



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
ETSID  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE LOS ESFUERZOS Y  
MOVIMIENTOS DEL CONDUCTOR EN LA  
CONDUCCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES.**

Documentos

1. Memoria
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto

Autor: Luna Serrador, Álvaro Tadeo  
Tutor: Armesto Ángel, Leopoldo  
Cotutor: Dols Ruiz, Juan Francisco

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Valencia, diciembre de 2018.



## **Agradecimientos**

Gracias en primer lugar al Instituto de Diseño y Fabricación y a Juan Dols por elegirme a mí para realizar este proyecto, gracias también a Diego P., Víctor S y los técnicos del SETRAV por recibirme con los brazos abiertos. Gracias a Leopoldo A., a todo el profesorado y personal de la UPV que me han enseñado todo lo necesario para llegar hasta aquí. Estaré siempre enormemente agradecido por la labor que ha llevado a cabo el Doctor Vicent Girbés puesto que sin él, este proyecto probablemente no habría sido posible.

En segundo lugar, gracias a mis padres por hacer que llegue hasta aquí y no dejar de creer en mí en ningún momento. Gracias a mi hermano, a Alba y a todas las personas que me han aguantado estos últimos meses de gran esfuerzo.

¡Gracias!



## Resumen

En este Trabajo Final de Grado se ha diseñado desde cero un sistema fiable, robusto y portátil de adquisición de datos para determinar los esfuerzos y movimientos que realiza el conductor de un vehículo automóvil. Este sistema, no solo se ha diseñado sino que también, se ha implementado en un vehículo real para realizar unas pruebas previas y así validar el sistema para que en un futuro muy próximo se realicen los ensayos correspondientes.

El sistema incluye cuatro tipos de sensores distintos, todos ellos van conectados al ordenador principal encargado de ejecutar todos los procesos de medición. A lo largo de este documento se desarrolla todo el proceso que se ha seguido hasta llegar al sistema final, desde la elección de estos sensores y la calibración de los mismos, hasta el protocolo que se debe seguir con el ordenador para realizar la adquisición de datos.

Durante este proyecto, también se ha indicado la normativa en la que se ha basado el proyecto al estar realizado en el entorno de un laboratorio de ensayo. Esta normativa nos sirve de base tanto a la hora de diseñar el sistema como en el momento de realizar las pruebas.

De este modo se ha creado un sistema validado que ya está listo para que terceras personas realicen las pruebas oportunas y obtengan así una base de datos acerca de los movimientos y esfuerzos de los conductores, tratando así de cumplir con los objetivos descritos en la memoria del proyecto.



## Resum

En aquest Treball Final de Grau s'ha dissenyat des de zero un sistema fiable, robust i portàtil d'adquisició de dades per a determinar els esforços i moviments que realitza el conductor d'un vehicle automòbil. Aquest sistema, no solament s'ha dissenyat sinó que també, s'ha implementat en un vehicle real per a realitzar unes proves prèvies i així validar el sistema perquè en un futur molt pròxim es realitzen els assajos corresponents.

El sistema inclou quatre tipus de sensors diferents, tots ells van connectats a l'ordinador principal encarregat d'executar tots els processos de mesurament. Al llarg d'aquest document es desenvolupa tot el procés que s'ha seguit fins a arribar al sistema final, des de l'elecció d'aquests sensors i el calibratge dels mateixos, fins al protocol que s'ha de seguir amb l'ordinador per a realitzar l'adquisició de dades.

Durant aquest projecte, també s'ha indicat la normativa en la qual s'ha basat el projecte en estar realitzat a l'entorn d'un laboratori d'assaig. Aquesta normativa ens serveix de base tant a l'hora de dissenyar el sistema com en el moment de realitzar les proves.

D'aquesta manera s'ha creat un sistema validat que ja està llest perquè terceres persones realitzen les proves oportunes i obtinguen així una base de dades sobre els moviments i esforços dels conductors, tractant així de complir amb els objectius descrits en la memòria del projecte.





## **Abstract**

In this Final Degree Project, a reliable, robust and portable data acquisition system has been designed from scratch to determine the efforts and movements made by the driver of a motor vehicle. This system has not only been designed but also implemented in a real vehicle to carry out some previous tests and validate the system so that in the very near future the corresponding tests will be carried out.

The system includes four different types of sensors, all of which are connected to the main computer in charge of executing all measurement processes. Throughout this document, the entire process that has been followed up to the final system is developed, from the selection of these sensors and their calibration, to the protocol that must be followed with the computer to carry out the data acquisition.

During this project, the regulations on which the project was based were also indicated, as they were carried out in the environment of a test laboratory. This regulation serves as a basis both when designing the system and when carrying out the tests.

This has created a validated system that is now ready for third parties to perform the appropriate tests and obtain a database on the movements and efforts of drivers, trying to meet the objectives described in the project report.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
ETSID  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE LOS ESFUERZOS Y  
MOVIMIENTOS DEL CONDUCTOR EN LA  
CONDUCCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES.**

1. Memoria

Autor: Luna Serrador, Álvaro Tadeo  
Tutor: Armesto Ángel, Leopoldo  
Cotutor: Dols Ruiz, Juan Francisco

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Valencia, diciembre de 2018.



# Índice

1.	Objetivo del proyecto .....	15
2.	Justificación del proyecto.....	15
2.1	Antecedentes.....	15
2.1	Motivación .....	16
3.	Normativa .....	17
3.1	ISO/IEC 17025 .....	17
4.	Descripción de la solución adoptada .....	20
4.1	Instrumentación .....	20
4.1.1	Medidor de par .....	20
4.1.2	Células de carga .....	22
4.1.3	Unidad de medición inercial .....	23
4.1.4	Rastreador de movimiento humano.....	25
4.2	Montaje y consideraciones .....	27
4.2.1	Medidor de par .....	27
4.2.2	Células de carga .....	28
4.2.3	Unidad de medición inercial .....	29
4.2.4	Rastreador de movimiento humano.....	30
4.2.5	Ordenador.....	32
4.3	Software utilizado .....	32
4.3.1	Linux .....	32
4.3.2	Sistema Operativo Robótico (ROS).....	33
4.3.3	Terminator.....	34
4.3.4	Matlab .....	35
4.3.5	Drivers .....	35
4.4	Calibración de equipos .....	37
4.4.1	Medidor de par .....	38
4.4.1.1	Giro en sentido horario .....	39
4.4.1.2	Giro en sentido antihorario.....	41
4.4.2	Células de carga .....	42
4.4.2.1	Pedal del acelerador.....	42
4.4.2.2	Pedal del freno .....	44
4.4.3	Unidad de medición inercial .....	45
4.4.4	Rastreador de movimiento humano.....	46
4.5	Descripción de pruebas previas.....	47
4.6	Sistema de adquisición de datos .....	47
4.6.1	Protocolo de instrucciones para el método de adquisición de datos.....	47

4.6.1.1 Información inicial .....	47
4.6.1.2 Terminal 1. Nodo principal .....	48
4.6.1.3 Terminal 2. Sensor de par y células de carga .....	48
4.6.1.4 Terminal 3. Unidad de medición inercial y GPS .....	49
4.6.1.5 Terminal 4. Rastreadores de movimiento humano .....	50
4.6.1.6 Terminal 5. Comando de reset.....	50
4.6.1.7 Terminal 6. Guardar información .....	51
4.6.1.8 Visualización de variables.....	51
4.6.1.9 Permisos .....	52
4.6.1.10 Ejemplo y consideraciones .....	52
4.6.2 Método de extracción de datos. ....	53
4.7 Validación.....	58
4.7.1 Equipos a validar.....	59
4.7.2 Conductores.....	59
4.7.3 Descripción del lugar, de las pruebas, y del vehículo. ....	60
4.7.4 Metodología de validación.....	62
4.7.5 Resultados .....	63
5. Conclusión.....	74
5.1 Mejoras.....	74
6. Referencias y bibliografía .....	75
6.1 Referencias .....	75
6.1.1 Figuras.....	75
6.1.2 Tablas .....	76
6.1.3 Gráficas.....	76
6.2 Bibliografía .....	77
7. Anexos .....	79
Anexo 1. Explicación del código fuente del script bag_model.m de Matlab.....	79
Anexo 2. Formulario de pruebas.....	83

## 1. Objetivo del proyecto

El objeto de este Trabajo Final de Grado es el diseño de un sistema de adquisición de datos experimentales de los esfuerzos y movimientos del conductor durante la realización de maniobras típicas de conducción en vehículos automóviles.

Utilizando un sensor de par, dos células de carga y sensores de movimiento humano, se deberá diseñar un sistema fiable, robusto y portátil que permita, en un futuro próximo, realizar ensayos en los que se obtengan datos de relevancia acerca de los movimientos y esfuerzos máximos y mínimos que se producen al conducir un vehículo automóvil.

Todos los componentes de este sistema deberán estar calibrados según un procedimiento específico que también será diseñado al no existir una teoría definida. Del mismo modo todo este sistema deberá ser validado antes de realizar las pruebas.

Se pretende que toda la instrumentación utilizada, así como el método de calibración, cumpla con la normativa vigente de calidad por la que se deben registrar los laboratorios de ensayo y calibración.

El presente trabajo se enmarca dentro del entorno de una beca de colaboración junto con el SETRAV del Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), en el que llevan realizando desde hace más de 10 años múltiples evaluaciones de personas con movilidad reducida, y la adaptación de sus vehículos para que estas personas se puedan desplazar libremente.

Los datos experimentales, recogidos en los ensayos realizados con el siguiente sistema, serán analizados y estudiados por terceras personas con el fin de crear una base de datos que permita determinar entre que parámetros de esfuerzos y movimientos una persona está capacitada para conducir un vehículo. De este modo se podrá evaluar de forma individual los esfuerzos y movimientos de personas con movilidad reducida y de esta manera determinar si son aptos o no para poder obtener el permiso de circulación.

## 2. Justificación del proyecto

### 2.1 Antecedentes

A pesar de la existencia de estudios y avances realizados en referencia a la seguridad vial de los vehículos automóviles, pocos de estos abordan la evaluación del propio conductor, centrándose así la mayoría de ellos en los mandos del vehículo.

Los avances en este campo tratan de, por un lado reducir tanto la siniestralidad como la mortalidad en accidentes de vehículos, mientras que por otro lado fomentar la integración de conductores con algún tipo de discapacidad física [1].

Hoy en día, el uso de transportes privados y públicos constituye un derecho fundamental en la libre movilidad de todos los ciudadanos. Sin embargo, el colectivo de personas con movilidad reducida (PMR) encuentra a día de hoy importantes dificultades en el acceso a estos transportes, así como un menoscabo en las condiciones de seguridad en sus desplazamientos.

De acuerdo con los datos de la Conferencia Europea de Ministros de Transportes (ECMT), se estima que la mayoría de todos los países tienen alrededor de un 10 y un

14% de su población discapacitada, o en cualquier caso con algún tipo de movilidad reducida, bien sea a causa de problemas físicos, mentales o sensoriales [2].

Las causas principales o deficiencias que definen a una Persona con Movilidad Reducida (PMR), y que pueden provocar en un momento dado una dificultad para su desplazamiento son principalmente las siguientes [3]:

- Personas que se desplazan constantemente sin abandonar su silla de ruedas con grandes dificultades para trasladarse o viajar, salvar escalones o aceras, y moverse sobre pavimentos irregulares.
- Personas con ausencia de movilidad funcional, amputación o artritis en alguna extremidad o miembro de su cuerpo, y que encuentran grandes problemas durante el proceso de desplazarse (subir/bajar aceras, subida/bajada del vehículo, etc.).
- Personas con problemas de tipo sensorial (visión, audición o habla), que encuentran serias dificultades para utilizar un servicio de transporte convencional, sobre todo público (adquirir el billete, acceder a la parada, entrada y salida del vehículo, consultas a agentes u otros usuarios, etc.).
- Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, o con alguna enfermedad que les impida un desplazamiento normal (por ejemplo, alérgicos, que pueden encontrar problemas para adaptarse a nuevos ambientes).
- Personas mayores que no se pueden desplazar con independencia sin la ayuda de terceros.
- Personas que sin ser discapacitadas presentan algún tipo de pérdida de movilidad temporal: mujeres en avanzado estado de gestación, personas con miembros escayolados y que deben desplazarse con muletas, personas que en algún momento se desplazan con carros de bebés, grandes fardos o maletas, etc.

Las dos primeras causas enumeradas anteriormente serán las que serán tratadas gracias a la realización del sistema que se ha diseñado.

## *2.1 Motivación*

Las personas discapacitadas o con algún tipo de movilidad reducida deben gozar de los derechos humanos y libertades fundamentales sin ningún tipo de diferencia respecto al resto de la sociedad. Asegurar, promover y proteger estos derechos es obligación del estado.

La motivación de este proyecto es crear un precedente para fomentar la integración total de las personas con movilidad reducida en el ámbito del transporte, sobre todo, privado. De esta manera se desea promover la libertad que otorga el poder desplazarse de forma autónoma, sin necesidad ni dependencia de terceras personas.



### 3. Normativa

#### 3.1 ISO/IEC 17025

La norma en la que se ha basado la realización de este proyecto, sobre todo en lo que a calibración de los equipos de medida se refiere, y en el desarrollo del protocolo de ensayo ha sido la normativa UNE-EN ISO/IEC 17025:2005; “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”. Ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 66 “Gestión de la Calidad y Evaluación de la Conformidad” cuya Secretaría desempeña AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

Esta normativa internacional está desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y en ella se establecen los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración. Se trata de una norma de calidad con base en la serie de normas ISO 9000, pese a que incorpora una serie de cláusulas técnicas imprescindibles para lograr la acreditación de los laboratorios de ensayo y calibración. La serie de normas ISO 9000 agrupa un conjunto de normas sobre calidad y gestión de calidad, establecidas por la Organización Internacional de Normalización. Estas normas se pueden aplicar en cualquier tipo de organización o actividad orientada a la producción de bienes y servicios, y albergan las guías y herramientas específicas de implantación y los métodos de auditoría. Estas normas fueron establecidas para cubrir la necesidad de las organizaciones de reunir los requisitos que debería tener un sistema de gestión de calidad y en ellas se especifica la manera en que una organización efectúa sus estándares de calidad, tiempos de entrega y niveles de servicio [4].

La norma ISO/IEC 17025 se aplica en los laboratorios de ensayo y calibración con la finalidad de demostrar que son técnicamente competentes y que sus resultados son veraces. Esta acreditación se logra a través de los entes regionales que participan en redes internacionales de colaboración, en el caso del SETRAV, se logra a través de ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) [5].

Esta normativa sustituye a la norma EN ISO/IEC 17025:2000 que a su vez sustituye a la anterior norma europea EN 45001 y a la Guía ISO/IEC 25. Añade nuevas cláusulas en los aspectos de las responsabilidades y compromiso de la alta dirección y hace hincapié en la mejora continua según el ciclo PDCA [5]. Este ciclo (en inglés; *plan-do-check-act* y en castellano; *planificar-hacer-verificar-actuar*) es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos.

Las cuatro etapas que componen el ciclo son las siguientes:

- Planificar: En esta etapa se establecen los objetivos de la organización así como las actividades a desempeñar para lograr los resultados esperados. Al tratar de lograr estos objetivos también se generará una mejora de todos los procesos.
- Hacer: Siguiendo los pasos determinados en el apartado anterior, en este caso se lleva a cabo lo planeado realizando los cambios necesarios para implantar la mejora propuesta.
- Verificar: Tras implantar la mejora desarrollada en los puntos anteriores se procedes, tras el paso de un período de prueba, a controlar el correcto funcionamiento de estas mejoras. Si la mejora no cumple con las

expectativas anteriormente planteadas habrá de modificarla para ajustarla a los fines marcados.

- Actuar: Tras finalizar el período de prueba del apartado anterior se procederá, con toda la información que se ha recopilado, a poner en funcionamiento todo lo establecido. También suelen aparecer recomendaciones y observaciones que suelen servir para volver al paso inicial de Planificar y de este modo el círculo nunca dejará de fluir.

La norma ISO/INEC 17025:2005 consta de cinco secciones y dos anexos. En estas secciones se incluyen los requisitos que contemplan la elaboración e implantación tanto de un manual de calidad, como de políticas y procedimientos de gestión y técnicos. Todo esto se detalla a continuación [4]:

- 1. Objeto y campo de aplicación: En esta primera sección se establece el campo de aplicación de la norma, siendo este tanto las organizaciones que realicen ensayos o calibraciones, como los laboratorios en los que los ensayos o las calibraciones forman parte de la inspección y la certificación de productos.
- 2. Referencias normativas: En este apartado se hace alusión a otras normas, que a parte de las ya citadas en la bibliografía de la propia norma, son indispensables para la aplicación de esta. En este caso se hace referencia a la norma ISO/IEC 17000; "Evaluación de la conformidad. Vocabulario y principios generales." También se hace referencia a la siguiente publicación: VIM; "Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología", publicado por BIPM (Oficina Internacional de Pesas y Medidas), IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), IFCC (Federación Internacional de Química Clínica y laboratorios médicos), ISO (Organización Internacional de Normalización), UIPAC (Unión Internacional e Química Pura y Aplicada), UIPAP (Unión internacional de Física Pura y Aplicada), OIML (Organización internacional de Metrología Legal) y ILAC (Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios). El VIM corresponde al consenso de estas 8 grandes instituciones de prestigio mundial acerca de los conceptos fundamentales y generales, así como los términos asociados a las mediciones y ensayos.
- 3. Términos y definiciones: En esta sección se estipula que en esta norma se aplican las definiciones y términos contenidos en la norma ISO/IEC 17000 y del VIM.
- 4. Requisitos de gestión: Aquí se recogen todos los aspectos referentes a la estructura de la organización o laboratorio y a su identidad legal, de manera que desde la alta dirección de la empresa, se establezca una estructura adecuada que garantice la competencia técnica de las actuaciones del laboratorio. También añade las pautas que debe seguir el laboratorio para establecer un sistema de gestión apropiado al alcance de sus actividades. Este sistema de gestión debe de incluir desde el método de tratamiento de documentos, pedidos, ofertas y contratos, hasta el procedimiento de subcontratación de ensayos y de calibraciones, compras de servicios y de suministros, servicio al cliente y quejas. Dentro de esta sección se añaden

pautas para la mejora y acciones tanto correctivas como preventivas y también establece el control de registros. Por último añade unas aclaraciones sobre auditorías internas y revisiones por parte de la dirección.

- 5. Requisitos técnicos: En este apartado de la norma se tratan los puntos clave para la formación y cualificación del personal. También se detallan las especificaciones a cerca de las instalaciones y condiciones ambientales de los laboratorios. En este punto también se tratan puntos sobre los métodos de ensayo y calibración así como la validación de estos métodos. Se establecen normas básicas para la utilización de equipos y se dan pautas para el muestreo, la trazabilidad de las medidas y la manipulación de los ítems de ensayo o de calibración. Por último trata dos puntos importantes como son; el aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración y los informes de los resultados obtenidos.
- Anexo A. Referencias cruzadas a la Norma ISO 9001:2000: En este anexo se detallan todas las referencias cruzadas a la norma mencionada y se añade que existen varios requisitos relativos a la competencia técnica que no están contemplados en esta.
- Anexo B. Directrices para establecer aplicaciones para campos específicos: Como bien expresa el título de este anexo, en este se definen la pautas para establecer la norma en marcos específicos, puesto que los requisitos de esta norma internacional están expresados en términos generales aplicables a todos los laboratorios de ensayo y de calibración pero podría ser necesaria alguna explicación en casos específicos.

Esta norma es aplicable al proyecto que se ha desarrollado puesto que se pretende cumplir los requisitos de un laboratorio de ensayo y calibración competente como es el SETRAV, lugar donde se ha realizado todo este sistema de adquisición de datos.

Para asegurar el cumplimiento de la norma se han utilizado equipos de medida homologados y de fabricantes reconocidos. Previo a la utilización de estos equipos, el personal dispuesto a su manipulación se ha leído toda la documentación, como manuales de usuario, referente a estos. Este personal siempre ha estado cualificado para desempeñar estas labores.

Todos los procedimientos e instrucciones realizados se han basado en el manual de calidad interno del SETRAV para garantizar así la validación de todos los métodos. De esta misma manera se ha diseñado un protocolo de calibración de los equipos de medida utilizados, para determinar si los equipos cumplen con las especificaciones del laboratorio.

## 4. Descripción de la solución adoptada

### 4.1 Instrumentación

En este apartado se va a proceder a desarrollar cada uno de los sensores utilizados para el desarrollo del sistema de adquisición de datos. Se han utilizado dos células de carga para medir el esfuerzo que realiza el conductor en los pedales, un medidor de par para medir el par de fuerzas aplicado en el volante por el conductor, también se ha hecho uso de una unidad de medición inercial y de un grupo de 8 sensores para determinar los movimientos del torso y extremidades superiores del conductor del vehículo.

Todos estos elementos se detallan a continuación:

#### 4.1.1 Medidor de par

Como medidor de par en el volante se ha utilizado un dispositivo diseñado el año pasado por un alumno de Ingeniería Mecánica en colaboración con el Instituto de Diseño y Fabricación. Este dispositivo se diseñó para utilizarlo en el simulador de autobuses del IDF y posteriormente se hicieron pruebas para medir el par en el volante en autobuses reales, lo que nos asegura que este sistema ya está validado y tan solo necesita una puesta a punto. También se diseñó con el objetivo de que fuera un elemento versátil y se pudiera instalar en el volante de cualquier tipo de vehículo de manera sencilla.

El sistema que se diseñó trata de un volante cualquiera que incorpora en su interior un sensor de par. Este volante también presenta una placa de Arduino encargada de transmitir a la información. Finalmente la parte trasera del volante tiene una estructura de acero que permite fijarlo a cualquier volante.

El sensor estático de par instalado en el volante es el modelo ST60 del fabricante Mecmesin. Este sensor es capaz de registrar un valor máximo de par de 60 Nm con una resolución de 0,02 Nm y una precisión de fondo de escala de 0,5%. Va instalado en el centro de un volante cualquiera tal y como muestra la siguiente fotografía.



Figura 1. Sensor de par montado en un volante, vista en planta [6].

En este mismo emplazamiento se ha añadido una placa de Arduino con un puerto bluetooth, de este modo se encargará de enviar la información de forma inalámbrica al ordenador. En este caso se realiza la excitación del puente mediante baterías portátiles de reducidas dimensiones que proporcionan  $\pm 5V$ . Las baterías se pegan con cinta de doble cara a la parte superior de la caja electrónica y se conectan mediante cables de alimentación al Arduino y a la placa base, que a su vez dirige la tensión al sensor. Se han desdoblado las baterías para conseguir el doble de información del medidor, ya que así se puede dedicar 5V a cada sentido de giro, ganando en cantidad y calidad de datos recopilados.

El modelado 3D de la estructura de acero que permite anclarlo a cualquier volante fue diseñado en el IDF y es el siguiente:

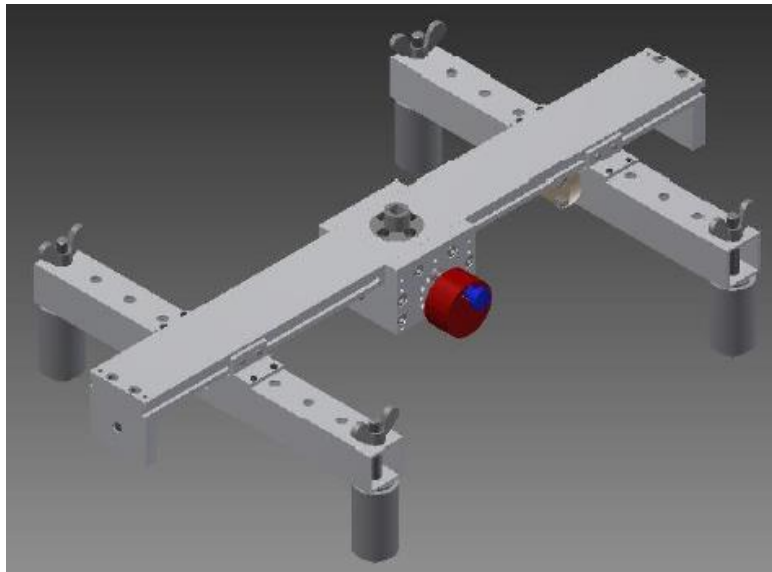


Figura 2. Ensamblaje del adaptador de par [6].

Tras realizar todo el diseño y ensamblaje de la estructura, se procedió a su fabricación y posterior montaje. Mediante el pomo de color rojo que está unido a un eje, nos permite, girando hacia la derecha o hacia la izquierda, aumentar o disminuir el la distancia entre los cuatro extremos para anclarlo así al volante en función de su tamaño.

El montaje de todo este sistema en un volante de un autobús para que sirva como ejemplo es el siguiente:



Figura 3. Instalación del medidor de par con el adaptador del volante [6].

Como se aprecia en la imagen, tiene colocadas tres baterías portátiles, todas ellas de 5V. Dos de ellas se encargan de alimentar el puente del sensor tal y como se ha explicado anteriormente, mientras que la otra batería restante es la asignada para alimentar el Arduino y por tanto el módulo bluetooth integrado en este.

#### 4.1.2 Células de carga

Para medir el esfuerzo realizado en los pedales del freno y del acelerador se utilizará una célula de carga para cada pedal. Estas células de carga son de tipo botón, el modelo es el 3663-200 del fabricante Lebow y presenta un fondo de escala de 1000 Newton de fuerza.

Estas células de carga utilizan un principio básico de funcionamiento en lo que a instrumentación electrónica se refiere. Este principio es el de las galgas extensiométricas, y consiste en que al someter la galga a una presión, esta se deformará produciendo así una variación de su longitud y de su diámetro de sección lo que ocasionará que varíe su resistencia eléctrica. Esta variación de la resistencia de la galga será respecto al valor inicial  $R_0$  más un incremento debido a la deformación  $\Delta R$ , por tanto el nuevo valor de la resistencia se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$R = R_0 + \Delta R = R_0 \cdot (1 + x)$$

El valor  $R_0$  es la resistencia a temperatura ambiente, es decir, a 25°C. Este valor se puede considerar como 298 kΩ. El valor de  $x$  representa el incremento de la resistencia sufrido por la galga tras ocasionar en ella la deformación. El valor de  $x$  para la galga en reposo será igual a cero.

La galga extensiométrica se estructura dentro de la celda con tres resistencias más. Estas resistencias son de valor fijo y conocido y junto con la galga forman un puente de Wheatstone. Un puente de Wheatstone es una estructura de circuito eléctrico que se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia de la que interesa conocer el valor. La relación entre uno de los brazos del puente, que será entre dos resistencias conocidas, debe ser la misma que la relación del otro brazo del puente que será en donde se situará la resistencia que se quiere conocer. En este momento, la tensión entre los dos extremos de ambos brazos será nula.

