reacción de los SIS.

En paralelo a todo ello, debería ser estudiado el mejor algoritmo de detección de 'salida nula' y, posteriormente, estandarizados el registro y la evaluación del tiempo de reacción por parte de los diferentes SIS certificados por la *World Athletics*. No obstante, hoy en día resultaría complejo el planteamiento de un estudio en base a los SIS empleados en las competiciones de atletismo puesto que sus algoritmos forman parte de sus propias patentes, siendo actualmente desconocidos muchos datos relevantes en la detección de 'salida de nula', como puede ser la existencia de un valor criterio a alcanzar para determinar el tiempo de reacción.

## Referencias

- Brosnan, K. C., Hayes, K., & Harrison, A. J. (2017). Effects of false-start disqualification rules on response-times of elite-standard sprinters. *Journal of Sports Sciences*, 35(10), 929-935. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1201213>
- Brown, A. M., Kenwell, Z. R., Maraj, B. K. V., & Collins, D. F. (2008). «Go» Signal Intensity Influences the Sprint Start. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(6), 1142. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816770e1>
- Gutiérrez-Cruz, C., Gutiérrez-Dávila, M., & Campos-Granell, J. (2022). Análisis de la contribución segmentaria en el rendimiento de las salidas de velocidad. (Analysis of the segmental contribution in sprint start performance). *Retos*, 43, 988-995. <https://doi.org/10.47197/retos.v43i0.89732>
- Holmes, J., Hayes, K., & Harrison, A. J. (2020). A METHOD COMPARISON OF BLOCK BASED ACCELEROMETERS AND FORCE SENSORS FOR DETERMINATION OF RESPONSE TIMES IN THE SPRINT START. *ISBS Proceedings Archive*, 38(1), 492.
- Ishikawa, M., Komi, P., & Salmi, J. (2009). IAAF Sprint Start Research Project: Is the 100 ms limit still valid? *IAAF New Studies in Athletics*, 24, 37-47.
- Lipps, D. B., Galecki, A. T., & Ashton-Miller, J. A. (2011). On the Implications of a Sex Difference in the Reaction Times of Sprinters at the Beijing Olympics. *PLOS ONE*, 6(10), e26141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026141>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1), 73-80. <https://doi.org/10.1007/BF00236697>
- Milloz, M., Hayes, K., & Harrison, A. J. (2021). Sprint Start Regulation in Athletics: A Critical Review. *Sports Medicine*, 51(1), 21-31. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01350-4>
- Mitašik, P., Doležajová, L., & Lednický, A. (2022). Intraindividual Evaluation of Reaction Time At the Men's World Athletics Championships 1999—2019. *Acta Facultatis Educationis*

*Physicae Universitatis Comenianae*, 62(1), 72-82. <https://doi.org/10.2478/afepuc-2022-0007>

Mitašík, P., Doležajová, L., Lednický, A., & Végh, D. (2020). Changes in the Start Reaction Times in the 200 m Run at the World Championships After the Tightening of False Start Rule. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 60(2), 207-216. <https://doi.org/10.2478/afepuc-2020-0017>

Pain, M. T. G., & Hibbs, A. (2007). Sprint starts and the minimum auditory reaction time. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 79-86. <https://doi.org/10.1080/02640410600718004>

Thelen, D. G., Schultz, A. B., Alexander, N. B., & Ashton-Miller, J. A. (1996). Effects of Age on Rapid Ankle Torque Development. *The Journals of Gerontology: Series A*, 51A(5), M226-M232. <https://doi.org/10.1093/gerona/51A.5.M226>

