



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Diseño de un kit docente, basado en  
dispositivos móviles, para el estudio  
cinemático y dinámico de vehículos**

**Autor:**

**Rosado Nieto, Fernando**

**Tutor:**

**González Rebollo, Miguel Ángel**  
**Física de la Materia Condensada,**  
**Cristalografía y Mineralografía**

**Valladolid, Julio de 2016.**



## INDICE

I.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS .....	4
II.	SENSORES EN EL MOVIL .....	7
	a. ACELEROMETRO .....	7
	b. GIROSCOPIO .....	8
	c. GPS.....	9
	d. MAGNETOMETRO .....	10
III.	METODOLOGIA DE MEDIDA .....	11
	a. SISTEMA DE REFERENCIA .....	13
	i. VEHICULO SEGMENTO C (VW GOLF) .....	13
	ii. VEHICULO TODOTERRENO SEGMENTO F (JEEP GRAND CHEROKEE).....	15
IV.	ESTUDIO CINEMATICO EN VEHICULOS .....	16
	a. TRAYECTO DE REFERENCIA .....	17
	i. ACELERACION (MOVIMIENTO RECTILINEO ACELERADO) .....	17
	ii. CURVA A IZQUIERDAS .....	20
	iii. CURVA A DERECHAS.....	22
	iv. DECELERACION .....	25
	b. TRAYECTO URBANO.....	27
	i. TRAYECTO CIUDAD CON TURISMO SEGMENTO C .....	28
	ii. TRAYECTO CIUDAD CON VEHÍCULO SEGMENTO F .....	30
	c. TRAYECTO DE MONTAÑA (COMPARACION ENTRE VEHICULOS).....	36
	i. SUBIDA.....	37
	ii. BAJADA .....	42
	d. IDETERMINACION DE PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LA CALZADA .....	46
	i. RADIO DE LA CURVA .....	46
	ii. PERALTE EN CURVA .....	51
	e. VISION GLOBAL DE UN TRAYECTO MIXTO (CAMINO Y CARRETERA NACIONAL).....	53
V.	ESTUDIO CINEMATICO EN AVIONES .....	55
	a. IDENTIFICACION VISUAL DE DATOS .....	56
	i. TRAYECTO DE IDA .....	57
	ii. TRAYECTO DE VUELTA.....	63
VI.	CONCLUSIONES.....	67
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	69
I.	ANEXO I .....	71
II.	ANEXO II .....	73



## *Resumen*

Se trata de estudiar la cinemática de un vehículo durante un trayecto determinado. Para ello se utiliza uno o dos smartphones y una aplicación para ANDROID que permite el acceso a los sensores del dispositivo y el almacenamiento de datos.

Palabras clave: Smartphones, sensores, Android, medios de transporte, física, cinemática, trayectorias, low-cost.



## I. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En la última década se ha visto como el auge del Smartphone ha abarcado el mercado entero de la telefonía móvil. Cada año salen a la venta modelos nuevos, todo ellos con gran cantidad de sensores necesarios para una mayor experiencia por parte del usuario que lo posee.

Pero, en función de la gama a la que pertenezca el móvil en cuestión, dispondrá de una serie de sensores, cada uno de ellos tremendamente útil para las distintas aplicaciones que se presentan en el uso de un teléfono móvil a diario. Todos los Smartphone de hoy en día, aun siendo unos de gama alta y otros no, comparten los mismos sensores para, por ejemplo, rotar la pantalla del Smartphone cuando éste se encuentra girado 90°. La mayoría de ellos disponen de sensor de luz, sensor de proximidad, detector de campo magnético, GPS, acelerómetro y giroscopio. Estos dos últimos son menos comunes verlos en un mismo dispositivo ya que es una característica de los Smartphone de una gama un poco más elevada. Normalmente, uno de gama media, dispone de un acelerómetro, sin necesidad de disponer de un giroscopio a mayores ya que, para detectar la posición y rotación del móvil, con el acelerómetro basta para conocerlo. Muchos de los Smartphone de gama alta disponen a mayores de un sensor de presión, útil para conocer de forma aproximada la altitud a la que se encuentra el dispositivo (si no se encuentra presurizado el exterior, como una cabina de avión) y, como consecuencia, una mayor precisión a la hora de obtener la ubicación GPS del mismo. Normalmente, la existencia del barómetro en el dispositivo va acompañada de un sensor de humedad relativa que, si se usa en conjunción con el barómetro, se dispone de una gran información para, por ejemplo, predecir los cambios climáticos a corto plazo si el dispositivo móvil se encuentra en un lugar a cielo abierto.

Tras lo comentado, se puede deducir el gran potencial tecnológico de estos dispositivos de bolsillo. Potencial que, cada año, aumenta debido a la creciente industria que hay detrás de todos ellos; una cada vez mayor tecnología que permite desarrollar nuevos usos que dejan atrás la denominación común que han tenido tras su primera aparición hace menos de dos décadas, la de teléfono móvil. Sigue siendo un teléfono móvil, ya que su principal uso, que es la de poder poner en contacto a dos personas o más que se encuentran a cierta distancia entre ellos, se



mantiene. Pero, la complejidad a la que han llegado (y la que falta por llegar), la cada vez mayor presencia de sensores, y nuevos (y mejores) desarrollos del software que manejan estos dispositivos móviles, han hecho de estos aparatos una herramienta indispensable y realmente útil para muchas de las personas que poseen uno de ellos. Actualmente, existen una gran cantidad de aplicaciones desarrolladas para los smartphones, que hacen un uso completo de todos los componentes (hardware) de los que dispone el dispositivo en el que se ha instalado la aplicación. Éstas van desde la más sencilla aplicación que puede simular una burbuja para medir la inclinación del Smartphone sobre una superficie plana, como la nueva tecnología desarrollada, aún en estado de crecimiento y adaptación al mercado, la realidad virtual. Los sistemas de realidad virtual se basan en un soporte para el Smartphone, el cual se coloca sobre los ojos de la persona que lo vaya a usar, que contienen unas lentes para permitir el enfoque de la vista a distancias muy cortas. El resto, el video grabado en 360° o el juego interactivo con un contenido exclusivo en 3D, se desarrollan en el propio Smartphone. Un Smartphone que ha alcanzado un nivel de desarrollo y capacidad comparable a muchos de los ordenadores de sobremesa y portátiles que se encuentran actualmente en el mercado. En definitiva, se tratan de ordenadores portátiles de gran capacidad, pero con un grado de reducción en cuanto al tamaño en comparación con éstos, tremendamente elevado. Si a esta capacidad de procesamiento que contienen se le añaden los distintos sensores que, para el caso de la realidad virtual, consiguen averiguar la posición, rotación y velocidad a la que se mueve el Smartphone; se obtiene un verdadero aparato electrónico en potencia, con un sinfín de aplicaciones y con la capacidad de conectarse con otros sistemas electrónicos presentes hoy en día, como de los que disponen los automóviles de las grandes marcas, o las viviendas de última generación, domotizadas hasta tal punto que desde el propio Smartphone se controla prácticamente todo.

Este trabajo hace uso de las capacidades de los smartphones, con los sensores presentes en ellos, para un uso docente. Estos sensores servirán para el estudio de la cinemática y la dinámica en el vehículo, fundamentalmente. También, se han realizado pruebas en avión, cuyos resultados han servido para confirmar la gran cantidad de información que se puede llegar a recoger con un Smartphone y la aplicación utilizada para tomar lectura de estos sensores. Para dicha lectura, se usará una aplicación fruto de un Proyecto Fin de Carrera de la Universidad de



Valladolid, de la titulación de Ingeniería Técnica de Informática de Sistemas del año 2015/2016. (Esteban Moreno & Huete García, 2015)

Para obtener los movimientos del cuerpo en estudio, lo primero es conocer cada uno de los sensores que se van a utilizar y en qué unidades se muestran. La aplicación que se está usando muestra todos los sensores que contiene el móvil y advertirá si no posee giroscopio ya que, como se ha comentado, no es necesario para el uso diario que se le pueda dar. También se tendrá que conocer cómo funciona la aplicación, qué hay que hacer para empezar a tomar datos, y cómo y en qué formato guardará los valores, para su posterior tratamiento. Se utilizarán dos automóviles en la toma de datos, para poder, si es posible, sacar similitudes o diferencias entre ambos.

Por lo tanto, si se quieren conocer las aceleraciones, los giros del automóvil y la velocidad a la que se circula, se hará uso del acelerómetro, el giroscopio y el GPS. El magnetómetro también puede servir de ayuda para conocer los cambios de dirección del medio de transporte en estudio, ya que la medición del campo magnético terrestre variará al variar la posición del móvil y, como consecuencia, el valor en sus respectivos ejes. El campo magnético se estudiará brevemente para el caso del avión. El sistema de referencia que usa la aplicación a la hora de tomar lectura de los datos va a ser prioritario para hacer estas medidas. Por lo que el primer estudio consistirá en tomar medidas con los diferentes sensores para conocer el sentido positivo de los ejes y sus correspondientes vectores de rotación. Una vez hecho esto, el siguiente paso es encontrar un método para conseguir que el aparato móvil sea solidario con el automóvil/avión, es decir, que las aceleraciones, velocidades angulares y el trayecto realizado queden grabados de la manera más fiel posible en la aplicación.

Cabe mencionar que se está trabajando con los sensores del móvil, los cuales no han sido fabricados para este fin, por lo que existe un ruido propio de los sensores que es imposible evitar; pero los datos que se obtienen son más que satisfactorios para un fin docente como el de este Proyecto. Previo a la toma de datos, se calibrarán todos estos sensores apoyando el móvil sobre una superficie plana (una mesa, por ejemplo) y corrigiendo los valores, si hiciera falta.

A mayores, para asegurar dicha calibración, antes de cada trayecto se tomarán medidas con el móvil correctamente posicionado en el vehículo ya

arrancada durante unos segundos para, posteriormente, volver a calibrar el dispositivo.

## II. SENSORES EN EL MOVIL

Un teléfono móvil cuenta con cierta cantidad de sensores en función de la gama en la que se encuentra en el mercado.

Un móvil estándar, de gama media como el usado en este proyecto, incluye sensores de proximidad, aceleración ( $m/s^2$ ), giro ( $rad/s$ ), luminiscencia (lux), magnetismo ( $\mu T$ ) y GPS (Latitud, Longitud). Un móvil en una categoría superior a esta incluye a mayores en algunos casos, barómetro (bar) e higrómetro ( $\%h_{relativa.}$ )

Para el estudio realizado se han utilizado el acelerómetro, giroscopio, GPS y en algún momento magnetómetro, como para el vuelo en el avión. Se dará una breve explicación de estos sensores, su funcionamiento y cómo se han aprovechado para realizar este estudio:

### a. ACELEROMETRO

Se trata de un sensor inercial, y se usa para medir la aceleración  $\{m/s^2\}$  y como consecuencia, la fuerza inducida por la gravedad sobre el móvil. Este dispositivo colocado en un teléfono móvil puede detectar su movimiento y giro, a partir de las variaciones en la aceleración de cada uno de sus 3 ejes coordenados (Esteban Moreno & Huete García, 2015), por lo que su función principal es detectar los cambios de orientación en el teléfono móvil para rotar la pantalla, o

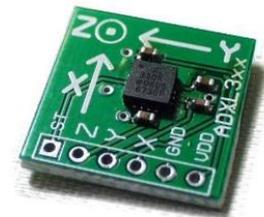


Ilustración 1  
ACELEROMETRO SOBRE  
CHIP DE SILICIO:  
(DESCONOCIDO, Blog  
WEB: BLOGGER, 2012)

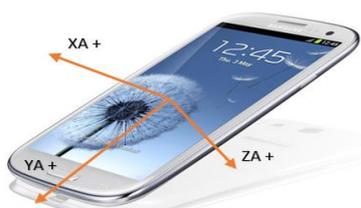


Ilustración 2 SENTIDO POSITIVO  
EJES ACELEROMETRO. Foto:  
(WEB\_OFICIAL\_SAMSUNG,  
2016)

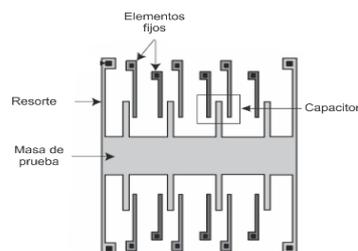


Ilustración 3 ESQUEMA  
SENSOR INERCIAL: (Sastré,  
2011)

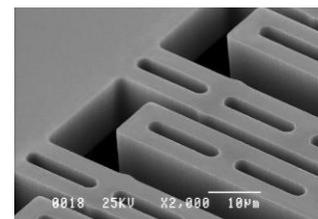


Ilustración 4  
(DESCONOCIDO, Blog  
WEB: quesabesde, 2014)

simplemente su uso lúdico en aplicaciones de ocio como juegos, entre otros. (DESCONOCIDO, Blog WEB: BLOGGER, 2012)

Los acelerómetros usados en los teléfonos móviles son dispositivos tipo MEMS (Sistemas Microelectromecánicos) construidos sobre un chip de Silicio. El principio de funcionamiento de estos dispositivos consiste en medir la variación de la capacidad de un condensador integrado por dos placas metálicas, una en Y de la otra, y por un material dieléctrico. Una de estas placas es fija y la otra móvil, de manera que cuando se aplique una fuerza sobre el dispositivo, la capacidad del condensador cambiará. Se hará mayor o menor en función del movimiento que se le induzca. (Esteban Moreno & Huete García, 2015)

El sensor medirá la variación de la capacidad que será proporcional a la fuerza aplicada y enviará esa información al microprocesador del dispositivo para que determine la aceleración a la que ha sido sometido. El microprocesador lo guarda en una base de datos donde los comprara con otros valores de referencia, correspondientes a una fuerza y aceleración. Al ser la aceleración una magnitud vectorial, para determinarla se necesitará los valores de sus componentes en las tres direcciones X, Y, Z; por lo que cada teléfono móvil incorpora 3 dispositivos como éste, una para cada dirección. (Esteban Moreno & Huete García, 2015)

## b. GIROSCOPIO

Un giroscopio es un dispositivo mecánico que nos ayuda a medir, mantener o cambiar la orientación de algún dispositivo. Permite medir la velocidad de rotación  $\{rad/s\}$ .

Se trata también de un dispositivo MEMS construido sobre un chip de Silicio. Su principio de funcionamiento consiste en medir la variación de la capacidad de un condensador cuando por efecto de un giro se desplaza una pequeña masa integrada en él. El giroscopio una vez puesto en movimiento, mantiene siempre la orientación precisa respecto al punto de partida. Al ser la velocidad angular una magnitud vectorial, para determinarla necesitaremos los valores de sus componentes en las tres direcciones X, Y, Z. (Esteban Moreno & Huete García, 2015)



Ilustración 5 GIROSCOPIO SOBRE  
CHIP DE SILICIO. Foto:  
(DESCONOCIDO, Blog WEB:  
BLOGGER, 2012)

Su principal uso es monitorizar el posible giro del teléfono móvil al igual que el acelerómetro, pero con la diferencia de que mide la velocidad de rotación alrededor de sus 3 ejes coordenados y, al medir en coordenadas esféricas, detecta mejor las variaciones de movimiento del teléfono móvil. Esto se refleja claramente en la tecnología en auge de este año, la realidad virtual en móviles. Estos móviles hacen uso del giroscopio para detectar el cambio de posición y hacer rotar una imagen o video en 360° dando la sensación de movimiento como si fuera real.

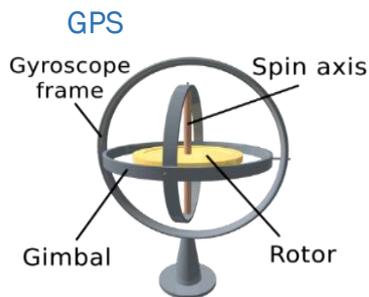


Ilustración 6 REPRESENTACION GIROSCOPIO Foto: (DESCONOCIDO, Blog WEB: quesabesde, 2014)

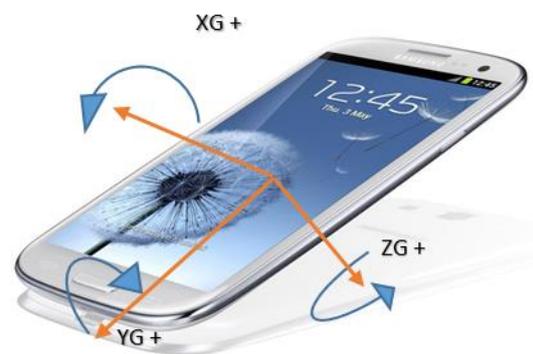


Ilustración 7 SENTIDOS POSITIVOS GIROS

El Global Position System (GPS) nos permite fijar a escala mundial la posición de un objeto, persona o vehículo. El funcionamiento del GPS se basa en la triangulación, principio matemático que determina la posición exacta de un punto conociendo las distancias de este a otros tres puntos de ubicación conocida. Se usan tres satélites para determinar la posición, velocidad y altura (ésta sobre el mapa topográfico) a la que se encuentra el receptor, en este caso el vehículo. (Esteban Moreno & Huete García, 2015)



Ilustración 8 ANTENA GPS. Foto: (JinchangGPS, 2016)

El GPS muestra la Latitud y Longitud sobre el mapa y, a partir de esas coordenadas se puede conocer la altura de ese punto sobre el nivel del mar mediante páginas WEB como <http://www.gpsvisualizer.com/>. Dado que

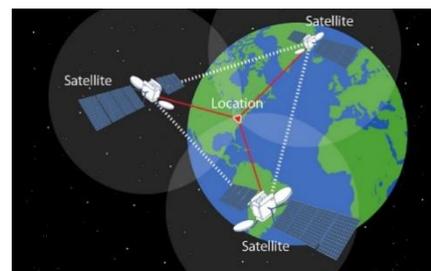


Ilustración 9 SISTEMA TRIANULACION GPS. Foto: (Total, 2016)

solamente se conocen la Latitud y la Longitud a partir del sistema GPS, no se conoce la altura relativa al suelo y a que recurrir a sitios WEB como éste para conocerla.

#### d. MAGNETOMETRO

Se trata de un componente electrónico capaz de medir y cuantificar la intensidad del campo magnético. Contiene un electroimán con un núcleo de hierro y bobina de alambre enrollada. (Esteban Moreno & Huete García, 2015)

El campo magnético varía según la orientación debido a la diferencia en el campo magnético terrestre y, puede ser causada por las diferentes naturalezas de las rocas. Son una componente instrumental frecuente de naves espaciales y para la exploración geológica en busca de estructuras anticlinales. (Castañeda García, Henao, & Valencia, 2016)

Al ser el campo magnético una magnitud vectorial, para determinarla se necesitarán los valores de sus componentes en las 3 direcciones X, Y, Z; por lo que en realidad existen 3 dispositivos, uno para cada dirección.

El magnetómetro es una herramienta realmente útil, ya que una de sus aplicaciones es la de implementar la brújula en los smartphones para poder conocer los puntos cardinales.

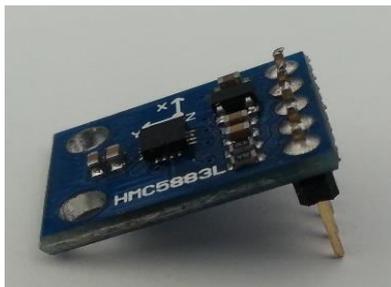


Ilustración 10 MAGNETOMETRO  
SOBRE CHIP. Foto: (Ardumotive,  
2016)



Ilustración 11 BRUJULA.  
Foto: (gabenative, s.f.)