Estas células de carga presentan el siguiente circuito eléctrico en su interior en el que se aprecia el ya tratado puente de Wheatstone.



Figura 4. Circuito con puente de Wheatstone que incorpora la célula

Ambas células de carga van conectadas mediante cables de cuatro hilos cada una a la caja del medidor de par del volante en la que se encuentra la placa de Arduino y el sensor de par. De este modo el instrumento de adquisición de datos tanto del medido de par del volante como de ambas células de carga va a ser el mismo.

<b>Especificaciones Lebow 3663-200</b>	
Resistencia del puente	350 $\Omega$
Máximo voltaje admitido	20 V
Rango de temperatura	(-54) – (93) °C
Máximo valor	1000 Newton

Tabla 1. Especificaciones de la célula de carga [7]

Este sistema ha sido validado y calibrado para asegurar su correcto funcionamiento tras desmontarlo del simulador en el que estaba instalado y trasladarlo al sistema que se está diseñando. Esta validación y calibración se trata más adelante en este mismo documento.



Figura 5. Células de carga. Izquierda: freno. Derecha: acelerador.

#### 4.1.3 Unidad de medición inercial

Como unidad de medición inercial, se ha utilizado el modelo MTi-G-710 de la marca Xsens. Este dispositivo es un sensor todo en uno de alta frecuencia que posee una gran exactitud tanto en la posición como en la velocidad

Este modelo funciona como un receptor GNSS (Sistema Global de Navegación por satélite, en inglés, Global Navigation Satellite System). Este receptor también posee una IMU (unidad de medición inercial) es decir, en su interior posee un dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales usando una combinación de acelerómetros y giróscopos.

Los acelerómetros del interior de este dispositivo son electromecánicos y están fabricados de silicio y son los responsables de detectar los cambios de orientación. Están compuestos por placas internas enfrentadas que componen un condensador. Al aplicar una fuerza de aceleración sobre el sensor, las placas se mueven (generalmente



hay una fija y la otra es móvil gracias a unos resortes), esto ocasiona que la capacidad del condensador formado por éstas varíe. A partir de esta variación se puede determinar la aceleración.

Un giróscopo es un dispositivo que mide el movimiento de rotación. Emplean una tecnología microelectromecánica. Se encargan de medir la velocidad angular del sensor. Su funcionamiento consiste en una pequeña masa situada en su interior que cuando se hace girar el sensor, esta se desplaza a medida que cambia la velocidad angular. Este movimiento se convierte en señales eléctricas de muy baja corriente que con ayuda de amplificadores y filtros llegan a leerse por el ordenador y determinar así el giro realizado.

Los parámetros que nos interesarán de este sensor son;

- Orientación.
- Velocidad angular.
- Aceleración lineal.

También es capaz de medir múltiples parámetros más como la temperatura o la presión ambiental, pero para la aplicación que se pretende desarrollar no se tendrán en cuenta puesto que no son de interés.



Figura 6. Unidad de medición inercial.

En la figura superior se aprecia el sensor que se está tratando. Presenta una carcasa de aluminio que cumple con el estándar IP67 contra polvo y agua. Según esta certificación a este sensor no le entrará el polvo bajo ninguna circunstancia y aguantará sin filtraciones de agua una inmersión completa a 1 metro de profundidad durante 30 minutos. En el sistema que se ha diseñado, no corre riesgo alguno de mojarse pero si de estar en contacto con partículas de polvo, por lo que esta certificación nos otorga una garantía de que físicamente este sensor es robusto.

Este dispositivo presenta un conector *mini din* de 9 pines que nos permite conectarlo directamente por USB al ordenador. Este cable sirve tanto para transmitir a información como para alimentar el sensor.



Las características principales del sensor se muestran en la siguiente tabla:

<b>Especificaciones MTi-G-710</b>	
Voltaje de entrada	4,5 – 34 V
Consumo de energía	< 950 mW
Certificación IP	IP67
Rango de temperatura	(-40) – (85) °C
Frecuencia de muestreo	10 kHz

Tabla 2. Especificaciones de la unidad de medición inercial [8].

Como complemento a este sensor, se ha añadido una antena GPS suministrada por el mismo fabricante. Esta antena se conecta mediante una sonda directamente al dispositivo y nos permite saber con exactitud la posición del conjunto y por tanto, la posición del vehículo.



Figura 7. Unidad GPS

Este sensor pertenece a la serie MTi-100 del fabricante anteriormente mencionado. A la hora de decantarse por este modelo en concreto, se tuvo en cuenta una comparación entre los distintos modelos de esta misma serie, así como otros dispositivos de la serie MTi-10. Las alternativas y la tabla de comparación entre todos ellos se muestran a continuación:

Serie	Model	Gyro bias stability	Roll/Pitch Static Diyamic	Yaw	Position/Velocity
<b>MTi 10</b>	MTi-10 IMU	18°/h	X	X	X
	MTi-20 VRU	18°/h	0.2° 0.5°	Unref.	X
	MTi-30 AHRS	18°/h	0.2° 0.5°	1.0 deg	X
<b>MTi 100</b>	MTi-100 IMU	18°/h	X	X	X
	MTi-200 VRU	18°/h	0.2° 0.3°	Unref.	X
	MTi-300 AHRS	18°/h	0.2° 0.3°	1.0 deg	X
	<b>MTi-G-710 GNSS</b>	18°/h	0.2° 0.3°	0.8 deg	✓

Tabla 3. Comparación entre modelos de IMU [8].

Finalmente se eligió este modelo por las ventajas que presenta con respecto a las alternativas planteadas. Todos los modelos de la serie MTi 10 quedaron descartados puesto que al no llevar un conector para la sonda del GPS no se podía añadir este complemento.

#### 4.1.4 Rastreador de movimiento humano

El rastreador de movimiento humano está formado por ocho unidades de medición inercial muy similares a la tratada en el apartado anterior. Estas unidades también han sido suministradas por el fabricante Xsens y su nombre comercial es MTw Awinda.



Figura 8. Una unidad MTw y el adaptador bluetooth para el ordenador.

En este caso, estas unidades son inalámbricas y se conectan al ordenador mediante un adaptador bluetooth. Se trata de unos dispositivos pequeños, precisos y muy livianos que permiten crear un modelo 3D del humano completamente en tiempo real, para ello utilizan el protocolo Awinda, patentado y validado por el fabricante, que permite sincronizar cada una de las unidades MTw entre ellas en menos de 10µs. Estas unidades se fijan al cuerpo humano mediante cintas de velcro, fajas, guantes y camisetas específicas.

Estas son sus características principales:

Especificaciones MTw Awinda	
Frecuencia de muestreo interna	1000 Hz
Estado latente	30 ms
Tiempo de almacenamiento interno	10 s
Duración de la batería (uso continuo)	6 horas
Dimensiones de cada unidad	47 x 30 x 13 mm
Peso	16 g
Rango de temperatura de funcionamiento	0 - 50 °C
Número máximo de unidades	20
Protocolo inalámbrico	Awinda

Tabla 4. Especificaciones de los rastreadores de movimiento humano.

En el caso de la aplicación que se ha diseñado se pretenden utilizar 8 unidades MTw que nos van a permitir crear un modelo del tronco y extremidades superiores del conductor.



Figura 9. Rastreadores de movimiento humano.

En la figura superior se muestran las 8 unidades que se van a utilizar, cada una de ellas está etiquetada con el lugar del cuerpo en el cual se deben situar.

- **MI:** Mano izquierda.
- **AI:** Antebrazo izquierdo.
- **BI:** Brazo izquierdo.
- **C:** Cabeza.

- **E:** Espalda.
- **MD:** Mano derecha.
- **AD:** Antebrazo derecho.
- **BD:** Brazo derecho.

El modelo del humano que se ha creado es el siguiente:

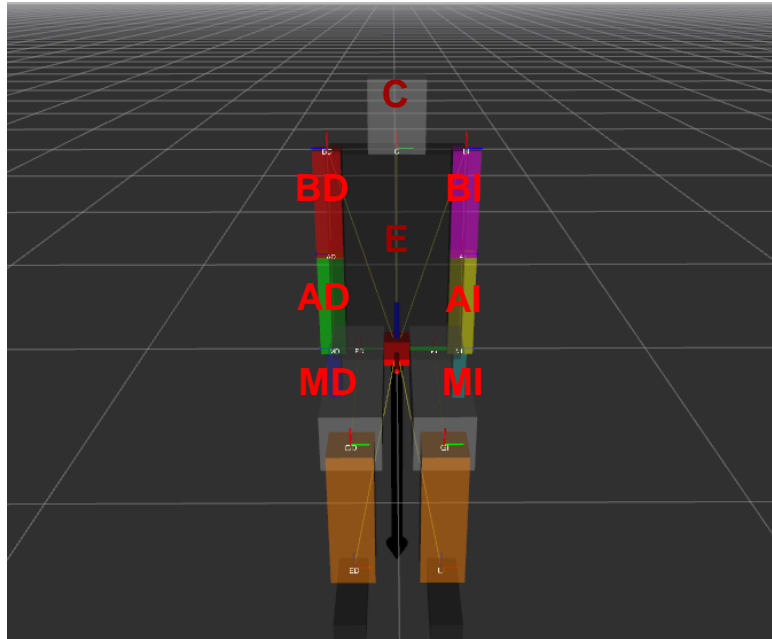


Figura 10. Modelado 3D conductor.

Se muestra encima de cada extremidad, la unidad MTw que le corresponde. En esta figura el humano se encontraría en reposo y por tanto en posición inicial. Si el humano levanta el brazo derecho, del mismo modo lo haría en tiempo real el modelo del humano en el ordenador. Todo este proceso, al no llevar cables y al transmitir en tiempo real los datos al ordenador, permite asegurar que el sistema que se ha diseñado con los dispositivos más robustos del mercado, garantizando así la máxima fiabilidad posible.

## 4.2 Montaje y consideraciones

Tras hacer una breve introducción sobre los sensores, su funcionamiento y sus características principales se procede a dar unas instrucciones sobre cómo realizar el montaje de los mismos así como unas consideraciones en cuanto a seguridad y mantenimiento para, de este modo, asegurar el buen funcionamiento tanto de estos como de todo el sistema.

### 4.2.1 Medidor de par

El medidor de par va situado encima del volante y se fija gracias a la estructura de acero que posee. Para la tarea de colocarlo es aconsejable que lo realicen dos personas, una de ellas sujeta el dispositivo mientras que la otra se encarga de dar vueltas al pomo para fijarlo.

Previamente, antes de colocar este dispositivo, es recomendable regular la altura del volante del vehículo colocándolo lo más alejado del conductor posible, puesto que al añadir este sensor se disminuye considerablemente la distancia entre el volante y el conductor

Hay que tener en cuenta que las células de carga van cableadas con la caja de toma de adquisición de datos del medidor de par del volante y por tanto se debe tener cuidado con estos cables, pese a esto, se podrá realizar todo tipo de pruebas con un estilo de conducción normal.

En estas figuras se muestra como queda instalado este elemento:



Figura 11. Medidor de par montado en volante

#### 4.2.2 Células de carga

Como se ha tratado anteriormente, se van a utilizar dos células de carga, una para el pedal del freno y otra para el pedal del acelerador. Estas células van directamente instaladas en sendos pedales. Se colocan justo encima de estos para que, el conductor, en vez de pisar el pedal, pise la célula.

Pueden ser instaladas con cinta de doble cara o con bridas. Esta segunda opción es la más recomendable ya que las células en la parte trasera tienen un orificio diseñado para tal fin. Colocando una brida y apretándola debidamente para asegurar que no se va a mover de su emplazamiento.



Figura 12. Células de carga instaladas en los pedales con detalle de la brida para su montaje.

Para determinar que célula corresponde a cada pedal, cada una lleva en su lateral una letra mayúscula escrita con rotulador; **B**: *Brake* corresponde al dispositivo que irá conectado al pedal del freno. **A**: *Accelerator* corresponde a la célula que irá conectada al pedal del acelerador.

Las consideraciones que se deben tener en cuenta son las siguientes; Tan solo pueden ser manipulados por personal técnico especializado. Debe instalarse cada una en su pedal correspondiente. Hay que tener sumo cuidado con los dispositivos a la hora de montarlos, desmontarlos y transportarlos, evitando golpes o movimientos bruscos. Se debe tener en cuenta a la hora de su manipulación que están permanentemente conectados, mediante cables de cuatro hilos, con el sistema de adquisición de datos del medidor de par del volante por lo que se debe de evitar enrollar estos cables entre si y evitar nudos o roturas.

#### 4.2.3 Unidad de medición inercial

Esta unidad de medición inercial debe ir situada en el centro de masas del vehículo. Puede ser fijada con tornillos ya que la base presenta los orificios para tal fin, pero en su defecto también puede fijarse con cinta de doble cara. Esta segunda forma de fijación es preferible debido a que en principio no se va proceder a taladrar la carrocería del vehículo ni ningún elemento de este. Tanto unidad de medición inercial como GPS complementario a este están ya fijados a una base de aluminio. Esta base es la que deberá de ser fijada al vehículo. Debe colocarse en el lugar más plano posible del vehículo que a su vez este lugar este situado en su centro de masas o muy próximo.

En vista lateral de la unidad de medición inercial que se está tratando, se aprecia en un esquema dado por el fabricante la dirección de los ejes z e y. De este modo, y teniendo en cuenta que se está trabajando con ejes dextrógiros se puede determinar la orientación y la dirección positiva del eje x y por tanto determinar de qué modo debe ir orientada la IMU.

En esta imagen se muestra un ejemplo del montaje de este dispositivo en un vehículo de ejemplo. Está fijado mediante cinta de doble cara en una guantera central situada entre los asientos delanteros que también sirve como apoya codos.



Figura 13. Montaje de la IMU junto con el ordenador.

Como se aprecia en la imagen el cable que conecta el GPS y la IMU va enrollado sobre sí mismo para que no moleste a la hora de realizar las pruebas. El otro cable que sale por la parte trasera del sensor es el de 9 pines que sirve tanto como alimentación como transmisor de datos. Este cable irá conectado, durante los ensayos, mediante USB al ordenador portátil que será utilizado por el copiloto.

Se deben tener ciertas consideraciones a la hora de manipular este conjunto. Como se ha desarrollado previamente este dispositivo presenta en su interior una combinación de giróscopos y acelerómetros que aseguran la precisión de este, por tanto se debe



tratar con máximo cuidado a la hora de montarlo, desplazarlo y utilizarlo para asegurar así su calibración. Debe ser transportado en su caja original y siempre acompañado de sus cables originales. El montaje y desmontaje debe ser realizado por técnicos especializados evitando siempre ocasionar golpes o movimientos bruscos.

#### *4.2.4 Rastreador de movimiento humano*

Previamente a realizar la instalación de los sensores, se debe de encender todos ellos y conectar el adaptador bluetooth a un puerto USB del ordenador. En el este adaptador comenzará a parpadear un led de color blanco mientras que en los sensores parpadeara de color rojo, en el momento en el que se emparejen con el ordenador, todos estos leds comenzarán a parpadear con la misma frecuencia y esto será la señal de que los ha reconocido y están emparejados.

Las ocho unidades MTw van instaladas en el cuerpo del conductor mediante cintas, velcros, y ropa específica suministradas por el fabricante Xsens. Para las unidades de las manos, tanto la derecha como la izquierda, el conductor se debe poner un guante que presenta en la parte exterior de la mano un pequeño bolsillo con velcro donde situar el sensor. El fabricante nos ha suministrados dos tallas de parejas de guantes; talla grande y talla pequeña, para asegurar que cualquier persona puede utilizarlo. Este guante no obstaculiza de ningún modo los movimientos realizados en una conducción normal.



*Figura 14. Sensor colocado en la mano derecha de un conductor.*

Tal y como se muestra en la figura el sensor debe ir colocado de forma que el logo del fabricante quede más próximo a la muñeca y la etiqueta de MD (Mano derecha) o MI (Mano izquierda) que en el lado de los dedos.

Para los sensores del antebrazo, se utilizarán cintas con velcro, estas cintas se deben de colocar a mitad altura del antebrazo y es muy importante que, en posición de reposo, el sensor del antebrazo quede en línea con el de la mano para asegurar un buen modelo de la cadena cinemática.

Del mismo modo que el sensor del antebrazo, se colocará el del brazo, también siguiendo la misma línea recta que siguen los sensores del antebrazo y de la mano.

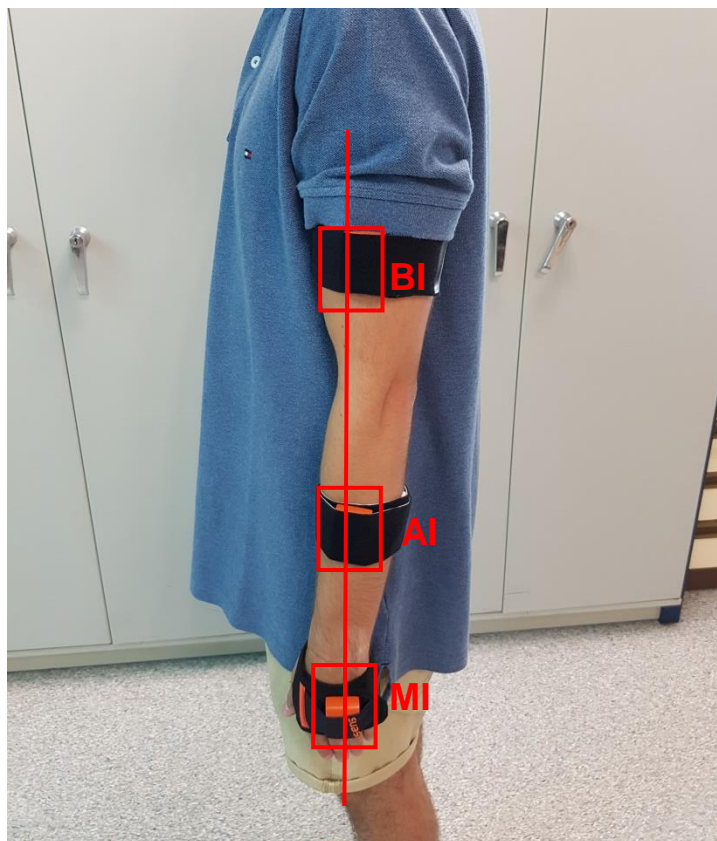


Figura 15. Grupo de sensores del brazo izquierdo montados en un conductor.

De la misma manera se colocarán las unidades del brazo derecho.

Como se muestra en la figura de la derecha, el sensor situado en la cabeza irá colocado con una cinta. El sensor debe quedar en la parte trasera justo en el centro del cuerpo en línea con el dispositivo de la espalda. Este dispositivo de la espalda va colocado con velcro a una faja que debe de ir situada por encima del ombligo y por debajo del pecho.

A la hora de montar y utilizar estas unidades se deben de tener en cuenta ciertas consideraciones. Antes de colocar cada uno de los dispositivos en su lugar correspondiente, se debe de estar seguro de que están encendidos. Para encenderlos tan solo hay que presionar el único botón que tienen, que está situado en la parte inferior, tras pulsarlo durante dos segundos el dispositivo se enciende y empieza a parpadear un led de color rojo. Para apagar el dispositivo hay que presionar este botón durante seis segundos.

Estos dispositivos deben de ser instalados en el cuerpo del conductor por personal técnico, y nunca se los debe instalar uno mismo puesto que esto no aseguraría su buena colocación y por tanto su buen funcionamiento. Es de vital importancia que cada unidad vaya situada en el emplazamiento que le corresponde según la etiqueta puesto que si no se instalan así, el modelo 3D no funcionará correctamente. Siempre que estos dispositivos sean trasladados, se deberán llevar en su maletín original con todos los componentes y accesorios originales. Para asegurar el buen funcionamiento de estos se deben evitar golpes y movimientos bruscos tanto al maletín como a cada una de las unidades.

#### 4.2.5 Ordenador

Por último se empleará el ordenador principal que será el encargado de reunir todos los datos de los elementos de medición. Este ordenador será manipulado por el copiloto del vehículo que será un técnico especializado que esté familiarizado con todo el protocolo y la utilización de los sensores.

Este ordenador, a pesar de llevar su batería, se alimentará mediante baterías de corriente continua de 12V, para ello también será necesario utilizar un inversor de corriente que nos permite transformar esta tensión en 220V de corriente alterna. Se utilizarán dos baterías de 12V e irán situadas debajo del asiento del copiloto. En el mismo lugar se colocará el inversor de corriente.

En esta imagen se aprecian todos los dispositivos que se deben instalar en el vehículo ya colocados en su emplazamiento.

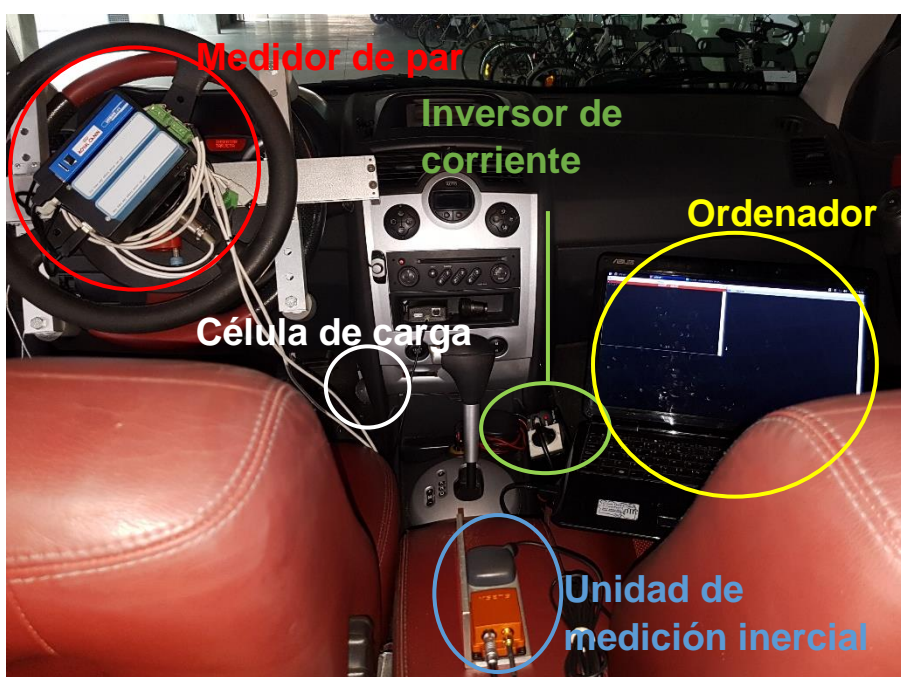


Figura 16. Montaje de todos los equipos del vehículo.

Ambas células de carga han sido fijadas con una brida cada una. La unidad de medición inercial se ha fijado con cinta de doble cara para evitar taladrar cualquier parte del vehículo. El medidor de par del volante se ha fijado con el dispositivo que lleva acoplado para tal fin.

### 4.3 Software utilizado

Es de vital importancia la comprensión del software utilizado y por tanto se va a proceder a desarrollar cada uno de los programas y aplicaciones informáticas empleados para el desarrollo del sistema de adquisición de datos, así como el sistema operativo que se ha instalado en el ordenador, único y principal encargado de ejecutar y controlar todos los procesos.

#### 4.3.1 Linux

Todo este sistema de adquisición de datos se ha realizado una distribución de software libre basada en el núcleo Linux. La decisión de utilizar este *kernel* es porque aporta mayor fluidez con menos recursos, además de que al tratarse de sistema de



código abierto proporciona mayor seguridad y flexibilidad. La probabilidad de que el sistema se colapse es menor en comparación con el resto de sistemas operativos que se valoró instalar, además tiene mejor capacidad para ejecutar múltiples programas al mismo tiempo.

Se ha utilizado la distribución Xubuntu basada en Ubuntu. En concreto la versión que se ha instalado de Xubuntu es la 16.04 de 64 bits porque así lo requería el ordenador. Esta versión del software se lanzó en abril de 2016 y ofrece soporte hasta abril de 2019 por lo que es idónea para realizar las tareas programadas. Se ha decidido usar esta distribución porque posee un entorno altamente eficiente que permite un mejor rendimiento del sistema operativo en ordenadores con recursos limitados. Gracias a esto se puede utilizar casi cualquier ordenador para la realización de este proyecto si gastar mucho dinero en un ordenador de altas prestaciones. Los requisitos mínimos del ordenador son los siguientes:

- Memoria RAM: 512 MB.
- Espacio mínimo disponible en disco: 7,5 GB.

Pese a estos requisitos mínimos se recomienda, para garantizar un grado de operatividad fluido y rápido, tener al menos instalado 1 GB de memoria RAM y 20 GB de espacio libre en disco.

#### *4.3.2 Sistema Operativo Robótico (ROS)*

ROS se describe como un framework flexible, bajo licencia de código abierto con una amplia variedad de herramientas, librerías y paquetes que busca la creación de un software completo para crear aplicaciones robustas para robots y con un comportamiento variado. Además de esto, ROS provee abstracción de hardware, controladores de dispositivos, comunicación por mensajes, administración de paquetes, etc... Este entorno de trabajo está escrito en lenguaje C++ y Python [9].

Cosiste en un metasistema operativo, ya que se trata de un sistema operativo que se instala sobre otro. Al tratarse de un software libre cada día se incrementa la información disponible puesto que la comunidad va dando soporte constantemente [10].

Algunas de las áreas que incluye ROS son las siguientes:

- Nodo principal de coordinación (main)
- Creación y destrucción de nodos.
- Multiplexación de la información.
- Publicación o suscripción de flujos de datos.
- Procesamiento de nodos en múltiples núcleos, multiprocesamiento. GPUs y clústeres.

ROS se compone de una red de nodos independientes, cada uno de ellos se comunica con el resto utilizando el modelo de publicador/subscriptor. Este modelo se basa en la capacidad de los subscriptores de conocer el estado del sujeto registrándose para ello a un publicador para recibir notificaciones, como por ejemplo datos, cuando algún evento de este último suceda [11].

Los nodos de ROS no tienen que estar en el mismo sistema ni incluso estar basados en la misma arquitectura puesto que al ser un sistema operativo de código abierto desarrollado por numerosos usuarios y entidades, se trata de una infraestructura muy flexible y adaptable a todo tipo de necesidades [10]. Cada uno de estos nodos es un proceso distinto, por lo tanto en el sistema que se ha diseñado existirán tantos nodos como procesos. Estos nodos se comunican mediante el paso de mensajes y publican estos mensajes en un tópico. En inglés, *topic*, es el nombre que se utiliza para identificar el contenido de los mensajes publicados. Lo que permite esta red es que un nodo que está interesado en un dato se suscriba al tópico asociado a ese dato. De esta manera, en cuando el dato se publique en su tópico asociado, el nodo que estaba suscrito a este será capaz de leer ese dato de manera inmediata.