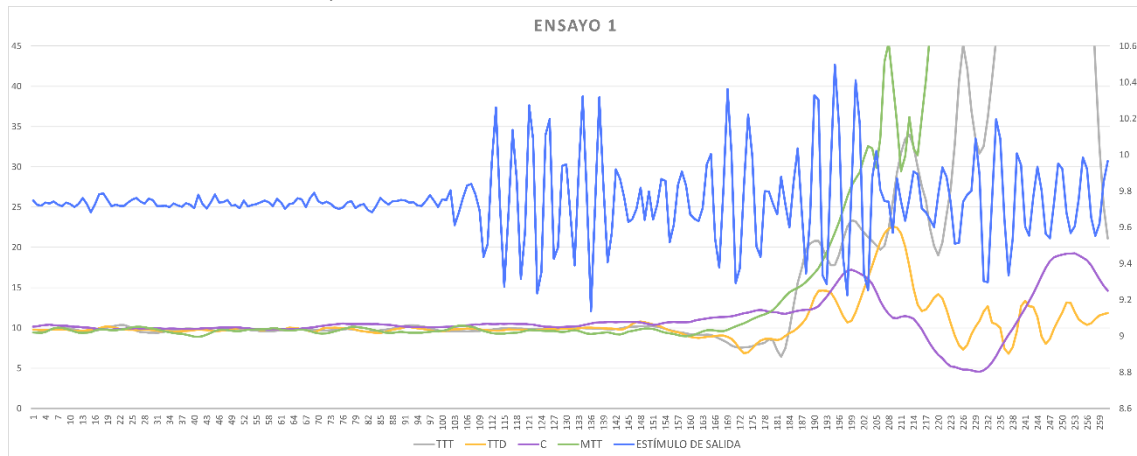
World Athletics. (2024). Competition Rules & Technical Rules. Obtenido de <https://worldathletics.org/about-iaaf/documents/book-of-rules>

Zhang, J., Lin, X.-Y., & Zhang, S. (2021). Correlation Analysis of Sprint Performance and Reaction Time Based on Double Logarithm Model. *Complexity*, 2021, e6633326. <https://doi.org/10.1155/2021/6633326>



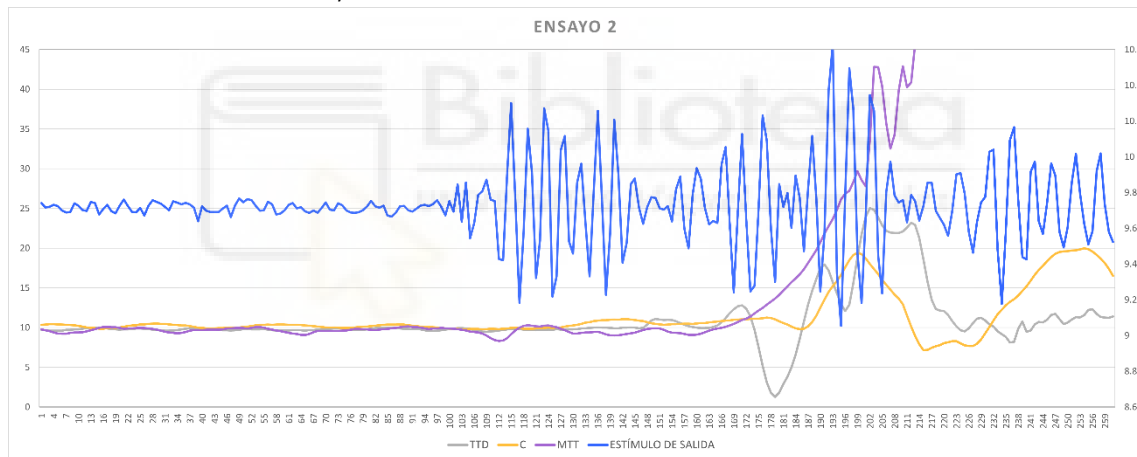
## Anexos

### Anexo I: Gráfica de 'Ensayo 1'



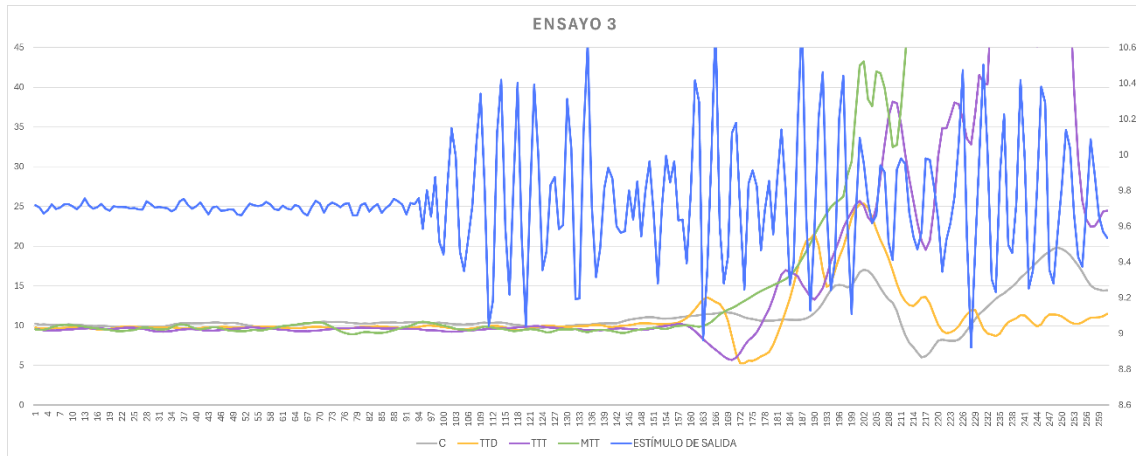
TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; C = cadera; MTT = muñeca del taco trasero.