### III. METODOLOGIA DE MEDIDA

La metodología a seguir consiste en conseguir que el teléfono móvil se fije al vehículo de manera que sea solidario a él. De esta forma, se consigue que las aceleraciones y cambios de dirección del vehículo sean recogidos por el móvil de la forma más fiel posible, ya que se quieren conocer las aceleraciones y giros sobre la masa suspendida del vehículo, entre otros. Solo así se conseguirán datos correctos del trayecto que se realice. La mejor solución será el uso de cinta de doble cara para la fijación del teléfono al coche.

Se deberá buscar una zona del guarnecido del coche lo más plana y paralela posible a la calzada, por la que circulará el vehículo en un tramo plano, para poder situar los ejes coordenados del móvil de una manera correcta de manera que uno de los ejes (en este caso el Y) sea paralelo a la dirección de avance del vehículo. De esta forma el eje X será perpendicular al avance del vehículo y el eje Z, perpendicular al plano XY, el cual medirá la aceleración de la gravedad cuando el vehículo se encuentre estacionado en una zona plana. Esto no se cumplirá para cuando se esté conduciendo sobre una superficie con pendiente positiva, donde la  $F_g$  se distribuirá entre los ejes YZ. Se busca, por lo tanto, una posición adecuada de los ejes coordenados para tener una medida inicial de los datos con el vehículo en reposo, en un sitio llano.

Para la toma de datos con un único teléfono móvil, deberá colocarse lo más céntrico posible (entre los dos asientos delanteros) y cercano al tren delantero del coche, para poder medir las variaciones de giro y las aceleraciones y deceleraciones en un punto intermedio del vehículo.

Para la toma de datos con dos teléfonos móviles, lo idóneo será colocarlos lo más cerca posible tanto del tren delantero como del trasero, es decir, un teléfono puede colocarse en la misma posición descrita anteriormente para un único teléfono; y el otro, en el maletero lo más centrado posible. De esta manera se conseguirá medir aceleraciones en uno o ambos ejes, consiguiendo una mayor recogida de datos y como consecuencia, se ampliará el estudio cinemático de forma considerable. Ambos teléfonos deberán ir colocados en la misma dirección, conservando y haciendo coincidir los ejes para cada uno de ellos.

Antes de empezar con la toma de datos, hay que proceder a calibrar el giroscopio del teléfono móvil ya que, si no se calibra, es muy probable que



muestren unos datos de partida erróneos. Lo mismo hay que hacer con el acelerómetro, por la misma razón descrita anteriormente. Este procedimiento se explica en el ANEXO I.

Como medida de seguridad, una vez colocado cada móvil en su respectivo lugar y con el coche encendido, se tomarán datos durante unos 15 segundos con el coche parado y en una zona plana de la calzada. Con estos datos, se realizará el promedio de ellos para luego restarlo a los datos del trayecto. De esta manera se eliminan parcialmente las vibraciones del coche que no interesan para el estudio, y se consigue establecer una posición "0" para estos valores de forma que, a partir de ahora, cuando el coche esté en reposo, los datos medidos serán nulos en todos los ejes tanto para el acelerómetro (excepto en Z por la gravedad) como para el giroscopio (cuando esté en reposo). Así se consiguen unos datos correctos para el estudio que se va a hacer. Claro está, que un valor nulo es prácticamente imposible por la propia resolución y el propio ruido de los sensores. Además, hay que añadir que, aunque se ha tenido en cuenta la fuerza de la gravedad para intentar calcular la altura del cuerpo, en este caso el avión, respecto al suelo, no se ha conseguido sacar nada en claro, ya que el acelerómetro estará influido por cualquier tipo de aceleración, en cualquier dirección, por lo que no hay garantías de que los datos mostrados corresponden únicamente a la gravedad. En un vehículo, es sencillo conocer su altura respecto al nivel del mar ya que existen páginas web, y programas que proporcionan dicha altura. Pero en un avión, donde podría suponerse que midiendo la fuerza de la gravedad se podría llegar a estimar la altura respecto al mar, el empuje de las turbinas del avión interviene en las aceleraciones que los sensores recogen. Pero, aun así, se consiguen unos valores muy cercanos a cero para ambos sensores cuando se calibran, del orden de la décima para el acelerómetro, y de la micra para el giroscopio.

Por lo tanto, ya quedan definidos unos ejes para el vehículo coincidentes con los del teléfono. Sólo queda conocer sobre qué ejes van a actuar cada uno de los posibles movimientos del coche desde el punto de vista cinemático, para una mayor comprensión a la hora de estudiar los datos a posteriori.

### a. SISTEMA DE REFERENCIA

Solo falta conocer la orientación de los teléfonos móviles en las ubicaciones ya descritas, como se muestran en las imágenes 12 y 13. Se obtiene un sistema de referencia global del coche, ya que los ejes de ambos móviles coinciden en las 3 coordenadas y, además, tienen el mismo sentido. Para las pruebas realizadas en vehículo, se ha utilizado un Volkswagen Golf, turismo del segmento C; y un Jeep Grand Cherokee, todoterreno del segmento F.

Para cada uno de los vehículos se mostrará cómo se han colocado los teléfonos dentro del habitáculo, cómo se han posicionado en cada vehículo y los ejes correspondientes para cada uno de ellos. Así se establece un sistema de referencia global para el vehículo, donde sus ejes coincidan con los de ambos móviles.

#### i. VEHICULO SEGMENTO C (VW GOLF)



Ilustración 12 SISTEMA DE REFERENCIA DELANTERO  
SENTIDOS POSITIVOS TURISMO

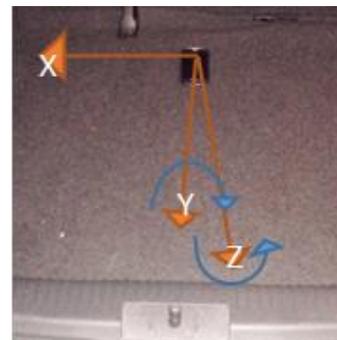


Ilustración 13 SISTEMA DE  
REFERENCIA TRASERO SENTIDOS  
POSITIVOS TURISMO

Las ilustraciones 12 y 13 muestran la posición de los móviles para la toma de datos. Como ya se comentó, se buscará una zona plana del guarnecido del vehículo, y lo más cercano posible tanto al tren delantero como al trasero para el teléfono móvil anterior y posterior, respectivamente. Sin embargo, la posición del móvil en la parte delantera se encuentra muy alejada respecto al tren delantero en este caso, pero resultó ser la mejor ubicación por ser una superficie plana. Aun así, no se han apreciado diferencias a destacar respecto al teléfono móvil trasero en cuanto a la magnitud de los datos. Con esto se quiere decir que importa más una buena ubicación, de manera que se encuentre lo más cercano posible al eje de

simetría del vehículo (y, por supuesto, una buena horizontalidad de la superficie en cuestión); a que el teléfono móvil se encuentre lo más cerca posible del tren delantero.



Ilustración 14 SISTEMA REFERENCIA VEHICULO (VW GOLF) SENTIDOS POSITIVOS

Ya conociendo el sistema de ejes, cada una de los movimientos del coche que actuará a lo largo y en torno a cada uno de ellos serán:

- Aceleración (+ hacia atrás) y deceleración (- hacia adelante): sobre el eje Y
- Aceleración centrípeta (curva a izquierdas (-)): sobre el eje X
- Aceleración vertical (hacia abajo (+)): sobre el eje Z. En reposo medirá  $F_{\text{gravedad}}$ .
- Cabeceo: alrededor del eje X (sentido contrario regla mano derecha)
- Balanceo: alrededor del eje Y (sentido contrario regla mano derecha)



Ilustración 15 CABECEO. SE PRODUCE ALREDEDOR DEL EJE X

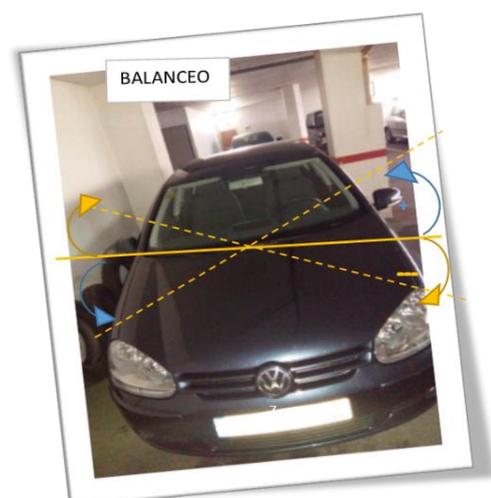


Ilustración 16 BALANCEO. SE PRODUCE ALREDEDOR DEL EJE Y

- Cambio de dirección o giro: alrededor del eje Z (sentido contrario regla mano derecha)

Las aceleraciones sobre los 3 ejes serán recogidas por el acelerómetro en  $m/s^2$ , mientras que los giros alrededor de los 3 ejes serán recogidos por el giroscopio en  $rad/s$ .

Para diferenciar un móvil de otro, al móvil delantero se le llamara “**D**” y al trasero “**T**”. Para diferenciar a los sensores, al acelerómetro se le llamara “**A**” y al giroscopio “**G**”. De manera que la aceleración lineal en Y del móvil delantero quedaría referenciada como “**YAD**” y la rotación sobre el eje X como “**XGD**”

## ii. VEHICULO TODOTERRENO SEGMENTO F (JEEP GRAND CHEROKEE)

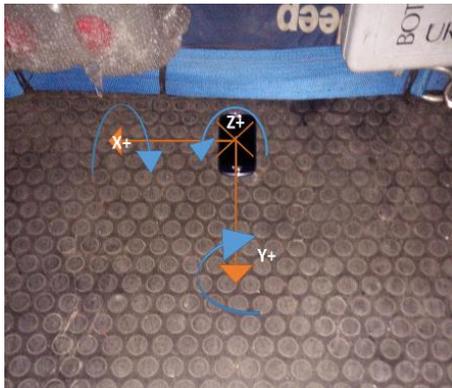


Ilustración 17 SENTIDOS POSITIVOS  
DISPOSITIVO TRASERO VEHICULO TT



Ilustración 18 SENTIDOS POSITIVOS  
DISPOSITIVO DELANTERO VEHICULO

Las ilustraciones 17 y 18 muestran la posición y orientación real de los teléfonos móviles en el vehículo todoterreno, con sus respectivos ejes. Como puede observarse, el móvil trasero ubicado en el maletero del coche (ilustración 17), tiene objetos a su alrededor. Estos objetos se quitaron para poder realizar la prueba, de manera que en el maletero del vehículo únicamente se encontraba el teléfono móvil lo más cercano a los asientos traseros, que es donde se encuentra el tren trasero en este coche, aparte de evitar posibles colisiones con el móvil con los objetos de alrededor. Cabe mencionar también, que se intentó colocar el móvil lo más centrado posible, y en línea con el móvil en la parte delantera. El móvil delantero (ilustración 18) está ubicado en una zona plana del guarnecido del coche con una ventaja, que se encuentra en una zona ubicada por delante del conductor, aunque a una altura un poco más elevada. Con esto se quiere decir que, nuevamente, el teléfono móvil delantero se encuentra a la distancia mínima

posible al tren delantero del coche. Esta distancia es, aproximadamente, de unos 50 cm.

Las ilustraciones 20 y 21, muestran el sistema de referencia del coche, conjunción de los sistemas de referencia de los dos teléfonos móviles.

Una vez conocido el sistema de referencia y el sentido positivo sobre, y alrededor de cada uno de los ejes, se procederá a realizar trayectos para comenzar con el estudio.



Ilustración 19 SISTEMA DE REFERENCIA Y SENTIDOS POSITIVOS VEHICULO TT



Ilustración 20 SISTEMA DE REFERENCIA VEHICULO TT

#### IV. ESTUDIO CINEMATICO EN VEHICULOS

Llegados a este punto, interesa saber qué tipo de datos se esperan obtener tras haber realizado una prueba para poder entender qué se está mostrando en cada momento. Sería lógico pensar que, si se acelera con el vehículo, el acelerómetro marcará valores positivos en el eje Y ya que está midiendo sobre la masa suspendida del vehículo y, la reacción al movimiento que provoca la inercia, es contraria al sentido de avance. Mientras, las aceleraciones en X deberían ser prácticamente nulas y; en Z, si se encontrase el vehículo en una explanada llana, marcará fundamentalmente la gravedad y otras aceleraciones verticales que pudiera haber durante el trayecto, como un bache o el movimiento del propio vehículo. En una frenada se esperan los mismos resultados, pero con valores negativos en el eje Y. En el centro de una curva, se mostrarán valores negativos en el eje X para una curva a izquierdas que equivale a la aceleración centrípeta del vehículo en curva. Mientras que mostrará valores positivos en X para una curva a derechas. En el giroscopio, se esperan valores positivos en el giro sobre el eje X durante el cabeceo del coche, cuando se acelera; y negativos cuando se frena. Valores positivos alrededor del eje Y indican el balanceo del coche para una curva

a izquierdas, y negativos para una curva a derechas. Mientras que valores positivos alrededor del eje Z indicarán explícitamente cambios de dirección, es decir, giros positivos en el vehículo cuando se toma una curva a izquierdas, y negativos para una curva a derechas

#### a. TRAYECTO DE REFERENCIA



Ilustración 21 TRAYECTO COMPLETO REALIZADO

Las pruebas se han hecho en un recinto abierto, aprovechando que no había vehículos en la zona. Se trata de un aparcamiento cercano a un centro comercial, en Cáceres. La zona es lo suficientemente llana como para que la gravedad se distribuya por el eje Z, exclusivamente. Por lo que se restará el valor de la gravedad medido durante el proceso de calibración previo. La trayectoria realizada se marca en rojo, y el sentido recorrido lo indica la flecha azul. Los ejes en naranja corresponden al vehículo (representado mediante un rectángulo gris), las flechas azules indican el sentido del recorrido y, las marcas amarillas, son los tramos a analizar del recorrido realizado (I. ACCELERACIÓN, II. CURVA A IZQUIERDAS, III. CURVA A DERECHAS y IV. DECELERACIÓN). Las pruebas se han realizado en una sola tanda, de manera que el tiempo de realización de cada una de ellas se ha obtenido a posteriori, mediante el tratamiento de datos a partir de un mapa, analizando cada uno de los puntos coordenados del GPS. Las aceleraciones y velocidades se han analizado a partir del mapa con los datos obtenidos de los dos teléfonos móviles, como se muestra a continuación.

##### i. ACCELERACION (MOVIMIENTO RECTILINEO ACELERADO)

Se produce en el primer tramo recto del trayecto en un intervalo de tiempo comprendido desde  $t=60$  s hasta  $t=80$  s. Se ha intentado realizar una aceleración

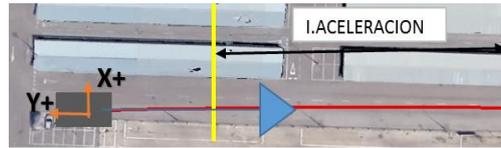


Ilustración 22 TRAYECTO DE ACELERACION

progresiva, sin cambios bruscos para suavizar en la medida de lo posible los datos a analizar. Las condiciones del asfalto no eran las óptimas, pero si son lo suficientemente buenas como para tratar los datos. También hay que añadir el propio ruido del sensor, aunque analizando a grandes rasgos los datos, no interfieren en las medidas tomadas. Los datos a analizar serán las aceleraciones lineales (en Y), el cabeceo del coche (tanto aceleración en Z como velocidad angular en torno a X).

Gráfico 1: Se aprecia cómo se parte del reposo (en los primeros segundos, del 60 al 64) para después acelerar, incrementándose los valores hacia zonas positivas tanto para el acelerómetro como para el giroscopio. La reacción a la

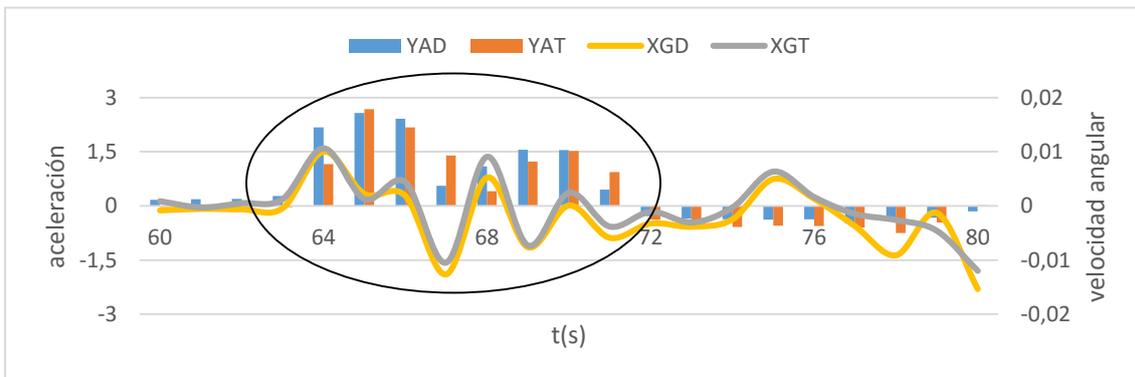


Gráfico 1 ACELERACION EN EL EJE Y ( $m/s^2$ ) Y GIRO ALREDEDOR DE X ( $rad/s$ ). DISPOSITIVO ANTERIOR Y POSTERIOR

aceleración es contraria al avance del vehículo, ya que lo que se mide es la masa suspendida, provocando que la parte delantera del coche se levante y la trasera se hunda, ambas con un valor positivo en la rotación como muestra la gráfica. Se puede incluso, diferenciar el cambio de marcha en el segundo 67, como los valores de YA y XG disminuyen (la aceleración decrece y, por lo tanto, se produce el caso contrario a la rotación descrita anteriormente). Desde el segundo 72 al 80 se deja de acelerar y el coche se mueve por su propio impulso por lo que XG tiende a cero

para luego tomar valores negativos, ya que se empieza a frenar para tomar una curva que será analizada más adelante.