Un nodo tiene un nombre único en el sistema y este es usado para permitir conectarse al resto de nodos usando nombre sin ambigüedad. Un nodo puede estar escrito utilizando distintas librerías bien en lenguaje C++ o en lenguaje Python.

Este metasisistema operativo está mantenido por Open Source Robotics Foundation (OSRF) y una de las principales finalidades del producto ROS es crear una comunidad que comparta sus conocimientos adquiridos, de este modo siempre existirá soporte en las aplicaciones realizadas con este sistema operativo.

Dentro de ROS se encuentra RVIZ, una interfaz gráfica que sirve como visualizador de datos. En el caso del sistema de adquisición de datos que se ha diseñado, sirve para visualizar el modelo 3D del conductor.

#### 4.3.3 Terminator

A la hora de lanzar los procesos que llevará a cabo nuestro sistema, bien sean procesos de iniciar un sensor o procesos de toma de datos, se utilizará un programa llamado Terminator. Este es un emulador de terminal programado en lenguaje Java y de código abierto lo que otorga al usuario la libertad de ejecutar, modificar, estudiar o compartir el software.

Un emulador de terminal es un programa informático que simula el comportamiento de un terminal de computadora en cualquier dispositivo de visualización. Estos emuladores incorporan funcionalidades como el control de procesos, redirección de entrada/salida, listado y lectura de ficheros, comunicaciones y un lenguaje de órdenes para escribir secuencias de instrucciones por paquetes o scripts.

Existen infinidad de emuladores de terminal, y prácticamente todos ellos permitirían que el sistema que se ha diseñado funcionará a la perfección. Se ha optado por usar el programa Terminator porque permite dividir el terminal en tantos terminales como sea necesario, de manera que en una sola ventana se pueden tener distintos terminales dispuestos tanto en vertical como en horizontal y de este modo se pueden controlar de forma simultánea tantos procesos como se necesite. Al controlar varios procesos simultáneamente se aumentará la productividad y la eficiencia del sistema de adquisición de datos que se ha diseñado.

Este programa está disponible tanto para Microsoft Windows y macOS, como para sistemas Linux como Xubuntu, aunque realmente puede llegar a ejecutar en cualquier sistema que sea capaz de ejecutar Java 6 o posterior.

Como ya se ha mencionado, la principal diferencia de esta herramienta, comparada con sus homólogos es que permite organizar múltiples terminales en una única ventana de manera que se puede tener varias sesiones abiertas de forma simultánea. Además

permite reorganizar la disposición de ventanas arrastrando y soltando el ratón y también modificar su tamaño.

Otras características de este software son las siguientes:

- Soporta pestañas.
- Dispone de una gran cantidad de atajos de teclado con los que gestionar los distintos terminales.
- Permite guardar diferentes disposiciones y perfiles utilizando la interfaz gráfica.
- Soporta complementos (ROS).
- Se puede escribir en varios terminales simultáneamente por lo tanto permite lanzar el mismo comando en distintas sesiones.
- Permite realizar capturas de pantalla de un solo terminal.

En el caso de que se quiera instalar la última versión de este programa en sistemas basados en Linux, es recomendable añadir el repositorio oficial. Para ello se deben ejecutar las siguientes órdenes en un emulador de terminal como por ejemplo el que viene instalado por defecto:

```
sudo add-apt-repository ppa:gnome-terminator
sudo apt-get update
sudo apt-get install Terminator
```

Desde el Terminator se podrá trabajar con los nodos de ROS, y utilizando los comandos adecuados es posible ver toda la información de un nodo, matar un nodo, mostrar una lista con todos los nodos que hay activos, limpiar los registros de los nodos, etc...

#### *4.3.4 Matlab*

Para la obtención de los datos de los ensayos guardados en un paquete creado por ROS se utilizará Matlab. Este programa es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado, es decir, consiste en un editor de código fuente con lenguaje propio.

Las aplicaciones de Matlab se desarrollan en un lenguaje de programación propio. Este lenguaje permite operaciones de vectores y matrices, funciones, cálculo lambda, y programación orientada a objetos. Es interpretado, y puede ejecutarse tanto en el entorno interactivo, como a través de un archivo de script (archivos con extensión \*.m) como es el caso de nuestra aplicación.

#### *4.3.5 Drivers*

Un driver, o en castellano, un controlador de dispositivo es un programa informático que permite interactuar al sistema operativo con un periférico. Un periférico es la denominación genérica para designar a un dispositivo auxiliar e independiente conectado a la CPU. Por un lado se consideran periféricos a todos aquellos dispositivos de hardware a través de los cuales el ordenador se comunica con el exterior, y por otro

lado también se consideran como periféricos los sistemas que almacenan información ejerciendo así de memoria auxiliar. Retomando el concepto de driver, este es un elemento esencial del software y en particular del núcleo del propio sistema operativo. Sin el driver correspondiente, el hardware quedaría inutilizable.

Aparte de los drivers oficiales disponibles normalmente en el sitio web del fabricante del periférico, también se pueden encontrar los proporcionados por los sistemas operativos conocidos como drivers genéricos. También se pueden obtener versiones no oficiales realizadas por terceros sobretodo en el caso de que se este utilizado un sistema operativo de software libre.

En el caso de la aplicación que se está desarrollando se han instalado los drivers necesarios para que funcionen todos los sensores. La ruta de la carpeta en la que se han guardado todos estos es `/home/idf/ros/catkin_ws/src/`.

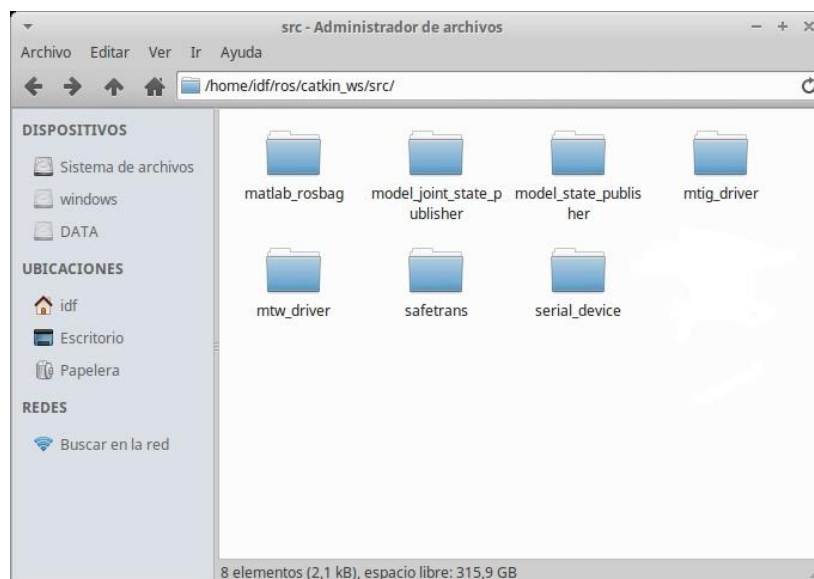


Figura 17. Carpeta en la que se almacenan las subcarpetas de los drivers.

En esta carpeta se almacenan las siguientes subcarpetas que hacen referencia a los drivers:

- `matlab_rosbag`: En esta carpeta está guardada la información necesaria para poder extraer el fichero `.bag` y con ayuda del script de Matlab poder crear el archivo `.mat`.
- `model_joint_state_publisher`: Esta carpeta contiene el driver que gestiona el modelado 3D del humano y permite visualizarlo.
- `model_state_publisher`: Del mismo modo que en la carpeta anterior, en esta carpeta también se almacenan complementos necesarios para poder visualizar el modelo 3D del conductor.
- `mtig_driver`: En esta carpeta se almacena el driver de la unidad de medición inercial MTi-G-710 que se ha utilizado. Este driver está actualizado y ha sido proporcionado por el fabricante del sensor Xsens. Sin este driver la imu no funcionará.

- `mtw_driver`: Esta carpeta contiene el driver necesario para la utilización de los dispositivos rastreadores de movimiento humano. Es obvio, pero se recalca por si fuera necesario, que tan solo es necesario un único driver para el uso de todos ellos, no hay que instalar 8 drivers pese a tener 8 unidades. Este driver está actualizado y ha sido proporcionado por el fabricante del sensor Xsens.
- `safetrans`: En esta carpeta está guardado el driver que se utiliza para comunicarse con el módulo del volante que incluye el medidor de par y las células de carga. En gran parte, este driver ha sido desarrollado por el personal del Instituto de Diseño y Fabricación.
- `serial_device`: Esta carpeta almacena el driver que gestiona el puerto serie, también necesario para la conexión del módulo del volante.

#### 4.4 Calibración de equipos

Para asegurar la validez de los datos obtenidos con los equipos de medición, se ha procedido a determinar unas maniobras de calibración para cada dispositivo.

Para realizar la calibración tanto del medidor de par para el volante, como de las células de carga se ha utilizado el dinamómetro modelo Compact Force Gauge<sup>+</sup> (CFG<sup>+</sup>) de la marca Mecmesin.



Figura 18. Dinamómetro utilizado para la calibración.

Según el fabricante, este es el más básico de su gama de dinamómetros con display de gran versatilidad. Está específicamente diseñado para ejecutar ensayos básicos de tracción y compresión, por tanto, es idóneo para utilizarlo para realizar la calibración de nuestros equipos.

Las características principales de este instrumento son las siguientes:

<b>Especificaciones Compact Force Gauge</b>	
Valor máximo	500 N
Precisión a fondo de escala	± 0,5 %
Salida de datos	RS232
Alimentación	4 x pilas AA
Temperatura de operatividad	10°C – 35°C

#### 4.4.1 Medidor de par

Para realizar la calibración del medidor de par del volante se han realizado dos series de pruebas hacia cada sentido de giro. Cada serie de prueba consiste en tomar 20 medidas. Estas pruebas consisten en, manteniendo fijo el sistema del volante, tirar del dinamómetro, estando este enganchado a un extremo del volante, registrando así el valor de fuerza que determina el dinamómetro y al mismo tiempo el valor de la señal medida en el ordenador. Para calcular el valor de par, que por definición es igual a la fuerza por la distancia hasta el punto de aplicación, tan solo hay que multiplicar el valor de fuerza por la distancia desde el punto en el que está enganchado el dinamómetro hasta el centro del volante.

La distancia desde el punto de aplicación del dinamómetro hasta el centro del volante es de 8,52 cm. Por tanto  $d=0,0852$  m.

El objetivo de realizar estas mediciones es obtener una gráfica de la que se pueda extraer la ecuación que defina la recta de la respuesta del sensor de par. Del mismo modo sacaremos las rectas de cada una de las células de carga de los pedales. Una vez obtenidas las rectas de estos tres sensores, se deberán introducir estos parámetros en el fichero encargado de transformar el valor digital de la señal en un valor de fuerza. El fichero se llama *safetrans\_bluetooth.lanch* y tiene el siguiente código fuente:

```
<?xml version="1.0"?>
<launch>

<!-- Bluetooth node -->
<!--<param name="serialPort" value="/dev/ttyUSB0" />-->
<!--<param name="serialPort" value="/dev/ttyACM0" />-->
<param name="serialPort" value="/dev/rfcomm14" />
<param name="baudRate" value="9600" />
<param name="publishRate" value="10" />
<node pkg="safetrans_node" name="safetrans_bluetooth"
type="safetrans_bluetooth" output="screen" respawn="false"/>

<param name="accelSlope" value="0.9548" />           //Pendiente del acelerador.
<param name="accelOffset" value="15.811" />         //Offset del acelerador.
<param name="brakeSlope" value="0.9443" />         //Pendiente del freno.
<param name="brakeOffset" value="15.101" />        //Offset del freno.
<param name="steeringSlope" value="0.03" />         //Pendiente del volante.
<param name="steeringOffset" value="0.10" />        //Offset del volante.

<param name="mode" value="1" />
</launch>
```

Los valores en negrita son los que deberán ser sustituidos por los obtenidos tras obtener las ecuaciones de las rectas.

En las tablas que se muestran en los siguientes apartados para la calibración de par se muestran tres columnas que contienen la siguiente información:

- Señal medida: Valor de la señal que se muestra en el ordenador. Este valor proviene del valor de la fuerza analógico medido por el sensor y convertido en digital.

- Valor dinamómetro (N): Cantidad de fuerza que se muestra en el *display* del dinamómetro. Corresponde con la fuerza real, con una precisión del 0,5 %.
- Par (Nm): Producto del valor de la fuerza real medida con el dinamómetro multiplicado por la distancia *d* obtenida anteriormente.

El valor de la señal medida se trata de un valor en digital por lo que no tiene unidades, y corresponde con un determinado valor de fuerza que se mide con el dinamómetro. Tras multiplicar esa fuerza por la distancia, y obtener el valor de par se procede a representar todos estos valores obtenidos y se genera la recta que asegura que el sistema esta calibrado.

Para la calibración del volante se ha optado por realizar dos series de mediciones, una hacia cada sentido de giro. Los parámetros a colocar serán los obtenidos de realizar la media aritmética de los valores de ambas ecuaciones de recta.

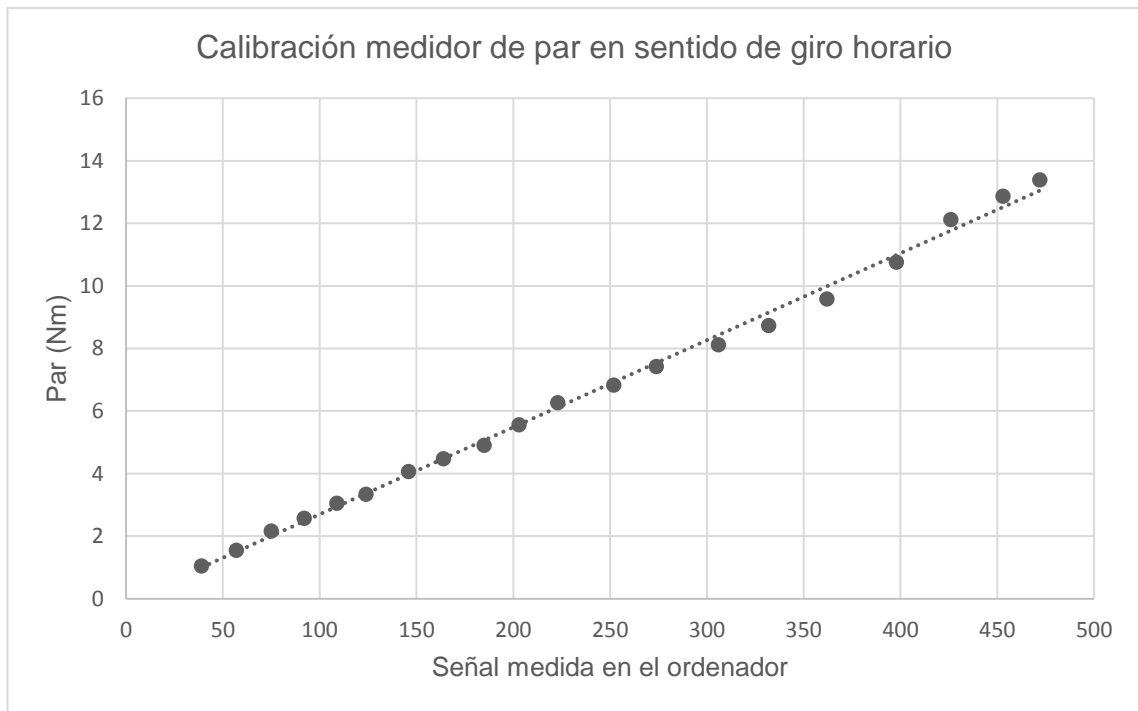
#### 4.4.1.1 Giro en sentido horario

A continuación se muestra la tabla de las medidas tomadas para calibrar el volante en sentido de giro horario, es decir, giro hacia la derecha. Tal y como se ha explicado anteriormente se han realizado dos series de 20 medidas:

Señal medida	Valor dinamómetro (N)	Par (Nm)
39	12,3	1,05
57	18,2	1,55
75	25,4	2,16
92	30,2	2,57
109	35,9	3,06
124	39,2	3,34
146	47,8	4,07
164	52,6	4,48
185	57,6	4,91
203	65,3	5,56
223	73,6	6,27
252	80,2	6,83
274	87,2	7,43
306	95,3	8,12
332	102,6	8,74
362	112,5	9,59
398	126,3	10,76
426	142,3	12,12
453	151,0	12,87
472	157,2	13,39

Tabla 6. Calibración del medidor de par en sentido horario

Simplemente, analizando de manera rápida la tabla ya se aprecia la linealidad de los datos obtenidos, pese a esto se ha optado por representar gráficamente estos valores:



Gráfica 1. Representación de los datos de calibración del medidor de par en sentido horario.

Se ha realizado un ajuste lineal de los datos y se ha obtenido un valor de  $R^2$  de 0,9965, muy próximo a 1 y por tanto se da como válido el ajuste lineal de los datos. La ecuación que representa la gráfica es la siguiente:

$$Par (T) = 0,0278 \cdot x - 0,0815$$

De este modo se concluye que el sensor de par está completamente calibrado. En principio, no debería ser necesario realizar la calibración hacia el giro en sentido antihorario porque, a no ser que falle la batería externa que alimenta el señor, no debería existir ningún fallo.

De cualquier manera, al estar realizando este proyecto en colaboración con un laboratorio de ensayo regido por la norma ISO 17025, se debe estar completamente seguro de que no existe fallo alguno en las medidas tomadas por los sensores y por tanto su calibración debe estar válida lo máximo posible. Por consiguiente, en el siguiente apartado se va a proceder a realizar la calibración para el sentido de giro antihorario, es decir, hacia la izquierda.



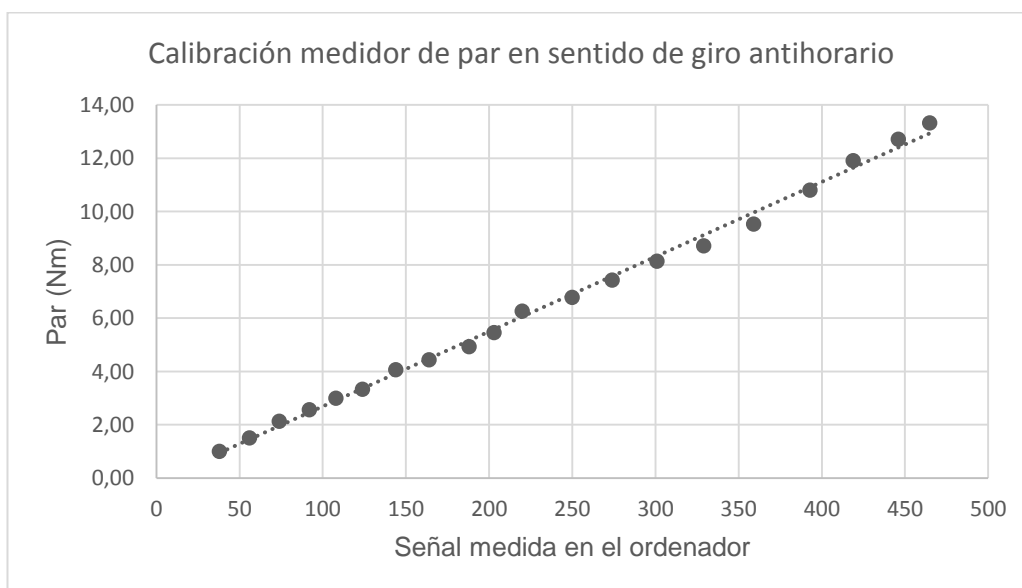
#### 4.4.1.2 Giro en sentido antihorario

Se ha procedido a realizar la tabla con las medidas tomadas para calibrar el volante en sentido de giro antihorario, es decir, giro hacia la izquierda. Tal y como se ha realizado en la calibración anterior se han efectuado dos series de 20 medidas:

Señal medida	Valor dinamómetro (N)	Par (Nm)
38	11,9	1,01
56	17,8	1,52
74	25,1	2,14
92	30,2	2,57
108	35,2	3,00
124	39,2	3,34
144	47,8	4,07
164	52,1	4,44
188	57,9	4,93
203	64,2	5,47
220	73,6	6,27
250	79,6	6,78
274	87,2	7,43
301	95,6	8,15
329	102,3	8,72
359	111,9	9,53
393	126,8	10,80
419	139,8	11,91
446	149,2	12,71
465	156,4	13,33

Tabla 7. Calibración del medidor de par en sentido antihorario

Del mismo modo que en el caso anterior, se aprecia la linealidad de los datos obtenidos, pese a esto se ha procedido a representarlos gráficamente:



Gráfica 2. Representación de los datos de calibración del medidor de par en sentido antihorario.

Se ha realizado un ajuste lineal de los datos y el valor obtenido de  $R^2$  en este caso es de 0,9966, muy próximo a 1 y por tanto se da como válido el ajuste lineal de los datos. La ecuación que representa la gráfica es la siguiente:

$$Par (T) = 0,0281 \cdot x - 0,1167$$

#### 4.4.2 Células de carga

Para realizar la calibración de las células de carga se ha seguido el mismo procedimiento que para el medidor de par del volante. Se han realizado 20 medidas para cada una de las células. En este caso, el dinamómetro estará en modo compresión, y se ejercerá la fuerza de forma perpendicular al plano de acción de la célula.

En las tablas que se muestran en los siguientes apartados para la calibración de las células de carga se muestran tres columnas que contienen la siguiente información:

- Señal medida: Valor de la señal que se muestra en el ordenador. Este valor proviene del valor de la fuerza analógico medido por el sensor y convertido en digital.
- Valor dinamómetro (N): Cantidad de fuerza que se muestra en el *display* del dinamómetro. Corresponde con la fuerza real, con una precisión del 0,5 %.

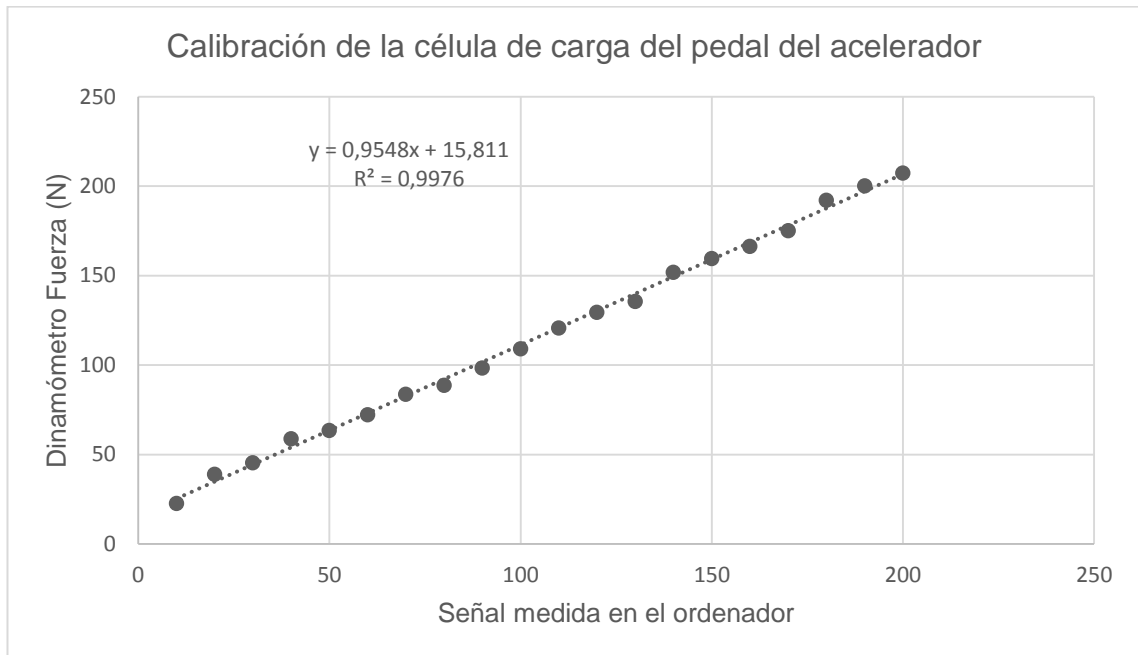
##### 4.4.2.1 Pedal del acelerador

Los resultados para la célula del pedal del acelerador se muestran en la siguiente tabla:

Señal medida	Valor dinamómetro (N)
10	22,7
20	39,1
30	45,4
40	58,9
50	63,5
60	72,4
70	83,7
80	88,8
90	98,4
100	109,2
110	120,8
120	129,6
130	135,6
140	151,9
150	159,7
160	166,5
170	175,2
180	192,2
190	200,3
200	207,4

Tabla 8. Calibración de la célula de carga del pedal del acelerador.

Igual que se ha realizado con el medidor de par, se ha procedido a continuación a representar gráficamente estos valores para, de este modo, de manera visual poder apreciar la linealidad de los datos obtenidos.



Gráfica 3. Representación de los datos de calibración de la célula de carga del pedal del acelerador.

Para un valor de fuerza nulo, el valor de la señal medida también es 0, pero se ha optado por descartar los valores de fuerza inferiores a 20 Newton puesto que en este rango el sensor presenta una no linealidad debido a que se ha configurado para tener mayor sensibilidad cuando el valor de fuerza es menor. A pesar de esto, esta pérdida de información en valores de fuerza muy pequeños no resulta relevante, puesto que gracias a esto se consigue mayor fiabilidad en el resto de medidas. Además estos pequeños valores no muestran interés para el objetivo del proyecto de medir esfuerzos máximos y mínimos.

Se ha concluido en aceptar la linealidad de la respuesta de la célula puesto que presenta un valor de  $R^2$  muy próximo a uno, en concreto de 0,9976.

La ecuación de esta gráfica es la siguiente:

$$Fuerza (F) = 0,9548 \cdot x + 15,811$$

Una vez se ha obtenido la ecuación de la calibración de la célula de carga del pedal del acelerador, se deben de introducir estos parámetros en el fichero que sirve para realizar la operación que transcribe el valor de la señal digital captado por el sensor, en un valor de fuerza analógico.