### Anexo 2: Gráfica de 'Ensayo 2'



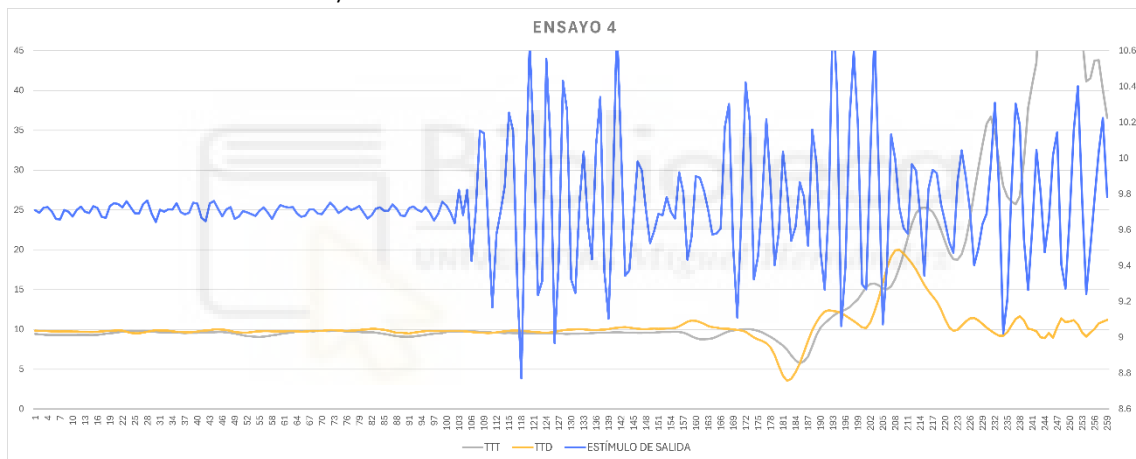
TTD = tobillo del taco delantero; C = cadera; MTT = muñeca del taco trasero.

Anexo 3: Gráfica de 'Ensayo 3'



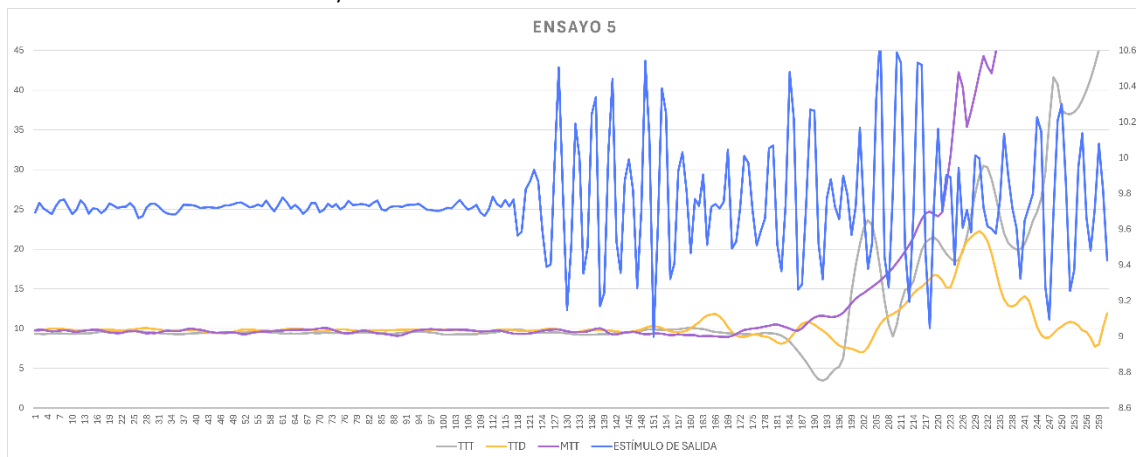
C = cadera; TTD = tobillo del taco delantero; TTT = tobillo del taco trasero; MTT = muñeca del taco trasero.