Gráfico 2: La velocidad se encuentra dividida por un factor de escala para

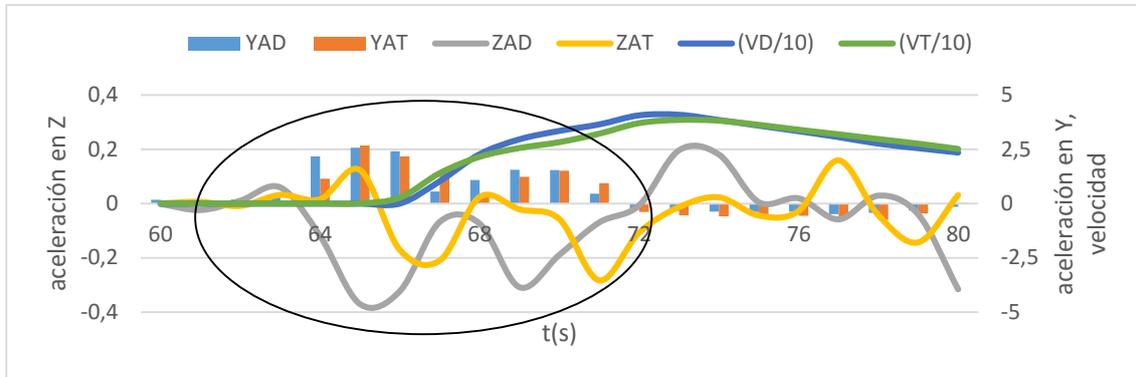


Gráfico 2 VELOCIDAD (km/h x 10<sup>-1</sup>) Y ACELERACION EN Y (m/s<sup>2</sup>L) Y ACELERACION EN Z. DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

mejorar la visualización de los datos sobre el gráfico. Al acelerar desde 0 km/h, se distingue muy bien el estado de reposo del coche. Viendo los valores de ZAD (gris) y ZAT (amarillo), se consigue observar el vaivén provocado por dicha aceleración desde el reposo en los dos móviles, con valores negativos de ZAD que corresponden al ascenso del tren delantero y valores positivos de ZAT que corresponden con el descenso de la parte trasera del coche. Este mismo razonamiento se aplica más adelante, cuando ZAD y ZAT se cruzan en el segundo 67 y en el 69. Este cambio de pendiente viene dado por el cambio de marcha (de 1ª a 2ª) donde por un momento se deja de acelerar (véase YAD e YAT, como disminuyen en el segundo 67). A partir del segundo 73, la mayoría de los valores en ZA son positivos y relativamente constantes, aunque oscilen. Esto se debe a que se deja de acelerar y se avanza con la propia inercia del impulso anterior (se

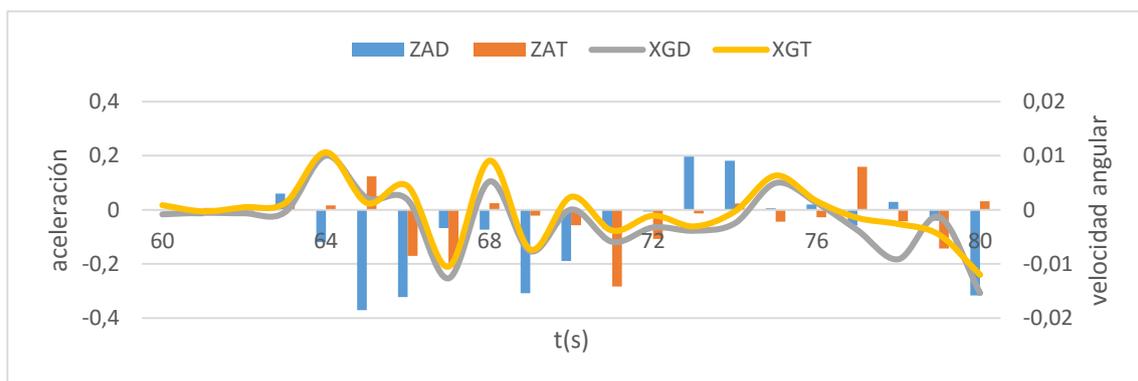


Gráfico 3 GIRO EN TORNO A X (rad/s) Y ACELERACION EN Z (CABECEO) (m/s<sup>2</sup>). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

puede ver como el vehículo va perdiendo velocidad y también aceleración debido a la rodadura).

Gráfico 3: Lo primero que hace el vehículo al acelerar, es desplazar su peso hacia atrás con la misma velocidad angular para los dos móviles, mientras en el eje Z se aceleran con valores claramente negativos en la parte delantera, debido a esa velocidad angular, y ligeramente positivos en la parte trasera (del segundo 64 al 67). Justo después, el vehículo empieza a moverse y tiende a recuperar su altura inicial (tendencia negativa en XG) para luego cambiar de marcha y repetirse lo comentado anteriormente. A partir del segundo 72, se suavizan las aceleraciones (ZAD y ZAT) y decrece la velocidad angular que, como ya se ha comentado, es debido a que se deja de acelerar el vehículo para desplazarse con su propia inercia, provocando un movimiento oscilatorio durante un breve periodo de tiempo. Los puntos del final (a partir del 77) forman parte del análisis de curva a izquierdas posterior.

ii. CURVA A IZQUIERDAS

Se produce en el intervalo comprendido entre el segundo 80 y el 84. Esta curva se intenta tomar a velocidad constante y con una conducción animada para obtener una recogida de datos más clara.



Ilustración 23 CURVA A IZQUIERDAS

Se sale del tramo de aceleración con una velocidad de 50 km/h para entrar a tomar la curva por debajo de los 30 km/h y, se mantiene el giro del volante para realizar una

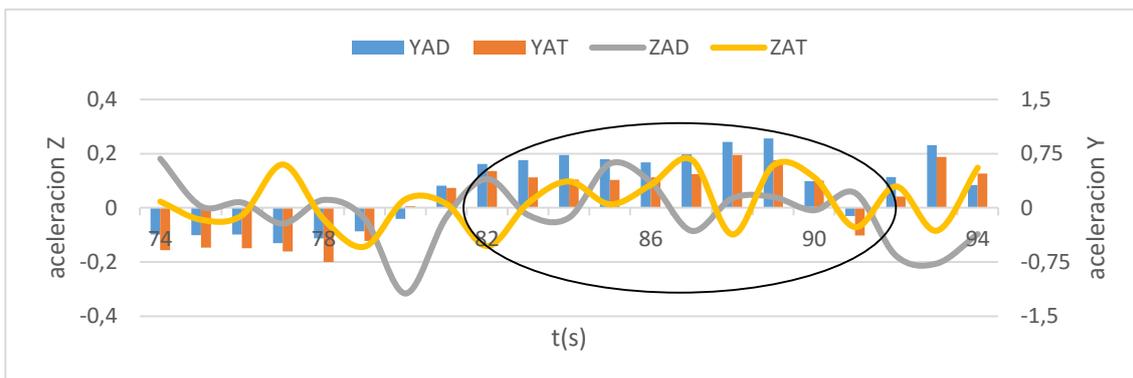


Gráfico 4 ACCELERACION EN Y (m/s<sup>2</sup>) Y ACCELERACION EN Z DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

trayectoria suave. La salida de la curva se hace a 30 km/h, invariable durante la curva (gráfico 6).

Gráfico 4: Se comparan la aceleración rectilínea del vehículo (YA) junto con la aceleración rectilínea (ZA). Los valores de YA son negativos debido a la frenada previa a la curva, esto conlleva a unos valores muy cercanos a 0 en ZA ya que la frenada se hizo de forma suave (poco cabeceo), por lo que apenas hay variación en Z en ambos móviles. En el centro de la curva (80 s) se acelera, desplazando la masa del vehículo de adelante hacia atrás (valores positivos en ZAT y negativos en ZAD).

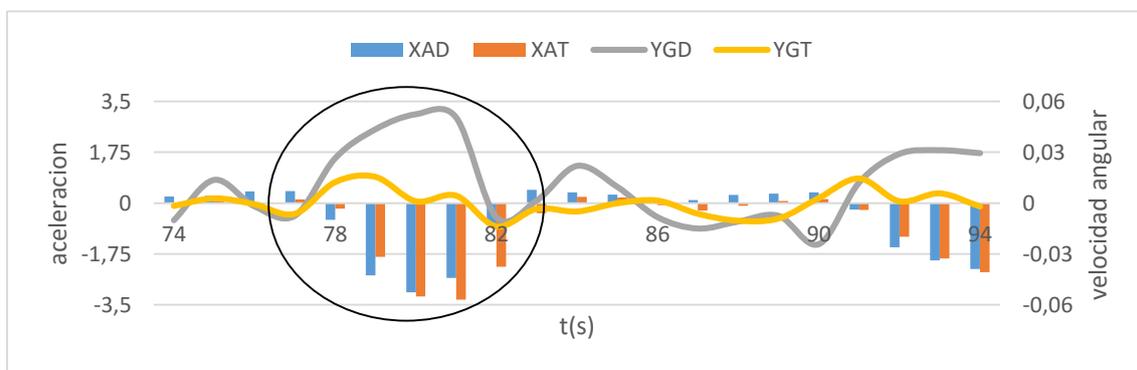


Gráfico 5 ACELERACION EN X ( $m/s^2$ ) Y GIRO EN TORNO A Y ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráfico 5: Se analiza el propio balanceo del coche y se compara con la aceleración centrípeta en curva. Claramente se puede definir el inicio y final de la curva, observando los valores negativos en XA, al que le acompañan valores positivos en YG como consecuencia del desplazamiento de peso desde el interior hacia el exterior de la curva. Se observa un máximo tanto para YG como para XA en el segundo 80, donde la aceleración lateral coincide con el máximo balanceo del coche más claro para el dispositivo delantero que para el trasero, (síntoma de que se está tomando la curva y de que se encuentra en el centro de ésta) para luego salir de la curva estabilizándose prácticamente en 0 tanto XA como YG durante casi 8 segundos. Los datos a partir del segundo 90 corresponden a otra curva a izquierdas que no se analiza, ya que los datos son muy parecidos para las dos curvas con un orden de magnitud muy similar.

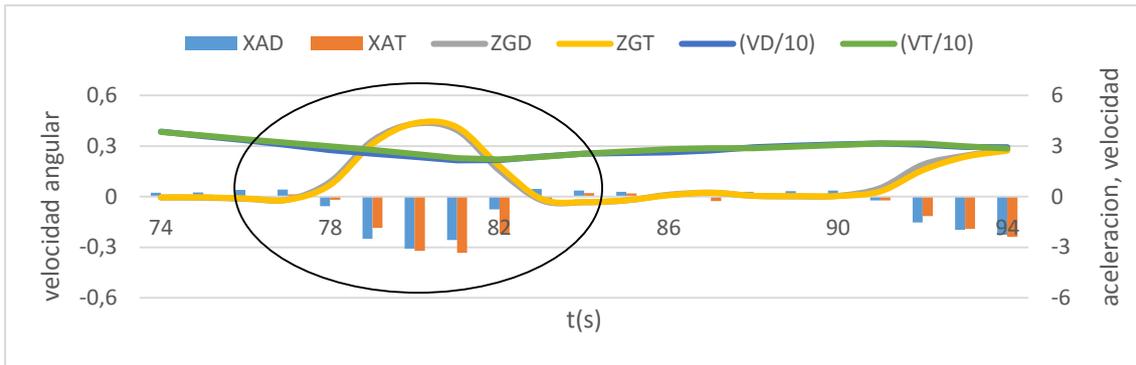


Gráfico 6 ACELERACION EN X ( $m/s^2$ ) Y V ( $km/h \times 10^{-1}$ ) Y GIRO EN TORNO A Z ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráfico 6: Se quiere demostrar el giro real del coche (el giro que realiza al tomar una curva), representado mediante ZG. Los datos de XA que se acaban de analizar sirven para demostrar que al propio giro del coche (ZG positivo) le acompaña una aceleración centrípeta debida a la propia curva que se está tomando para realizar el giro. La representación de la velocidad en  $km/h \times 10^{-1}$  es puramente indicativa, pero muestra cómo conforme se toma la curva se va perdiendo velocidad, coincidiendo el punto máximo de ZG con el mínimo de la velocidad, para luego salir de la curva (ya no hay giro, ZGD y ZGT son nulos) y empezar a acelerar.

### iii. CURVA A DERECHAS

Como la ilustración 24 refleja, se trata de una curva muy cerrada describiendo una trayectoria casi circular, con dos giros a derechas muy pronunciados. Se produce entre el segundo 100 y el 113.



Ilustración 24 CURVA A DERECHAS

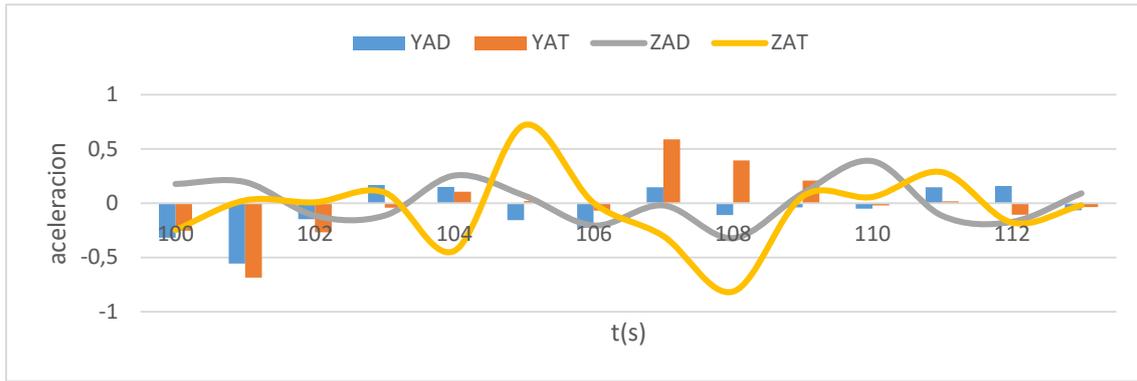


Gráfico 7 ACCELERACIONES EN Y/Z ( $m/s^2$ ) DISPOSITIVOS. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráfico 7: Ambas aceleraciones están representadas en el mismo eje. Con esta gráfica, se quiere hacer ver nuevamente como se recogen los datos de la frenada, previa a la curva, y la aceleración correspondiente más adelante. Representando ZA se quiere hacer ver el desplazamiento de pesos tanto al frenar como al tomar la curva.

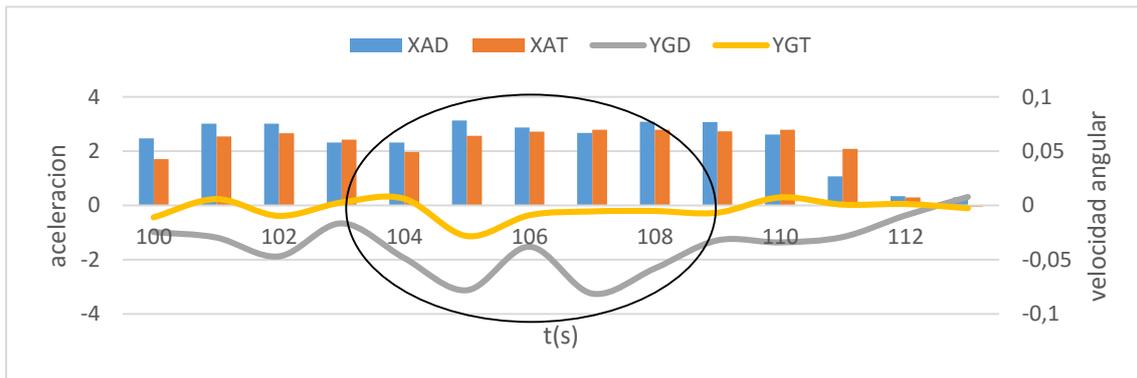


Gráfico 8 ACCELERACION EN X ( $m/s^2$ ) Y GIRO EN TORNO A Y ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráfico 8: Al igual que para la curva a izquierdas, se han representado la aceleración centrípeta y la velocidad angular de balanceo en curva. Esta gráfica muestra el balanceo puro, con los valores de XA en el eje izquierdo. Se trata de una curva muy cerrada (casi una circunferencia), por lo que los valores de XA se mantienen en el tiempo, en cierto modo constantes, tanto para XAD como para XAT. Dentro del círculo dibujado, la velocidad angular del móvil delantero (YGD) muestra un par de picos negativos, con un cambio de sentido de estos valores entre medias, a partir del segundo 104. Parece la consecución de dos curvas a derechas, donde los picos negativos muestran el desplazamiento de pesos en esos puntos de una manera más brusca en comparación al resto.

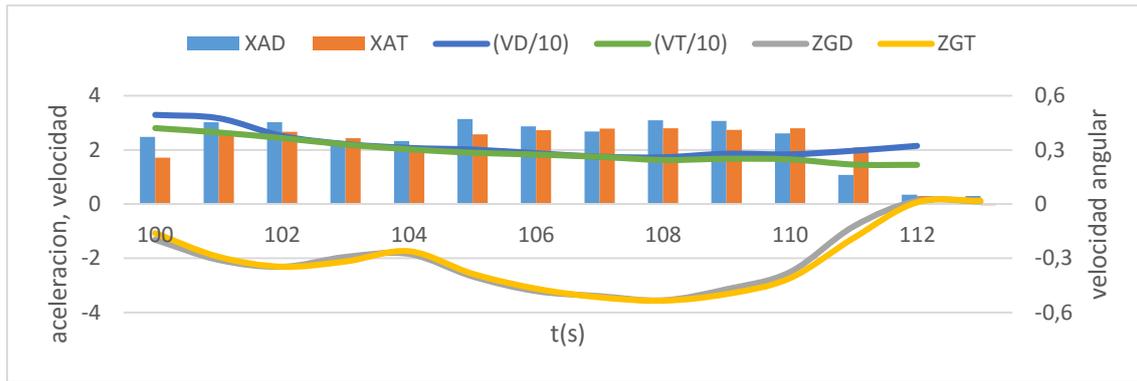


Gráfico 9 ACCELERACION EN X/ Y ( $m/s^2$ ), VELOCIDAD ( $km/h \times 10^{-1}$ ) Y GIRO EN TORNO A Z ( $rad/s$ ) DISPOSITIVOS ANTERIOR Y POSTERIOR

A priori, en el Gráfico 9 se ven esos dos giros que se habían comentado en la gráfica anterior. Es a partir del segundo 104 donde se produce ese segundo giro más acentuado y prolongado que el anterior. A estos datos le acompañan los valores de XA donde, a partir de ese punto, incrementan su valor positivamente como consecuencia de una mayor brusquedad a la hora de tomar la curva, si se compara con el giro anterior. Los valores de XA entre los distintos giros no son muy diferentes, ya que estos dos giros forman una única curva con una trayectoria muy cerrada, por lo que tienen que ser muy parecidos entre sí, si se toman a una velocidad lo más constante posible, como se ha intentado en esta prueba.

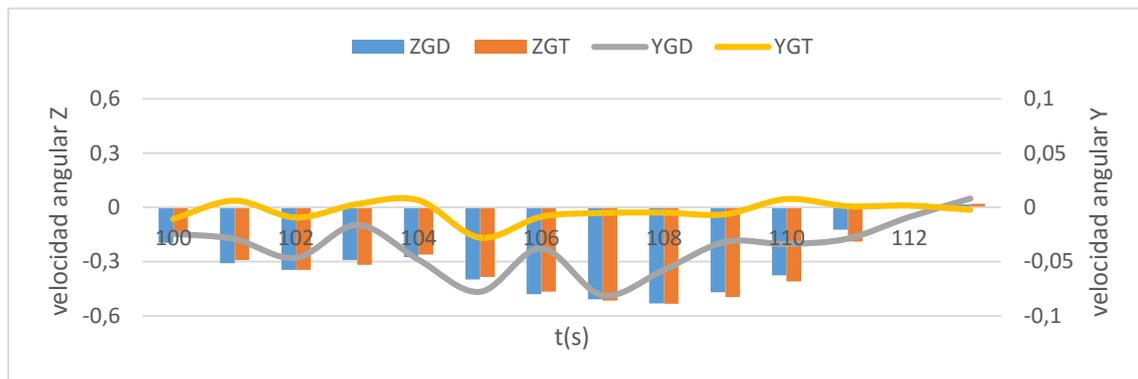


Gráfico 10 GIRO EN TORNO A Y ( $rad/s$ ) Y EN TORNO A Z ( $rad/s$ ) DISPOSITIVOS. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráfico 10: representa el balanceo del coche (YG) y el propio giro del coche al tomar la curva (ZG). Se aprecia entre el segundo 104 y 106 ese cambio de giro (giro mucho más cerrado que el primero, ya que toma valores negativos mayores). Conforme ZG se estabiliza a valores nulos (se deja de girar) YG también lo hará como consecuencia de la ausencia de XA (gráfico 18). Destaca YGD con valores muchos más grandes que YGT; se podría decir que al ser un vehículo con motor

delantero el utilizado para estas pruebas, el reparto de pesos del coche esta desplazado hacia el tren delantero, por lo que ese balanceo se aprecia más en el tren delantero que en el trasero. Esto también es consecuencia del carácter subvirador del coche ya que necesita un giro mayor en curva y, como consecuencia un desplazamiento de pesos mayor si se realiza a velocidad constante, para no salirse de la trayectoria.

iv. DECELERACION

Se trata de una frenada en línea recta. Segundos más tarde de salir de la curva a derechas analizada anteriormente, se frena con brusquedad para exagerar las medidas tomadas.



