

WheelMove-ID: Manual de usuario

Privacidad: Por razones éticas y gracias a la solución técnica empleada (JavaScript), todos los cálculos se realizan únicamente en su ordenador. Como resultado, los datos introducidos en la aplicación nunca se transmiten a un servidor ni se almacenan.

Tabla de contenido

WheelMove-ID : Manual de usuario	1
1. Introducción	2
2. Protocolo experimental con unidades de medida inercial	3
2.1. Equipamiento	3
2.2. Calibración	3
2.3. Adquisiciones	3
3. Estructuración de los datos	4
3.1. Carga de archivos brutos	4
3.2. Identificación de las columnas de interés	4
3.3. Procesamiento por lotes	5
3.4. Botones del pie de página	5
4. Preprocesamiento de los datos	7
4.1. Parámetros de preprocesamiento	7
4.2. Parámetros de la SRM	8
4.3. Adquisición estática	8
4.4. Adquisición en línea recta	8
4.5. Adquisiciones a procesar	8
4.6. Botones del pie de página	9
5. Análisis de tareas locomotoras	10
5.1. Carga de datos	10
5.2. Validar archivos y parámetros	10
5.3. Analizar	11
5.4. Guardar	11
6. Datos de muestra	12
7. Contáctenos	12

1. Introducción

Este documento ha sido redactado con el objetivo de permitir un uso informado y conforme a la intención de los desarrolladores de la aplicación WheelMove-ID.

Esta aplicación tiene como finalidad facilitar la identificación de las acciones locomotoras en silla de ruedas manual (SRM) mediante unidades de medida inercial. En particular, permite identificar las fases de inmovilidad, la propulsión en línea recta hacia adelante o hacia atrás, y las fases de giro con distintos niveles de curvatura. Atención: desde un punto de vista teórico, el análisis se limita a movimientos sobre un plano horizontal. Sin embargo, la aplicación puede funcionar en otros planos, aunque no contempla las transiciones entre ellos. Además, esta versión no identifica la presencia de pendientes, inclinaciones laterales u otros obstáculos.

Los detalles teóricos de este enfoque se presentan en un segundo manual disponible en inglés a través de la pestaña “Ayuda” de la aplicación, así como en los artículos asociados a este trabajo:

- Poulet, Y.; Brassart, F.; Simonetti, E.; Pillet, H.; Faupin, A.; Sauret, C. Analyzing Intra-Cycle Velocity Profile and Trunk Inclination during Wheelchair Racing Propulsion. *Sensors* 2023, 23, 58. <https://doi.org/10.3390/s23010058>
- Deves, M.; Sauret, C.; Alberca, I.; Honnorat, L.; Poulet, Y.; Hays, A.; Faupin, A. Activity Identification, Classification, and Representation of Wheelchair Sport Court Tasks: A Method Proposal. *Methods Protoc.* 2024, 7, 84. <https://doi.org/10.3390/mps7050084>

La aplicación se basa en la medición de los desplazamientos en silla de ruedas manual (SRM) mediante unidades de medida inercial, siguiendo el protocolo que se detalla a continuación (ver Protocolo experimental con unidades de medida inercial), y funciona en tres etapas (Figura 1):

- Estructuración de los datos
- Preprocesamiento de los datos
- Identificación de las tareas locomotoras

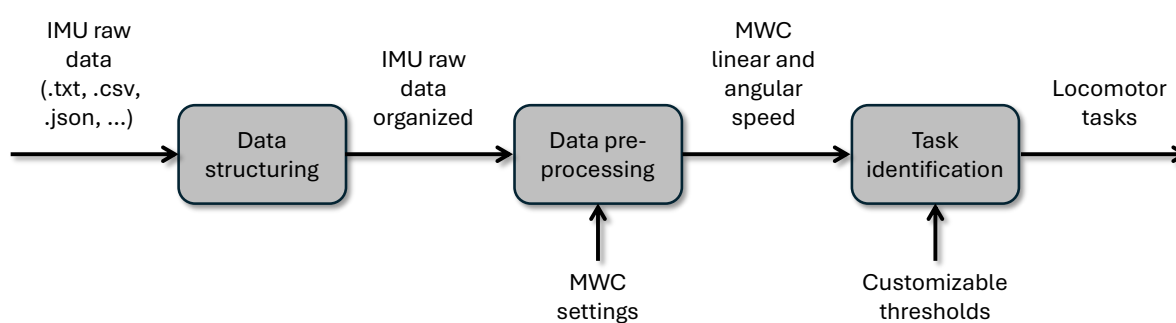


Figura 1: Flujo de funcionamiento de WheelMove-ID

Nota: Si se utilizan herramientas distintas de las unidades de medida inercial para medir los desplazamientos, la etapa de identificación de las tareas locomotoras puede utilizarse de forma independiente de las dos primeras.