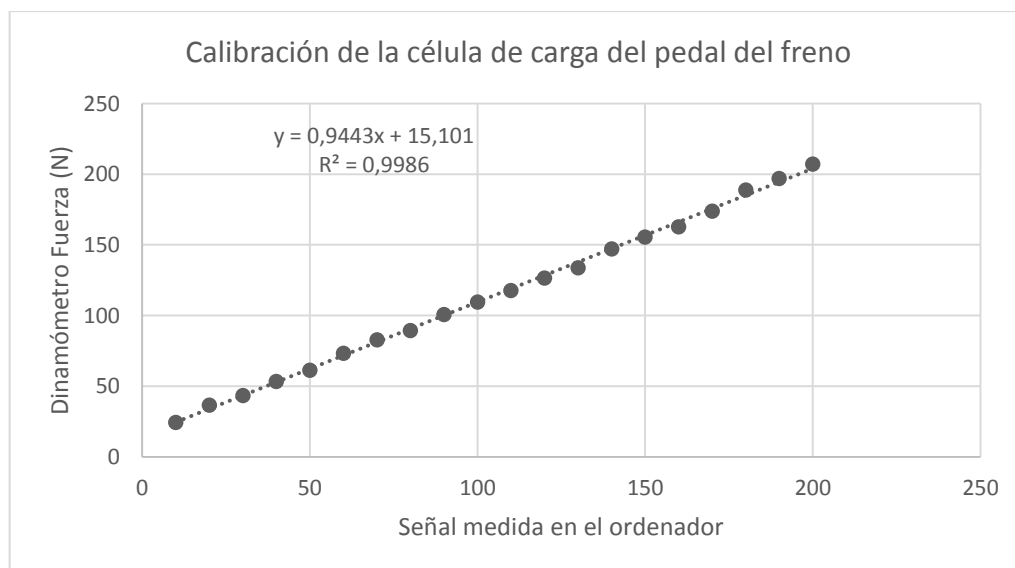
#### 4.4.2.2 Pedal del freno

A continuación se ha seguido el mismo protocolo para la célula de carga del pedal del freno.

Señal medida	Valor dinamómetro (N)
10	24,4
20	36,6
30	43,3
40	53,4
50	61,4
60	73,2
70	82,9
80	89,4
90	100,6
100	109,5
110	117,8
120	126,6
130	133,8
140	147,2
150	155,6
160	162,8
170	173,8
180	188,8
190	196,9
200	207,1

Tabla 9. Calibración de la célula de carga del pedal del freno.

Del mismo modo que con el resto de dispositivos se ha procedido a representar gráficamente estos valores:



Gráfica 4. Representación de los datos de calibración de la célula de carga del pedal del freno.

Del mismo modo que con la célula de carga calibrada en el apartado anterior, esta también presenta una no linealidad en fuerzas inferiores a 20 Newton pero como ya se ha mencionado, esto no presenta ningún problema.

Se ha concluido en aceptar la linealidad de la respuesta de la célula puesto que presenta un valor de  $R^2$  muy próximo a uno, en concreto de 0,9986.

La ecuación para obtener cualquier valor de fuerza para este sensor según la señal medida es la siguiente:

$$\text{Fuerza } (F) = 0,9443 \cdot x + 15,101$$

Al igual que en la otra célula una vez se ha obtenido la ecuación de la calibración de la célula de carga del pedal del acelerador, se deben de introducir estos parámetros en el fichero que sirve para realizar la operación que transcribe el valor de la señal digital captado por el sensor, en un valor de fuerza analógico.

De este modo se concluye que ambas células de carga están calibradas y funcionan correctamente.

#### *4.4.3 Unidad de medición inercial*

El dispositivo MTi-G-710 (con GPS) está diseñado para usar la aceleración proveniente de los datos del sistema global de navegación por satélite (GNSS) para mejorar la orientación y las estimaciones de posición de un vehículo en movimiento, de este modo también ayuda a compensar las aceleraciones transitorias. No obstante, las estimaciones de posición, velocidad y rumbo pueden ser cuestionadas en aplicaciones automotrices cuando la recepción por GNSS es limitada o cuando se maniobra a baja velocidad.

La documentación principal que se debe tener en cuenta para configurar y obtener el máximo rendimiento de la unidad es el Manual de usuario MTi, en concreto, la sección "MTi System Overview" y la subsección titulada "Xsens sensor fusión algorithm for MTi-G-710"

Algunos consejos generales que nos proporciona el fabricante a la hora de usar su dispositivo para aplicaciones automotrices son los siguientes [13]:

- El mejor rendimiento lo ofrece el perfil de filtro "General". Otros perfiles solo deben usarse en circunstancias especiales.
- No es recomendable el uso del perfil de filtro "Automotive" a menos que se tenga una precisión de montaje extremadamente buena (1 grado de alineación).
- En general, tampoco se recomienda el uso del perfil de filtro "GeneralMad" debido al alto riesgo de encontrar perturbaciones magnéticas en las aplicaciones con automóviles. Pese a esto, si el entorno del campo magnético es adecuado, es decir, es prácticamente nulo y si la calibración MFM para campos magnéticos fijos se realiza muy bien, se puede utilizar y puede ser efectiva.

Para el uso del sensor en el sistema que se ha desarrollado la configuración idónea del perfil de filtro será "General"

Como ya se ha explicado, este dispositivo utiliza los datos del sistema global de navegación por satélite (GNSS). Este sistema es una constelación de satélites artificiales que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre y proporciona a los usuarios información sobre la posición y la hora con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas. Es utilizado para aplicaciones de uso militar, navegación aérea y aplicaciones de investigación por parte de centros especializados y universidades.

Por todo esto, la calibración de la unidad de medición inercial viene respaldada por los datos que ofrece el sistema global de navegación por satélite que asegura unos datos

#### 4.4.4 Rastreador de movimiento humano

Los sensores para captar el movimiento humano van acumulando un mínimo error en cada movimiento que se realiza. Este error es ínfimamente pequeño pero al estar en constante movimiento se va propagando creando finalmente una incertidumbre de error difícilmente calculable. Para evitar que esto suceda se ha determinado un método para la calibración o mejor dicho, para la puesta a cero de los rastreadores que se van a utilizar.

El método consiste en utilizar la herramienta de interfaz gráfica VRIZ de ROS. Una vez instalados todas las unidades en el cuerpo del conductor, y estar enlazados con el ordenador, abrir una ventana en el terminal y escribir el comando siguiente: *rqt*. Acto seguido se abrirá una ventana con una interfaz de usuario, esta ventana se llama *Default – rqt*. El conductor debe ponerse en la posición inicial y el técnico de los ensayos, tras asegurarse de que permanece de este modo, seleccionará la casilla *tf\_reset* de la ventana *Default – rqt*, de este forma se indica al sistema que el conductor está en la posición inicial.

La posición inicial del conductor debe de ser tal y como se muestra en la siguiente figura:

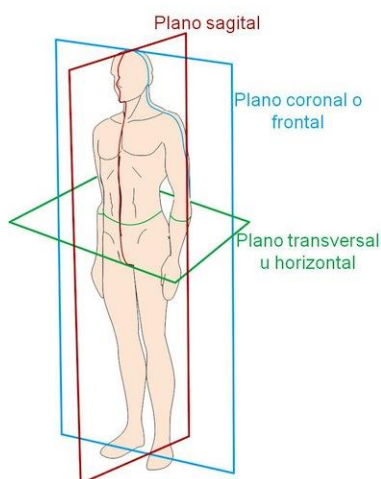


Figura 19. Posición inicial del conductor.

Esta puesta a cero se debe hacer cada vez que se empiece la jornada de pruebas, cada vez que el conductor vaya a subir al vehículo y cada vez que el técnico visualice en la interfaz gráfica que la posición del conductor no coincide con la posición del modelado de este.

## *4.5 Descripción de pruebas previas*

Para la verificación de todo el montaje descrito en los apartados anteriores se ha procedido a efectuar unas pruebas previas a los ensayos y de este modo determinar si todo este sistema es factible sobre todo para el conductor. Para la realización de estas pruebas se procedió a realizar todo el montaje de la instrumentación tal y como se ha especificado en este proyecto.

Este montaje se realizó con la colaboración de un técnico del SETRAV puesto que es aconsejable que los equipos sean manipulados por dos personas al mismo tiempo.

Las pruebas que se realizaron fueron las siguientes.

- Desplazar el vehículo hacia delante a baja velocidad y detenerse dentro de la zona delimitada.
- Modificar la palanca de cambios.
- Girar el volante al máximo hacia los dos sentidos con el vehículo parado.
- Girar el volante al máximo hacia los dos sentidos con el vehículo en movimiento a baja velocidad.

En estas pruebas se pudo comprobar que las indicaciones para el montaje de todos los dispositivos son correctas. También se confirmó que el conductor es capaz de realizar una conducción normal con todos estos equipos instalados tanto en el vehículo como en él mismo y que no influyen en el normal desarrollo de las tareas de conducción y por tanto los datos serán los más reales posibles.

## *4.6 Sistema de adquisición de datos*

Se ha redactado un protocolo durante la creación del sistema de adquisición de datos. Este protocolo sirve como manual de instrucciones al técnico encargado de llevar a cabo las pruebas experimentales con este sistema.

Se incluye en el siguiente punto dicho protocolo.

### *4.6.1 Protocolo de instrucciones para el método de adquisición de datos*

#### *4.6.1.1 Información inicial*

En este protocolo se detalla a la perfección todos los pasos a seguir para el uso del sistema de adquisición de datos. Se debe de seguir punto por punto para asegurar un correcto funcionamiento del sistema de medidas experimentales y de toma de datos.

Todos los sensores y herramientas de software están comprobados y funcionan con normalidad, en caso de detectar algún comportamiento inusual o algún fallo se debe contactar con el responsable del diseño y mantenimiento de este sistema para informarle y tratar de solucionarlo.

A modo informativo se recuerda que se está utilizando, en el ordenador designado para realizar todas las tareas, el sistema operativo Linux – Xubuntu 16.04 de 64 bits.

Lo primero, tras encender el ordenador se debe de ingresar el usuario y contraseña;

Usuario: idf

Contraseña: idf

Tras esto accederemos al escritorio principal, y desde este lugar abrimos el programa llamado *Terminator* y dividimos la ventana principal del programa en varias ventanas (botón derecho para subdividir). En este documento vamos a tratar cada una de estas ventanas como TERMINALES. (Terminal 1, Terminal 2, etc...)

#### 4.6.1.2 Terminal 1. Nodo principal

Escribir el comando `roscore` y pulsar la tecla ENTER, tras esperar unos segundos aparecerán unos mensajes en pantalla. El último mensaje será `started core service [/rosut]` lo que indicará que todo ha comenzado a funcionar correctamente. Este comando se debe lanzar o ejecutar el primero y se debe mantener siempre activo. Es el nodo principal, o como se conoce en términos de informática, el *main*. En este terminal ya no se podrá escribir nada más, tan solo se debe teclear Ctrl+c cuando ya se hayan finalizado todas las pruebas, o se tenga que apagar el ordenador por cualquier razón. (El comando Ctrl+c se utiliza para salir de proceso que se está ejecutando en ese terminal).

#### 4.6.1.3 Terminal 2. Sensor de par y células de carga

Lo primero que se debe hacer es emparejar el sistema del volante mediante bluetooth con el *Serial Port* del ordenador. Para ello hay que pulsar con el botón izquierdo sobre el icono de bluetooth en la esquina superior derecha y pulsamos *Dispositivos*, se nos abrirá la siguiente ventana:

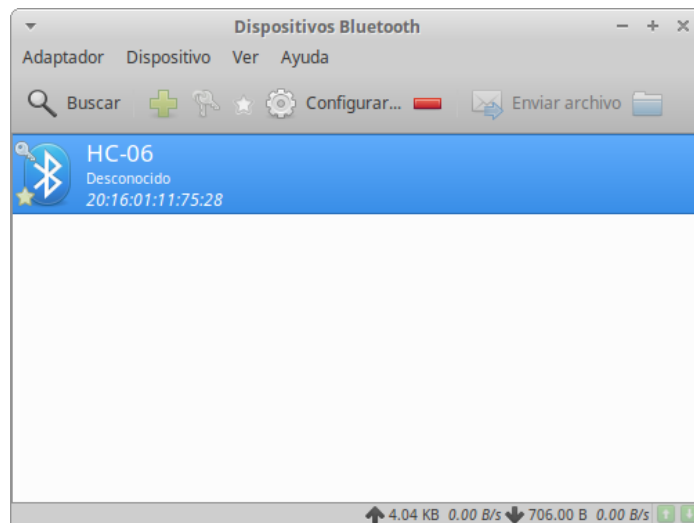


Figura 20. Ventana de Dispositivos Bluetooth

En esta ventana hay que pulsar con el botón derecho sobre el dispositivo HC-06 y seleccionar la opción de *Conectar a: Serial Port*. Cuando se conecte, arriba a la derecha de la pantalla aparecerá una ventana en la que se mostrará la siguiente información. "Puerto serie conectado. El servicio o dispositivo de puerto serie HC-06 estará ahora disponible mediante `/dev/rfcommX`". Se debe memorizar el número de *rfcomm* (puede ser *rfcomm0*, *rfcomm1*, *rfcomm2*..) al que se ha conectado el dispositivo. Si no se ha memorizado o se desconoce este número, en la ventana que ya teníamos abierta de *Dispositivos Bluetooth* (figura superior), pulsando de nuevo con el botón derecho en el dispositivo HC-06, podemos ver qué número de *rfcomm* que tiene asignado.

Según el puerto `/dev/rfcomm` asignado hay que modificar este parámetro en un fichero. Este fichero se encuentra en la siguiente ruta: `/home/idf/ros/catkin_ws/src/safetrans/safetrans_node/launch/safetrans_bluetooth.launch`



h. El fichero se llama *safetrans\_bluetooth.launch*. Tras localizar este fichero, se pulsa con el botón derecho y se selecciona la opción de *Abrir con gedit*. Se abrirá un documento en un editor de textos con el siguiente código:

```
1<?xml version="1.0"?>
2<launch>
3
4 <!-- Bluetooth node -->
5 <!--<param name="serialPort" value="/dev/ttyUSB0" />-->
6 <!--<param name="serialPort" value="/dev/ttyACM0" />-->
7 <param name="serialPort" value="/dev/rfcomm2" />
8 <param name="baudRate" value="9600" />
9 <param name="publishRate" value="10" />
10 <node pkg="safetrans_node" name="safetrans_bluetooth"
type="safetrans_bluetooth" output="screen" respawn="false"/>
11
12 <param name="accelSlope" value="3.0" />
13 <param name="accelOffset" value="0.0" />
14 <param name="brakeSlope" value="3.0" />
15 <param name="brakeOffset" value="0.0" />
16 <param name="steeringSlope" value="1.0" />
17 <param name="steeringOffset" value="0.0" />
18
19 <param name="mode" value="1" />
20
21</launch>
```

Como se aprecia más arriba, en la línea 7 del código aparece */dev/rfcomm2*. Lo único que se debe de hacer es modificar el número de *rfcomm* para que coincida con el que se ha memorizado antes al conectar el dispositivo bluetooth. Si ya coincide no se debe modificar nada. Tras editar este número, hay que *Guardar* el documento y cerrarlo.

Tras realizar todo este proceso, en el programa *Terminator* que previamente ya se había abierto, y en otro terminal distinto al que se ejecutó el nodo principal, hay que escribir el siguiente código:

```
roslaunch safetrans_node safetrans_bluetooth.launch
```

Tras ejecutar este comando, si en la consola no se muestra ningún tipo de error significa que el nodo encargado del sistema medidor de par y de las células de carga estará funcionando correctamente. Del mismo modo que en el caso del apartado anterior, en este terminal ya no se puede continuar escribiendo y para finalizar el proceso se deberá ejecutar el comando *Ctrl+c*.

#### 4.6.1.4 Terminal 3. Unidad de medición inercial y GPS

Para ejecutar el nodo de la unidad de medición inercial (IMU) y el GPS tan solo se debe de conectar mediante el cable USB de la IMU al ordenador y escribir el siguiente código en otro terminal nuevo:

```
roslaunch mtig_driver mtig_driver.launch
```

Si al escribir este código no devuelve ningún tipo de error, será señal de que este sensor está funcionando correctamente. Del mismo modo que en el caso del apartado

anterior, en este terminal ya no se puede continuar escribiendo y para finalizar el proceso se deberá ejecutar el comando *Ctrl+c*.

#### 4.6.1.5 Terminal 4. Rastreadores de movimiento humano

Tras asegurarse de que las 8 unidades están encendidas, conectaremos el receptor al ordenador. Ejecutaremos la demo del modelo 3D del torso superior del cuerpo humano. Para lanzar esta demo se deberá escribir el siguiente código en un nuevo terminal:

```
roslaunch mtw_driver demo_mtw_driver.launch
```

Si al escribir este código no devuelve ningún tipo de error, será señal de que estos dispositivos están funcionando correctamente. Del mismo modo que en el caso del apartado anterior, en este terminal ya no se puede continuar escribiendo y para finalizar el proceso se deberá ejecutar el comando *Ctrl+c*.

Cuando se hayan inicializado todos los procesos de este sensor, en la consola se mostrarán todas las unidades que ha detectado el receptor. Debe de detectar 8 unidades, y tras esto habrá que pulsar la tecla *y*. Comprobar que el modelo está en la posición inicial, si no lo está se debe de enviar el comando de *reset*. Para realizar esta operación hay que realizar lo especificado en el siguiente apartado (*Terminal 5. Comando de reset*).

#### 4.6.1.6 Terminal 5. Comando de reset

Para enviar el comando de *reset* y de este modo colocar el modelo 3D del conductor en su posición inicial hay que abrir la interfaz de envío de parámetros denominada *Default rqt*. Para abrir esta interfaz tan solo se debe de escribir en un nuevo terminal el siguiente código:

```
rqt
```

Tras esperar unos segundos se abrirá la interfaz y se deberá seleccionar el parámetro que aparecerá en la barra de la izquierda. Este parámetro se denomina *tf\_reset* y solo se debe seleccionar cuando el conductor esté en posición inicial.

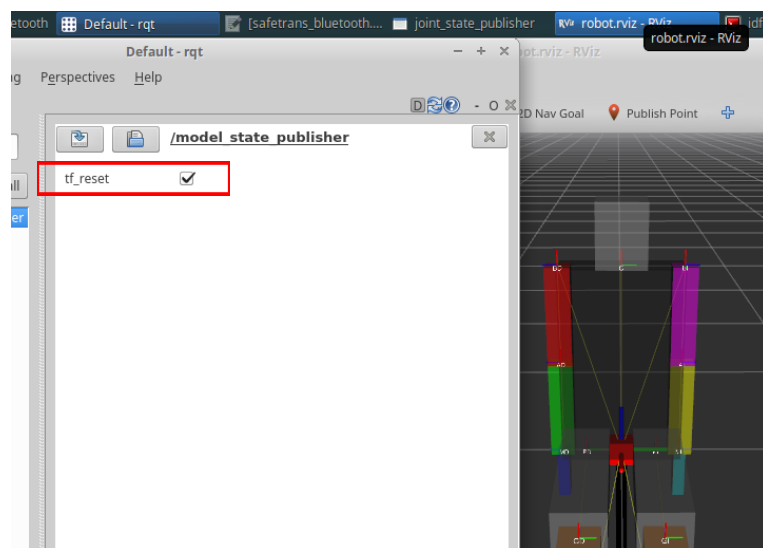


Figura 21. Ventana *Default - rqt* con el parámetro *tf\_reset* seleccionado.

En caso de producirse algún error en la posición inicial, volver al TERMINAL 4, cancelar con *Ctrl+c* y repetir la secuencia.

#### 4.6.1.7 Terminal 6. Guardar información

Cuando ya se hayan realizado todos los puntos anteriores y se estén ejecutando todos los sensores de manera correcta habrá que lanzar el nodo para guardar la información.

El código que se debe de ejecutar para realizar esta tarea es el siguiente:

```
rosvag record -a
```

Cuando se desee parar de guardar la información se cancelará con *Ctrl+c*.

La información se almacena en un fichero con extensión *.bag* en el directorio */home/idf*. Para cada prueba que se desee realizar se recomienda cambiar el nombre del fichero, para esto lo único que se debe de hacer cuando se ha terminado de guardar los datos de una prueba es dirigirse al directorio anteriormente mencionado en el que se ha guardado el fichero y modificar el nombre llamándole, por ejemplo; "Prueba\_1\_Frenado\_Renault\_Clio.bag". No se pueden utilizar los espacios en blanco en el nombre del fichero, se debe de utilizar barra baja. El hecho de cambiar el fichero de nombre se debe a que, al crearlo, el programa le asigna un nombre que consiste en la hora y fecha que se ha realizado y tras una jornada de pruebas en la que se van a crear múltiples ficheros puede ser caótico a la hora de saber que fichero corresponde a cada prueba.

En este apartado finalizaría todo el protocolo que se debe de seguir para el correcto funcionamiento del sistema de medición y adquisición de datos. A continuación se añaden unos puntos con información adicional sobre la utilización de este sistema.

#### 4.6.1.8 Visualización de variables

Para visualizar el valor de una variable que se está midiendo en tiempo real, abriremos otro terminal y ejecutaremos el comando `rostopic list` para que el programa nos muestre todos los mensajes que se están publicando en la red ROS. Estos mensajes corresponderán con las variables.

Seleccionar el mensaje que se quiere visualizar y ejecutar el siguiente comando con el nombre de deseado:

```
rostopic echo NOMBRE
```

NOMBRE corresponde con el nombre de la variable, por ejemplo, algunos mensajes importantes son los siguientes;

- `/xsens/imu`: Muestra toda la información de la IMU.
- `/xsens/gps_vel`: Muestra la velocidad medida por el GPS.
- `/mtw/imu/BD`: Muestra la información del brazo derecho.
- `/bt_brake`: Muestra la fuerza aplicada en el pedal de freno.

Tras ejecutar este código se mostrará en esa misma ventana el valor de la variable completamente en tiempo real, por tanto irá modificando su valor en función de los datos

que esté tomando el sensor al que corresponde. En caso de que se quiera dejar de mostrar esa variable, aplicaremos el comando *Ctrl+c* necesario para parar cualquier proceso. Igual que pasaba cuando se ejecutaban los drivers de los sensores, en este terminal ya no se podrá continuar escribiendo a menos que se acabe o cancele el proceso. Por tanto, para cada variable que se pretenda visualizar, habrá que abrir un nuevo terminal y ejecutar el comando necesario para que se muestre la nueva variable deseada.

#### 4.6.1.9 Permisos

Si al lanzar los drivers, tanto el del módulo del bluetooth, como la IMU+GPS, o el driver de los sensores biométricos, alguno devuelve algún tipo de error de permisos (*Error: Permission denied*), tocará otorgar permiso de administrador a la entrada del USB y/o del puerto bluetooth. Estos permisos ya han sido otorgados, y una vez se realiza esta operación no se debería de aparecer ese error, pero a continuación se explican cómo se otorgan por si hubiera algún problema.

Para otorgar estos permisos se debe de escribir el siguiente código:

- `sudo chmod 777 /dev/rfcomm0`: Permiso al puerto 0 de bluetooth. También puede ser `/dev/rfcomm1`, `/dev/rfcomm2`, `/dev/rfcomm3...` etc. (`/dev/rfcomm*`: engloba todos los puertos)
- `sudo chmod 777 /dev/tty*`: Permiso al Puerto USB en el que está conectado la IMU+GPS.
- `sudo chmod 777 /dev/ttyUSB*`: Permiso al Puerto USB en el que está conectado el receptor de los sensores biométricos.

El comando `sudo`, del inglés *super user do* es el necesario en sistemas basados en Linux para otorgar estos permisos de administrador y ejecutar programas con privilegios de otro usuario de manera segura, convirtiéndose así temporalmente en superusuario.

Al otorgar alguno de estos permisos en el terminal, se requerirá una contraseña; la contraseña es *idf* y al escribirla no se mostrara en pantalla, pero tan solo tenemos que escribirla y pulsar *Enter*.

Tras ejecutar los comandos para autorizar a los dispositivos el uso de los puertos bluetooth y USB se deberá reiniciar el ordenador.

#### 4.6.1.10 Ejemplo y consideraciones

A continuación se muestra una captura de pantalla del programa *Terminator* en pleno funcionamiento de ejecución de los procesos para mantener los sensores activados y adquirir los datos.

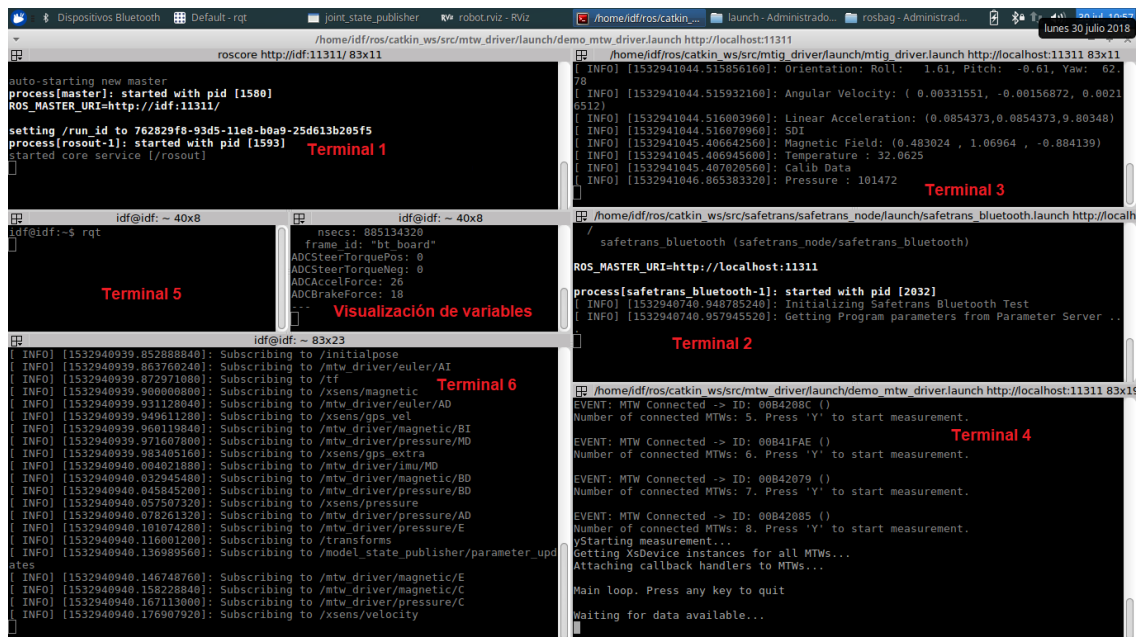


Figura 22. Captura de pantalla del Terminator en pleno funcionamiento.

Se ha escrito en cada terminal a cual corresponde con respecto al protocolo que se acaba de desarrollar. Como se observa en la figura, se ha dividido la ventana principal del programa en 7 terminales. La organización de estos terminales no tiene por qué ser de esta manera, pudiéndolos distribuir como se prefiera.

En la ventana de terminal de la parte superior izquierda se ha ejecutado el nodo principal, desarrollado como Terminal 1 en el protocolo. Este nodo siempre debe ser el primero en ejecutarse y debe estar siempre en funcionamiento durante todo el proceso.

A la derecha se muestran tres terminales correspondientes al Terminal 2, Terminal 3 y Terminal 4, que como ya se ha desarrollado previamente corresponden al módulo del volante y las células de carga, a la unidad de medición inercial y a los rastreadores de movimiento humano. Estos tres nodos no tienen por qué ejecutarse en este orden, pudiéndose alternar entre ellos.