Ilustración 25 DECELERACION

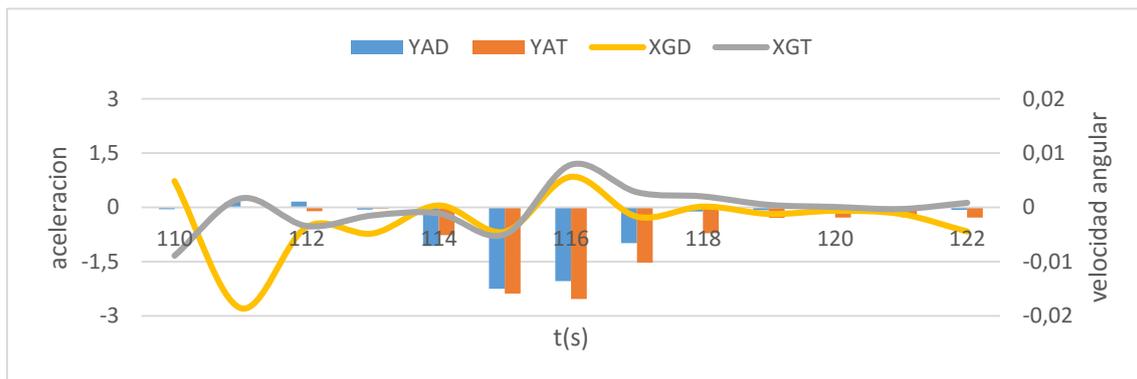


Gráfico 11 ACELERACION EN Y ( $m/s^2$ ) Y GIRO EN TORNO A X ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Al comienzo del gráfico 11, se aprecia variación en XG que puede deberse a la salida de la curva a derechas, o al simple estado de la calzada ya que toman en un mismo punto distinto signo los valores de XG; esto solo puede deberse a ruido o al estado irregular de la calzada. La frenada comienza en el segundo 114 tomando valores negativos cada vez más grande para YA. En el segundo 115 el cabeceo adquiere un sentido negativo como consecuencia de la inercia de la frenada (desplazamiento de pesos de atrás hacia adelante) para luego cambiar la pendiente hacia valores positivos. Esto refleja que el coche ya se ha parado (116 s), correspondiente al punto de YA máximo (negativo) y que el coche está recuperando su altura inicial.

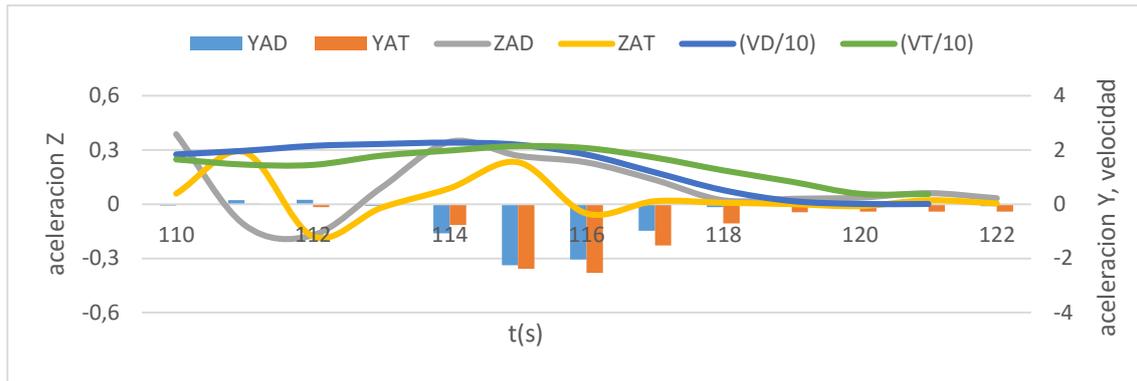


Gráfico 12 VELOCIDAD ( $\text{km/h} \times 10^{-1}$ ), ACELERACION EN Y ( $\text{m/s}^2$ ) Y ACELERACION EN Z DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Sabiendo que, en el gráfico12, la frenada comienza en el segundo 114, los valores de ZA justo antes de ese punto, muestran el desplazamiento de pesos (mayor sobre el delantero que sobre el trasero) que seguirán tendiendo a valores positivos como consecuencia de la frenada, ya que la suspensión se comprime al frenar. A partir del segundo 117, la suspensión del vehículo deja de estar comprimida y empieza a recuperar su altura inicial, es decir, se crea un efecto rebote en el vehículo para luego tender a valores nulos, síntoma de que el vehículo ya está parado y ha recuperado su altura inicial.

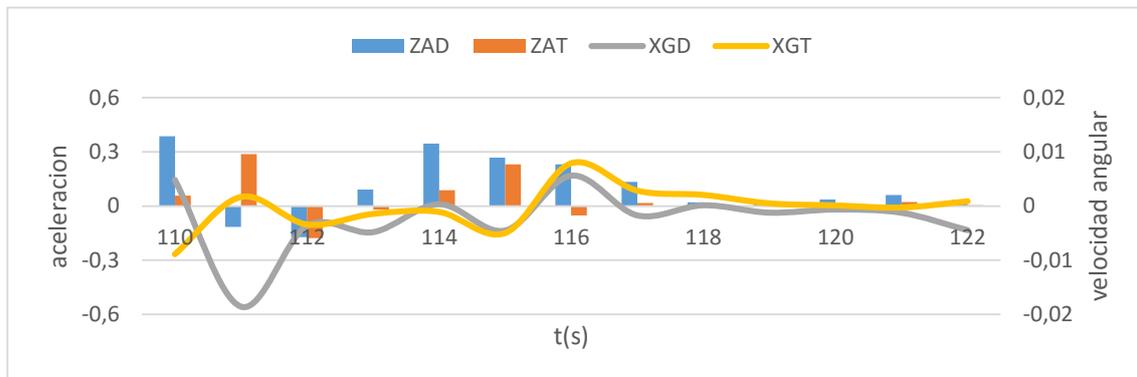


Gráfico 13 GIRO EN TORNO A Z ( $\text{rad/s}$ ) Y ACELERACION EN Z (CABECEO) ( $\text{m/s}^2$ ) DISPOSITIVOS ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráfico 13: Basándonos en lo comentado en la gráfico 12, el punto de frenada máxima (a partir de  $t= 114$  s) corresponde con la compresión de la parte delantera y trasera del coche, siendo mayor esta aceleración ZA en la delantera que en la trasera. Desde el segundo 114 al 116, los valores de XG se encuentran por debajo del valor 0, es decir, tienden negativamente como consecuencia de la compresión explicada anteriormente, para luego el coche recuperar su altura inicial como se observa a partir del segundo 116 con valores positivos en la velocidad angular de cabeceo. Una vez pasado ese punto, el vehículo está parado y las

medidas de las aceleraciones a partir de ese momento, se mantienen estables en torno a 0

### b. TRAYECTO URBANO

En este apartado se analizará un trayecto más largo, para poder destacar los puntos máximos y mínimos de cada una de las aceleraciones y velocidades angulares que se obtengan durante el recorrido, consecuencia de la cinemática del vehículo en ese instante. Se trata de un recorrido de casi 7 km, con un tramo de ciudad y otro de montaña. De esta manera, lo que se realizará en este apartado, es el análisis general de los movimientos y giros de un vehículo en ciudad, al cruzar una rotonda, o al pararse en un semáforo. Se identificarán aquellos puntos a destacar por tener un orden de magnitud distinto del resto, ya que serán más fáciles de comprender.

Una vez entendido el sentido positivo de los ejes que componen el sistema de referencia de ambos teléfonos móviles y, ya entendiendo los posibles giros, vaivenes y desplazamientos de peso según en qué condiciones se encuentre el vehículo, se analizará el trayecto completo de manera visual y, se utilizará una de las tantas opciones que tiene Microsoft Excel para el tratamiento de datos. Se denomina “Mapas 3D”.



Ilustración 26 VISTA AEREA DEL RECORRIDO REALIZADO DURANTE LA PRUEBA

## i. TRAYECTO CIUDAD CON TURISMO SEGMENTO C

El trayecto comienza en el mismo lugar donde se realizaron las pruebas para conocer los movimientos más destacados del coche y, finaliza en la cima de una montaña en torno a 560 m sobre el nivel del mar.

Para este análisis general de todos los puntos y, usando el programa anteriormente mencionado, se buscarán los datos más sencillos de analizar para comenzar. Estos datos son, fundamentalmente, la velocidad del vehículo y la aceleración lineal en Y. Es decir, se busca el movimiento rectilíneo acelerado del vehículo que provoca un incremento de la velocidad en éste. Otro dato bastante claro de observar es el giro alrededor de Z (ZG), donde se pueden destacar visualmente las curvas de manera unívoca. El trayecto contiene una diferencia de altitud lo bastante elevada en un tramo determinado, como para tenerlo en cuenta en los puntos que se consideren oportunos.



Ilustración 27 TRAYECTO RECORRIDO CON PUNTOS A DESTACAR.; ACCELERACION LINEAL EN Y (m/s<sup>2</sup>)

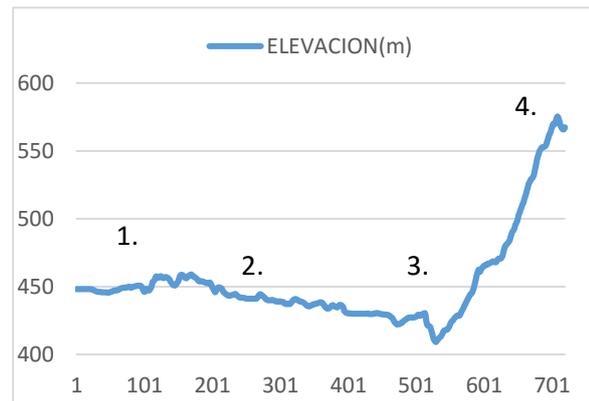


Gráfico 14 PERFIL DEL RECORRIDO

La ilustración 27 muestra el trayecto recorrido y las aceleraciones en el eje Y, mientras que el gráfico 14 muestra la elevación, con los puntos de la ilustración 27 referenciados. Visualizando ambos gráficos, se observa que los valores más altos de la aceleración a lo largo del eje Y, se producen entre el tramo 3 y 4. Esto se debe principalmente a la pendiente en ese tramo ya que, como se verá más adelante, la velocidad a lo largo de la subida a la montaña se ha mantenido constante.

Destacan 4 puntos en los datos de la aceleración lineal, en la ilustración 27. Los últimos, 3 y 4, tienen relación con la diferencia de altitud como se puede

comprobar en el gráfico 14. El punto 1 corresponde a la aceleración en una rotonda, al salir de ella. El punto 2 corresponde a un semáforo que, a simple vista se puede deducir; ya que aparecen valores negativos muy fuertes y más adelante, transcurrido un tiempo, valores positivos. El punto 3 es, nuevamente, un semáforo (aunque en la ilustración 17 no se aprecie) con un giro de  $90^\circ$  a la derecha y con pendiente positiva, de ahí esos valores positivos en Y. El punto 4 hace referencia a dos curvas, una a izquierdas y otra a derechas con una pendiente más elevada que la del punto 3. Entre el punto 3 y el 4 se encuentra una subida de montaña.

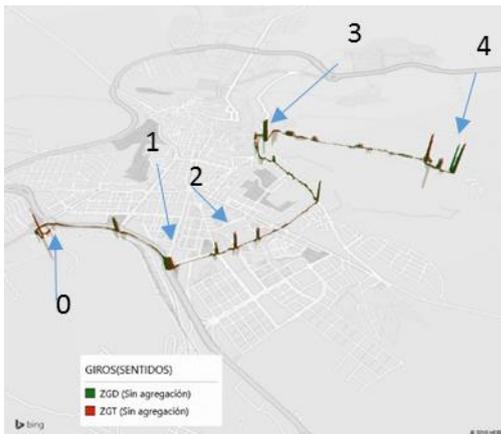


Ilustración 28 GIROS. ZGD (VERDE); ZGT (ROJO)

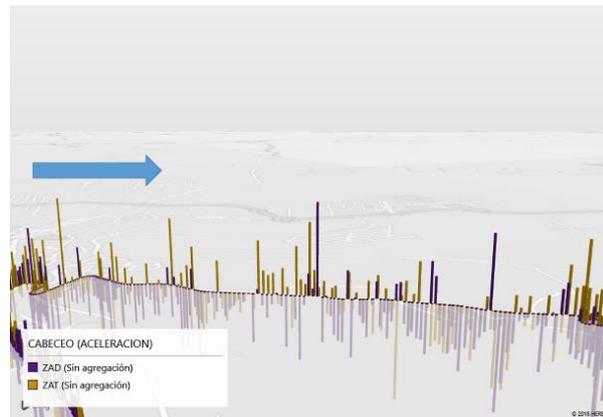


Ilustración 29 CABECEO. ZAD (MORADO); ZAT (OCRE)

La ilustración 28 muestra los valores del giro alrededor de Z (ZG). De esta manera solo aparecerán curvas que se hayan realizado a lo largo del trayecto, tanto rotondas como giros en cruces y curvas cerradas. El giro para ambos móviles es muy parecido, como era de esperar, aunque hay excepciones donde el giro del dispositivo delantero se adelanta al del trasero.

Los valores máximos aparentan ser los puntos 3 y 4. Proviene de curvas, una de  $90$  grados ya comentada (punto 3), y otras 2 muy cerradas (punto 4). Los puntos 1 en ambas imágenes (ilustraciones 28 y 29), corresponden a dos rotondas con valores semejantes en cuanto al sentido positivo o negativo de éstos, a simple vista. El punto 0 es el comienzo del trayecto con una incorporación a una rotonda.

Una vez analizados éstos datos y, teniendo en cuenta la elevación, resulta interesante analizar el cabeceo del coche (ilustración 29) a lo largo del eje vertical Z (ZAD, morado y ZAT, ocre) donde tendrían que verse velocidades angulares positivas en torno a X (XG) en el tramo comprendido entre los puntos 3 y 4 como consecuencia de la pendiente, reflejado también en YA.

Examinando los valores de ZG se pueden intuir los sentidos de XA (positivo en curvas a derechas y negativo a izquierdas). Con el mismo razonamiento, se

concluye que el balanceo (YG) del coche también se verá reflejado en estos datos, por lo que no cabe duda que las curvas a analizar son aquellas con valores máximos de aceleración a lo largo del eje X y velocidades angulares alrededor de Z/ Y.

Aprovechando la elevación en el tramo 3-4, resulta interesante comprobar si la aceleración vertical en los dos móviles (ZA) sigue el mismo patrón que el giro en torno a X (XG). Para valores XG positivos (desplazamiento de pesos desde delante hacia atrás) como en este tramo, los valores de ZAD deberían ser en mayor medida negativos y los de ZAT positivos, ya que la suspensión delantera se estira y la trasera se comprime.

Observando la imagen 29 se puede concluir que la mayoría de los valores negativos corresponden a ZAD (morado) como se había predicho. Pero en ZAT (ocre) resulta un poco más complicado sacar conclusiones tan claras como en ZAD. Básicamente, la mayoría de los valores positivos corresponden a ZAT pero, la poca densidad de información en los datos (los valores de ZAT son más pequeños que los de ZAD) no permite seguir analizándolo.

De momento, solo se analizará la subida. La bajada se estudiará más adelante ya que se realizaron otro tipo de pruebas que pertenecen a esta sección, ya que se realizaron ambas en el mismo trayecto recorrido, aunque se hayan separado para analizar independientemente.

A modo de resumen, los valores a analizar de manera conjunta serán:

- XG (rad/s), ZA (m/s<sup>2</sup>) como consecuencia del cabeceo del coche
- YG (rad/s), XA (m/s<sup>2</sup>) como consecuencia del balanceo del coche
- ZG (rad/s), XA (m/s<sup>2</sup>) consecuencia del cambio de dirección o giro
- V, XG, YA relacionando la velocidad y aceleración lineal con el cabeceo

(para puntos de YA máximos)

- ZA (m/s<sup>2</sup>), YA (m/s<sup>2</sup>), XG (rad/s) y V/10 (km/h x 10<sup>-1</sup>) para el tramo 3-

4.

## ii. TRAYECTO CIUDAD CON VEHÍCULO SEGMENTO F

En este apartado se analizará un trayecto de ciudad recorrido con un vehículo todoterreno, el cual es mucho más alto que el coche anterior. El trayecto contiene en su último tramo, la misma subida de montaña realizada con el otro

vehículo. Por lo que, aprovechando que se tiene información de un tramo de calzada en cada uno de los vehículos, será interesante buscar diferencias y similitudes en ambos. La mayor altura respecto al suelo del todoterreno se tiene que ver reflejada en los datos ya que, un coche con una altura mayor, tendrá unas reacciones debidas a la inercia en curva mayores, acelerando y frenando. También, se comentará a continuación lo sucedido con el GPS de los dos teléfonos móviles durante la grabación del trayecto.

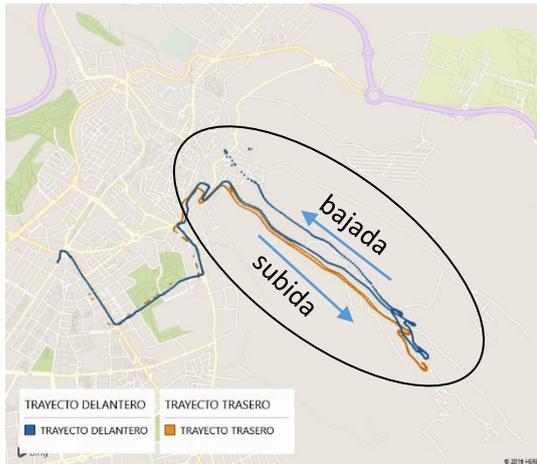


Ilustración 30 TRAYECTOS REGISTRADOS POR LOS DISPOSITIVOS. ANTERIOR Y POSTERIOR

Una vez todo listo para analizar, surgió un problema con el tratamiento de datos para este trayecto. Hubo un problema con el GPS de ambos teléfonos móviles, no se sabe si fue un problema de localización, o un problema de almacenamiento en el buffer del propio móvil. Esto no es frecuente que suceda ya que, prueba de ello es el trayecto anteriormente analizado, en el que se hizo uso de los dos mismos

teléfonos móviles que se han usado para esta prueba.