2. Protocolo experimental con unidades de medida inercial

2.1. Equipamiento

Para realizar las mediciones se requieren tres unidades de medida inercial (IMU) y una cinta métrica. La colocación de las unidades de medida inercial en la silla de ruedas manual (SRM) es la siguiente:

- Ruedas traseras derecha e izquierda (1 IMU cada una)
 - La unidad debe fijarse firmemente, preferiblemente en el buje de la rueda.
 - Se debe alinear, en la medida de lo posible, uno de los ejes de medición con el eje de rotación de la rueda.
- Chasis (1 IMU)
 - IMU fijada firmemente bajo el asiento en el chasis, lo más cerca posible del punto medio del segmento que une los centros de las dos ruedas traseras.
 - Se debe alinear, en la medida de lo posible, uno de los ejes de medición con la dirección anteroposterior de la SRM, dentro del plano sagital medio.

Para continuar, será necesario conocer el radio de las ruedas así como su caída (camber). Un método sencillo para medir el radio de las ruedas se describe en el apartado 4.2.

2.2. Calibración

Una vez que la SRM está equipada con las tres unidades de medida inercial, deben realizarse dos adquisiciones de calibración:

- Calibración estática
 - La adquisición estática corresponde a un registro sin ningún movimiento de la SRM. Debe durar entre 5 y 10 segundos. Se utiliza para compensar posibles errores de alineación de la unidad de medida inercial instalada en el chasis. El usuario debe estar sentado en la SRM para tener en cuenta la deformación del chasis debida a la carga generada por el peso del usuario.
- Calibración en línea recta
 - La adquisición en línea recta debe realizarse preferentemente con el usuario sentado en su SRM. Durante esta adquisición, un operador empuja la SRM en línea recta (siguiendo una línea en el suelo para mayor precisión) a lo largo de una distancia superior a dos vueltas completas de las ruedas. Esta adquisición se utiliza para alinear los sistemas de referencia de las unidades de medida inercial con los ejes de rotación de las ruedas traseras.

Nota: Las adquisiciones de calibración deben repetirse cada vez que se modifique la posición de alguna unidad de medida inercial, incluso de forma mínima. Si las unidades no se desplazan y la misma SRM instrumentada con las tres unidades de medida inercial se utiliza con otro usuario, las adquisiciones estática y en línea recta podrían reutilizarse. No obstante, se recomienda repetirlas con el nuevo usuario y realizar una nueva medición del radio de las ruedas.

2.3. Adquisiciones

Una vez realizadas las dos adquisiciones de calibración, se puede proceder a la medición de los desplazamientos de interés.

Nota: Si es posible, se recomienda limitar la duración de la adquisición para garantizar un tiempo de procesamiento razonable.

Nota: La aplicación no procesará ningún archivo que contenga datos faltantes (o valores NaN).

3. Estructuración de los datos

El objetivo de esta primera etapa es agrupar los datos brutos de las unidades de medida inercial correspondientes a cada desplazamiento medido en un archivo estructurado, que servirá como entrada para la siguiente etapa de preprocesamiento de los datos. Esto permite ampliar el uso de la aplicación a numerosos modelos diferentes de unidades de medida inercial.

3.1. Carga de archivos brutos

En primer lugar, los archivos que contienen los datos brutos de las unidades de medida inercial deben cargarse en la aplicación. Para una mejor compatibilidad, se aceptan los siguientes formatos: .csv, .txt, .json, .tsv.

Nota: WheelMove-ID no gestiona la lectura directa de archivos propietarios de los fabricantes. Utilice la función de exportación del software del fabricante para generar los archivos que se cargarán en la aplicación.