De nuevo, a la izquierda se aprecia el Terminal 5, necesario para ejecutar la ventana de envío de parámetro del modelo 3D y poder determinar la posición inicial del conductor. A la derecha de este terminal, se ha ejecutado los comando de visualización de parámetros del módulo del volante, pudiéndose ejecutar el mismo modo para visualizar los parámetros de la unidad de medición inercial, del GPS o de los rastreadores de movimiento humano.

Por último en el Terminal 6 se ha ejecutado el nodo encargado de guardar toda la información en un fichero *.bag*.

#### 4.6.2 Método de extracción de datos.

Tras generar, mediante la realización de las instrucciones determinadas en el protocolo desarrollado en el apartado anterior, el fichero con extensión *.bag* que contiene todos los datos adquiridos tras realizar una prueba experimental hay que proceder a extraer toda esta información. Para esto se ha hecho uso del programa *Matlab*.

En este programa se ha generado un código que se almacena en un script encargado de realizar esta tarea. Este script se encuentra en la ruta `/home/idf/src/Matalb` y tiene el nombre de `bag_model.m`. Como adjunto a este proyecto se añade el código fuente del script desarrollado en su totalidad por investigadores del Instituto de Diseño y Fabricación.

Es importante que antes de utilizar este script mover el fichero que por defecto se ha creado en la carpeta `/home/idf` a la carpeta `/home/idf/src/Matalb/rosbag` de lo contrario no funcionará correctamente.

Tras colocar el fichero en la carpeta correcta, abrir Matlab. Para abrir este programa también se puede hacer desde un nuevo terminal. Para ello escribir esta secuencia de comandos:

```
cd Matlab2017b/bin/  
./matlab
```

Tras ejecutar estos comandos y esperar unos segundos se abrirá el programa con el script también abierto. En caso de que no lo esté tan solo se debe, dentro del programa, acceder a la ruta `/home/idf/src/Matalb` y seleccionar el fichero con extensión `.m` y nombre de `bag_model`.

En este código fuente lo único que se debe modificar es el nombre del archivo que deseamos tratar que figura en la línea 11 del programa.

```
file = 'NOMBRE_DEL_ARCHIVO';
```

En este lugar, entre comas, se debe escribir el nombre del fichero `.bag` tal cual esté guardado en la carpeta.

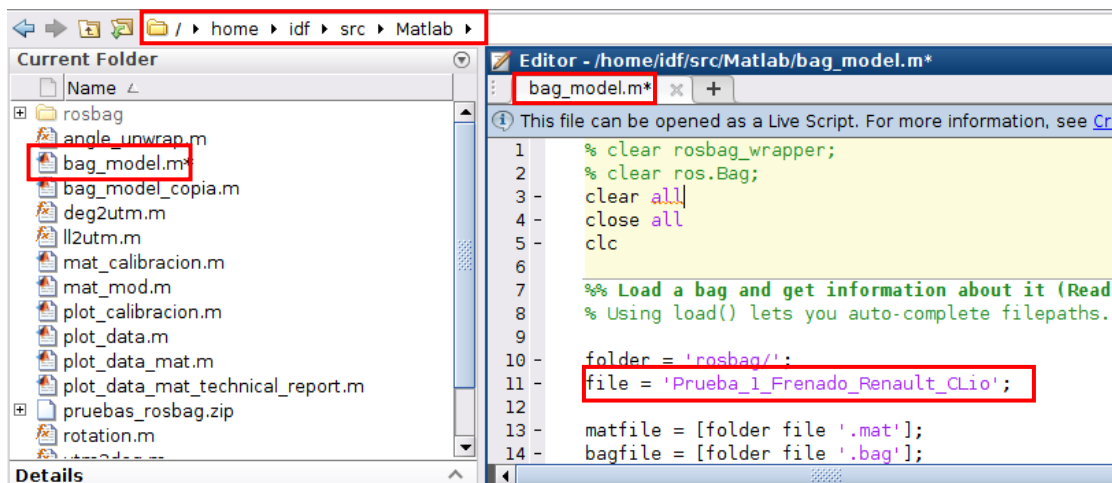


Figura 23. Detalle del código que se debe modificar.

En la figura anterior se han remarcado varias zonas de la captura de pantalla realizada al programa. Por un lado, en la zona superior se muestra la ruta que se ha mencionado anteriormente donde se encuentra el script almacenado. A la izquierda, aparecen todos los elementos contenidos en esa ruta y remarcado se muestra el script que se va a utilizar. A la derecha está este script abierto y en la línea 11 aparece la línea de código que se debe modificar colocando en su lugar el nombre del fichero del que se quiera extraer los datos.

Tras modificar el nombre del fichero del cual se quieren extraer los datos, tan solo se debe ejecutar este script y para ello basta con pulsar el botón de la barra superior en el que pone *Run*. Cabe añadir, que pese a que se esté utilizando un sistema operativo que consume pocos recursos como es el caso de esta aplicación en la que estamos usando un sistema basado en Linux, al ejecutar el script, comenzarán a utilizarse gran parte de la memoria RAM del ordenador y se recomienda no seguir trabajando con el ordenador hasta que acabe de ejecutarse. Este tiempo suele oscilar entre 1 y 2 minutos.

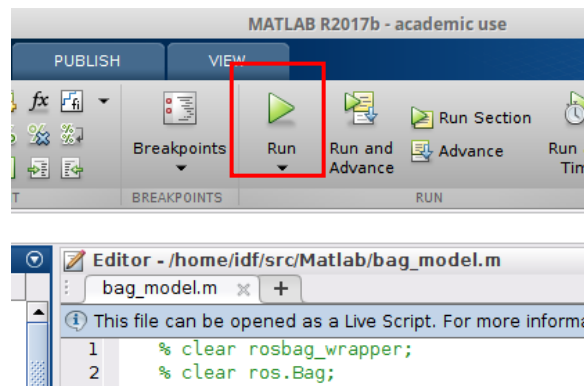


Figura 24. Botón Run para ejecutar el script.

Este script contiene todas las instrucciones necesarias para convertir el fichero creado por la red ROS con toda la información del experimento en un fichero de Matlab, y por tanto con extensión *.mat*, que almacene todas las variables y sea capaz de dibujar todas las gráficas de los datos obtenidos.

Tras finalizar toda la ejecución por un lado se crearan todas las variables y por otro, generará las gráficas. A continuación se enumeran las variables creadas tanto para el proceso de extraer los datos (variables de apoyo) como los propios datos:

```
topic_tf, topic_odom, ans, B, bag, bagfile, bt_board, cnt, dt,
eul, f, figure_title, file, folder, g, gps, gps_altitude,
gps_latitude, gps_longitude, gps_time_i_prev, gps_vel,
gps_x_i_prev, gps_y_i_prev, gps_z_i_prev, i, i_time, i_time_ini,
imu, imu_ez, imu_pre, imu_rpy, imu_rpy_y, imu_time_i_prev,
imu_tmp, imu_vel, imu_vx_i_prev, imu_vy_i_prev, imu_vz_i_prev, j,
loops, matfile, meta_biol, meta_bio2, meta_bt_board,
meta_ff_board, meta_gps, meta_gps_vel, meta_imu, meta_imu_pre,
meta_imu_rpy, meta_imu_tmp, meta_imu_vel, meta_joy,
meta_mtw_euler, meta_mtw_imu, meta_odom, meta_tf, msgs_biol,
msgs_bio2, msgs_bt_board, msgs_ff_board, msgs_gps, msgs_gps_vel,
msgs_imu, msgs_imu_pre, msgs_imu_rpy, msgs_imu_tmp, msgs_imu_vel,
msgs_joy, msgs_mtw_euler, msgs_mtw_imu, msgs_odom, msgs_tf,
mtw_euler, mtw_imu, quat, quat_imu, quat_imu_ini,
quat_imu_ini_inv, quat_ini, quat_ini_inv, Rx, Ry, Rz, t_time,
t_time_ini, tf, tf_time_ini, topic_biol, topic_bio2,
topic_bt_board, topic_ff_board, topic_gps, topic_gps_vel,
topic_imu, topic_imu_pre, topic_imu_rpy, topic_imu_tmp,
topic_imu_vel, topic_joy, topic_mtw_euler, topic_mtw_imu.
```

Estas variables se muestran en una ventana dentro del programa situada en la esquina inferior izquierda llamada *Workspace*. En esta ventana además de visualizar

las variables se puede acceder a cada una de ellas para, en caso de que sean vectores, se muestre sus valores.

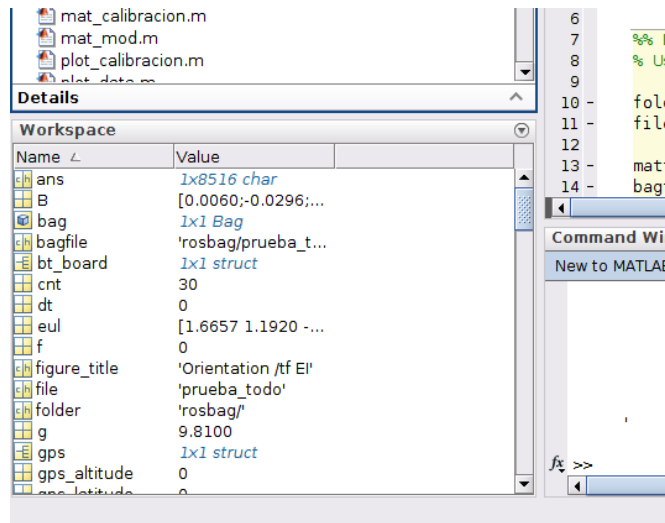


Figura 25. Workspace en el que se muestra la lista de variables.

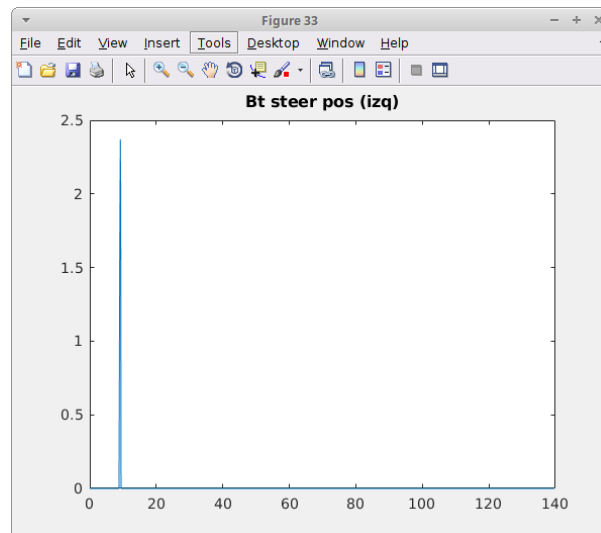
Las variables de interés, son representadas en forma de gráficas. Tras ejecutar el programa creará automáticamente todas estas. En total crea 34 gráficas llamadas en el programa como *figure*. Todas ellas muestran los datos en función del tiempo transcurrido mientras estaban almacenando la información. Las gráficas son las siguientes:

- Orientación /xsens/imu: Orientación de la unidad de medición inercial.
- Angular velocity /xsens/imu: Velocidad angular de la unidad de medición inercial.
- Linear acceleration /xsens/imu: Aceleración lineal de la unidad de medición inercial.
- Linear velocity /xsens/imu: Velocidad lineal de la unidad de medición inercial.
- Orientation /mtw driver/imu/: Orientación de cada una de las pequeñas unidades rastreadoras de movimiento humano según su unidad de medición inercial incorporada. (/E, /C, /BD, /AD, /MD, /BI, AI, /MI).
- Orientation /mtw driver/euler/: Orientación de cada una de las pequeñas unidades rastreadoras de movimiento humano según los ángulos de Euler. (/E, /C, /BD, /AD, /MD, /BI, AI, /MI).
- Orientation /tf: Orientación de cada una de las pequeñas unidades rastreadoras de movimiento humano según la cadena cinemática. (/E, /C, /BD, /AD, /MD, /BI, AI, /MI, /ED, /EI).
- bt\_accel: Valor de la fuerza aplicada al pedal del acelerador.
- bt\_brake: Valor de la fuerza aplicada al pedal del freno.



- `bt_steer_pos (izq)`: Valor de la fuerza aplicada al volante cuando se realiza un giro anti horario.
- `bt_steer_neg (der)`: Valor de la fuerza aplicada al volante cuando se realiza un giro horario.

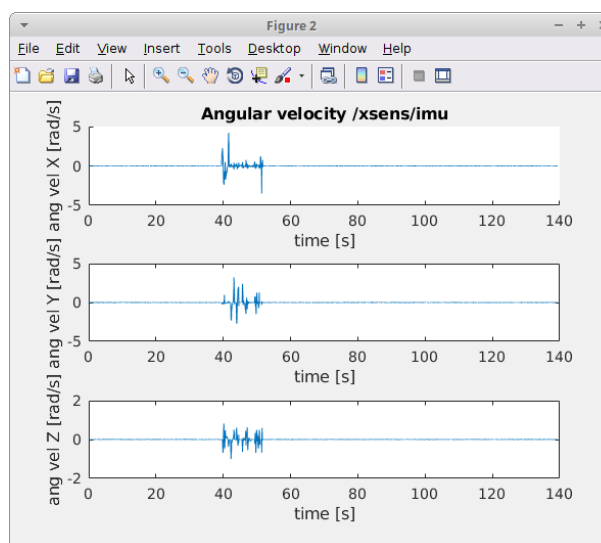
A continuación se muestra un gráfica, por ejemplo la que representa los datos obtenidos del giro anti horario del volante. En el eje horizontal se representa el tiempo en segundos (140 segundos. En este caso la prueba duró 2 minutos y 20 segundos). En el eje vertical se muestra el par de fuerza en Newton por metro (Nm).



Gráfica 5. Ejemplo de datos obtenidos: Par de fuerza ejercido en el volante en sentido antihorario.

Como se muestra en la gráfica, aproximadamente en el segundo 10 se ha ejercido una fuerza de caso 2,5 Nm en el volante mientras que el resto del tiempo ha estado en reposo. Si quisiéramos saber al detalle el valor de la fuerza se podría colocar un marcador en cada punto de la gráfica que deseemos y nos mostrará las coordenadas exactas tanto del eje x como del eje y.

En esta otra gráfica se muestra la velocidad angular de la unidad de medición inercial.



Gráfica 6. Ejemplo de datos obtenidos: Velocidad angular de la unidad de medición inercial.

Como se muestra en la gráfica anterior se ha representado en función del tiempo la velocidad angular de la unidad de medición inercial. Al estar realizando los experimentos en tres dimensiones se han dibujado cada uno de los ejes. Del mismo modo que en la gráfica anteriormente explicada, el eje horizontal es el del tiempo medido en segundos mientras que en este caso, el vertical, al tratarse de velocidad angular, se mide en radianes por segundo (rad/s).

Al final de este código fuente, encontramos la última línea con el siguiente comando: `save(matfile)`; este comando significa que tras haberse ejecutado todo el resto del programa, este creará un archivo con `.mat` con todos los datos y variables ya extraídas y lo guardará en la misma carpeta que estaba el fichero `.bag` del que provienen los datos y con el mismo nombre pero con extensión `.mat`. De este modo, en caso de que se quiera consultar los datos de alguna prueba, no habrá que extraerla de nuevo del fichero inicial, si no que ya queda guardada en este segundo archivo.

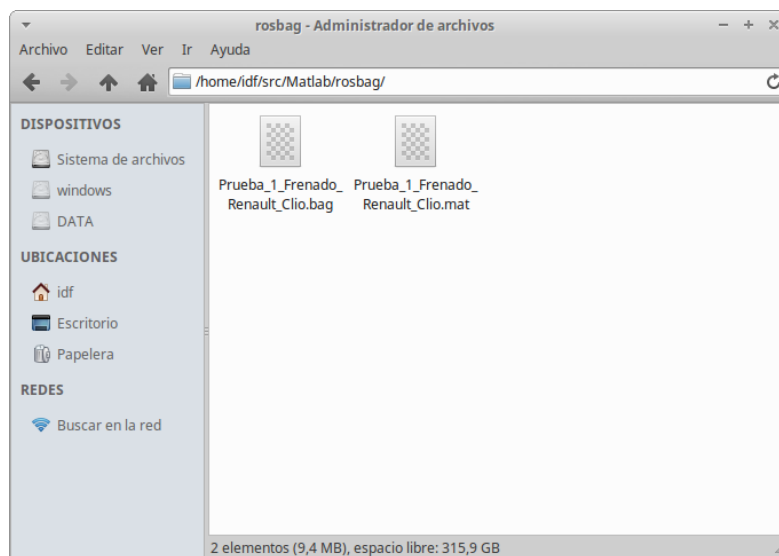


Figura 26. Ficheros `.bag` y `.mat`.

En la figura se muestra una captura de pantalla de la ventana que corresponde a la carpeta en la que se debe mover el fichero creado por la red ROS con todos los datos que a su vez es la misma ruta en la que se generará el archivo de Matlab con todos los datos y gráficas listas para ser analizados.

#### 4.7 Validación

Con validación se hace referencia al proceso de revisión que verifica que el sistema que se ha diseñado cumple con las especificaciones y logra su cometido. Este proceso de validación se ha llevado a cabo, en primer lugar, con cada sensor por separado mientras, de forma paralela, se iba desarrollando el sistema. En segundo lugar se ha desarrollado un método de validación firme al acabar todo el diseño del sistema.

Este método consiste en realizar unas pruebas previas con el todo el sistema implementado en un vehículo real, adquirir los datos, analizar estos resultados y comparar los datos obtenidos con algún otro estudio o documento contrastado y que sea externo a este proyecto.

El documento que nos va a servir como base para esta validación es un informe realizado en el Instituto de Diseño para la Fabricación y Producción Automatizada por parte del grupo de investigación de Ingeniería de Vehículos Adaptados y Transportes

(GVAT). El título del informe es el siguiente: “Análisis de las necesidades de movilidad, fuerza y desplazamiento de los grupos anatómicos y funcionales más relevantes implicados en el manejo de un vehículo en condiciones estándar y experimentales.” que data de noviembre de 2006. Este informe forma parte del proyecto de “Asistencia técnica para el desarrollo y evaluación de un procedimiento dirigido a la valoración de las capacidades residuales de conductores de vehículos con limitación de la movilidad y necesidad de adaptaciones.”.

Se ha extraído esta imagen del documento anteriormente mencionado. En esta imagen se muestra una tabla realizada a modo de conclusión en dicho informe en el que se muestran las fuerzas necesarias para la conducción.


FUERZAS		
	Freno medio	240 N
	Freno mínimo	111 N
	Embrague	124 N
	Par volante en parado	10 N·m
	Par volante en movimiento	7 N·m

Figura 27. Fuerzas necesarias para la conducción [14].

Estos valores pueden servir de gran ayuda para la validación del sistema diseñado ya que si al realizar las pruebas previas se obtienen unos datos que puedan caracterizarse por entrar en el mismo rango, se podrá confirmar que el sistema está validado.

A continuación se procede a detallar todo el proceso de validación:

#### 4.7.1 Equipos a validar

Los equipos que se pretenden validar son todos aquellos sensores y dispositivos que forman el sistema de adquisición de datos, en definitiva, toda la instrumentación definida a lo largo de este proyecto. Se enumeran a continuación:

- Medidor de par y células de carga.
- Unidad de medición inercial y GPS.
- Rastreador de movimiento humano.
- Sistema de adquisición de datos (software).

#### 4.7.2 Conductores

Para la realización de las pruebas se han seleccionado tres conductores basándose en tres grupos de edades distintos, y siendo necesarios como mínimo 2 años de antigüedad de carnet de conducir del tipo B para asegurar un mínimo de familiaridad con el vehículo.

Los tres grupos de edad son los siguientes:

- Entre 20 y 30 años.
- Entre 30 y 45 años.

- Entre 45 y 60 años.

Para evitar revelar los nombres de los conductores se ha preferido identificarlos con un número:

- Conductor 1: Este sujeto tiene 14 años de experiencia de carnet de conducir de tipo B, tiene 32 años, y su estatura es de 182 cm.
- Conductor 2: Este sujeto tiene 36 años de experiencia de carnet de conducir de tipo B, tiene 56 años, y su estatura es de 180 cm.
- Conductor 3: Este sujeto posee 5 años de experiencia de carnet de conducir de tipo B, tiene 24 años y su estatura es de 171 cm.

#### 4.7.3 Descripción del lugar, de las pruebas, y del vehículo.

El lugar en el que se realizaron las pruebas de validación fue la *Escuela de Conducción Luis Climent* ubicada en el recinto del Circuito de la Comunidad Valenciana Ricardo Tormo situado en Cheste. Se ha optado por este escenario puesto que satisface todas las necesidades de este proyecto y además se caracteriza por poseer infraestructuras de primera calidad, con un asfalto en muy buenas condiciones y una zona específica para realizar pruebas de frenado.

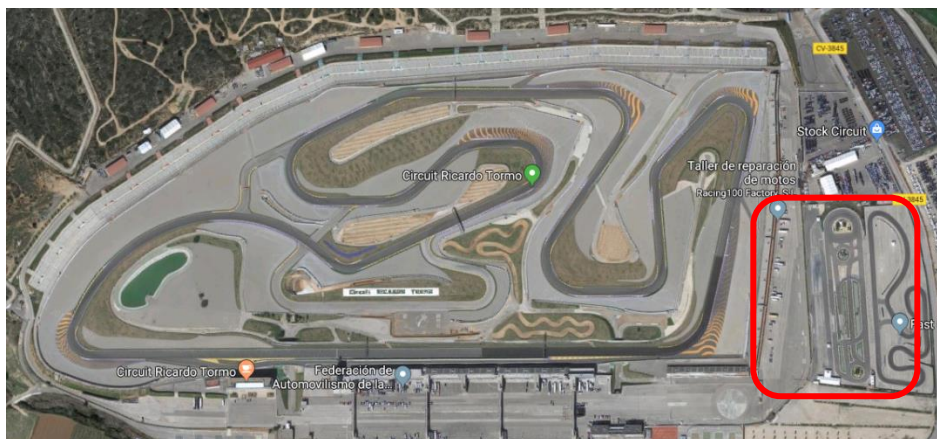


Figura 28. Plano de situación de la escuela Luis Climent.

Las pruebas para validar el sistema son 4 y pasan a detallarse a continuación;

- Frenado: La prueba de frenado consistirá en circular en línea recta hasta alcanzar una velocidad establecida en 50 km/h. Una vez se haya establecido esta velocidad se deberá mantener hasta llegar a la línea determinada con conos en la que se deberá realizar una frenada de emergencia pisando el pedal de freno al máximo hasta que el vehículo este detenido por completo.

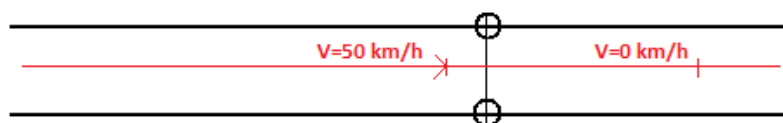


Figura 29. Prueba de frenado.

- Slalom: La prueba de slalom consistirá en que el vehículo realice maniobras de zigzag, para ello se establecerán 5 conos en línea, separados entre sí por 15 metros. El vehículo deberá realizar el zigzag a una velocidad comprendida entre 30 y 35 km/h siempre y cuando lo permita tanto el tipo del vehículo como las habilidades del conductor.

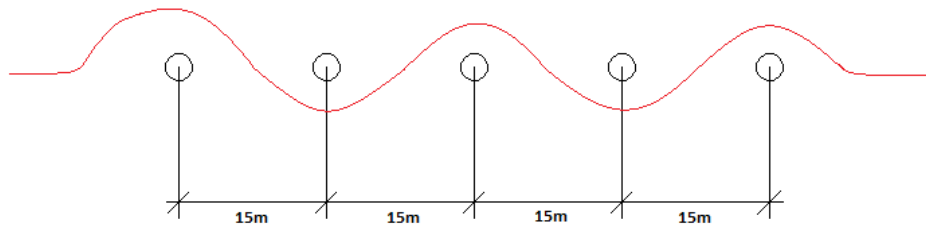


Figura 30. Prueba de slalom.

- Circulación circular: La prueba de circulación circular consistirá en realizar una trayectoria en forma de circunferencia. Se establecerá con conos una circunferencia de 10 metros de radio. El vehículo deberá circular por fuera de estos conos, dejando espacio suficiente para no tocar ninguno de ellos. La velocidad deberá estar comprendida entre 30 y 35 km/h y la circulación se realizará tanto en sentido horario como en sentido antihorario, por lo que hacia cada sentido de giro contará como una prueba.

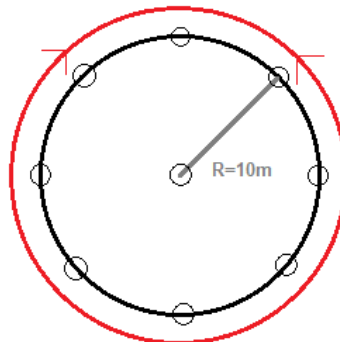


Figura 31. Prueba de Circulación circular.

Se han utilizado dos vehículos para la realización de estas pruebas. Se detallan las características extraídas de la ficha técnica de cada vehículo en la siguiente tabla:

Vehículos		
	Vehículo 1	Vehículo 2
Marca	Renault	Ford
Modelo	Clio	Focus
Año de matriculación	2014	2010
Combustible	Gasolina	Diésel
Transmisión	Automática	Manual
Cilindrada (cc)	1197	1560
ABS	Sí	Sí
Dirección asistida	Sí	Sí
Tara (Kg)	1165	1277
Potencia (Kw)	88	66

Tabla 10. Datos de los vehículos.



Figura 32. Vehículos con los que se realizaron las pruebas de validación.

#### 4.7.4 Metodología de validación

Se procedió a realizar todas las pruebas con todos los conductores y con todos los vehículos. Es decir, se montaron todos los sensores en un vehículo y en un conductor, y este conductor realizó las 4 pruebas distintas. Tras esto, se cambiaron los sensores de un conductor a otro manteniendo los del vehículo para que el siguiente conductor realizara las 4 pruebas con el mismo vehículo. Cuando finalizó el segundo conductor se montaron los sensores de este en el tercer conductor, pero de la misma manera que antes se mantuvieron los del vehículo. Este tercer conductor realizó las 4 pruebas. Una vez finalizadas, los tres conductores habían realizado las 4 pruebas con el mismo vehículo por lo que, esta vez, sí que se procedió a desmontar los sensores del vehículo para montarlos en otro vehículo y repetir el proceso con los tres conductores realizando de nuevo todos ellos las 4 pruebas.

Por lo tanto al final se obtuvieron una batería compuesta por un total de 24 pruebas (4 tipos de pruebas x 3 conductores x 2 vehículos = 24 pruebas).

Tras acabar todas las pruebas de un conductor con un mismo coche, es decir, cada 4 pruebas, se procedió a extraer los datos de una de estas pruebas para comprobar de manera visual en las gráficas si se estaba recopilando los datos de forma correcta.