La ilustración 30 muestra el trayecto de ambos teléfonos. El trayecto naranja hace referencia al trasero, y el azul al delantero. Las flechas indican el sentido ascendente y descendente del tramo.

La mayor diferencia en cuanto al trayecto grabado por ambos dispositivos móviles se aprecia en el tramo de la montaña. Como se hizo tanto la subida como la bajada, aparecen datos del recorrido duplicados correspondientes a la subida y a la bajada. Pero eso tiene una muy fácil solución, que no es más que seguir el tiempo (o los km) en la duración de la prueba para saber qué datos pertenecen a qué trayecto. El problema a resolver viene dado por esa dispersión de los datos del GPS y, si el problema ha sido del almacenamiento del buffer del móvil, podría haber la posibilidad de que esto mismo haya pasado en los datos del acelerómetro y del giroscopio, y estén mostrando datos erróneos o repetitivos durante varios segundos (los datos repetitivos durante varios segundos son síntoma de que el procesador del móvil tarda menos en leer los datos que el propio buffer en actualizar los mismos, de manera que hasta que el buffer no actualiza, el



procesador sigue arrojando los mismos resultados para segundos posteriores produciéndose así una repetitividad en los datos

Tras un profundo análisis de los datos de todo el trayecto, se ha descubierto que hay una diferencia en el tiempo de grabación de los dos teléfonos móviles. El teléfono delantero ha grabado 1001 segundos de trayecto, mientras que el trasero ha grabado 1076.

Contando con la importancia que tiene el que empiecen los dos móviles a grabar a la vez; ese proceso se hizo con dos personas, cada una pendiente de un teléfono y coordinada con la otra para darle a “empezar” a la vez (puede haber una diferencia de tiempo de 1,5 s como mucho). Se puede pensar que en la finalización del trayecto terminara la grabación uno antes que otro, pero esta diferencia no es, ni mucho menos, de un minuto (pudieron haber pasado 10 s como mucho, no 76 s como muestra la grabación). Por lo que todo apunta a que esa deficiente sincronización del GPS ha podido alterar los datos recogidos por los sensores ya que, parece ser, que las lecturas de los datos se basan en el GPS de manera que el tiempo lo marca éste y, si hay un error en la búsqueda del dispositivo que está mandando la señal GPS como es éste caso, los datos de los demás sensores se ven afectados por ese “lag” De esta manera, se ha comprobado el trayecto entero recorrido por cada uno de los dos teléfonos móviles (uno de 1001 s y otro de 1076 s):

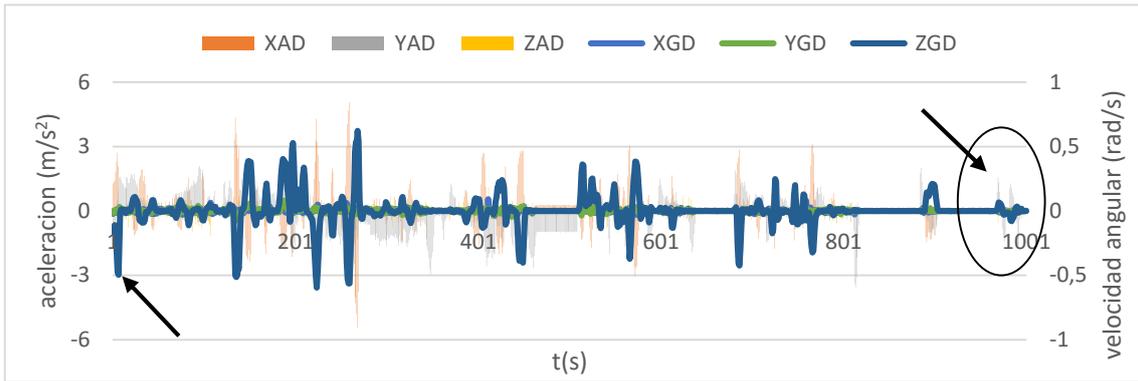


Gráfico 15 DATOS DISP. DELANTERO (1001 s). FLECHAS: PICOS MAX Y MIN; CÍRCULO: INTERVALO DESFASADO

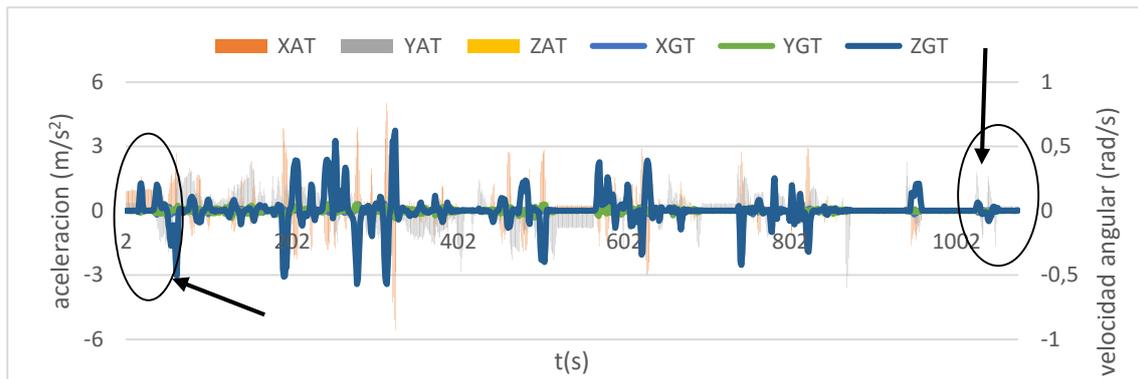


Gráfico 16 DATOS DISP. TRASERO (1076 s). FLECHAS: PICOS MAX Y MIN; CÍRCULO: INTERVALO DESFASADO

Los círculos en el gráfico 16 marcan los dos tramos desfasados del móvil trasero, mientras que las flechas marcan los “picos” de las gráficas donde deberían coincidir ambos trayectos.

Dando una visión global a los datos, se observa la gran coincidencia entre ambos en la zona intermedia de estos. Se observa el mismo tipo de picos y la misma tendencia de los valores para ambos gráficos, sobre todo para los valores de ZG (ambos en color azul oscuro). Para poder tratar los datos y enfrentar ambos en un mismo trayecto, bastará con “recortar” las zonas marcadas en el trayecto del dispositivo móvil trasero

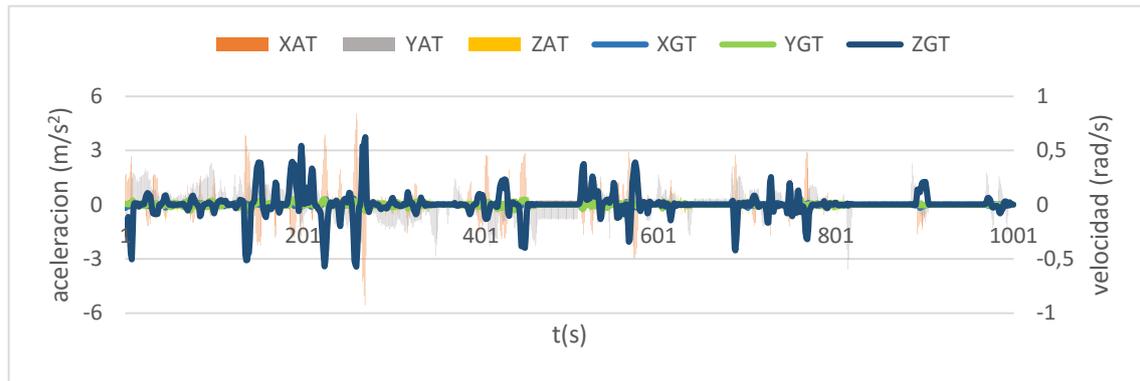


Gráfico 17 RECORTE REGISTRADO POR EL DISPOSITIVO. POSTERIOR (1001 s)

Una vez realizada la modificación en los datos del móvil trasero (grafico 17), se puede observar a simple vista que el resultado es bastante satisfactorio. Ahora este tramo estará comprendido entre el segundo 56 al segundo 1057, quedando una longitud del tramo total de 1001 segundos, justo la longitud del tramo grabado por el móvil delantero.

Se puede llegar a la conclusión de que todo ha sido fruto de la mala búsqueda y triangulación del GPS. Todo apunta a que el móvil trasero encontró la posición 56 segundos antes que el móvil delantero y que, una vez que el móvil delantero encontró la posición (aproximada, ya que sigue habiendo una gran dispersión de los datos del GPS en ese punto) empezó la grabación. Una vez que ambos teléfonos ya tienen la posición, todos los datos son perfectamente válidos como se muestran en las coincidencias entre las gráficas y como se demostrará más adelante. Del segundo 1057 al 1076, todo apunta a lo mencionado anteriormente, es el tiempo que hubo entre parar la grabación del móvil delantero y, posteriormente, la del trasero (9 segundos aproximadamente).

Como el trayecto GPS ha quedado alterado en ambos móviles por la mala triangulación del satélite GPS, se procederá a superponer uno con otro para encontrar un trayecto único que sirva como referencia para la lectura de los datos, como muestra la ilustración 31

Al depender la velocidad instantánea del GPS, se han superpuesto los datos de la velocidad de la misma manera que para el GPS, en los mismos segundos. Ahora quedan un conjunto de datos mucho más homogéneo y sin perder ningún tipo de información, ya que el GPS únicamente vale para posicionar el trayecto en un mapa y hacer uso visual de él, mientras que la velocidad instantánea sólo aportará información cuando el GPS sea preciso con la ubicación; por eso, los datos

de velocidad reales serán aquellos a los que les corresponde las coordenadas precisas, justo lo que se ha hecho al superponer unos datos GPS con otros.



*Ilustración 31 SUPERPOSICION DE TRAYECTOS REGISTRADOS POR LOS DISPOSITIVOS DELANTERO Y TRASERO*



*Ilustración 32 VELOCIDADES REGISTRADOS POR LOS DISPOSITIVOS. DELANTERO Y TRASERO*

Tal y como se ve en la ilustración 32, ése es el resultado final de la velocidad instantánea. A modo de comprobación, se han buscado puntos de referencia en el mapa como, por ejemplo, semáforos en los que se ha estado parado un periodo de tiempo, para comprobar su veracidad tras la superposición hecha. La ilustración 32 puede dar a entender, viendo la alternancia entre colore verde y rojo, que la velocidad no ha sido igual para ambos dispositivos. Aunque en el tramo correspondiente a la mala triangulación si puede haber alguna diferencia, en el tramo con coordenadas correctas no es posible ya que, como se ha dicho, se han superpuesto unos datos con otros, de manera que en la mayor parte del tiempo marcarán la misma velocidad.

Dejando a un lado todo el trayecto de ciudad, el cual se espera que su resultado sea bastante parecido al del vehículo turismo, resulta interesante comparar ambos vehículos sobre un mismo recorrido. En este apartado sólo se han tratado los datos para poder tener una información más clara, tras lo sucedido con el GPS. Aunque es de suponer que la diferencia de magnitud entre uno y otro vehículo, a parte de la altura respecto al suelo, también tiene que ver con el modo

de conducción del conductor, no se llega a sacar gran información adicional a la ya obtenida del estudio de la otra parte del trayecto realizado.

### c. TRAYECTO DE MONTAÑA (COMPARACION ENTRE VEHICULOS)

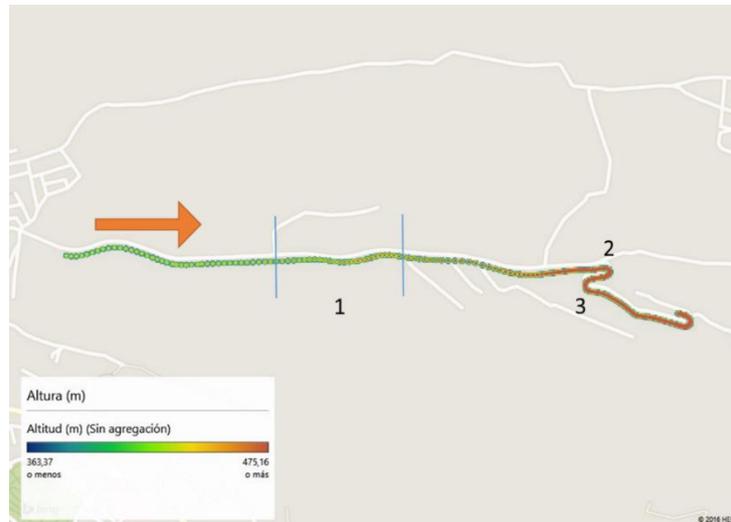


Ilustración 33 ALTITUD TRAYECTO DE MONTAÑA. ESCALA DE COLORES  
ALTITUD.: 440 m AZUL OSCURO; 590 m ROJO

Se analizarán dos únicas curvas y un pequeño tramo recto ligeramente bacheado. de este trayecto (ilustración 33), y se compararán para cada uno de los vehículos. Lo que se busca con este análisis, es comprobar si las aceleraciones transmitidas a la masa suspendida de un vehículo todoterreno son mayores que un vehículo del segmento C, turismo. La respuesta es sí, cualquiera que haya montado en un coche con algo más de altura respecto al suelo que un coche convencional, habrá notado que los cambios de dirección y las aceleraciones se sienten con más fuerza. La explicación es puramente física, a más altura respecto al suelo y mayor peso del vehículo, las inercias son mucho mayores.

Este trayecto se encuentra al final del recorrido realizado con ambos vehículos. Todo el recorrido será de pendiente positiva y, el tramo 2 y 3, son una curva a derechas y a izquierdas en el sentido de la flecha. Se analizará tanto la subida como la bajada. Se tendrá en cuenta la pendiente para el estudio de las curvas cerradas 2 y 3.

El sentido del recorrido es el que indica la flecha en la ilustración 33. A partir de la flecha, el tramo empieza a ser ascendente, como marca la escala de colores. El tramo empieza a 441 m de altura y finaliza en 560 m, por lo que es

importante tenerlo en cuenta a la hora de analizar los datos, sobretodo, las aceleraciones en Y (YA).

### i. SUBIDA

El trayecto de subida a la montaña se realizó de izquierda a derecha según la flecha de la ilustración 33. Se procuró que ambos trayectos (los de ambos vehículos) tuvieran las condiciones más similares posibles, por lo que se ha intentado mantener una velocidad constante durante el trayecto, sobre todo en las curvas si se quiere comparar uno con otro tramo



*Ilustración 34 ONDULACION EN EL ASFALTO*

Aunque no se aprecia el bache en la ilustración 34, se trata de una ondulación de la calzada, de forma cóncava. Se nota perfectamente al pasar con el vehículo por encima de manera que, obviamente, los dispositivos móviles han sido capaz de grabar el movimiento de ambos vehículos con los que se ha pasado por encima.

Resulta sorprendente pensar en la importancia que pueden tener estos análisis para estudiar el confort de un vehículo durante un trayecto determinado o el comportamiento de éste a su paso por calzadas diferentes entre sí.

1. TRAMO 1

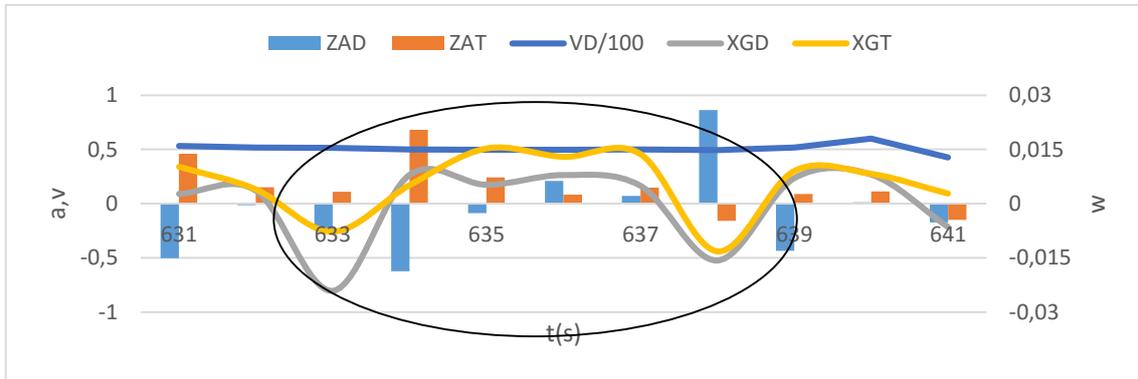


Gráfico 18 TURISMO BACHE (SEGUNDO 631 AL 638). ACELERACION EN Z ( $m/s^2$ ) Y V ( $km/h \times 100^{-1}$ ) Y A GIRO EN TORNO A X ( $rad/s$ ) DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

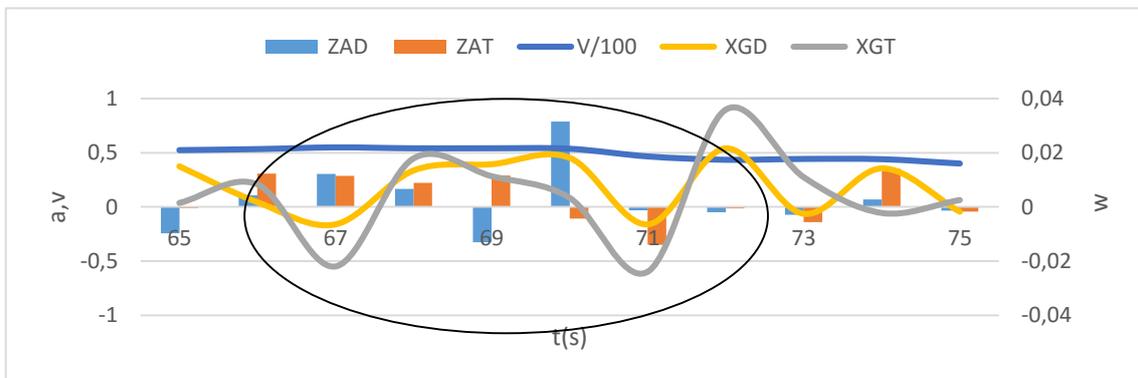


Gráfico 19 TODOTERRENO BACHE (SEGUNDO 67 AL 71). ACELERACION EN Z ( $m/s^2$ ) Y V ( $km/h \times 100^{-1}$ ) Y A GIRO EN X ( $rad/s$ ) DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Se representa la velocidad en ambos gráficos, 19 y 18, como aporte para demostrar que se ha mantenido prácticamente constante en torno a 50 km/h y, con esa velocidad y en pendiente, se han obtenido aceleraciones en subida de casi 1,5 G para ambos vehículos, aunque no se muestran aquí. La variabilidad en XG es consecuencia del estado del asfalto por el que se circula. Podría decirse que, en este caso, XG está representando el confort del coche durante ese trayecto. Estos cabeceos en el vehículo eran prácticamente imperceptibles, como demuestran los valores, por debajo de 0,04 rad/s para el todoterreno. En cambio, los valores para el turismo en ningún momento sobrepasan los 0,02 rad/s. Se aprecia, además, cómo al principio (segundo del 65 al 71 y del 631 al 638) tanto XGD como XGT para ambos vehículos siguen un cierto comportamiento idéntico entre ellos; esto sí que es debido a la imperfección de la calzada. Se ha pasado por el mismo punto con ambos coches, y se ha obtenido un comportamiento idéntico en ellos, siendo

de mayor magnitud para el todo terreno. Además, puede apreciarse en los dos como el tren delantero de ambos vehículos han absorbido más el golpe que el tren trasero (valores más negativos en XGD al coger el bache). Por lo tanto, puede decirse que, en ese intervalo para ambos vehículos, se ha reflejado el perfil del asfalto en ese punto. En la ilustración 34 aparece la irregularidad en el asfalto, en este caso una ondulación que se encuentra señalado por la flecha. Aunque no se aprecia en los datos, demuestran que existe.