Anexo 4: Gráfica de 'Ensayo 4'



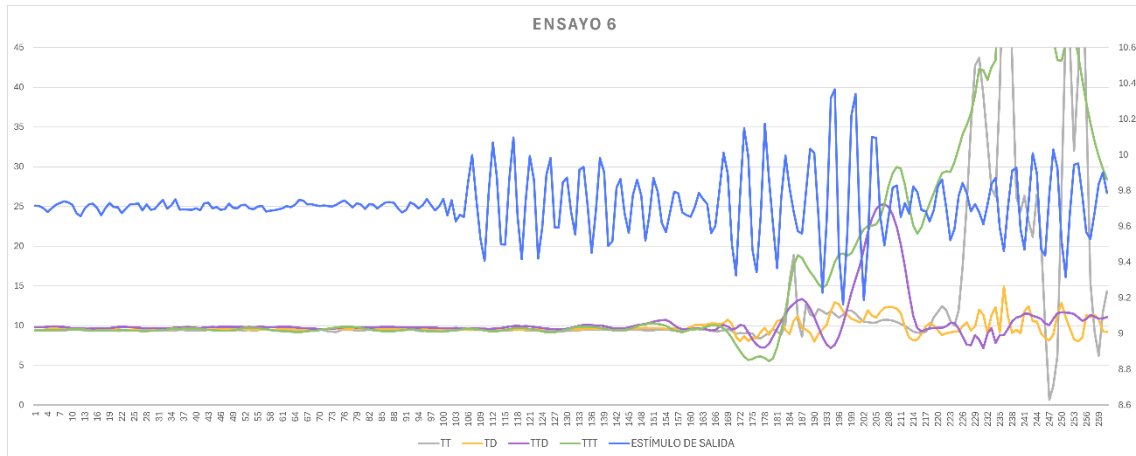
TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero.

Anexo 5: Gráfica de 'Ensayo 5'



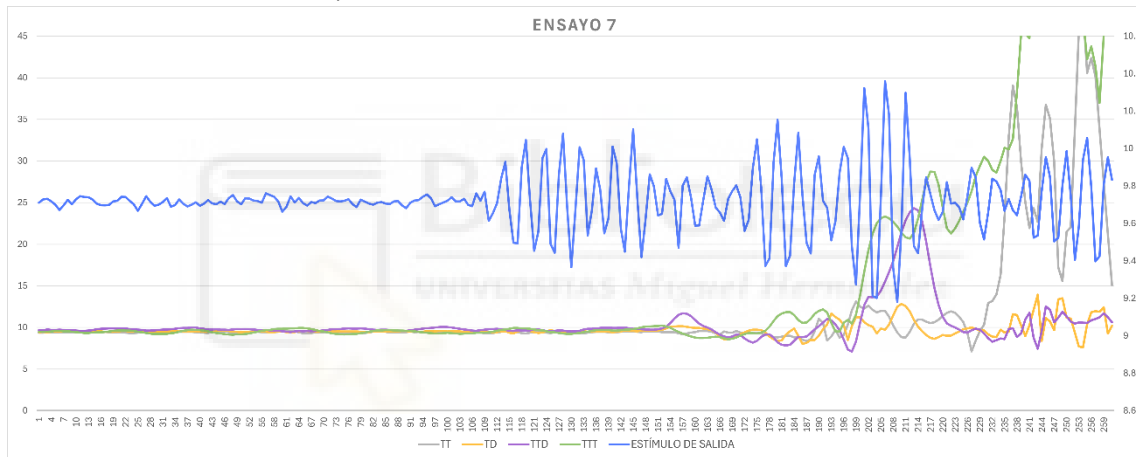
TTT = tobillo del taco trasero; TTD = tobillo del taco delantero; MTT = muñeca del taco trasero.