Para cada prueba, el copiloto encargado de gestionar el sistema de adquisición de datos también se encargaba de rellenar un formulario incluido en el anexo 2 de este proyecto. En este formulario se rellenaban los parámetros básicos para cada prueba para facilitar posteriormente el método de extracción de datos. Estos parámetros eran tales como el vehículo, el conductor, el tipo de prueba que se iba a realizar, la hora de inicio, etc...

Previo a realizar el montaje del medidor de par del volante y de las células de carga de los pedales, se procedió a realizar una calibración *in situ* de estos dispositivos, y cuando estos equipos fueron desmontados del vehículo 1 para montarlos en el vehículo 2, de nuevo se calibraron. De esta manera se puede asegurar la validez de los datos obtenidos, puesto que además de la calibración realizada en el laboratorio, se realizó otro ajuste en el escenario de las pruebas.

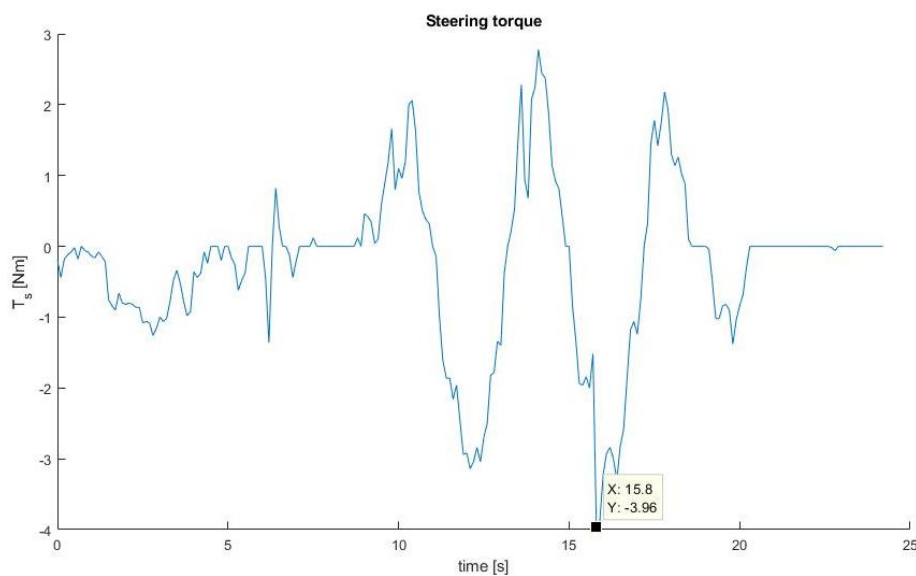


#### 4.7.5 Resultados

Finalizadas las pruebas de validación, se ha procedido en el laboratorio a extraer y analizar toda la información recogida para, de este modo poder validar definitivamente el sistema.

Para la validación del medidor de par del volante y de las células de carga se han extraído las gráficas que representan el esfuerzo ejercido tanto en el volante como en los pedales.

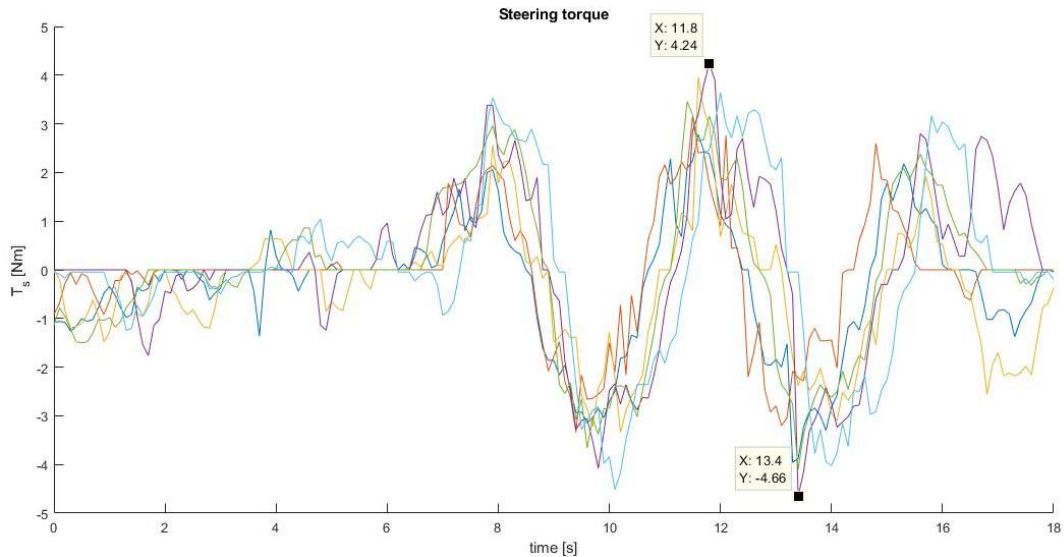
En el caso del medidor de par del volante se ha representado una gráfica de una prueba de slalom realizada por el conductor 3 con el vehículo 1. Se ha decidido obtener ese parámetro de una prueba de slalom porque es en la que mayor esfuerzo se somete el volante y más ágil y rápido se debe mover este para realizar la maniobra de esquivar los conos.



Gráfica 7. Par de fuerza en el volante.

Como se muestra en la gráfica se aprecian los cinco picos de fuerza en los que se sobrepasó un cono. El esfuerzo máximo en esta prueba se realizó al sobrepasar el cuarto cono girando el volante hacia la derecha. Este valor máximo se registró en el segundo 15,8 de desde que comenzó dicha prueba y el este esfuerzo fue de 3,96 Nm. Cuando no se realiza ningún esfuerzo sobre el volante, el valor del par es nulo, por lo que esto asegura una buena calibración.

De las 24 pruebas realizadas, 6 fueron de slalom, y en la siguiente imagen se muestran superpuestas todas las gráficas del par medido en el volante de cada una de estas pruebas.



Gráfica 8. Par de fuerza en el volante en todas las pruebas de slalom.

Tal y como se muestra en la imagen superior, las 6 gráficas representadas que hacen referencia a las pruebas de slalom siguen la misma tendencia y se puede afirmar que alcanzan los mismo valores. Esto sirve para, a parte de validar el sistema, comenzar a recopilar datos acerca de los esfuerzos realizados en la conducción de vehículos automóviles. Se aprecia que los picos de fuerza se establecen en 4,24 Nm en el giro del volante hacia la izquierda, y en 4,66 Nm en el giro del volante hacia la derecha. Como también es de interés conocer la fuerza normal ejercida sobre el volante, se ha procedido a calcularla. Para ello se debe dividir el valor del par, entre la distancia desde el centro de giro hasta el punto de aplicación. En este caso esta distancia es equivalente al radio del volante y es  $d=16,5\text{ m}=0,165\text{ cm}$ . Para calcular estas fuerzas se ha realizado el cálculo con el valor más crítico, es decir, el de par máximo.

Para el giro hacia la izquierda (antihorario):

$$Par (M) = 4,24\text{ Nm} = F \cdot d \rightarrow F = \frac{M}{d} = \frac{4,24\text{ Nm}}{0,165\text{ m}} = 25,69\text{ N}$$

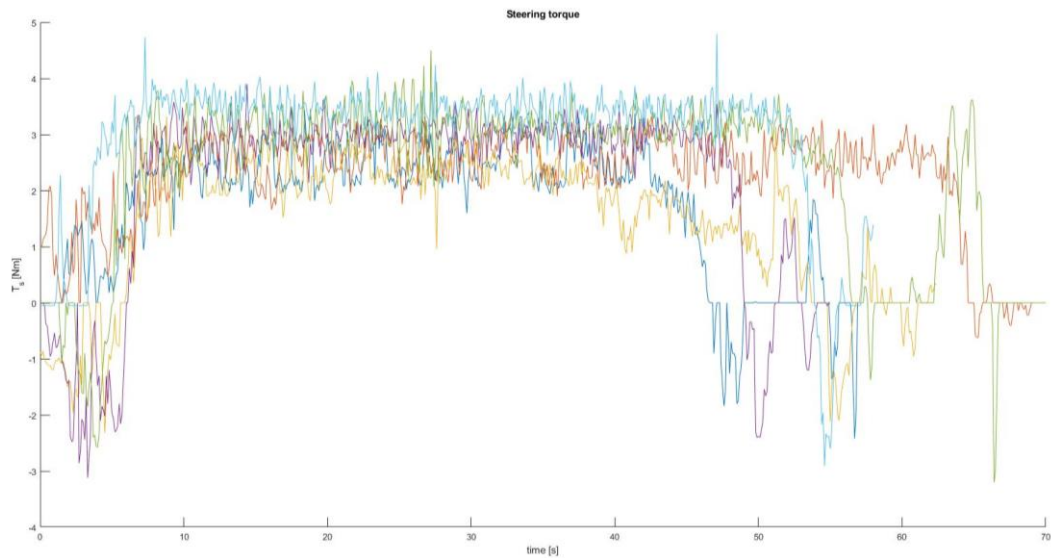
Para el giro hacia la derecha (horario):

$$Par (M) = 4,66\text{ Nm} = F \cdot d \rightarrow F = \frac{M}{d} = \frac{-4,66\text{ Nm}}{0,165\text{ m}} = -28,24\text{ N}$$

También se va a representar a continuación las gráficas de par medido en el volante en las 12 pruebas realizadas de circulación giratoria; 6 de ellas en sentido horario y las restantes 6 en sentido antihorario:

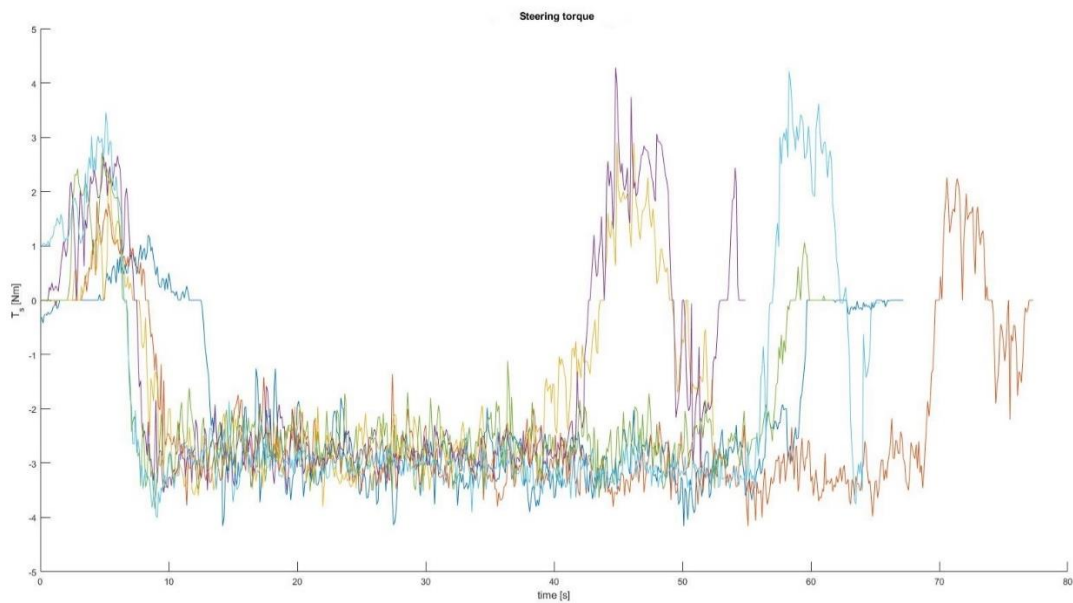


Par medido girando hacia la izquierda (antihorario):



Gráfica 9. Par de fuerza en el volante en todas las pruebas de giro en sentido antihorario.

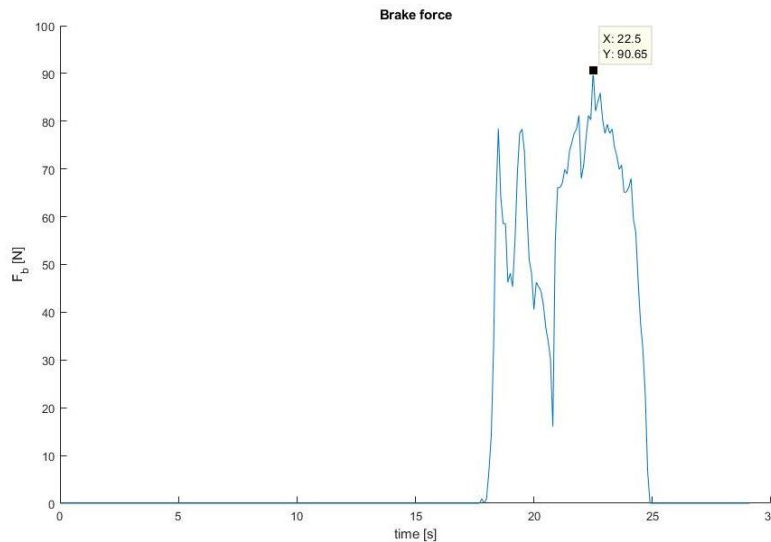
Par medido girando hacia la derecha (horario):



Gráfica 10. Par de fuerza en el volante en todas las pruebas de giro en sentido horario.

Independientemente del sentido de giro, se aprecia en ambas imágenes que el par de fuerza se mantiene en un valor entre 2 y 4 Nm, o lo que es lo mismo, dividiendo entre la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el centro de giro, entre 12,12 N y 24,24 N.

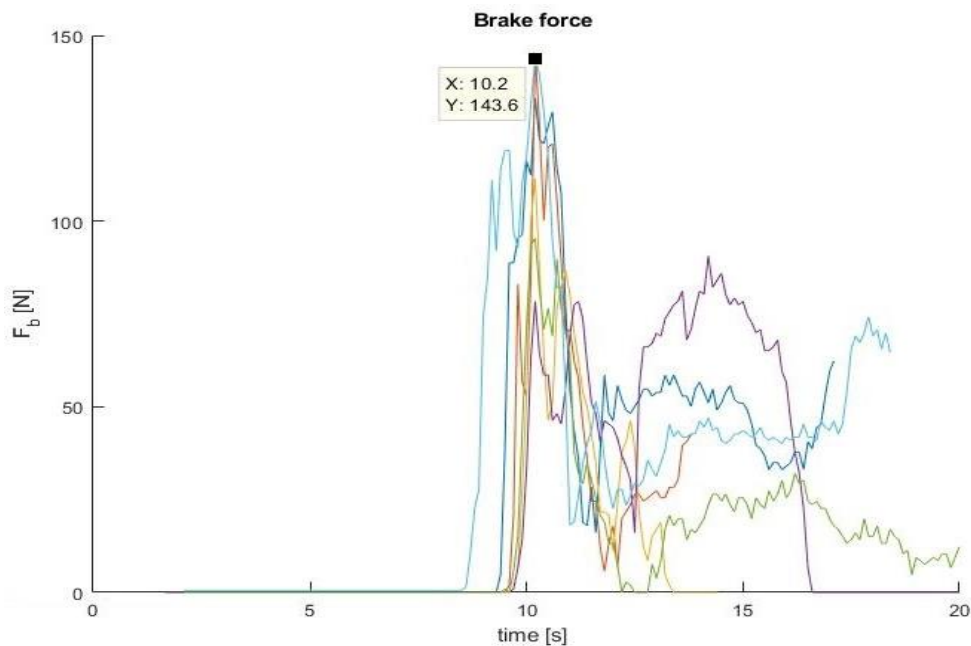
En el caso de las células de carga se muestra una gráfica de la prueba de frenado puesto que en esta se somete a un esfuerzo máximo el pedal del freno. Para esto se ha seleccionado una prueba de frenado y ha sido la realizada por el conductor 2 con el vehículo 2. La gráfica obtenida es la siguiente:



Gráfica 11. Fuerza en el pedal de freno.

En la gráfica se aprecia que el esfuerzo máximo para detener el vehículo ha sido de 90,65 N.

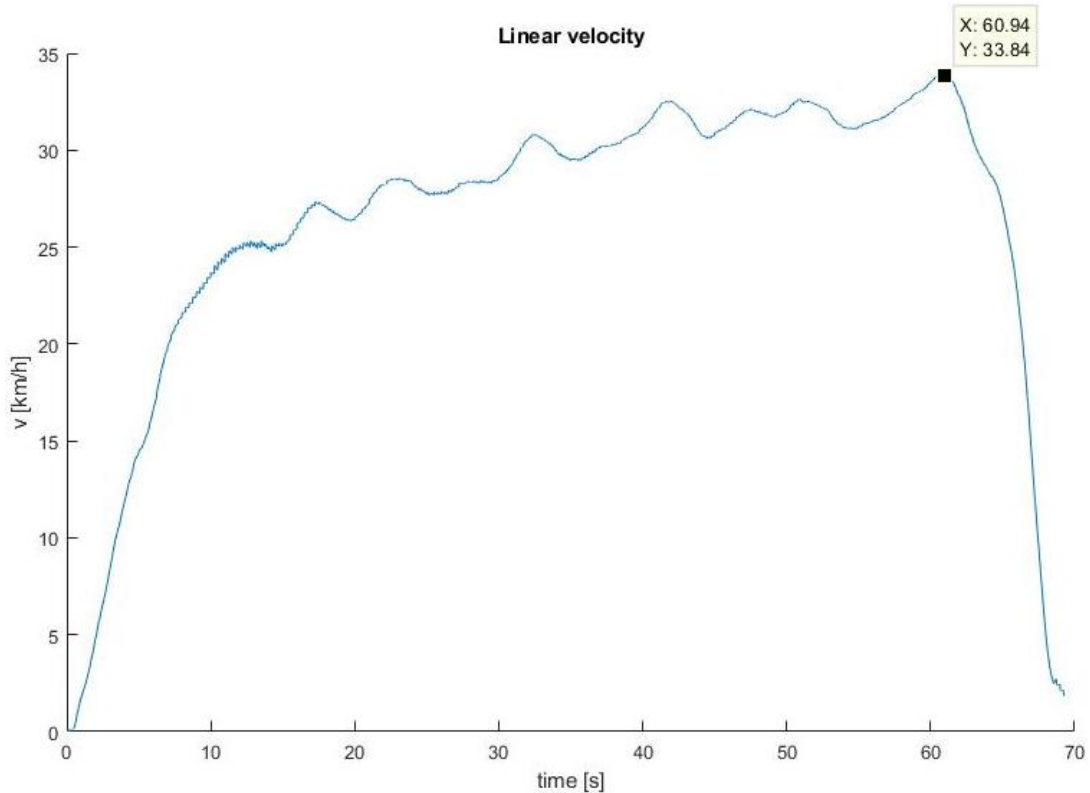
De igual forma que en las pruebas de slalom, de las 24 pruebas realizadas, 6 fueron de frenado, y en la siguiente imagen se muestran superpuestas todas las gráficas de fuerza medida en el pedal del freno en cada una de estas pruebas:



Gráfica 12. Fuerza en el pedal de freno de todas las pruebas de frenado.

Como se muestra en la imagen superior, se alcanza el pico de fuerza en el momento crítico en el que se pisa inicialmente el pedal. El máximo valor corresponde al realizado por el conductor 2 con el vehículo 2 y se establece en 143,6 N mientras que el valor mínimo fue de 90,65 N. Por lo tanto se concluye que este primer dispositivo está validado puesto que estos valores entran dentro del rango de freno mínimo establecido al principio de este apartado.

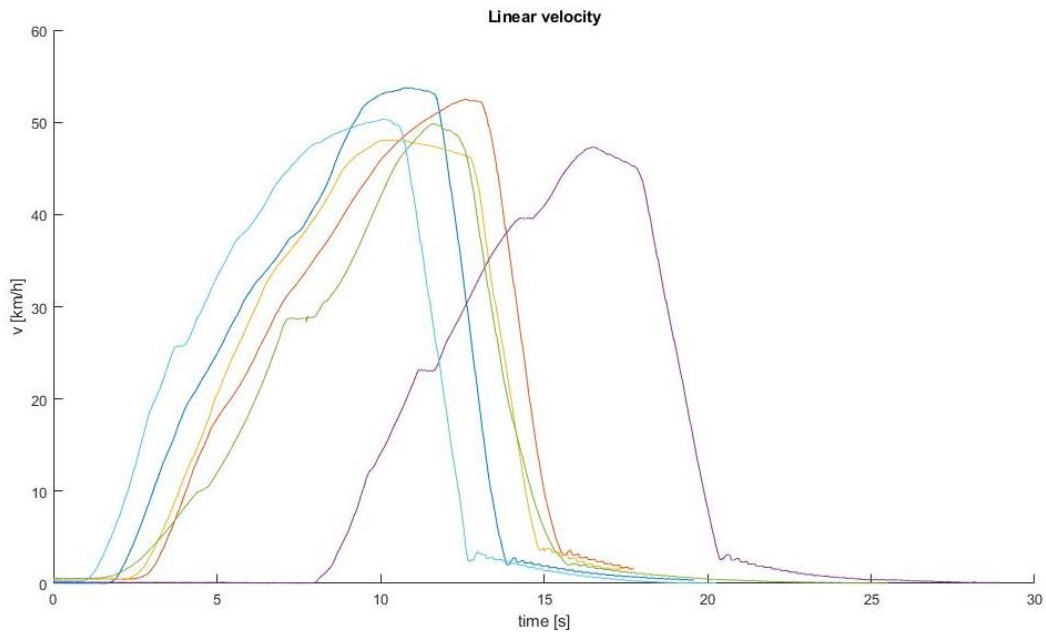
Para la validación de la unidad de medición inercial y del GPS se van a mostrar a continuación una gráfica de velocidad lineal y una gráfica que muestra la posición del vehículo en el plano. Estas gráficas se han obtenido de las pruebas realizadas por el conductor 1 con el vehículo 1.



Gráfica 13. Velocidad lineal.

Esta prueba era de circulación giratoria y consistía en realizar una trayectoria girando alrededor de una rotonda durante un minuto y procurando mantener la velocidad en 30 km/h. Como se muestra en la gráfica se mantuvo esta velocidad e incluso se alcanzó un pico de 33,84 km/h. Esta velocidad coincide con la que se observó durante la realización de la prueba. Se han estudiado el resto de pruebas y en todas coincide la velocidad del velocímetro del vehículo con la velocidad registrada por la unidad de medición inercial.

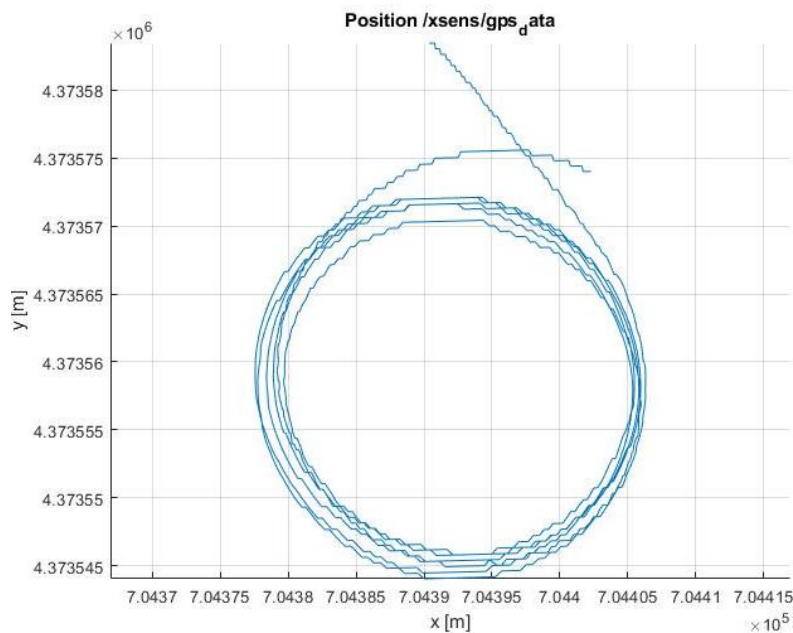
Otro ejemplo que valida el dispositivo de medición inercial es la representación gráfica de la velocidad de las 6 pruebas de frenado:



Gráfica 14. Velocidad lineal de todas las pruebas de frenado.

En esta gráfica, se aprecia que en todas las pruebas se frena de golpe cuando se alcanza una velocidad comprendida entre 49 y 53 km/h. El trazo de color morado está desfasado en el tiempo porque en esa prueba el copiloto comenzó a ejecutar el sistema de grabación de datos antes de tiempo, pero lo importante es que todas las velocidades coinciden. También se aprecia en los trazos de color azul claro, verde y morado, que la pendiente ascendente crea un escalón, esto se debe a que estas pruebas se realizaron con el vehículo 2 que posee una transmisión manual, por lo que en los cambios de marcha se ocasionan esas pequeñas pérdidas de velocidad, en cambio, en el resto de pruebas, realizadas con el vehículo 1 con transmisión automática esto no sucede.

La gráfica que representa la posición del vehículo gracias a la lectura del GPS es la siguiente:



Gráfica 15. Trayectoria del vehículo en la rotonda.

Tal y como se muestra en la gráfica, aparece representado en el plano bidimensional terrestre la trayectoria seguida por el vehículo mientras giraba alrededor de la rotonda. Extrayendo las coordenadas exactas del GPS y representándolas sobre un programa que permita visualizar la cartografía basándose en fotografías de satélite se ha obtenido la siguiente imagen:

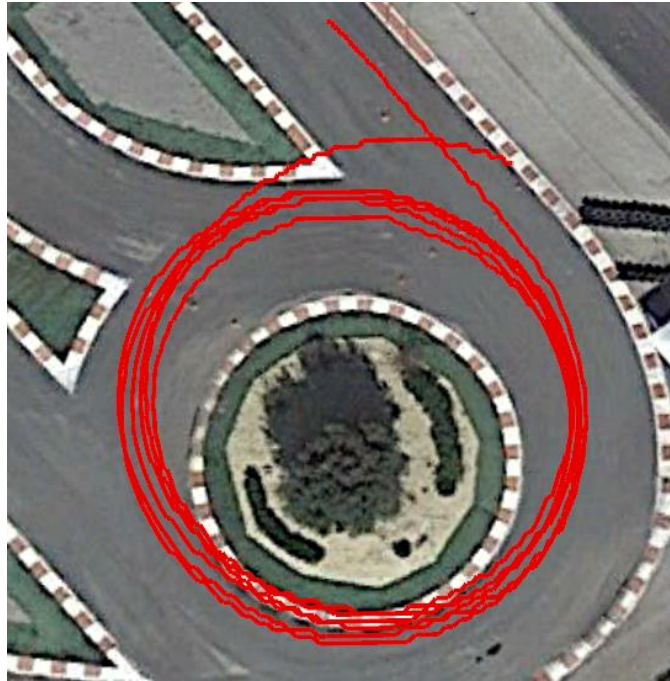


Figura 33. Trayectoria del vehículo en la rotonda.

De este modo podemos, de forma visual, estudiar la trayectoria que realizó el vehículo de la forma más aproximada posible.