## 2. CURVA 2

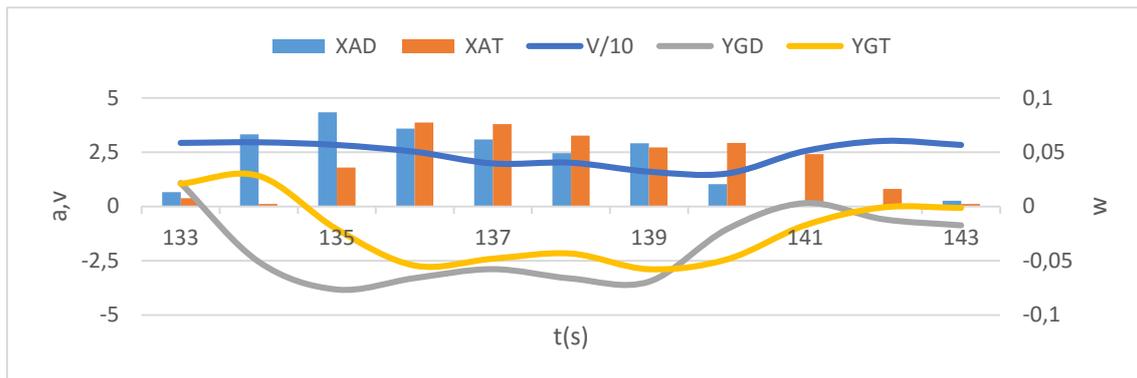


Gráfico 20 TODOTERRENO ACCELERACION EN X ( $m/s^2$ ), V ( $km/h \times 10^{-1}$ ) Y A GIRO EN TORNO A Y ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR

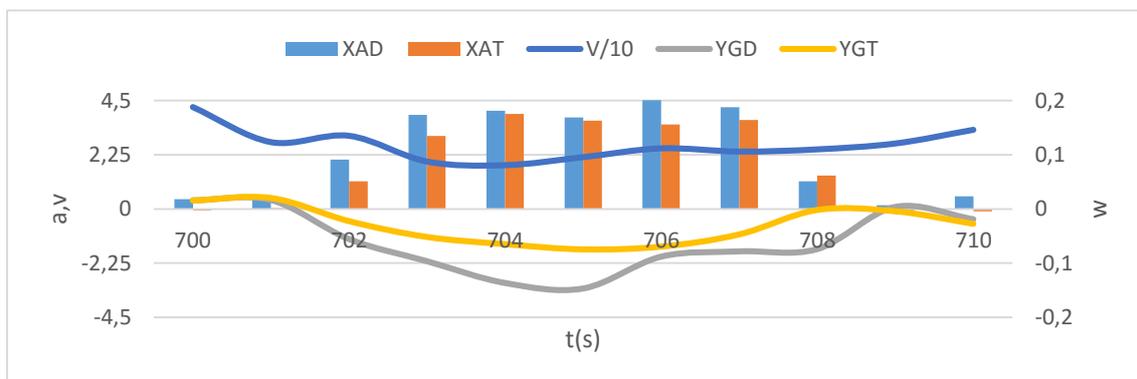


Gráfico 21 TURISMO ACCELERACION EN X ( $m/s^2$ ), V ( $km/h \times 10^{-1}$ ) Y A GIRO EN TORNO A Y.( $rad/s$ ) DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráficos 20 y 21: Se ha intentado mantener la velocidad con ambos vehículos (25 km/h) aunque en el todoterreno ha sido menor. Como se puede observar, las aceleraciones laterales han sido prácticamente idénticas en ambos vehículos, mientras que el balanceo difiere en ambos siendo menor en el todoterreno. Esto es debido a varios factores, entre ellos la velocidad y la forma de tomar la curva. Lo más lógico sería pensar en la suspensión de cada vehículo, siendo más blanda la suspensión en el todoterreno en este caso en concreto. Pero como el modo de tomar la curva ha sido más suave con el todoterreno, los valores del balanceo en este caso son menores.

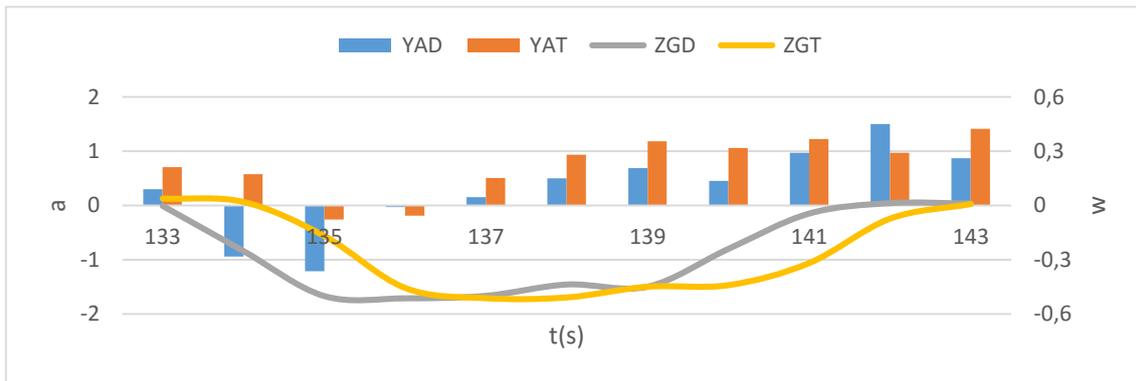


Gráfico 22 TODOTERRENO ACELERACION EN Y ( $m/s^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Z ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

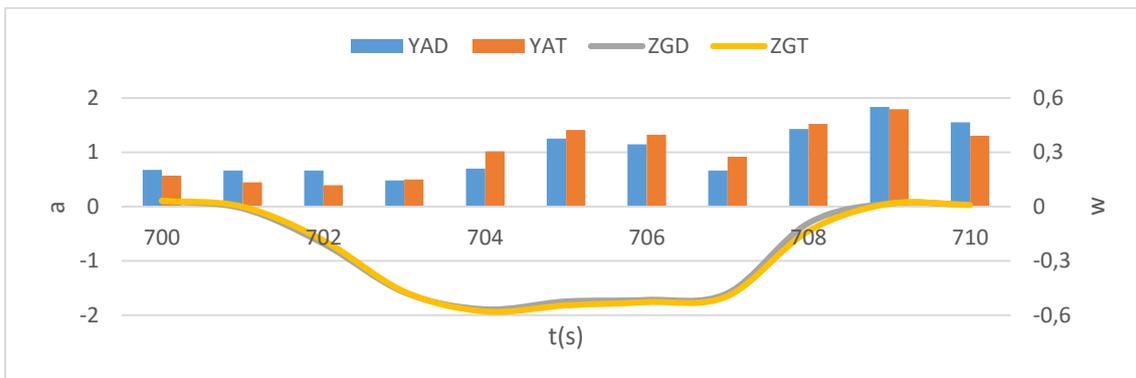


Gráfico 23 TURISMO ACELERACION EN Y ( $m/s^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Z ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Gráficos 22 y 23: Se confirma lo dicho anteriormente, se reduce la velocidad antes de entrar en la curva con el todoterreno, como muestra YA con valores negativos, mientras que el turismo nunca llega a esos valores. Respecto al giro, se observa en el turismo valores casi idénticos, mientras que en el todoterreno se adelanta el giro en el tren delantero. Esto se debe a la longitud del vehículo (mayor en el todoterreno) ya que entra antes en la curva el tren delantero que el trasero. En ambos se observan valores muy similares respecto al giro (lógico, es la misma curva) por lo que el radio que describen al tomar la curva debe ser prácticamente el mismo.

### 3. CURVA 3

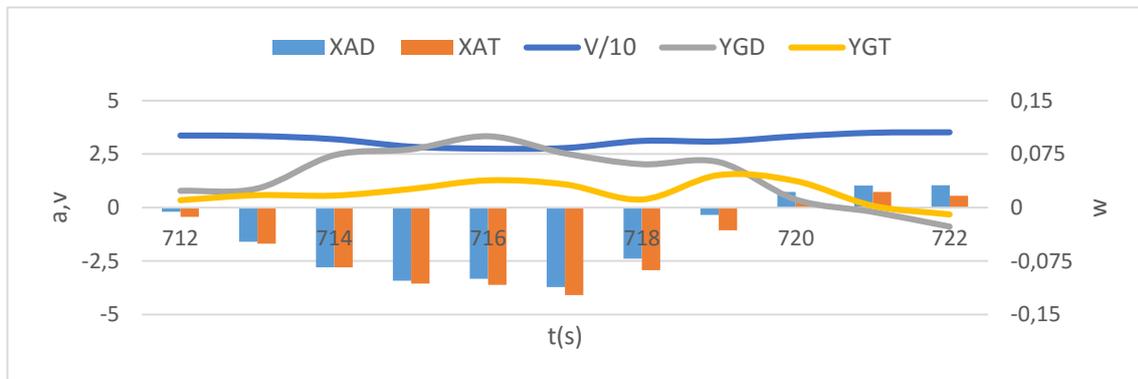


Gráfico 24 TURISMO.  $V$  ( $\text{km/h} \times 10^{-1}$ ), ACELERACION EN X ( $\text{m/s}^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Y ( $\text{rad/s}$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

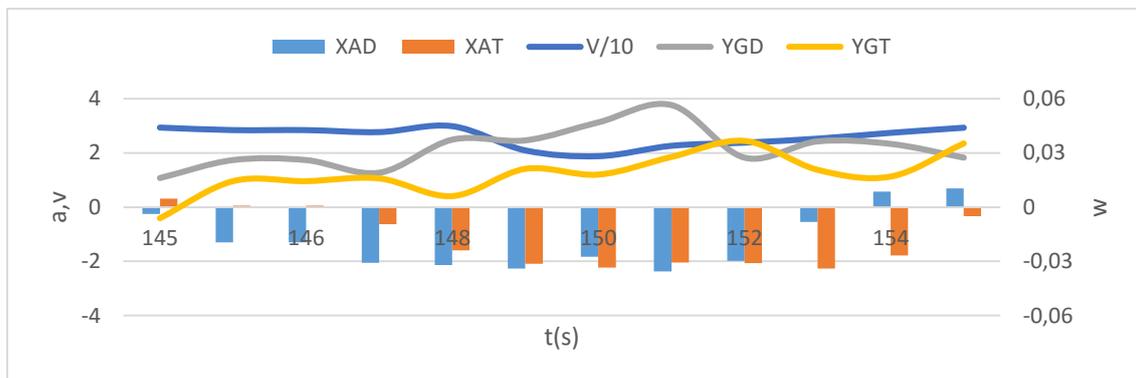


Gráfico 25 TODOTERRENO.  $V$  ( $\text{km/h} \times 10^{-1}$ ), ACELERACION EN X ( $\text{m/s}^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Y ( $\text{rad/s}$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Al reducir la velocidad en curva con el todoterreno (gráfico 25), los valores de la aceleración centrípeta son menores que para el turismo, donde se puede ver que la velocidad es más constante en comparación con el todoterreno. Una vez más, los valores del balanceo en el todoterreno son menores por el modo de tomar la curva.

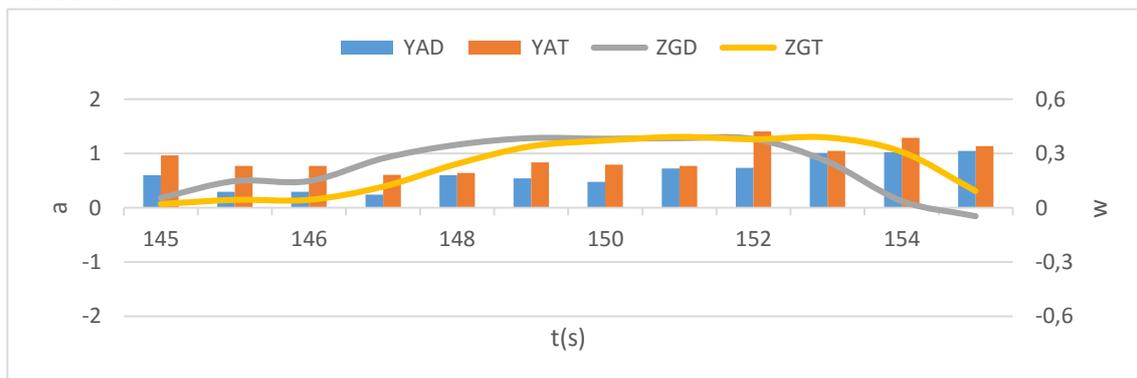


Gráfico 26 TODOTERRENO. ACELERACION EN Y ( $\text{m/s}^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Z ( $\text{rad/s}$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

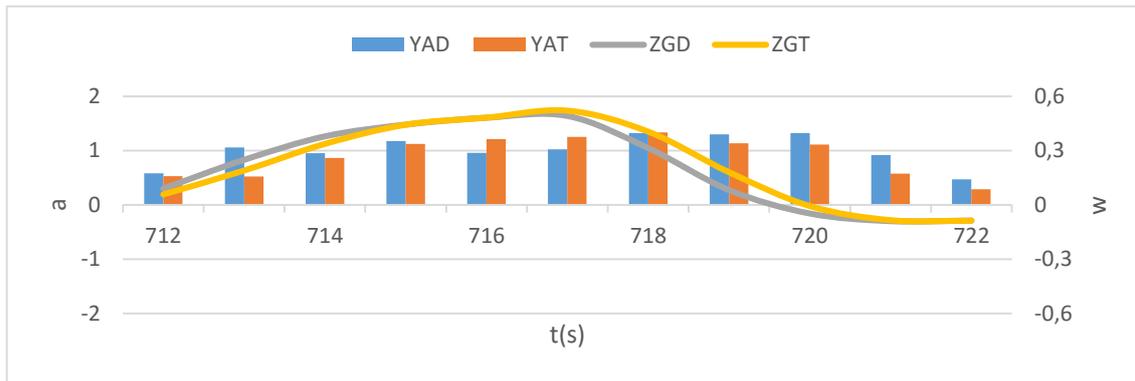


Gráfico 27 TURISMO. ACELERACION EN Y ( $m/s^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Z ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

En este caso, aun siendo la misma curva, se ven diferencias en cuanto al giro en ambos vehículos. Analizando los valores de YA, se ven valores por encima de 1G en el centro de la curva para el turismo, por lo que se puede deducir un paso por curva mayor para el turismo (se ve reflejado en la velocidad, donde prácticamente se mantiene constante durante la curva). Siendo el giro en Z mayor en el turismo, conlleva a pensar que se ha tardado más en girar, lo que conlleva a acentuar más el giro para poder tomar la curva correctamente y no salirse del trazado ideal. En cambio, para el todoterreno se ha mantenido constante durante la curva ya que, como se ha comentado anteriormente, el modo de tomar la curva es más suave en este vehículo.

## ii. BAJADA

En este caso se analizarán las curvas 2 y 3 en sentido descendente, es decir, primero la curva 3, y luego la 2. Durante este trayecto de bajada, se ha conducido el vehículo todoterreno un poco más ligero para poder intentar exagerar un poco las medidas y compararlas con las del turismo de nuevo,

### 1. ACELERACION CENTRIPETA Y VELOCIDAD ANGULAR DE BALANCEO

Se diferencian perfectamente las dos curvas, primero a derechas y luego a izquierdas ya que es en sentido descendente. En este caso los valores de XA son mayores para el todoterreno, síntoma de que se ha tomado la curva con menos

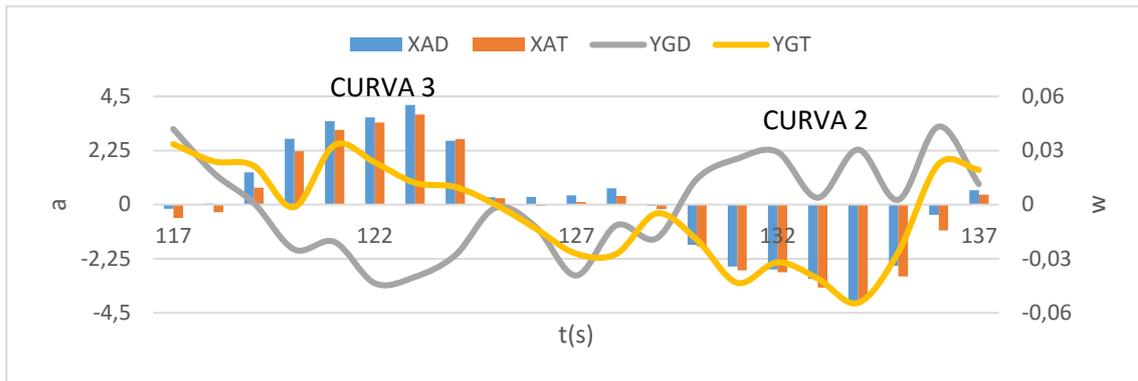


Gráfico 28 TURISMO. ACCELERACION EN X ( $m/s^2$ ) Y ROTACION EN TORNO A Y ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR CURVA 3, A DERCHAS

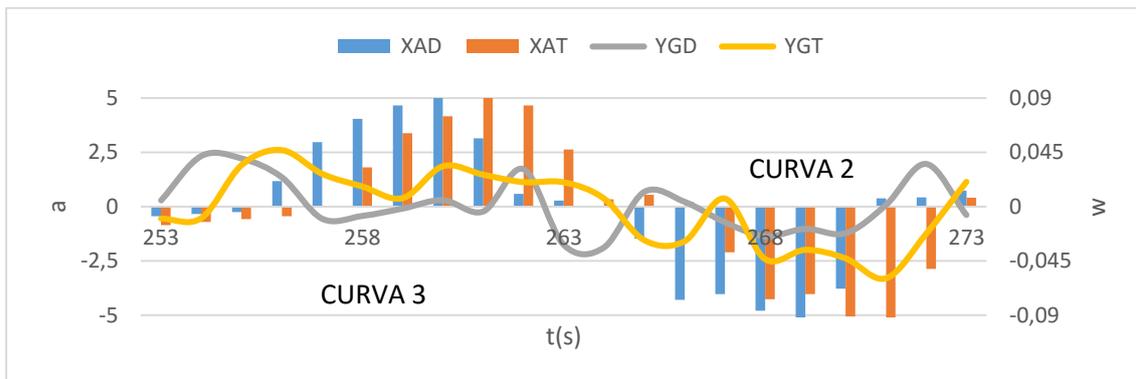


Gráfico 29 TODOTERRENO. ACCELERACION EN X ( $m/s^2$ ) Y GIRO EN TORNO A Y ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

suavidad que a la subida. Esto también se observa en YG desde el segundo 253 al 258 (gráfico 29), con un pico de 0,046 rad/s para el todoterreno. Como recordatorio, el giroscopio mide velocidades angulares, es decir, mide cambios en la rotación del móvil. Si no existe ese cambio de posición, o de rotación, del móvil en el tiempo, el giroscopio marcará valores “0” ya que no existe variación angular. Después del punto 256, los valores de YG comienzan a disminuir ya que, como se ha explicado, se mantiene la inclinación del vehículo, para luego realizar un segundo giro en la curva y acentuándose la inclinación de nuevo. Para el turismo (gráfico 28) se observa que los valores de YGD son contrarios en sentido con respecto a YGT. Esto indicaría que el tren delantero gira hacia un lado mientras que el trasero lo hace en sentido contrario. Ya que esto no puede ser posible y sabiendo que los valores correctos son los que marca YGT (valores positivos para una curva a izquierdas), conlleva a pensar que en ese momento el móvil delantero no ha sido capaz de recoger los valores de inclinación del vehículo o que ha recogido alguna imperfección de la calzada que ha absorbido el tren trasero.