Anexo 6: Gráfica de 'Ensayo 6'



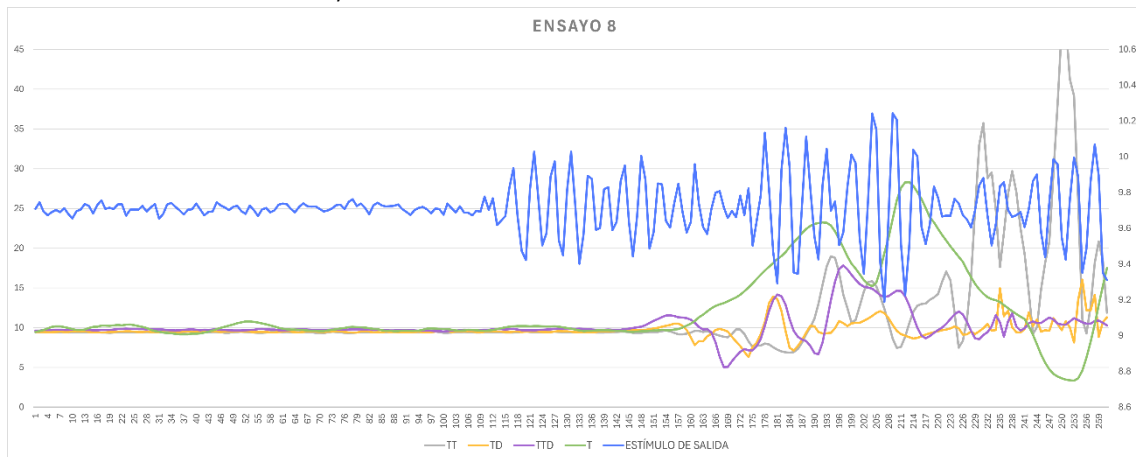
TT = taco trasero; TD = taco delantero; TTD = tobillo del taco delantero; TTT = tobillo del taco trasero.

Anexo 7: Gráfica de 'Ensayo 7'



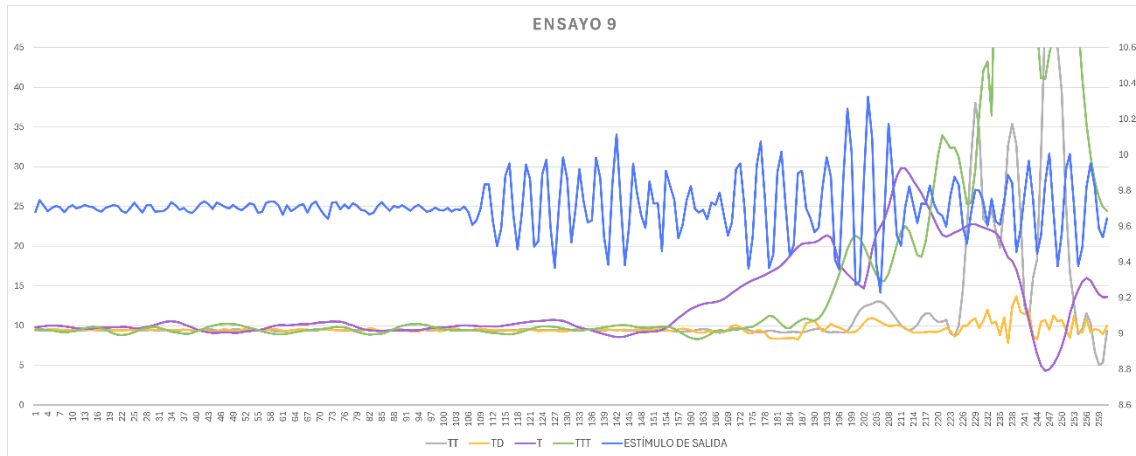
TT = taco trasero; TD = taco delantero; TTD = tobillo del taco delantero; TTT = tobillo del taco trasero.

Anexo 8: Gráfica de 'Ensayo 8'



TT = taco trasero; TD = taco delantero; TTD = tobillo del taco delantero; T = tronco.

Anexo 9: Gráfica de 'Ensayo 9'



TT = taco trasero; TD = taco delantero; T = tronco; TTT = tobillo del taco trasero.