Los datos procedentes de los acelerómetros se expresan en m/s^2 . Con el fin de adaptarse a los formatos utilizados por distintos fabricantes de unidades de medición inercial, los datos de los giróscopos pueden proporcionarse en deg/s o en rad/s .

3.2. Identificación de las columnas de interés

En la subsección “**Primera adquisición**” de la página (Figura 2), utilice los menús desplegables para asociar a cada unidad de medida inercial uno de los archivos brutos cargados previamente.

Nota: Si los datos brutos de las tres unidades de medida inercial están agrupados en un mismo archivo, este solo necesita cargarse una vez y puede seleccionarse varias veces.

La selección de un archivo muestra la tabla de correspondencia. Esta tabla presenta, en las filas, los encabezados de cada columna del archivo bruto y, en las columnas, los datos que deben identificarse para el resto del procesamiento.

A continuación, asocie cada fila con la columna correspondiente seleccionando las casillas adecuadas (Figura 2).

▼ Primera adquisición

Unidades de velocidad angular: ☒ deg/s ☐ rad/s

Chasis: Static-Frame.txt

	Acc X	Acc Y	Acc Z	Gyr X	Gyr Y	Gyr Z
PacketCounter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acc_X	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acc_Y	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acc_Z	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gyr_X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gyr_Y	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gyr_Z	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Figura 2: Tabla de correspondencia para la unidad de medida inercial del chasis

3.3. Procesamiento por lotes

El procesamiento por lotes permite aplicar la correspondencia definida previamente a un gran número de archivos. Para ello, indique en la tabla (Figura 3) los archivos correspondientes a cada unidad de medida inercial para cada adquisición mediante los menús desplegables. Utilice la primera columna, “**Nombre de la adquisición**”, para asignar un nombre a cada adquisición.

Los dos botones situados debajo de la tabla permiten añadir o eliminar una fila de la tabla.

▼ Procesamiento por lotes

Nombre de la adquisición	Archivo IMU del chasis	Archivo IMU de la rueda derecha	Archivo IMU de la rueda izquierda
batch_1	2min-Frame.txt	2min-RightWheel.txt	2min-LeftWheel.txt
batch_2	Static-Frame.txt	Static-RightWheel.txt	Static-LeftWheel.txt
batch_3	StraightLine-Frame.txt	StraightLine-RightWheel.txt	StraightLine-LeftWheel.txt

Añadir fila
Eliminar la última fila

Figura 3: Procesamiento por lotes con los datos de muestra

3.4. Botones del pie de página

3.4.1. Nueva(s) adquisición(es)

Este botón recarga la página.

Nota: Solo es útil en caso de cambiar la marca o el modelo de las unidades de medida inercial entre adquisiciones. En caso contrario, se recomienda utilizar el “Procesamiento por lotes”.

3.4.2. Generar archivo(s) CSV

Este botón descarga en la carpeta “**.../Descargas**” un archivo comprimido denominado “imu_batch_export.zip”, que contiene los archivos .csv correspondientes a las adquisiciones. Los archivos generados incluyen 18 columnas que representan los datos del acelerómetro y del giroscopio de cada unidad de medida inercial (chasis, rueda derecha y rueda izquierda).

3.4.3. Preprocesamiento de los datos

Permite acceder a la página de preprocesamiento de los datos (ver Sección 4, Preprocesamiento de los datos).

4. Preprocesamiento de los datos

El preprocesamiento de los datos se realiza en cinco etapas, que se presentan a continuación. En cada etapa, el usuario debe introducir los datos necesarios y luego hacer clic en el botón “Validar” para pasar a la siguiente etapa. Tras una primera validación, el botón “Modificar” se activa y permite cambiar los valores introducidos.

Si el botón “Validar” aparece atenuado y no está disponible, esto indica que faltan datos en la etapa actual.