De la misma manera se ha representado a la vez la prueba de slalom, la prueba de frenado, y una de las pruebas de circulación giratoria para que se aprecie el recorrido que se llevó a cabo para realizar las pruebas:

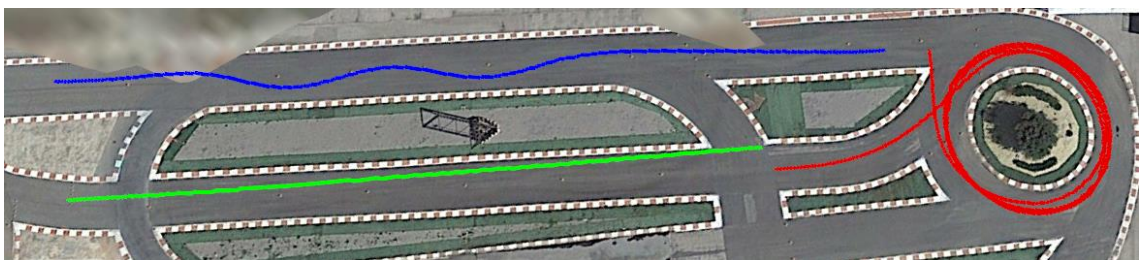


Figura 34. Trayectoria de las tres pruebas.

La trayectoria de color azul corresponde al recorrido de la prueba de slalom. La trayectoria de color verde corresponde a la prueba de frenado, y por último, como ya se ha explicado, la de color rojo hace referencia a la circulación alrededor de la rotonda. Estos trazos corresponden en detalle a la trayectoria real que se realizó en el recinto en el que se realizaron las pruebas por lo que este sistema también se puede afirmar como validado.

Para la validación de los dispositivos rastreadores de movimiento humano se muestran los resultados de una prueba de slalom. Estos resultados se muestran en



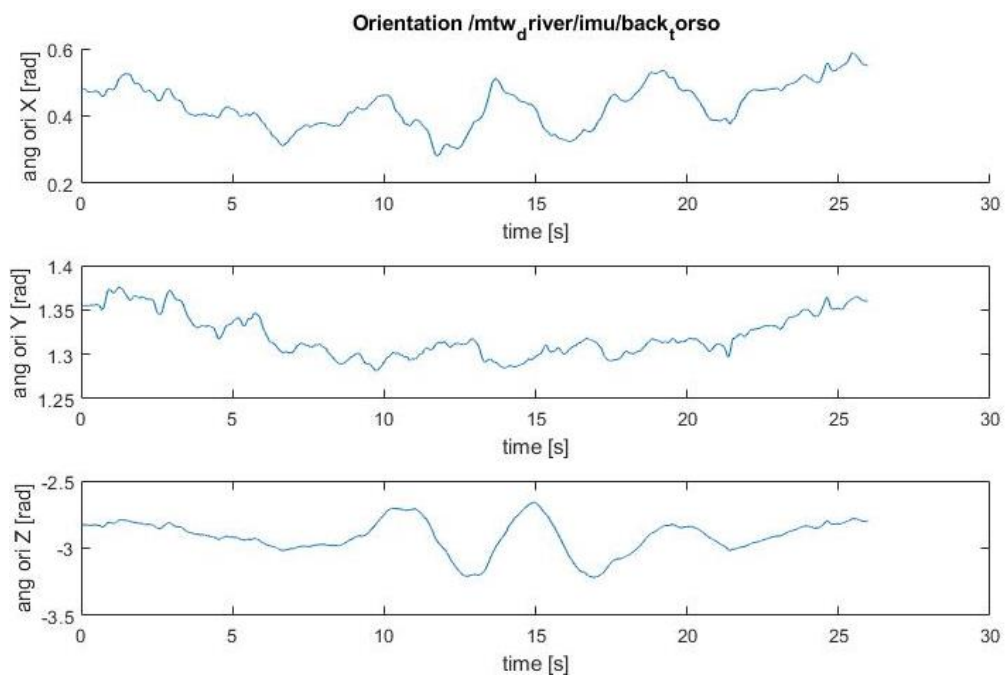
forma de gráficas en las que se representa la orientación, la velocidad y la aceleración del dispositivo situado en la espalda del conductor.

El eje de coordenadas de esta unidad es el siguiente:



Figura 35. Sistema de coordenadas del sensor rastreador de movimiento humano situado en la espalda.

En la siguiente imagen se muestra la orientación en función del tiempo de este dispositivo, repartido en 3 gráficas, una por cada eje del sistema de coordenadas:



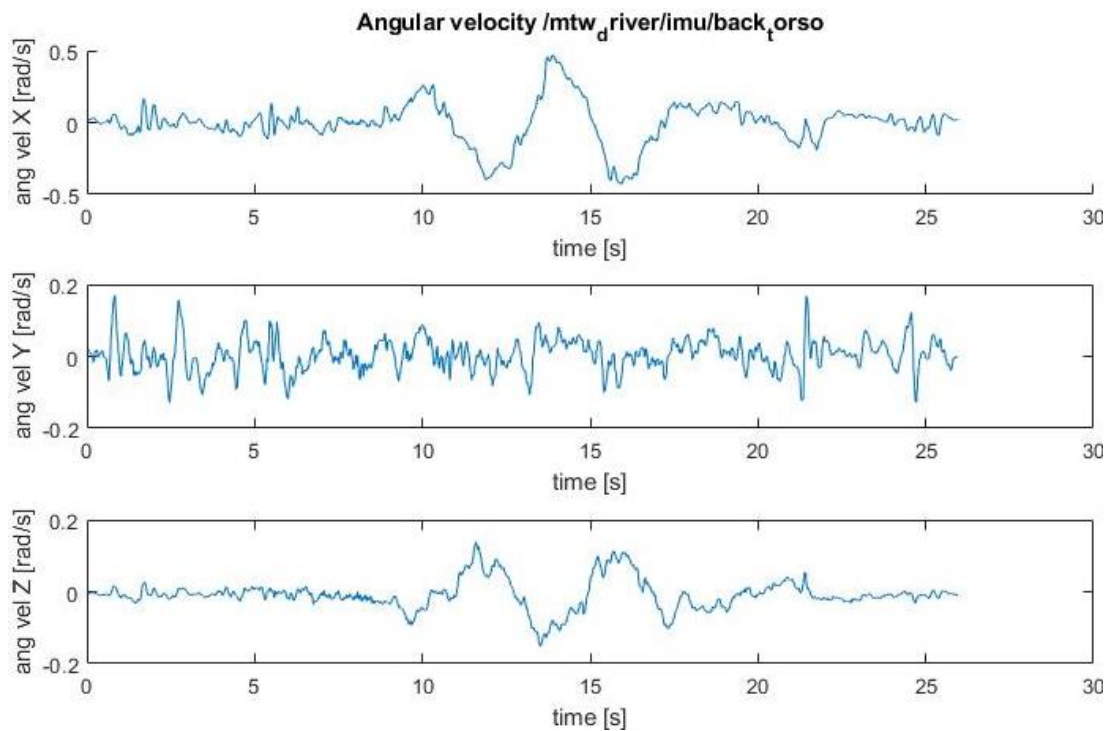
Gráfica 16. Orientación del torso del conductor.

En la primera gráfica se muestra la orientación del conductor en el eje X, en otras palabras, esto se podría entender como el lugar al que apunta el pecho del conductor. Al realizar una trayectoria de slalom, el cuerpo va rotando su posición con respecto a este eje.

En la segunda gráfica, se aprecia la rotación del cuerpo respecto al eje Y, este movimiento corresponde con el vaivén que se produce hacia delante o hacia detrás cuando se frena o se acelera.

En el eje Z se aprecia la trayectoria seguida por la espalda que corresponde con el movimiento que se genera en el conductor al realizar el slalom. El movimiento en este eje se asocia con el movimiento a derechas e izquierdas del torso del conductor.

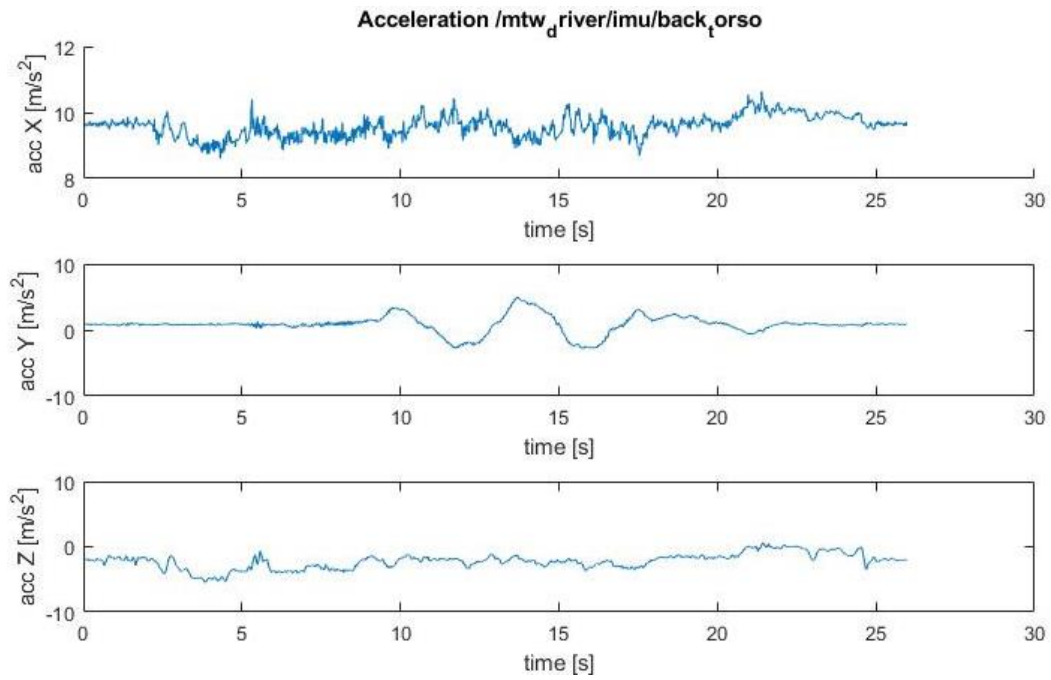
Igual que con la orientación, en la siguiente imagen se muestra la velocidad en función del tiempo de este dispositivo, repartido en 3 gráficas, una por cada eje del sistema de coordenadas:



Gráfica 17. Velocidad del torso del conductor.

En estas gráficas se muestra la velocidad a la que ha girado el torso para orientarse tal y como se ha descrito en la imagen anterior.

Por último e igual que con la orientación y la velocidad, en la siguiente imagen se muestra la aceleración en función del tiempo de este dispositivo, repartido en 3 gráficas, una por cada eje del sistema de coordenadas:



Gráfica 18. Aceleración del torso del conductor.

En el eje X, el valor de la aceleración se mantiene prácticamente constante en  $9,8 \text{ m/s}^2$  y esto se debe a que corresponde con la aceleración de la gravedad. En el eje Y se aprecia la aceleración lateral sufrida por el conductor al realizar el recorrido de slalom, y por último el eje Z va asociado a la aceleración ocasionada por el movimiento hacia delante y hacia atrás.

El sistema de adquisición de datos también guarda la posición del robot que se genera al ejecutar el nodo de estos sensores. Por tanto una vez en el laboratorio se puede reproducir estos movimientos y de este modo se ha generado la siguiente secuencia:

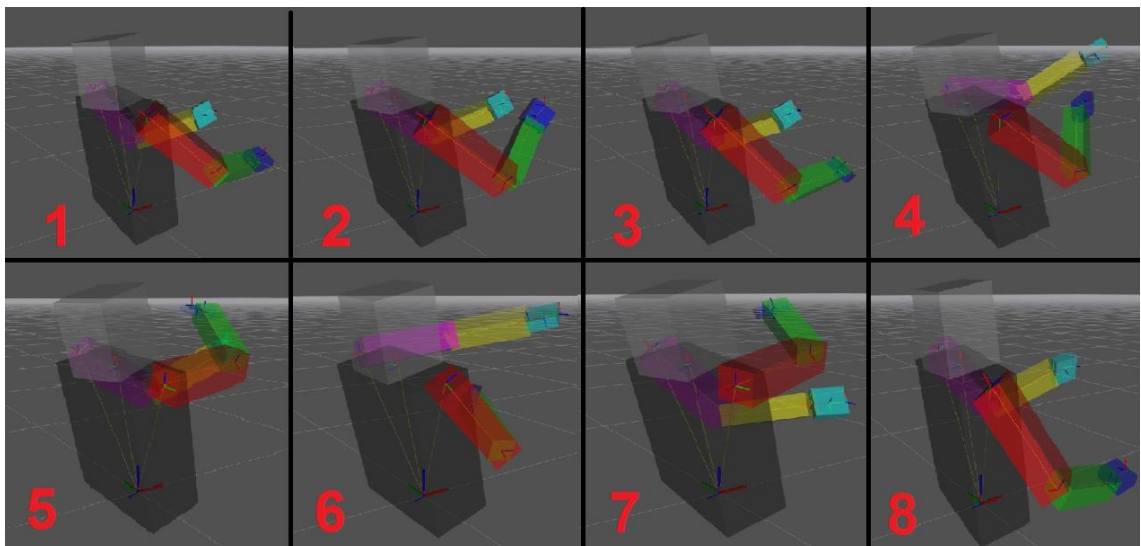


Figura 36. Secuencia del robot simulado realizando la prueba de slalom.

Con esta conjunto de imágenes se puede apreciar el movimiento del conductor que se detalla a continuación:



- **1:** Mano izquierda en el volante y mano derecha introduciendo la primera marcha.
- **2:** Ambas manos en el volante, circulando en trayectoria recta, aproximándose a la zona con conos para realizar el slalom.
- **3:** Mano izquierda en el volante y mano derecha introduciendo la segunda marcha.
- **4:** Ambas manos en el volante, girando hacia la derecha para prepararse para entrar en el primer cono.
- **5:** Girando hacia la izquierda pasando entre el primer y el segundo cono.
- **6:** Girando hacia la derecha pasando entre el segundo y el tercer cono.
- **7:** Otro giro a izquierdas para sobrepasar otro cono.
- **8:** Finalizado el circuito de slalom, mano derecha en la palanca de cambios para seleccionar punto muerto.

De este modo se dan por validados los dispositivos encargados de captar el movimiento del conductor.

Con todo esto se da también por validado el sistema de adquisición de datos puesto que ha sido posible extraer todos los datos sin perder ningún tipo de información y además este sistema permite visualizar estos parámetros de manera versátil y si fuera necesario se podrían obtener más gráficas, tablas o cualquier tipo de herramienta que permita cubrir las necesidades del proyecto para que este destinado el sistema.

## 5. Conclusión

A modo de conclusión, se puede afirmar que este trabajo de fin de grado ha logrado cumplir con los objetivos establecidos en este proyecto ya que se ha realizado el diseño de un sistema de adquisición de datos y no solo eso, sino que también se ha implementado en vehículos reales para analizar los esfuerzos y movimientos del conductor durante la conducción de vehículos. Esta implementación ha servido para validar todo el sistema y asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos.

En un futuro muy próximo se van a realizar estas pruebas en circuitos cerrados y con conductores voluntarios y se recopilará gran cantidad de información para crear una base de datos firme y consolidada que permita determinar de forma concluyente los esfuerzos necesarios para la conducción de automóviles.

A lo largo de la realización del sistema diseñado se han aplicado gran cantidad de conocimientos adquiridos a lo largo de todo el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, como los trabajados en las asignaturas de Electrónica Analógica o Instrumentación Electrónica para la parte relacionada con la elección, familiarización y calibración de los sensores utilizados. Las asignaturas de Informática Industrial I e Informática Industrial II, así como la formación recibida en la mención de Informática que se ha cursado, ha sido de apoyo para los aspectos de programación utilizados en la parte de adquisición de datos. También para el uso de los programas como Matlab, ha sido de gran ayuda el aprendizaje recibido en las asignaturas de Automática Básica y Técnicas de Control.

El hecho de realizar este trabajo en el SETRAV ha sido de gran ayuda, permitiendo poder trabajar junto la colaboración de técnicos especialistas tanto en electrónica como en otros ámbitos que han ayudado a la correcta elaboración del sistema de adquisición de datos y del mismo modo al desarrollo de este trabajo final de grado, creando así un precedente para el estudio de conductores con movilidad reducida.

### *5.1 Mejoras*

Al tratarse de un proyecto de investigación, se va a mantener constantemente actualizado y será mejorado contando con la experiencia adquirida con las sucesivas pruebas.

Algunas de las mejoras que se proponen a corto plazo son:

- Añadir una tercera célula de carga para el pedal del embrague en el caso de vehículos con transmisión manual.
- Sustitución de un medidor de par para el volante por uno comercial. Esto implica un mayor coste.
- Duplicar y separar la electrónica del conjunto de medidor de par y células de carga para que cada tipo de sensor contará con su sistema de adquisición de datos.
- Sustituir la célula de carga del pedal por una con mayor sensibilidad para captar la más mínima presión ejercida sobre el pedal.

- Añadir dispositivos de rastreo humano también para el tronco inferior del conductor.
- Adquirir otro ordenador portátil para separar el método de adquisición de datos de cada uno de los sensores. Esto permitiría que en caso de un fallo del ordenador no aceptará a todo el sistema. También permitiría realizar varias pruebas simultáneas con varios vehículos pero cada vehículo llevaría uno de los sensores y no todo el conjunto.

## 6. Referencias y bibliografía

### 6.1 Referencias

#### 6.1.1 Figuras

Figura 1. Sensor de par montado en un volante, vista en planta [6].	20
Figura 2. Ensamblaje del adaptador de par [6].	21
Figura 3. Instalación del medidor de par con el adaptador del volante [6].	21
Figura 4. Circuito con puente de Wheatstone que incorpora la célula	22
Figura 5. Células de carga. Izquierda: freno. Derecha: acelerador.	23
Figura 6. Unidad de medición inercial.	24
Figura 7. Unidad GPS	25
Figura 8. Una unidad MTw y el adaptador bluetooth para el ordenador.	26
Figura 9. Rastreadores de movimiento humano	26
Figura 10. Modelado 3D conductor.	27
Figura 11. Medidor de par montado en volante	28
Figura 12. Células de carga instaladas en los pedales con detalle de la brida para su montaje	28
Figura 13. Montaje de la IMU junto con el ordenador.	29
Figura 14. Sensor colocado en la mano derecha de un conductor.	30
Figura 15. Grupo de sensores del brazo izquierdo montados en un conductor.	31
Figura 16. Montaje de todos los equipos del vehículo.	32
Figura 17. Carpeta en la que se almacenan las subcarpetas de los drivers.	36
Figura 18. Dinamómetro utilizado para la calibración.	37
Figura 19. Posición inicial del conductor.	46
Figura 20. Ventana de Dispositivos Bluetooth	48
Figura 21. Ventana Default - rqt con el parámetro tf_reset seleccionado.	50
Figura 22. Captura de pantalla del Terminator en pleno funcionamiento.	53
Figura 23. Detalle del código que se debe modificar.	54
Figura 24. Botón Run para ejecutar el script.	55
Figura 25. Workspace en el que se muestra la lista de variables.	56
Figura 26. Ficheros .bag y .mat.	58
Figura 27. Fuerzas necesarias para la conducción [14].	59
Figura 28. Plano de situación de la escuela Luis Climent.	60
Figura 29. Prueba de frenado.	60
Figura 30. Prueba de slalom.	61
Figura 31. Prueba de Circulación circular.	61
Figura 32. Vehículos con los que se realizaron las pruebas de validación.	62
Figura 33. Trayectoria del vehículo en la rotonda.	69
Figura 34. Trayectoria de las tres pruebas.	69

Figura 35. Sistema de coordenadas del sensor rastreador de movimiento humano situado en la espalda. ....	70
Figura 36. Secuencia del robot simulado realizando la prueba de slalom. ....	72
Figura 37. Determinar los ficheros tanto de entrada como de salida. ....	79
Figura 38. Leer el topic /ft_board.....	79
Figura 39. Obtener datos de orientación, velocidad angular y aceleración lineal...	80
Figura 40. Ángulos roll, pitch y yaw. ....	80
Figura 41. Velocidad de la unidad de medición inercial. ....	81
Figura 42. Código para obtener la velocidad del gps.....	81
Figura 43. Leer el topic de cada uno de los rastreadores de movimiento humano.	82
Figura 44. Representar gráficamente los datos adquiridos.....	82
Figura 45. Guardar toda esta información en un fichero de Matlab. ....	83

### 6.1.2 Tablas

Tabla 1. Especificaciones de la célula de carga [7] .....	23
Tabla 2. Especificaciones de la unidad de medición inercial [8]. ....	25
Tabla 3. Comparación entre modelos de IMU [8]. ....	25
Tabla 4. Especificaciones de los rastreadores de movimiento humano.....	26
Tabla 5. Especificaciones del dinamómetro [12]. ....	38
Tabla 6. Calibración del medidor de par en sentido horario.....	39
Tabla 7. Calibración del medidor de par en sentido antihorario .....	41
Tabla 8. Calibración de la célula de carga del pedal del acelerador. ....	42
Tabla 9. Calibración de la célula de carga del pedal del freno.....	44
Tabla 10. Datos de los vehículos. ....	62

### 6.1.3 Gráficas

Gráfica 1. Representación de los datos de calibración del medidor de par en sentido horario. ....	40
Gráfica 2. Representación de los datos de calibración del medidor de par en sentido antihorario.....	41
Gráfica 3. Representación de los datos de calibración de la célula de carga del pedal del acelerador. ....	43
Gráfica 4. Representación de los datos de calibración de la célula de carga del pedal del freno.....	44
Gráfica 5. Ejemplo de datos obtenidos: Par de fuerza ejercido en el volante en sentido antihorario. ....	57
Gráfica 6. Ejemplo de datos obtenidos: Velocidad angular de la unidad de medición inercial. ....	57
Gráfica 7. Par de fuerza en el volante. ....	63
Gráfica 8. Par de fuerza en el volante en todas las pruebas de slalom. ....	64
Gráfica 9. Par de fuerza en el volante en todas las pruebas de giro en sentido antihorario.....	65
Gráfica 10. Par de fuerza en el volante en todas las pruebas de giro en sentido horario. ....	65
Gráfica 11. Fuerza en el pedal de freno. ....	66
Gráfica 12. Fuerza en el pedal de freno de todas las pruebas de frenado.....	66
Gráfica 13. Velocidad lineal.....	67
Gráfica 14. Velocidad lineal de todas las pruebas de frenado. ....	68
Gráfica 15. Trayectoria del vehículo en la rotonda. ....	68
Gráfica 16. Orientación del torso del conductor.....	70

Gráfica 17. Velocidad del torso del conductor. ....	71
Gráfica 18. Aceleración del torso del conductor. ....	72

## 6.2 Bibliografía

- [1] Dols, J., Mirabet, E., & Ozcoidi, M. (2015). Guía de casos prácticos para la realización de evaluaciones de conductores con discapacidad motora. Valencia: Byprint Percom, SL.
- [2] Servicio Público de Empleo Estatal. (2016). Informe del Mercado de Trabajo de las Personas con Discapacidad Estatal. Sitio web: [http://www.sepe.es/contenidos/que\\_es\\_el\\_sepe/publicaciones/pdf/pdf\\_mercado\\_trabajo/imt2016\\_datos2015\\_estatal\\_discapacitados.pdf](http://www.sepe.es/contenidos/que_es_el_sepe/publicaciones/pdf/pdf_mercado_trabajo/imt2016_datos2015_estatal_discapacitados.pdf)
- [3] SETRAV. (2018). Evaluación de Personas con Movilidad Reducida (PRM). Sitio Web: <http://www.setrav.com/index.php/servicios/evaluacion-de-pmr>.
- [4] ENAC. Entidad Nacional de Acreditación. (2018). Criterios generales para la acreditación de laboratorios de ensayo y calibración según norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. Sitio web: <https://www.enac.es/documents/7020/b7e24234-daba-4a62-9652-76eb7e96db30>
- [5] García, P. (2016). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración. Sitio web: [https://www.mpfm.gov.pe/escuela/contenido/actividades/docs/3255\\_norma\\_iso\\_17025\\_minpub.pdf](https://www.mpfm.gov.pe/escuela/contenido/actividades/docs/3255_norma_iso_17025_minpub.pdf)
- [6] Solier, J., Dols, J., & Girbés, V. (2017). Calibración y validación experimental de los sistemas de dirección, frenado y acelerador del simulador de autobús SAFEBUS. Valencia: Instituto de Diseño y Fabricación.
- [7] Inter Technology. (2011). Automotive Load Cells. Model 3663. Sitio web: [https://www.process-controls.com/intertechnology/Lebow/pdfs/3663\\_3663\\_111.pdf](https://www.process-controls.com/intertechnology/Lebow/pdfs/3663_3663_111.pdf)
- [8] Xsens. (2017). Specifications MTi-G-710. Sitio web: <http://www.starneto.com/index.php?m=content&c=index&a=download&path=/uploadfile/2018/0612/20180612021749312.pdf>
- [9] Girbés, V., Armesto, L., & Tornero, J. (2014). Path following hybrid control for vehicle stability applied to industrial forklifts. Robotics and Autonomous Systems, 62, 910-922.
- [10] Morales, M. (2017). ROS – ¿Un sistema operativo diseñado para robots? De Autracen Sitio web: <http://www.autracen.com/ros/>
- [11] Delgado, D. (2014). Publish-Subscriber. NADA, de NADA Sitio web: <http://arquitecturasomos4.blogspot.com/2014/12/publish-subscriber.html>
- [12] Mecmesin. (2015). Compact Focer Gauge+. Sitio web: <https://www.mecmesin.com/documents/manuals/431-373-03-L04%20CFG+%20manual%20ES.pdf>
- [13] Xsens. (2018). MTi User Manual. Sitio web: [https://xsens.com/download/usermanual/ISM/MTi\\_User\\_Manual.pdf](https://xsens.com/download/usermanual/ISM/MTi_User_Manual.pdf)

[14.] Dols, J., Zafra J., Diaz, J., & Mirabet, E. (2006). Análisis de las necesidades de movilidad, fuerza y desplazamiento de los grupos anatómicos y funcionales más relevantes implicados en el manejo de un vehículo en condiciones estándar y experimentales. Valencia: Instituto de Diseño para la fabricación y producción automatizada.

[15] Dols, J., & Pons, V. (2010). Determinación de los requisitos de accesibilidad y seguridad en la utilización de carritos de niños en vehículos de transporte público (ASUCAR). Valencia.: Instituto de Diseño y Fabricación.

## 7. Anexos

### Anexo 1. Explicación del código fuente del script `bag_model.m` de Matlab

En un documento adjunto a este proyecto se aporta el código fuente del fichero necesario para extraer la información del fichero generado por el sistema de adquisición de datos.