2. ACELERACION LINEAL Y VELOCIDAD ANGULAR DE GIRO EN CURVAS

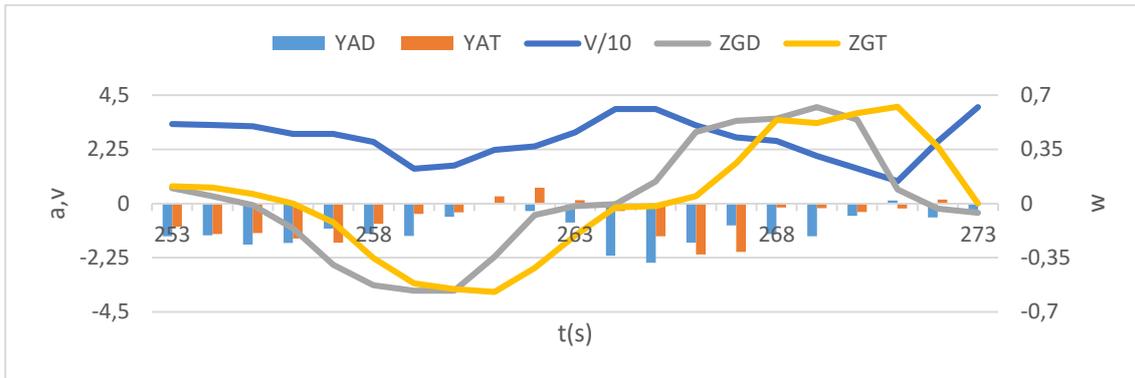


Gráfico 30 TODOTERRENO. V ( $\text{km/h} \times 10^{-1}$ ) ACELERACION LINEAL EN Y ( $\text{m/s}^2$ ) Y A GIRO EN CURVA ( $\text{rad/s}$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

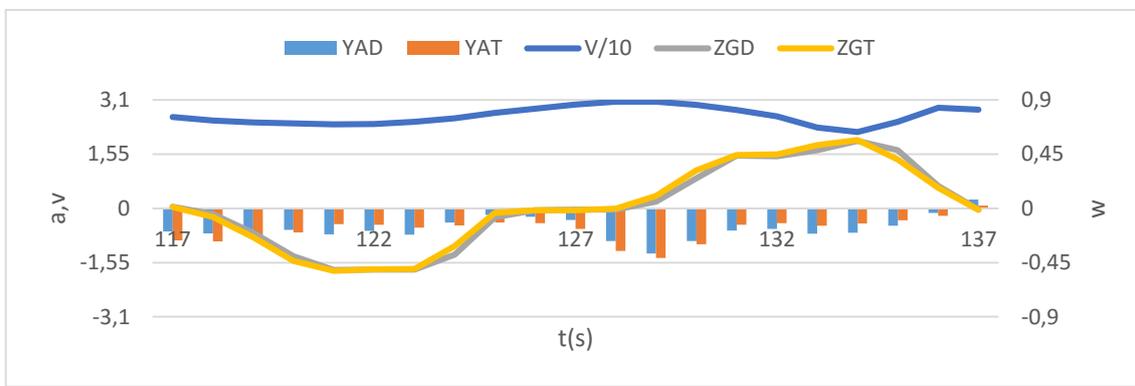


Gráfico 31 TURISMO. V ( $\text{km/h} \times 10^{-1}$ ), ACELERACION EN Y ( $\text{m/s}^2$ ) Y A GIRO EN CURVA ( $\text{rad/s}$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Se aprecian diferencias a simple vista; la primera, en cuanto a la velocidad por curva de cada uno de los vehículos y la segunda, la aceleración lineal en ellos. El todoterreno ha cogido más rápido la curva esta vez (en torno 7 km/h), de ahí los valores más altos en XA del gráfico 29. YA confirma que ambos vehículos se encuentran en bajada, ya que la mayoría de los valores durante el tramo analizado son negativos debido a esa pendiente negativa, y a que se va frenando para evitar que el coche coja velocidad por su propia inercia. Los valores de YA para el todoterreno son mayores que para el turismo, por lo comentado anteriormente. Se va más rápido, por lo que se tendrá que frenar más fuerte para poder entrar en la curva. Se aprecia incluso, como se ha acelerado a la salida de la primera curva en el todoterreno (segundo 262). En cuanto al giro ZG, al ir más rápido con el todoterreno los giros también serán mayores, aunque con poca diferencia; ya que se trata de la misma curva (en torno a 0,06 rad/s de diferencia).

3. ACELERACION VERTICAL Y VELOCIDAD ANGULAR DE CABECEO

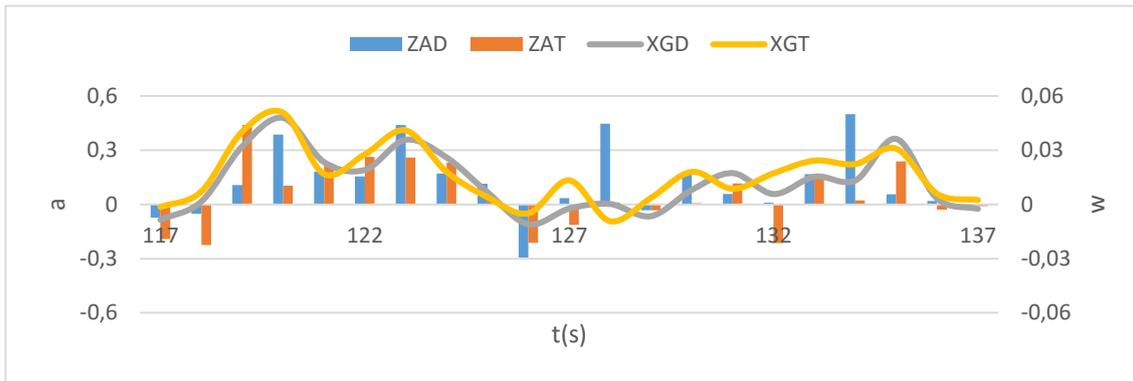


Gráfico 32 TURISMO. ACCELERACION EN Z ( $m/s^2$ ) Y GIRO EN TORNO A X ( $rad/s$ ) DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

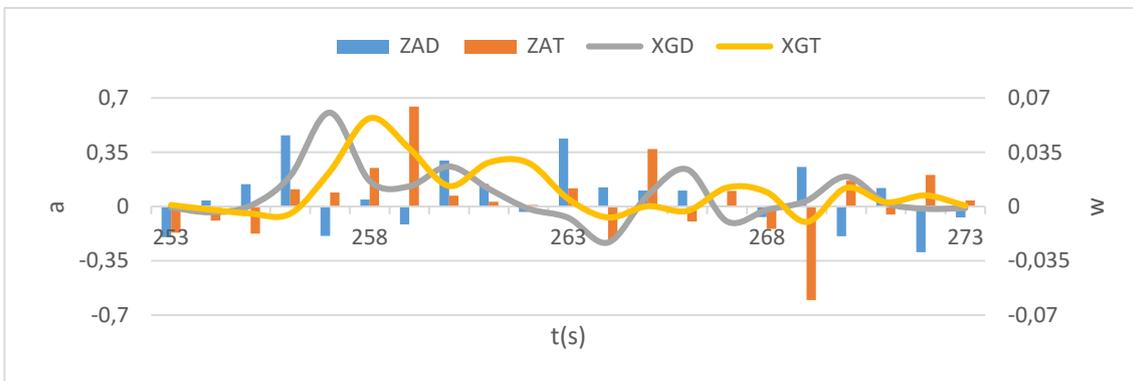


Gráfico 33 TODOTERRENO. ACCELERACION EN Z ( $m/s^2$ ) Y GIRO EN TORNO A X ( $rad/s$ ). DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR

Sabiendo que ZA representa la aceleración vertical en ambos trenes y, habiendo restado el promedio de la gravedad, los valores que se representan corresponden a la diferencia de aceleraciones verticales. Recordando que XG representa el cabeceo del vehículo y, siendo positivo cuando la parte delantera del coche se levanta y la trasera se hunde; se ve muy bien en el gráfico 33 del todoterreno cómo se empieza a acelerar levemente a partir del segundo 256 (principio de la curva), lo que conlleva que el morro del coche se levante (XG positivo, ZAD negativo y ZAT positivo). En cambio, en el gráfico 32 el turismo, los valores de ZA son positivos durante el tramo que dura la primera curva (119-125), ya que se ha frenado de forma suave y prolongada, comprimiendo la suspensión ligeramente. Se sabe que es una aceleración por los valores positivos de XG representados en la gráfica). Para el todoterreno en el segundo 264, se aprecia la frenada para entrar en la segunda curva con valores negativos en XG y ZAT, mientras que ZAD es positivo (cabeceo puro).



Como se ha podido observar, no todos los puntos del tramo son tan explícitos como otros por lo que, hay que recordar que se está trabajando con los sensores de teléfonos móviles de gama media que no están diseñados precisamente para leer las aceleraciones provocadas por la inercia en un automóvil. A esto hay que añadir la variabilidad en la conducción con respecto a cada uno de los vehículos, la altura al suelo y el tipo de suspensión de cada uno. Con estas gráficas, tanto para la subida como para la bajada, se ha querido reflejar cómo, según el modo de conducción en cada uno de los coches, los valores recogidos por los sensores del móvil varían de una manera o de otra. Es decir, de antemano se sabe que un vehículo alto con una suspensión más blanda, ya que se trata de un coche adaptado para poder introducirse en caminos de gran irregularidad y poder absorber todos los obstáculos, tendrá unos vaivenes en torno a sus ejes mayores en carretera que un turismo, cuya altura al suelo es menor y con una suspensión más dura, ya que está pensado para circular por carretera, donde se necesita más rigidez; pero, según la suavidad a la hora de conducir y tomar curvas, estos vaivenes se ven reducidos incluso, siendo menores que para un turismo (como en la subida). Luego, en la bajada, al haber tenido un modo de conducción más brusca con el todoterreno, los valores del giroscopio y acelerómetro se acentúan, sobre todo los del giroscopio al tener una suspensión más blanda, permite mayor rotación. Debido a esto, se leen muy bien los datos para el todoterreno en la bajada.

## IDETERMINACION DE PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LA CALZADA

En este apartado se hará uso de algunas ecuaciones sencillas para intentar determinar algunos parámetros característicos de la calza a partir de los sensores del dispositivo móvil.

### i. RADIO DE LA CURVA

Mediante la lectura del giroscopio en torno a Z se puede averiguar el radio de la curva recorrida. Este resultado debería ser igual si se tratara con la aceleración a lo largo del eje X (aceleración centrípeta). Ambos resultados se compararán con el valor real del radio de la curva, sacado a partir de “Google Earth”

o cualquier mapa que permita hallar el área del círculo descrito por la curva, como por ejemplo el visor "SigPac".



Ilustración 35 RADIO CURVAS REALIZADAS

La ilustración 35 muestra las dos curvas que se han analizado durante todo el trabajo, con el radio de cada una de ellas calculado con una herramienta de Google Earth. Esta calculado de forma visual, por lo que el radio es aproximado, pero, lo suficientemente fiable para lo que se va a proceder a calcular. Para realizar el cálculo, existen dos posibilidades con dos ecuaciones distintas (TIPLER & MOSCA, 2013):

1.  $a = \frac{v^2}{r}$
2.  $v = w \times r$

Donde "v" es la velocidad marcada por el GPS, "a" corresponde a XA y "w" a ZG. Tanto para XA como para ZG se tendrán dos valores, el del móvil delantero y el trasero. Y para cada curva se tendrán dos tramos, el de subida y el de bajada.

## 1. SUBIDA

RADIO TODOTERRENO (11,43 m)				
SEGUNDOS	RADIO D (1)	RADIO T (1)	RADIO D (2)	RADIO T (2)
136	13,65	12,68	13,63	15,33
137	9,76	7,97	10,99	10,70
138	12,71	9,56	12,77	10,96
139	6,74	7,25	9,87	9,86
140	17,21	6,00	17,47	9,51
PROMEDIO	<b>12,01</b>	<b>8,69</b>	<b>12,95</b>	<b>11,27</b>
RADIO TURISMO (11,43 m)				
703	7,65	9,88	11,54	11,64
704	6,25	6,47	8,89	8,71
705	9,41	9,73	11,40	10,93
706	10,81	13,93	13,54	13,22
707	10,38	11,89	13,82	13,37
PROMEDIO	<b>8,90</b>	<b>10,38</b>	<b>11,84</b>	<b>11,57</b>

Tabla 1 RADIO CURVA 1 SUBIDA

Solo se muestran los valores que pertenecen al centro de la curva. Los valores que están tanto al principio como al final de ésta muestran unos radios demasiado elevados, síntoma de que no corresponden a la curva realmente. El valor que más se ajusta al círculo dibujado corresponde al turismo en el segundo 705, con la formula (2) y con los valores del móvil delantero (RADIO D (2)). Lógicamente, el radio de la curva variará en función de la trayectoria realizada, por lo que un valor promedio de los valores dará un valor fiable para saber el radio real. El promedio para el turismo es de 10,67 m, mientras que para el todoterreno es de 11,23 m. Si se realiza el promedio de esos dos valores el resultado es de 10,95 metros que, en comparación con el círculo dibujado, es aceptable, aunque menor.

RADIO TODOTERRENO (15,91 m)				
SEGUNDOS	RADIO D (1)	RADIO T (1)	RADIO D (2)	RADIO T (2)
149	14,87	16,15	15,07	17,09
150	14,83	12,13	13,65	14,02
151	16,66	19,33	16,32	16,05
152	21,95	21,13	17,37	17,45
PROMEDIO	<b>15,45</b>	<b>15,87</b>	<b>15,01</b>	<b>15,72</b>
RADIO TURISMO (15,91 m)				
715	18,27	17,64	17,83	17,82
716	17,61	16,22	15,89	15,86
717	16,11	14,65	15,74	14,83
PROMEDIO	<b>17,33</b>	<b>16,17</b>	<b>16,49</b>	<b>16,17</b>

Tabla 2 RADIO CURVA 2 SUBIDA

Para la segunda curva el valor promedio del todoterreno es de 15,51 m mientras que el del turismo es de 16,54 m. El valor promedio de ambos es de 16,025 m comparado con el descrito por el círculo (15,91 m) puede darse como aceptable, aunque mayor.

## 2. BAJADA

Se compararán los valores anteriores con el mismo trayecto, pero en sentido contrario, es decir, en bajada.

RADIO TODOTERRENO (15,91 m)				
SEGUNDOS	RADIO D (1)	RADIO T (1)	RADIO D (2)	RADIO T (2)
258	12,52	28,04	13,49	20,21
259	3,43	4,73	7,11	7,77
260	3,79	4,61	7,78	7,94
261	12,25	7,65	18,02	10,88
PROMEDIO	<b>8,00</b>	<b>11,26</b>	<b>11,60</b>	<b>11,70</b>
RADIO TURISMO (15,91 m)				
121	12,91	14,40	13,09	12,93
122	12,40	13,21	13,19	13,27
123	11,44	12,66	13,52	13,66
PROMEDIO	<b>12,25</b>	<b>13,42</b>	<b>13,27</b>	<b>13,29</b>

Tabla 3 RADIO CURVA 2 BAJADA

El valor promedio para el todoterreno es de 10,64 m, mientras que para el turismo es de 13,06 m. El promedio de ambos es de 11,85 m. Como se había comentado anteriormente, el modo de conducción afecta a la trayectoria realizada. En el caso del todoterreno los valores del radio son más pequeños, debido a haber

realizado la curva con mayor rapidez y como consecuencia, el radio de giro es menor para poder seguir dentro de la curva. También, esta disminución del radio de giro para ambos vehículos viene dado por el carril por el que se circula, en este caso es el carril interior de la curva.

RADIO TODOTERRENO (11,43 m)				
SEGUNDOS	RADIO D (1)	RADIO T (1)	RADIO D (2)	RADIO T (2)
267	14,38	27,59	14,23	29,12
268	10,82	12,15	13,15	13,32
269	5,55	7,47	8,82	10,56
270	4,35	3,25	7,49	6,95
271	17,66	1,22	28,44	4,16
PROMEDIO	<b>10,55</b>	<b>10,34</b>	<b>14,43</b>	<b>12,82</b>
RADIO TURISMO (11,43 m)				
132	19,86	19,07	16,94	16,34
133	13,41	12,00	13,33	12,26
134	9,17	9,27	10,85	10,67
135	18,57	15,85	14,21	16,94
PROMEDIO	<b>15,25</b>	<b>14,05</b>	<b>13,83</b>	<b>14,05</b>

Tabla 4 RADIO CURVA 1 BAJADA

Para este caso, el promedio del todoterreno es de 12,03 m mientras que para el turismo es de 13,05 m. El promedio es de 12,54 m. Como se acaba de comentar, el radio de giro depende del carril por el que se circula, por lo que resulta lógico que los valores sean mayores que el radio dibujado, ya que en este caso se circula por el carril exterior de la curva.

ii. PERALTE EN CURVA

El trayecto se repitió 4 veces, 2 de subida y 2 de bajada. Contando con que el primer trayecto fue la subida a la montaña, el que se busca analizar aquí será el último tramo, el de la bajada. Lo que se hizo al realizar ese tramo con el vehículo fue una sucesión de paradas repartidas a una distancia, lo más equitativa posible entre ellas, del arco del círculo que se ha descrito al recorrer las dos curvas; en este caso, la primera será una curva a derechas y, la segunda a izquierdas.

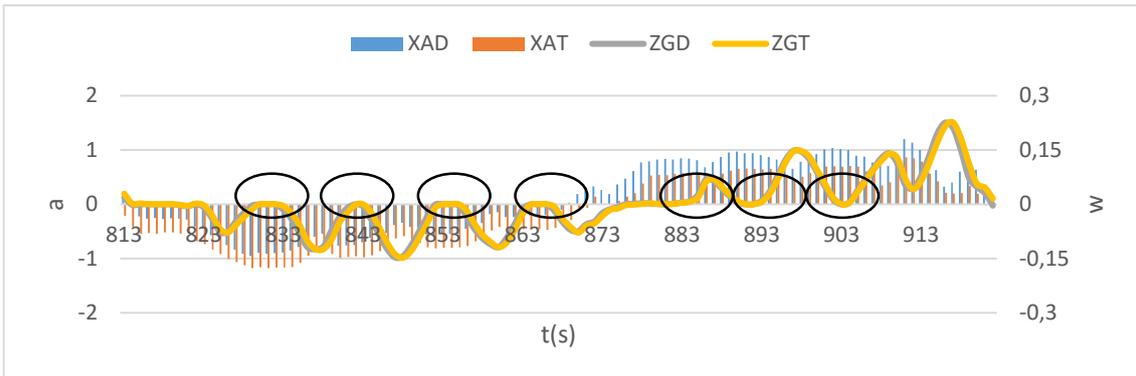


Gráfico 34 TURISMO. PARADAS CONSECUTIVAS EN CURVA. DISP. ANTERIOR Y POSTERIOR. ACELERACION EN X ( $m/s^2$ ) Y A GIRO EN TORNO A Z ( $rad/s$ ). CIRCULOS: INTERVALO SIN ROTACIÓN EN TORNO AL EJE Z.