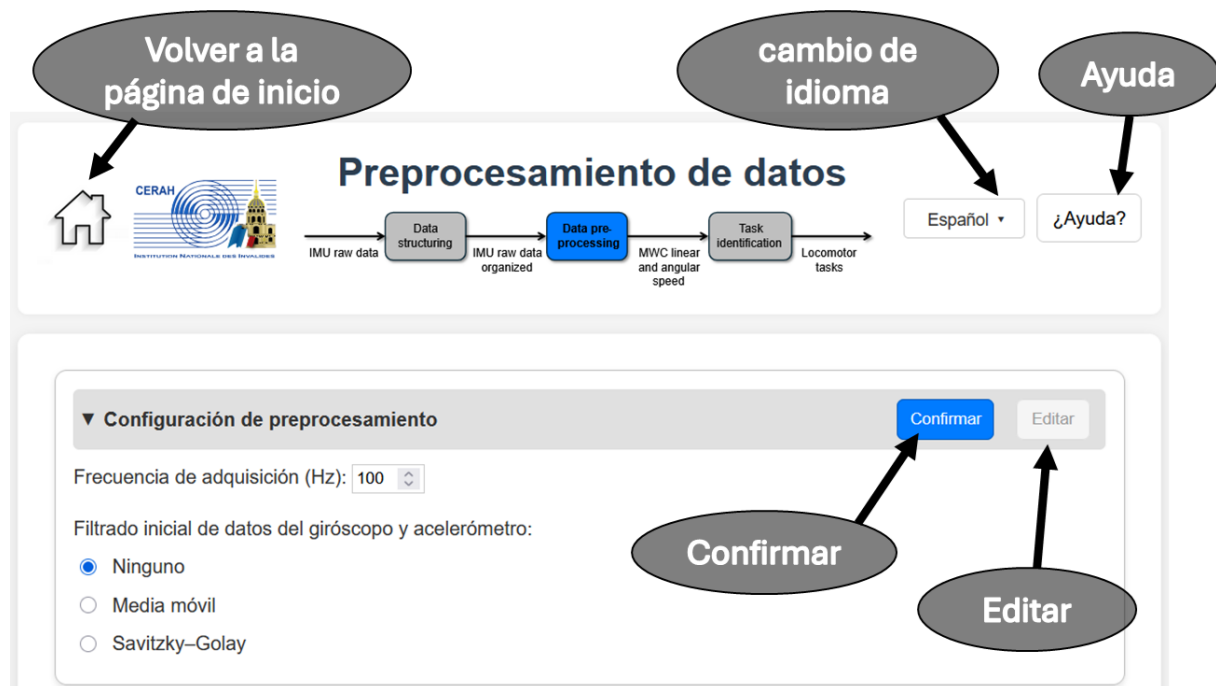


Figura 4: Presentación de la interfaz

4.1. Parámetros de preprocesamiento

Introduzca la **frecuencia de adquisición (en Hz)** de las unidades de medida inercial. La frecuencia de adquisición debe ser idéntica para todas las unidades y para todas las adquisiciones que se vayan a procesar.

Seleccione el filtro que se aplicará a los datos brutos de los giróscopos y acelerómetros:

- **Ninguno:** Los datos no se filtran.
- **Media móvil:** Aplica una media móvil centrada con extrapolación lineal para limitar los efectos de borde. El tamaño de la ventana de procesamiento puede ser definido por el usuario. Nota: El tamaño de la ventana debe ser un número impar.
- **Savitzky-Golay :** Aplica el algoritmo de Savitzky–Golay para suavizar los datos. El usuario debe indicar la ventana de procesamiento (número impar) y el orden del polinomio utilizado.

Nota: el tamaño de la ventana debe ser al menos igual al orden del polinomio + 1 (por ejemplo, al menos 3 valores para un polinomio de orden 2, 5 valores para polinomios de orden 3 y 4, 7 valores para un polinomio de orden 5, etc.).

4.2. Parámetros de la SRM

- **Inclinación de las ruedas:** Corresponde al ángulo de inclinación de las ruedas de la SRM con respecto a la vertical.
- **Radio / circunferencia de las ruedas traseras:** El usuario puede elegir introducir el radio o la circunferencia de las ruedas traseras de la SRM mediante el botón de alternancia. La opción seleccionada aparece resaltada en azul. Los valores deben introducirse en centímetros. Para una mayor precisión en el análisis, el usuario puede diferenciar las mediciones de la rueda derecha y la izquierda haciendo clic en el botón **“Diferenciar izquierda/derecha”**.

Nota: Se recomienda medir la circunferencia y diferenciar las ruedas. La circunferencia puede determinarse a partir de la distancia recorrida por la rueda en línea recta durante una vuelta completa, utilizando, por ejemplo, la válvula colocada verticalmente sobre el suelo como referencia.