A continuación se va a proceder a explicar este código. Entender este código no es esencial para el correcto funcionamiento del sistema pero sí que es recomendable familiarizarse con el mismo para poder realizar modificaciones en caso de que fuera necesario.

```
%% Load a bag and get information about it (Read all messages on a set of topics)
% Using load() lets you auto-complete filepaths.

folder = 'rosbag/';
file = 'Prueba_1_Frenado_Renault_Clio.bag';

matfile = [folder file '.mat'];
bagfile = [folder file '.bag'];

bag = ros.Bag(bagfile);
% bag = ros.Bag.load(bagfile);

%% Get information about the bag

bag.info()
```

Figura 37. Determinar los ficheros tanto de entrada como de salida.

En primer lugar, se determina la carpeta raíz del fichero del que se quieren extraer los datos, y tal y como se desarrolló en el manual para el sistema de adquisición de datos el usuario debe escribir cual es el nombre de este fichero. También se indica el tipo de archivo que se creará con la información ya extraída (`.mat`) y el tipo de archivo del que proviene (`.bag`). En la siguiente línea se especifica que este paquete es un paquete basado en ROS y por último, el comando `bag.info()` se utiliza para captar la información de este paquete.

```
%% ff_board (throttle and brake force)

topic_ff_board = '/ff_board';
[msgs_ff_board, meta_ff_board] = bag.readAll(topic_ff_board);

if(~isempty(msgs_ff_board))

    ff_board.time_ini=double(msgs_ff_board(1,1).header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_ff_board(1,1).header.stamp.nsec);
    for i=1:length(msgs_ff_board)
        ff_board.time(i)=double(msgs_ff_board(1,i).header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_ff_board(1,i).header.stamp.nsec)-ff_board.time_ini;
        ff_board.steer_torque_neg(i)=double(msgs_ff_board(1,i).ADCSteerTorqueNeg);
        ff_board.steer_torque_pos(i)=double(msgs_ff_board(1,i).ADCSteerTorquePos);
        ff_board.accel_force(i)=double(msgs_ff_board(1,i).ADCAccelForce);
        ff_board.brake_force(i)=double(msgs_ff_board(1,i).ADCBrakeForce);
    end
end
```

Figura 38. Leer el topic `/ft_board`

En las líneas de código que se muestran en la figura superior se extraen todos los valores escritos en el `topic` llamado `/ft_board` que hacen referencia a los valores del convertidor analógico/digital de las células de carga del acelerador y del freno.

Del mismo modo se repiten estas líneas de código pero esta vez para leer los datos del *topic* con nombre `/bt_board` que hace referencia al valor del par medido en el volante, ya sea girando hacia la derecha o girando hacia la izquierda.

```

topic_imu = '/xsens/imu';
[msgs_imu, meta_imu] = bag.readAll(topic_imu);

if(~isempty(msgs_imu))

    imu.time_ini=double(msgs_imu{1,1}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_imu{1,1}.header.stamp.nsec);
    imu.time_i_prev=0;
    imu.vx_i_prev=0;
    imu.vy_i_prev=0;
    imu.vz_i_prev=0;
    g=9.81;
    for i=1:length(msgs_imu)
        imu.time(i)=double(msgs_imu{1,i}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_imu{1,i}.header.stamp.nsec)-imu.time_ini;
        imu.qw(i)=msgs_imu{1,i}.orientation(1);
        imu.qx(i)=msgs_imu{1,i}.orientation(2);
        imu.qy(i)=msgs_imu{1,i}.orientation(3);
        imu.qz(i)=msgs_imu{1,i}.orientation(4);
        quat = [imu.qw(i) imu.qx(i) imu.qy(i) imu.qz(i)];
        eul = quat2eul(quat);
        imu.ex(i) = eul(1);
        imu.ey(i) = eul(2);
        imu.ez(i) = eul(3);
        Rx = rotation(eul(1),'x');
        Ry = rotation(eul(2),'y');
        Rz = rotation(eul(3),'z');
        B = Rx*Ry*Rz*[0;0;1];
        dt=imu.time(i)-imu.time_i_prev;
        imu.wx(i)=msgs_imu{1,i}.angular_velocity(1);
        imu.wy(i)=msgs_imu{1,i}.angular_velocity(2);
        imu.wz(i)=msgs_imu{1,i}.angular_velocity(3);
        imu.ax(i)=msgs_imu{1,i}.linear_acceleration(1)+g*B(1);
        imu.ay(i)=msgs_imu{1,i}.linear_acceleration(2)+g*B(2);
        imu.az(i)=msgs_imu{1,i}.linear_acceleration(3)+g*B(3);
        imu.vx(i)=imu.ax(i)*dt+imu.vx_i_prev;
        imu.vy(i)=imu.ay(i)*dt+imu.vy_i_prev;
        imu.vz(i)=imu.az(i)*dt+imu.vz_i_prev;
        imu.time_i_prev=imu.time(i);
        imu.vx_i_prev=imu.vx(i);
        imu.vy_i_prev=imu.vy(i);
        imu.vz_i_prev=imu.vz(i);
    end
end

```

Figura 39. Obtener datos de orientación, velocidad angular y aceleración lineal.

En este lugar del código se leen todos los datos del *topic* llamado `/xsens/imu` que incluye todos los datos de orientación, velocidad angular y aceleración lineal de la unidad de medición inercial. También se obtienen los ángulos de Euler de la rotación del sistema.

```

topic_imu_rpy = '/xsens/rpy';
[msgs_imu_rpy, meta_imu_rpy] = bag.readAll(topic_imu_rpy);

if(~isempty(msgs_imu_rpy))

    imu_rpy.time_ini=double(msgs_imu_rpy{1,1}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_imu_rpy{1,1}.header.stamp.nsec);
    for i=1:length(msgs_imu_rpy)
        imu_rpy.time(i)=double(msgs_imu_rpy{1,i}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_imu_rpy{1,i}.header.stamp.nsec)-imu_rpy.time_ini;
        imu_rpy.r(i)=deg2rad(msgs_imu_rpy{1,i}.vector(1));
        imu_rpy.p(i)=deg2rad(msgs_imu_rpy{1,i}.vector(2));
        imu_rpy.y(i)=deg2rad(msgs_imu_rpy{1,i}.vector(3));
    end

    imu_rpy.y=imu_rpy.y;
    loops=0;
    for j=2:length(imu_rpy.y)
        if(imu_rpy.y(j-1)>0.9*pi)&&(imu_rpy.y(j)<-0.9*pi)
            loops=loops+1;
        elseif(imu_rpy.y(j)>0.9*pi)&&(imu_rpy.y(j-1)<-0.9*pi)
            loops=loops-1;
        end
        imu_rpy.y(j) = imu_rpy.y(j)+loops*2*pi;
    end
end
end

```

Figura 40. Ángulos roll, pitch y yaw.



De la misma manera que con el *topic* anterior, en este caso se leen los ángulos de orientación de los ángulos de navegación denominados *roll* (giro en el eje Z), *pitch* (giro en el eje X) y *yaw* (giro en el eje X).

```

%% imu (velocity)

topic_imu_vel = '/xsens/velocity';
[msgs_imu_vel, meta_imu_vel] = bag.readAll(topic_imu_vel);

if(~isempty(msgs_imu_vel))

    imu_vel.time_ini=double(msgs_imu_vel{1,1}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_imu_vel{1,1}.header.stamp.nsec);
    for i=1:length(msgs_imu_vel)
        imu_vel.time(i)=double(msgs_imu_vel{1,i}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_imu_vel{1,i}.header.stamp.nsec)-imu_vel.time_ini;
        imu_vel.vx(i)=msgs_imu_vel{1,i}.twist.twist.linear(1);
        imu_vel.vy(i)=msgs_imu_vel{1,i}.twist.twist.linear(2);
        imu_vel.vz(i)=msgs_imu_vel{1,i}.twist.twist.linear(3);
        imu_vel.wx(i)=msgs_imu_vel{1,i}.twist.twist.angular(1);
        imu_vel.wy(i)=msgs_imu_vel{1,i}.twist.twist.angular(2);
        imu_vel.wz(i)=msgs_imu_vel{1,i}.twist.twist.angular(3);
    end
end
end

```

Figura 41. Velocidad de la unidad de medición inercial.

En el código de la figura superior se obtienen los datos de velocidad de la unidad de medición inercial leyendo el tópico asociado a este dato. Se obtiene en los tres ejes tanto la velocidad angular como la velocidad lineal.

Tras esto, se ejecutan las líneas de código correspondientes a los datos de temperatura y de presión pero en el caso del sistema desarrollado no son de interés pero por si se quisieran obtener tan solo habría que representar gráficamente estas variables puesto que se guardan en su variable correspondiente.

```

%% gps (velocity)

topic_gps_vel = '/xsens/gps_vel';
[msgs_gps_vel, meta_gps_vel] = bag.readAll(topic_gps_vel);

if(~isempty(msgs_gps_vel))

    gps_vel.time_ini=double(msgs_gps_vel{1,1}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_gps_vel{1,1}.header.stamp.nsec);
    for i=1:length(msgs_gps_vel)
        gps_vel.time(i)=double(msgs_gps_vel{1,i}.header.stamp.sec)+1e-9*double(msgs_gps_vel{1,i}.header.stamp.nsec)-gps_vel.time_ini;
        gps_vel.vx(i)=msgs_gps_vel{1,i}.twist.twist.linear(1);
        gps_vel.vy(i)=msgs_gps_vel{1,i}.twist.twist.linear(2);
        gps_vel.vz(i)=msgs_gps_vel{1,i}.twist.twist.linear(3);
    end
end
end

```

Figura 42. Código para obtener la velocidad del gps.

En este caso, también se obtienen los datos de velocidad pero en este caso del módulo GPS acoplado a la unidad de medición inercial. Leyendo el *topic* que lleva por nombre `/xsens/gps_vel` se adquiere esta información.

También existen otras líneas de código destinadas a leer el *topic* llamado `/xsens/gps_data` pero en este caso se leen todos los datos del GPS relacionados con la posición. En este caso, al tratarse de un GPS estos datos son longitud, altitud y latitud.

---

```

%% Plot body/imu over time

topic_mtw_imu{1} = '/mtw_driver/imu/E';
topic_mtw_imu{2} = '/mtw_driver/imu/C';
topic_mtw_imu{3} = '/mtw_driver/imu/ED';
topic_mtw_imu{4} = '/mtw_driver/imu/BD';
topic_mtw_imu{5} = '/mtw_driver/imu/AD';
topic_mtw_imu{6} = '/mtw_driver/imu/MD';
topic_mtw_imu{7} = '/mtw_driver/imu/EI';
topic_mtw_imu{8} = '/mtw_driver/imu/BI';
topic_mtw_imu{9} = '/mtw_driver/imu/AI';
topic_mtw_imu{10} = '/mtw_driver/imu/MI';
[msgs_mtw_imu{1}, meta_mtw_imu{1}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{1});
[msgs_mtw_imu{2}, meta_mtw_imu{2}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{2});
[msgs_mtw_imu{3}, meta_mtw_imu{3}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{3});
[msgs_mtw_imu{4}, meta_mtw_imu{4}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{4});
[msgs_mtw_imu{5}, meta_mtw_imu{5}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{5});
[msgs_mtw_imu{6}, meta_mtw_imu{6}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{6});
[msgs_mtw_imu{7}, meta_mtw_imu{7}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{7});
[msgs_mtw_imu{8}, meta_mtw_imu{8}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{8});
[msgs_mtw_imu{9}, meta_mtw_imu{9}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{9});
[msgs_mtw_imu{10}, meta_mtw_imu{10}] = bag.readAll(topic_mtw_imu{10});

```

Figura 43. Leer el topic de cada uno de los rastreadores de movimiento humano.

En este caso se obtiene la información de los rastreadores de movimiento humano. El código se ha desarrollado para, máximo, 10 unidades. En el caso del sistema desarrollado se utilizan 8 unidades por lo que esto no ocasiona ningún problema.

Tras leer el topic de cada uno de los rastreadores, los datos que se obtienen de estos en las siguientes líneas de código son: la orientación, los ángulos de Euler, la velocidad angular y la aceleración lineal.

Llegando al final de este código encontramos las siguientes líneas:

---

```

%% PLOT DATA

plot_data();

figure
plot(bt_board.time, bt_board.accel_force*1.85)
title('Bt_accel')
figure
plot(bt_board.time, bt_board.brake_force*1.95)
title('Bt_brake')
figure
plot(bt_board.time, bt_board.steer_torque_pos*0.03)
title('Bt_steer_pos (izq)')
figure
plot(bt_board.time, bt_board.steer_torque_neg*0.03)
title('Bt_steer_neg (der)')

```

Figura 44. Representar gráficamente los datos adquiridos.

Este comando (`plot_data();`) se utiliza para realizar las gráficas de todos los datos extraídos y guardados en variables. Las siguientes líneas a este comando, en concreto, se utilizan para realizar las gráficas de los parámetros relacionados con el medidor de par del volante

El comando `title` se utiliza para ponerle en título a la gráfica dibujada y de este modo identificar rápidamente el parámetro representado.

Por último. Encontramos este comando final:





```
%% Save data to file
```

```
save(matfile);
```

Figura 45. Guardar toda esta información en un fichero de Matlab.

Esta línea de código final se utiliza para guardar todos estos datos en un fichero de Matlab con extensión *.mat*.

## Anexo 2. Formulario de pruebas.

			
---	---	---	---

**Pruebas de validación "DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS PARA LA CARACTERIZACION DE LOS ESFUERZOS Y MOVIMIENTOS DEL CONDUCTOR EN LA CONDUCCION DE VEHICULOS AUTOMOVILES."**

FORMULARIO		Nº
Fecha:	Hora:	
Vehículo:	Año del vehículo:	
Tipo de prueba:	Duración de la prueba (mm.ss):	
<input type="checkbox"/> Frenado		
<input type="checkbox"/> Slalom		
<input type="checkbox"/> Circulación circular. Sentido horario. (Giro derecha)		
<input type="checkbox"/> Circulación circular. Sentido antihorario. (Giro izquierda)		
Conductor:		
<input type="checkbox"/> 1		
<input type="checkbox"/> 2		
<input type="checkbox"/> 3		
Consideraciones previas: (checklist):		
<input type="checkbox"/> Montaje de los equipos en el vehículo correcto.		
<input type="checkbox"/> Montaje de los equipos en el conductor correcto.		
<input type="checkbox"/> Equipos encendidos y transmitiendo información al ordenador.		
<input type="checkbox"/> Ordenador leyendo y guardando datos. No muestra errores.		
<input type="checkbox"/> Observaciones:		
Consideraciones posteriores:		
<input type="checkbox"/> Mover el fichero <i>.bag</i> a la carpeta correspondiente		
<input type="checkbox"/> Modificar el nombre del archivo <i>.bag</i> .		
Nombre asignado al archivo*:		
(*Recomendación: Prueba_Nº_Tipo_Coche_Conductor.bag Ejemplo: Prueba_1_Frenado_Renault_1.bag)		





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
ETSID  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE LOS ESFUERZOS Y  
MOVIMIENTOS DEL CONDUCTOR EN LA  
CONDUCCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES.**

2. Pliego de condiciones

Autor: Luna Serrador, Álvaro Tadeo  
Tutor: Armesto Ángel, Leopoldo  
Cotutor: Dols Ruiz, Juan Francisco

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Valencia, diciembre de 2018.



# Índice

1.	Introducción .....	88
2.	Aspectos facultativos .....	88
2.1	Obligaciones y derechos del contratista.....	88
2.1.1	Obligaciones .....	88
2.1.2	Derechos.....	88
2.1.3	Facultades .....	89
2.2	Controles de calidad y Ensayos.....	89
3.	Materiales .....	89
3.1	Materiales físicos.....	89
3.2	Elementos de Software.....	90
3.3	Instalaciones.....	90
4.	Condiciones de ejecución .....	90
4.1	Montaje.....	90
4.2	Software .....	90
5.	Prueba de servicio .....	90

## 1. Introducción

Tiene como objetivo este documento, que siempre debe ir acompañado del resto de documentos que conforman este proyecto, la información, aclaración y aportación de todos los aspectos que se deben seguir para asegurar la validación del sistema así como de los ensayos realizados y datos obtenidos gracias a este.

## 2. Aspectos facultativos

Cabe destacar que este proyecto presenta una motivación académica y de investigación, pese a esto, a continuación, se va a proceder a describir y regular las relaciones entre el contratante y el contratista.

Como contratante se estipula la figura legal de Don Juan Francisco Dols Ruiz en representación del Servicio Técnico de Reformas de Automóviles de Valencia (SETRAV) perteneciente al Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), ubicado en la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI). En calidad de contratista se estipula al ingeniero electrónico, Álvaro T. Luna Serrador.

### *2.1 Obligaciones y derechos del contratista.*

A continuación se va a proceder a detallar tanto las obligaciones como los derechos del contratista, así como sus facultades.

#### *2.1.1 Obligaciones*

- Conocer la normativa aplicable vigente y en concreto dominar todos los aspectos de la normativa UNE-EN ISO/IEC 17025:2005.
- Conocer las especificaciones del proyecto en su totalidad y al detalle.
- Contar con un responsable que dirija el proyecto, y que esté localizable en todo momento, para cualquier tipo de consulta o modificación puntual del proyecto.
- Poner todos los medios y conocimientos necesarios para la correcta ejecución del proyecto.
- Cumplir con el tiempo estimado para la entrega del proyecto al contratante.
- Realizar las inspecciones en todas las fases críticas de ejecución del proyecto, tales como son; montaje de los sensores y dispositivos, realización de las pruebas iniciales, calibración de los sensores, extracción de datos.

#### *2.1.2 Derechos*

- Disponer de un ejemplar completo del proyecto.
- Disponer de un equipo informático adecuado para la realización del proyecto, distinto del que se utilizará para realizar los ensayos.
- Disponer de un entorno adecuado para la calibración de los sensores, y para el diseño de todo el sistema de adquisición de datos.



- Disponer de un entorno al aire libre para realizar las primeras pruebas previas a los ensayos.

### 2.1.3 *Facultades*

- Supervisar los aspectos del proyecto que puedan afectar a la calidad de los datos obtenidos o a su fiabilidad.
- Asumir con total responsabilidad la interpretación del proyecto.
- Informar periódicamente al contratante de los avances y problemas surgidos durante el diseño del sistema.
- Aportar soluciones técnicas a problemas que no se hayan previsto en la etapa de diseño.
- Exigir ampliaciones de plazos en el caso de que no se cumplan los plazos de entrega de productos necesarios para el diseño del sistema.

## 2.2 *Controles de calidad y Ensayos*

Se procederá a la realización de ensayos a modo de pruebas en cada una de las fases críticas de ejecución.

## 3. *Materiales*

A continuación se va a proceder a enumerar todos los materiales, equipos y programas que se van a utilizar durante la ejecución del proyecto.

### 3.1 *Materiales físicos*

- Medidor de par.
- 2 Células de carga.
- Unidad de medición inercial (MTi-G-710 de la marca Xsens).
- 8 unidades de rastreo de movimiento humano (MTw Awinda de la marca Xsens).
- Ordenador marca Asus.
- Inversor de corriente.
- 2 Baterías de 12V.
- Pequeño material (bridas, cables, cinta adhesiva).
- Dinamómetro (Compact Force Gauge<sup>+</sup> (CFG<sup>+</sup>) de la marca Mecmesin).

### 3.2 Elementos de Software

- Sistema operativo Linux-Xubuntu 16.04 de 64 bits.
- Matlab 2017b
- Terminator
- Gedit
- Microsoft Office Professional Plus 2013 (Word, Excel)
- Adobe Acrobat Reader
- Drivers de los sensores.
- Google Earth

### 3.3 Instalaciones

Cabe añadir este punto para mencionar las instalaciones en las que el proyecto se ha llevado a cabo.

La mayoría del tiempo invertido en el diseño de este sistema ha sido en el laboratorio del SETRAV situado en el CPI de la Universidad Politécnica de Valencia, también se han llevado a cabo etapas de este proyecto en el Instituto de Diseño y Fabricación, también situado en el CPI.

## 4. Condiciones de ejecución

### 4.1 Montaje

Las pautas para el montaje de todos los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema serán las especificadas en el apartado de *Montaje y consideraciones* contenido en el documento de Memoria de este mismo proyecto. En este apartado especifican todas las condiciones necesarias para asegurar el correcto montaje de todos los dispositivos.

### 4.2 Software

El procedimiento para la adquisición de datos viene detallado en los apartados *Protocolo de instrucciones para el método de adquisición de datos* y *Método de extracción de datos* de la Memoria de este mismo proyecto. En estos dos apartados se detallan las condiciones necesarias para ejecutar el sistema en lo que a software se refiere.

## 5. Prueba de servicio

La prueba de servicio se llevará a cabo por el contratista con ayuda de un técnico del SETRAV en caso de que fuera necesario. Esta prueba consistirá en realizar, en un vehículo, todo el montaje de los sensores, previamente calibrados, y posteriormente se realizarán unas pequeñas maniobras para asegurar la comodidad del sistema diseñado

tanto para el conductor como para el técnico encargado de realizar las pruebas de ensayo que también irá a bordo del vehículo.

Las pruebas de seguimiento se realizarán al menos durante los tres primeros ensayos realizados con este sistema.

La prueba de servicio en ningún caso se realizará en condiciones meteorológicas adversas.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
ETSID  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE LOS ESFUERZOS Y  
MOVIMIENTOS DEL CONDUCTOR EN LA  
CONDUCCIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES.**

3. Presupuesto

Autor: Luna Serrador, Álvaro Tadeo  
Tutor: Armesto Ángel, Leopoldo  
Cotutor: Dols Ruiz, Juan Francisco

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Valencia, diciembre de 2018.

# Índice

1.	Introducción .....	95
2.	Presupuesto .....	95
2.1	Cuadro de precios elementales .....	95
2.2	Cuadro de amortización de equipos .....	96
2.3	Cuadro de precios descompuestos.....	96
2.3	Resultado .....	97

## 1. Introducción

A continuación se ha realizado un presupuesto orientativo de los costes del proyecto de realizar e implementar el sistema de adquisición de datos.

Este presupuesto no es vinculante y tan solo muestra el coste de desarrollar el sistema pero no el de montarlo en un vehículo y realizar las pruebas.

Se va a incluir el precio de los sensores utilizados pero en ningún momento estos han sido comprados específicamente para este proyecto. Son propiedad del Instituto de Diseño y Fabricación.

## 2. Presupuesto

### *2.1 Cuadro de precios elementales*

<b>Cuadro de precios elementales de materiales</b>			
<b>Ref.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Denominación</b>	<b>Precio (€)</b>
<b>m1</b>	Ud.	Unidad de medición inercial MTi-G-710	3.790,50
<b>m2</b>	Ud.	Kit de desarrollo MTw Awinda (Incluye una unidad)	2.690,00
<b>m3</b>	Ud.	Sensor inercial MTw Awinda	450,00
<b>m4</b>	Ud.	Medidor de par de volante	1.600,00
<b>m5</b>	Ud.	Célula de carga	390,00
<b>m6</b>	Ud.	Ordenador	679,00
<b>m7</b>	Ud.	Licencia sistema operativo	0,00
<b>m8</b>	Ud.	Dinamómetro	810,00
<b>m9</b>	m	Cable de cuatro hilos (Cobre flexible 0,5 mm)	0,46
<b>m10</b>	Ud.	Pilas AA	1,08
<b>m11</b>	Ud.	Bridas	0,09
<b>m12</b>	Ud.	Cono de señalización lastrado 50 x 28 cm	5,00
<b>m13</b>	Ud.	Cinta métrica Fischer Darex 30M	13,15
<b>m14</b>	Ud.	Jornada de alquiler escuela Luis Climent	302,5

<b>Cuadro de precios elementales de mano de obra</b>			
<b>Ref.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Denominación</b>	<b>Precio (€)</b>
<b>h1</b>	h.	Ingeniero electrónica	14,35
<b>h2</b>	h.	Doctor especialista en electrónica	20,75
<b>h3</b>	h.	Oficial 1ª de mecánica	12,52
<b>h4</b>	h.	Ayudante de electrónica	10,80

## 2.2 Cuadro de amortización de equipos

Se ha establecido un periodo de amortización de los sensores y equipos de 60 meses. La duración de este proyecto ha sido de 6 meses, por lo tanto, en la siguiente tabla, se calcula el coste de amortización de estos determinados equipos.

Cuadro de amortización de equipos					
Ref.	Ud.	Denominación	Precio (€)	Amortización (%)	Total (€)
m1	Ud.	Unidad de medición inercial MTi-G-710	3.790,50	10	379,05
m2	Ud.	Kit de desarrollo MTw Awinda (Incluye una unidad)	2.690,00	10	269,00
m3	Ud.	Sensor inercial MTw Awinda	450,00	10	45,00
m4	Ud.	Medidor de par de volante	1.600,00	10	160,00
m5	Ud.	Célula de carga	390,00	10	39,00
m6	Ud.	Ordenador	679,00	10	67,90
m8	Ud.	Dinamómetro	810,00	10	81,00

## 2.3 Cuadro de precios descompuestos

Cuadro de precios descompuestos					
Ref.	Ud.	Denominación	Precio (€)	Cantidad	Total (€)
m1	Ud.	Unidad de medición inercial MTi-G-710	379,05	1	379,05
m2	Ud.	Kit de desarrollo MTw Awinda (Incluye una unidad)	269,00	1	269,00
m3	Ud.	Sensor inercial MTw Awinda	45,00	7	315,00
m4	Ud.	Medidor de par de volante	160,00	1	160,00
m5	Ud.	Célula de carga	39,00	2	78,00
m6	Ud.	Ordenador	67,90	1	67,90
m7	Ud.	Licencia sistema operativo	0,00	1	0,00
m8	Ud.	Dinamómetro	81,00	1	81,00
m9	m	Cable de cuatro hilos (Cobre flexible 0,5 mm)	0,46	6	2,76
m10	Ud.	Pilas AA	1,08	8	8,64
m11	Ud.	Bridas	0,09	10	0,90
m12	Ud.	Cono de señalización lastrado 50 x 28 cm	5,00	10	50,00
m13	Ud.	Cinta métrica Fischer Darex 30M	13,15	1	13,15
m14	Ud.	Jornada de alquiler escuela Luis Climent	302,5	1	302,5
<b>M.O.D</b>					
h1	h.	Ingeniero electrónica	14,35	358	5.137,30
h2	h.	Doctor especialista en electrónica	20,75	175	3.631,25
h3	h.	Oficial 1ª de mecánica	12,52	112	1.402,24
h4	h.	Ayudante de electrónica	10,80	98	1.058,40
	%	Método auxiliares	5	%	1.273,05
<b>TOTAL</b>					<b>14.230,14</b>



### *2.3 Resultado*

Precio final del proyecto de diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para la caracterización de esfuerzos y movimientos del conductor en la conducción de vehículos automóviles: **CATORCE MIL DOSCIENTOS TREINTA EUROS, CON CATORCE CÉNTIMOS.**