- **Ancho de vía trasero (cm):** Introduzca la distancia entre los puntos de contacto de las dos ruedas traseras con el suelo, en centímetros. Esta medición, combinada con el ángulo de inclinación de las ruedas, permite determinar automáticamente la distancia entre los centros de las ruedas traseras.

4.3. Adquisición estática

Utilice el botón o el área de arrastrar y soltar para cargar una adquisición estática (ver Calibración).

Si se ha cargado una adquisición incorrecta, esta puede eliminarse haciendo clic en la cruz roja de la columna **“Acción”** de la tabla correspondiente.

4.4. Adquisición en línea recta

Utilice el botón o el área de arrastrar y soltar para cargar una adquisición en línea recta (ver Calibración).

Si se ha cargado una adquisición incorrecta, esta puede eliminarse haciendo clic en la cruz roja de la columna **“Acción”** de la tabla correspondiente.

4.5. Adquisiciones a procesar

Utilice el botón o el área de arrastrar y soltar para cargar las adquisiciones que se van a procesar.

Nota: Las unidades de medida inercial no deben desplazarse en ningún momento entre las adquisiciones de calibración y las adquisiciones que se van a procesar.

Las adquisiciones cargadas pueden eliminarse haciendo clic en la cruz roja de la columna **“Acción”** de la tabla correspondiente.

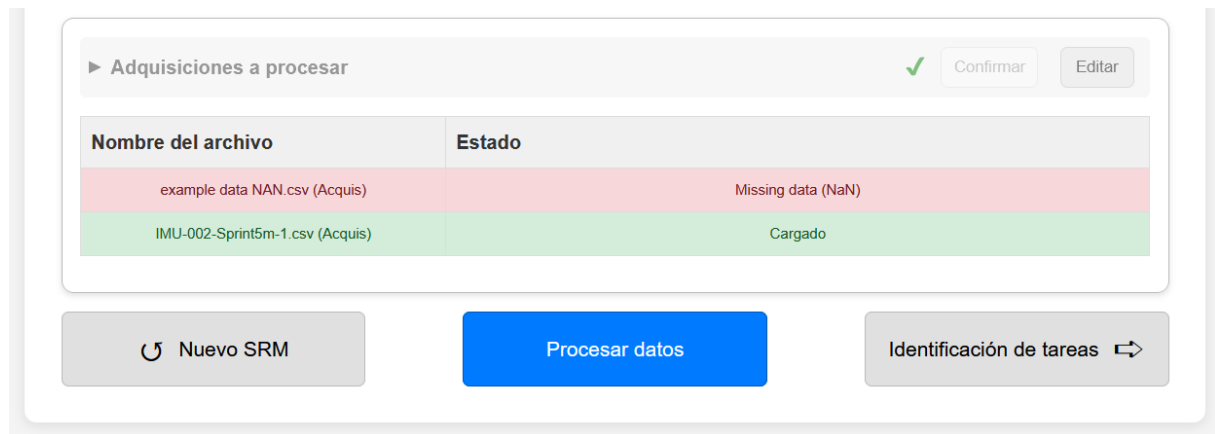


Figura 5: Ejemplo de carga de un archivo con datos faltantes (fila roja) y de un archivo funcional (fila verde)

La validación de esta etapa activa el botón del pie de página **“Procesar datos”**.

4.6. Botones del pie de página

4.6.1. Nueva SRM

Permite volver al paso 4.2 para introducir los datos de una nueva SRM a procesar.

Este botón debe utilizarse después de guardar los resultados de una SRM para poder preprocesar otra SRM mientras se conservan los parámetros de preprocesamiento introducidos en la sección 4.1.

4.6.2. Procesar datos

Permite realizar el preprocesamiento de las adquisiciones cargadas.

Descarga un archivo .csv por cada adquisición en la carpeta **“.../Descargas”**. Los archivos, denominados ..._preprocesamiento.csv, contienen tres columnas:

- Tiempo (s): Señal temporal que indica la evolución del tiempo durante la adquisición.
- Velocidad lineal (m/s): Velocidad de desplazamiento a lo largo del eje anteroposterior de la SRM.
- Velocidad angular (°/s): Velocidad angular de la SRM, es decir, su velocidad de rotación alrededor del eje vertical.

4.6.3. Identificación de tareas

Permite acceder a la página de identificación de tareas locomotoras (ver Sección 5, Análisis de tareas locomotoras)

5. Análisis de tareas locomotoras

Esta página tiene como objetivo identificar las acciones locomotoras a partir de las velocidades lineal y angular de la SRM.

La identificación de las acciones locomotoras se realiza en cuatro etapas principales:

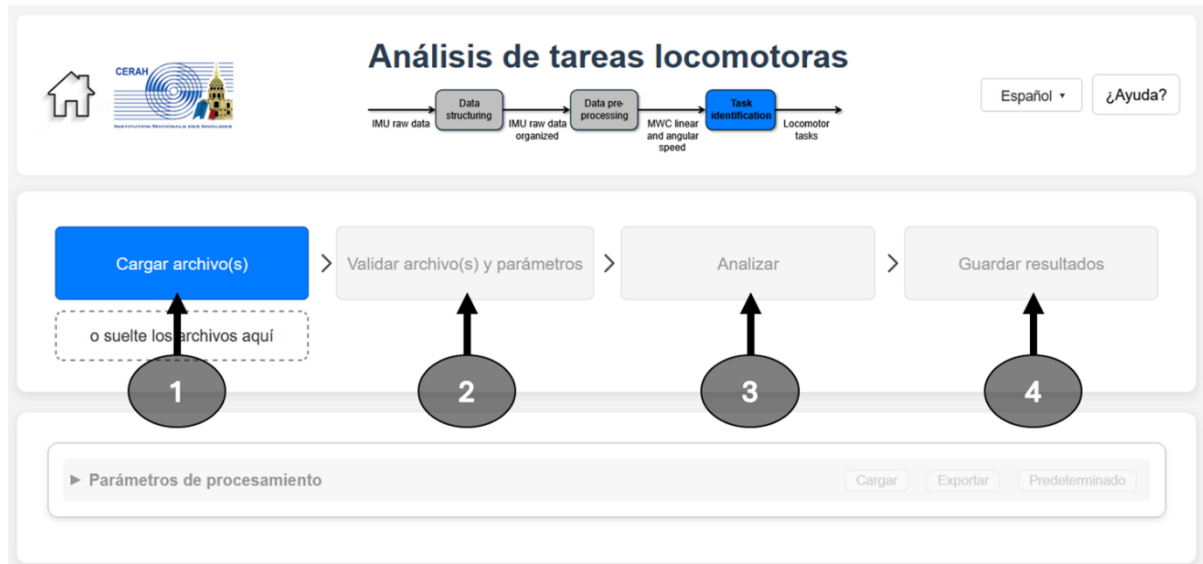


Figura 6: Etapas de la identificación de tareas locomotoras

5.1. Carga de datos

Utilice el botón o el área de arrastrar y soltar para cargar los archivos preprocesados que se van a analizar. Los archivos generados en la página anterior pueden cargarse tal cual. Se pueden cargar varios archivos en paralelo.

Nota: Cuando estas velocidades se obtienen mediante sensores distintos de las unidades de medida inercial, la aplicación WheelMove-ID puede utilizarse directamente desde esta etapa. En este caso, es indispensable asegurarse de que, en cada instante, las velocidades lineal y angular estén expresadas en el sistema de referencia de la SRM. En este sistema, la velocidad lineal debe proyectarse únicamente a lo largo del eje anteroposterior, y la velocidad angular a lo largo del eje vertical. Los archivos deben proporcionarse en formato .csv y contener al menos dos columnas con encabezados:

- La primera columna debe contener la velocidad lineal de la SRM en (m/s) y su título debe incluir al menos la cadena de caracteres “lin” para “velocidad lineal”.
- La segunda columna debe contener la velocidad angular de la SRM en (°/s) y su título debe incluir al menos la cadena de caracteres “ang” para “velocidad angular”.

5.2. Validar archivos y parámetros

Este botón permite bloquear los archivos cargados, visibles en la tabla en la parte superior de la página, así como los parámetros de procesamiento.

Antes de hacer clic en este botón, se puede personalizar la **frecuencia de adquisición** y los valores de los **umbrales** utilizados en el análisis.

Cada umbral corresponde al valor a partir del cual el algoritmo considera las transiciones entre los **Estados 1, 2 y 3** indicados en la tabla.

Los nuevos umbrales de velocidad lineal y angular, especificados debajo de la tabla, permiten, tras una primera identificación de las acciones locomotoras, precisar mejor el instante exacto de transición entre los estados mediante un procesamiento adicional.

Consulte el manual teórico en inglés disponible en la sección de ayuda de la aplicación para más detalles sobre los cálculos realizados y el uso de cada umbral.

Los botones **“Cargar”** y **“Exportar”** permiten exportar los valores de los parámetros de procesamiento en un archivo .json, de modo que este archivo pueda cargarse posteriormente para aplicar rápidamente el mismo procesamiento a diferentes adquisiciones.

El botón **“Predeterminado”** restablece los valores de frecuencia y umbrales a sus valores por defecto.

5.3. Analizar

El botón **“Analizar”** inicia la identificación de las acciones locomotoras sobre los archivos previamente cargados, utilizando los parámetros especificados.

Esto genera la visualización de los cronogramas, su leyenda en la parte inferior de la página y dos casillas de verificación que permiten mostrar en los cronogramas las velocidades lineal y angular para su visualización.

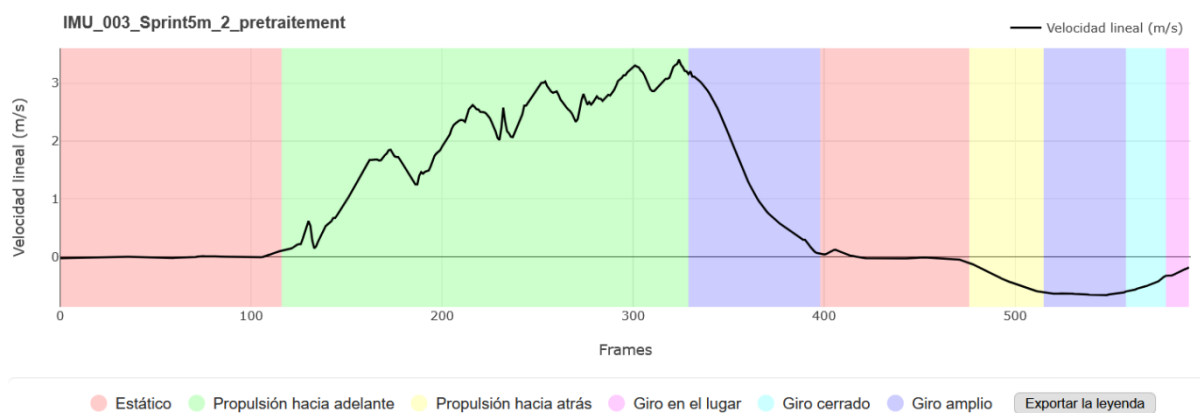


Figura 7: Ejemplo de un cronograma obtenido a partir del análisis de los datos.

5.4. Guardar

5.4.1. Guardar los resultados

El botón **“Guardar”** descarga en la carpeta **“.../Descargas”** un archivo .csv por cada adquisición cargada. Los archivos, denominados **“..._resultado.csv”**, contienen 4 columnas:

- Tiempo (s): Señal temporal que indica la evolución del tiempo durante la adquisición.
- Velocidad lineal (m/s): Velocidad de desplazamiento a lo largo del eje anteroposterior de la SRM.

- Velocidad angular (°/s): Velocidad de desplazamiento angular de la SRM, es decir, su velocidad de rotación alrededor del eje vertical.
- Tareas locomotoras: Número del 1 al 6 que representa las seis acciones identificadas por la aplicación, en el orden de la leyenda:
 - 1: Estática
 - 2: Propulsión hacia adelante
 - 3: Propulsión hacia atrás
 - 4: Pivot
 - 5: Giro cerrado
 - 6: Giro amplio

5.4.2. Exportar la leyenda

El botón **“Exportar la leyenda”**, situado en la parte inferior derecha de la leyenda, permite exportarla.

6. Datos de muestra

Se puede descargar un conjunto de datos de muestra directamente desde la sección de ayuda para familiarizarse con la aplicación.

7. Contáctenos

https://mobile.cerahtec.fr/fr/contact/cerah_site_invalides_recherches