Gráfico 34: Las zonas marcadas con el círculo, indican el valor nulo del giro en Z (giro indicativo de que no hay cambio de dirección del vehículo) por lo que, si es nulo, el coche permanece en estado de reposo durante unos dos segundos por cada parada. En la gráfica se ven unas paradas mayores que otras, ya que no se pudieron tomar datos adecuadamente por el tránsito de demás vehículos.

Para el cálculo de peralte se supondrá que las suspensiones del vehículo tienen la misma altura entre ellas, es decir, que no existe ningún tipo de inclinación en el vehículo en torno a cada uno de sus ejes X e Y, para poder hacer más sencillo el cálculo.

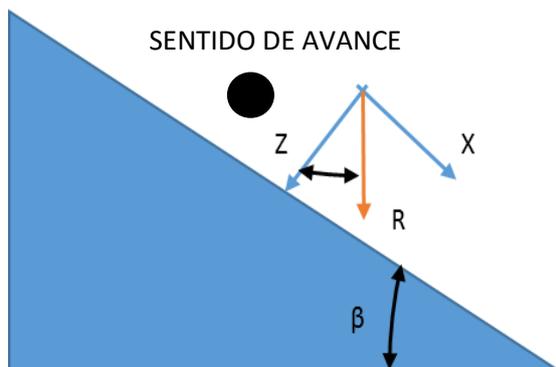


Ilustración 36 PERALTE CURVA

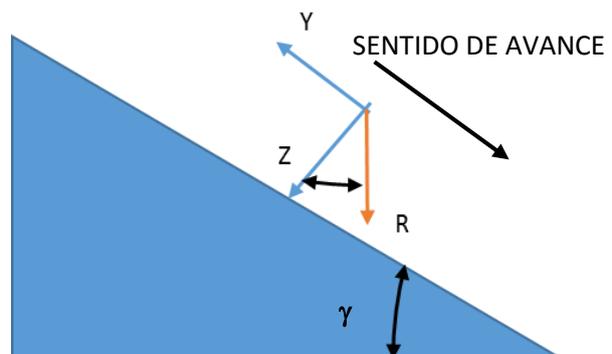


Ilustración 37 INCLINACION CURVA

En las ilustraciones 36 y 37 se muestra de forma representativa los dos tipos de inclinación que puede tener el coche. La ilustración 36 representa el peralte de la curva, para el sentido marcado en la imagen, mientras que la ilustración 38 representa el desnivel, la pendiente a lo largo del recorrido por la curva, también, para un sentido dado.

Los datos a tratar para calcular el peralte serán los del acelerómetro. De esta manera, para calcular el peralte de la curva (ilustración 37) se calculará la resultante de X y de Z y, el ángulo del peralte será igual al ángulo formado por dicha resultante y el eje Z. Para calcular la inclinación de la curva (ilustración 38), se realizará lo mismo, pero cambiando el eje X por el Y, de manera que el ángulo de inclinación vendrá dado por la resultante de X y de Y con el eje Z.

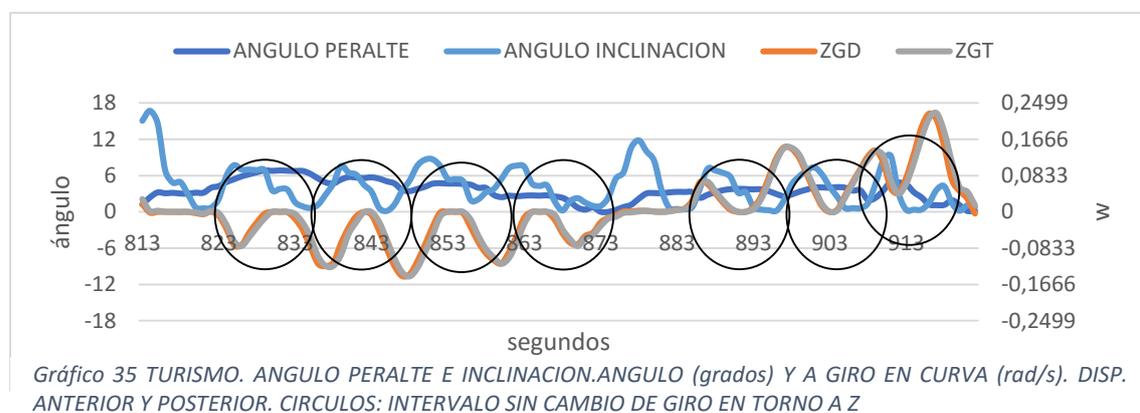


Gráfico 35: se muestran los dos ángulos, el del peralte y el de inclinación de la curva. Mediante los círculos, se señalan los puntos de giro nulo (ZG) y el ángulo calculado en dicho punto. El ángulo final se calculará como el promedio de los valores del ángulo que se encuentren en los puntos de ZG nulos.

Para la primera curva, a derechas, el promedio de valores para el peralte es de 4, 74° (12,5% pendiente). Para la segunda curva, a izquierdas, el promedio para el peralte es de 3, 6° (15,9%). Según información obtenida (Brown, 2014), el peralte máximo permitido en vía urbana es del 6% salvo excepciones, con un 12%. Ya que son curvas muy cerradas en subida, puede suponerse que tiene que ser una excepción, por lo que comparado con los resultados obtenidos es aceptable. Los valores de la inclinación son de 4° para la primera curva y 3° para la segunda.

Estos datos deberían ser reales si se cumple la hipótesis de partida, referida a la inclinación del vehículo en torno a los ejes X e Y. Aun así, los valores resultan lógicos, ya que se encuentran dentro de lo establecido.

### e. VISION GLOBAL DE UN TRAYECTO MIXTO (CAMINO Y CARRETERA NACIONAL)

En este apartado se analizará un trayecto largo, de aproximadamente unos 45 minutos. Tiene un tramo por camino sin asfaltar, el cual se estudiará más adelante, y todo el tramo siguiente corresponde a un tramo de carretera nacional, donde se realizará un análisis visual en el que se seleccionarán, en función de la velocidad dada por el GPS y los valores máximos leídos por los sensores, aquellos puntos con mayor aceleración, ya sea en Y o en X, correspondientes a aceleraciones rectilíneas y centrípetas, respectivamente. Se hará también, un análisis visual del confort en el vehículo, ya que como se ha comentado en apartados anteriores, al estar los dos teléfonos móviles “pegados” de forma solidaria a la masa suspendida del vehículo, los valores leídos por estos corresponderán a las aceleraciones de dicha masa suspendida que, como consecuencia, son un reflejo de la rigidez y amortiguamiento de la suspensión, siendo a su vez la causa del confort en el vehículo. El trayecto recorrido es el representado en la ilustración 38. Trayecto separado por 55 km de distancia en línea recta.



Ilustración 38 TRAYECTO COMPLETO



Ilustración 39 COMPARACION BALANCEO CAMINO Y ASFALTO

En la ilustración 39 se muestra el balanceo del vehículo todoterreno tanto para el móvil delantero como el trasero. Con clara diferencia, se aprecia a que tramo corresponde el camino sin asfaltar anteriormente comentado. Este camino, indicado mediante una elipse en la ilustración 39, es el comienzo del trayecto realizado. Todos los valores recogidos durante el camino, tanto para giroscopio como para acelerómetro, muestran un orden de magnitud muy superior respecto a los valores recogidos durante el trayecto por carretera. Eso se debe a la gran cantidad de vibraciones que transmite el vehículo al circular por una carretera sin

asfaltar, llena de baches y grava, acentuando el valor real que debería mostrar. La diferencia entre los valores de la carretera y del camino es más notable tanto para el cabeceo como el balanceo del vehículo, provocado por el estado del camino, como se acaba de comentar. Aun así, cuesta mucho entender los valores recogidos por el acelerómetro que, aunque marca posibles aceleraciones en el vehículo, pueden estar influenciados también por el estado del camino.

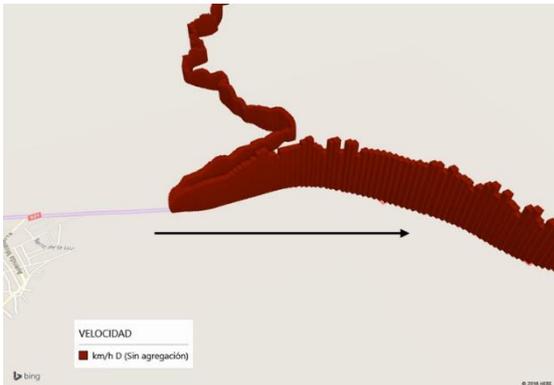


Ilustración 40 VELOCIDAD COMIENZO CARRETERA

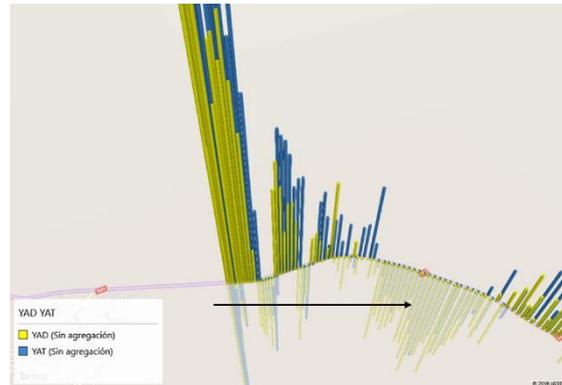


Ilustración 41 YAD/YAT COMIENZO CARRETERA

Las ilustraciones 40 y 41 muestran el fin del camino y el comienzo del trayecto por carretera nacional, indicado por la dirección y sentido de la flecha dibujada. En la ilustración 40, se puede ver como aumenta la velocidad conforme circula por la carretera, mientras que en la ilustración 41 se muestra la aceleración lineal en Y de los dos móviles. En esta ilustración 41, se puede llegar a apreciar el cambio de marchas nada más comenzar el trayecto, con intervalos pequeños de picos negativos y positivos en YA. Estos cambios de signo en los valores del acelerómetro, muestra la desaceleración que se produce al embragar para cambiar de marchas (YA-), y la aceleración que se produce al desembragar de forma rápida (YA+).

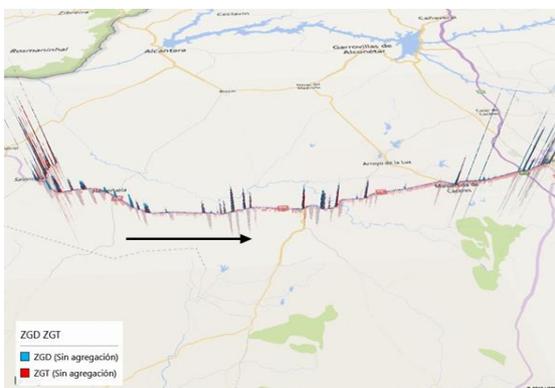


Ilustración 42 CAMBIO DIRECCION VEHÍCULO (ZGD, AZUL y ZGT, ROJO)

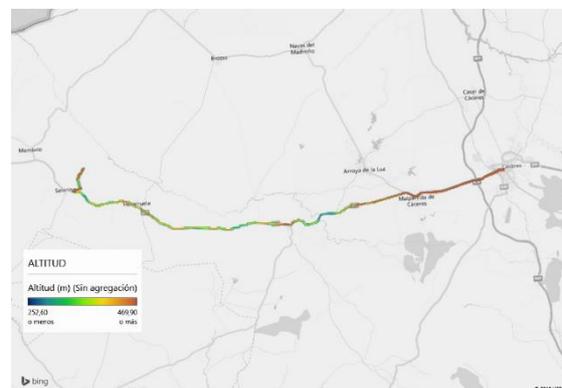


Ilustración 43 ALTITUD: MÁS BAJA, AZUL OSCURO; MÁS ALTA, ROJO



En la ilustración 42, se aprecian todos los cambios de dirección tomados por el vehículo, ZGD en azul y ZGT en rojo. Se trata de una carretera llena de curvas como la propia imagen destaca, con valores máximos y mínimos indicativos de ese cambio de dirección que se ha producido. Es una buena manera de acotar la búsqueda, si lo que se quieren analizar son curvas. Pero no siempre tienen por qué tratarse de curvas, ya que un cambio de dirección realizado para adelantar a un vehículo se reflejaría de la misma manera que al tomar una curva, por lo que habría que complementarlo con la aceleración en Y (YA) para ver si se trata de una curva (donde se espera que se frene antes de tomarla) o si se trata de un adelantamiento (donde se espera que se acelere para agilizar el adelantamiento)

Después de todos estos análisis sobre el vehículo, queda claro la gran cantidad de información que se puede sacar a partir de uno o dos teléfonos móviles, ya sea información del propio vehículo o del estado de la calzada, entre otros. Y, sobre todo, la gran capacidad de trabajo que ha ofrecido el poder visualizarlo en un mapa, ya que ha agilizado mucho el tratamiento de estos datos.

## V. ESTUDIO CINEMATICO EN AVIONES

De la misma manera en que se han medido todos los datos anteriores tanto para uno como para otro vehículo, se medirán las aceleraciones, giros y velocidades de un avión, en un vuelo Madrid-Marrakech de ida y vuelta. Ambos vuelos se realizaron en un avión comercial marca Boeing, modelo 737-800 (BOEING, 2016) propiedad de la compañía de vuelo Ryanair. Al igual que antes, se procederá a calibrar el acelerómetro del teléfono móvil usado, el cual se ha sujetado al reposabrazos del asiento de pasajeros (Ilustración 444 POSICION DISP. EN REPOSABRAZOS). Para ello, se buscarán los valores nulos de velocidad (km/h), que coinciden con el momento en que el avión se encuentra parado, sin moverse. Para buscar estos valores, el apoyo visual de los datos en un mapa será de ayuda y acelerará la búsqueda. En ese tiempo, el móvil permanece en reposo y ya se encuentra fijado para poder realizar el vuelo sin que haya movimiento relativo entre teléfono móvil y el avión. Una vez conocida la posición de partida, se cogerán todos los valores del acelerómetro (XA, YA) y giroscopio (XG, YG, ZG) durante todo el tiempo que ha permanecido en reposo el avión, y se calculará el promedio de estos, para luego restarlos a todos los valores del vuelo completo. El sentido y dirección

de los ejes para el móvil, y como consecuencia para el avión, son los mostrados en la ilustración 45



Ilustración 44 POSICION DISP. EN REPOSABRAZOS

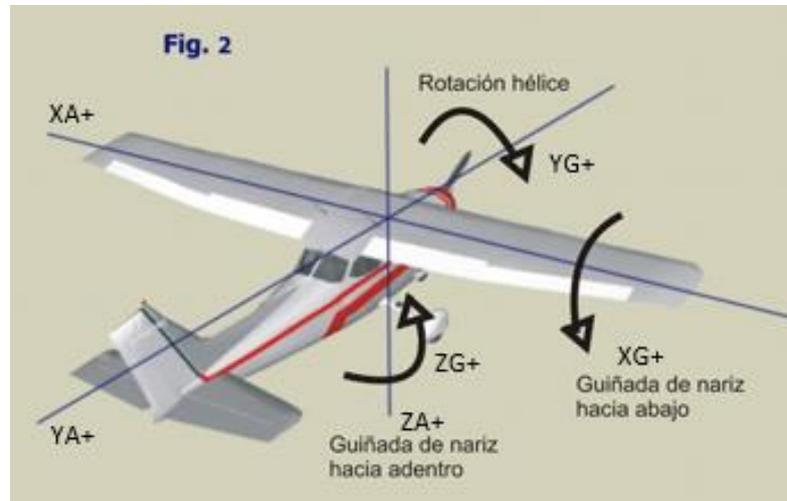


Ilustración 45 SISTEMA REFERENCIA AVION. Foto: (APUCA - Asociación Pilotos U-Control Argentino, 2016)

La distancia total recorrida es de 1160 km para la ida y de 1165 km para la vuelta para los trayectos de la ilustración 46 donde el trayecto en color naranja es el de ida, y el morado de vuelta. Comprobando visualmente ambos trayectos, se confirma que se han realizado trayectos distintos, aunque muy parecidos, tanto en un sentido como en otro. Esto se puede contrastar con otro vuelo Madrid-Marrakech, como el de la ilustración 47, donde solo se representa el trayecto de ida y, se puede comprobar que ambos trayectos de ida no llegan a ser idénticos entre sí. El viaje se realizó sin escalas, un vuelo directo de Madrid a Marrakech y viceversa, por lo que cabe pensar la posibilidad de libre elección de trayectoria del piloto dentro de unos límites establecidos por los que poder desviarse. Puede haber algún motivo desconocido que obliga a los pilotos a realizar trayectos distintos, pero se desconocen por completo.

a. IDENTIFICACION VISUAL DE DATOS

Una vez más, se usará la extensión del programa EXCEL para una mejor comprensión de los datos obtenidos durante el vuelo. Se analizará la ida y la vuelta. Se usarán las mismas referencias usadas para los trayectos realizados en coche

ya que la orientación del dispositivo móvil es semejante a la realizada para los anteriores trayectos.



Ilustración 46 COMPARACION TRAYECTOS IDA (NARANJA) Y VUELTA (MORADO)



Ilustración 47 TRAYECTO ANTERIOR MARRAKECH-MADRID

### i. TRAYECTO DE IDA

Las ilustraciones 48 y 49 corresponde al recorrido realizado por la pista de carreteo, donde se muestra un rango de colores para identificar la velocidad del avión, siendo el color más oscuro el valor más bajo (0 km/h en este caso), y el más claro el de mayor valor (120 km/h). El trayecto forma parte del recorrido del avión por las pistas de carreteo, es decir, el conjunto de vías de acceso a las diferentes pistas que permiten una mejor circulación de los aviones durante las fases de despegue y aterrizaje, o entre terminales; Los datos más oscuros, indicadores de una velocidad muy baja, serán los que servirán para la calibración del dispositivo en reposo.



Ilustración 48 VELOCIDAD DE 0 A 5 km/h

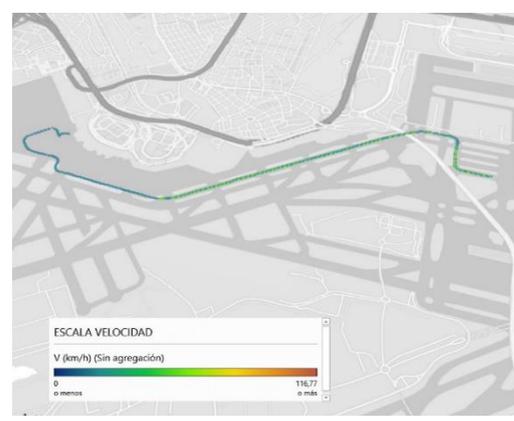


Ilustración 49 ESCALA VELOCIDAD. COLORES: OSCURO, 0, ROJO: 120 KM/H

Una vez conocido la zona con mayores velocidades nulas, se realizará el promedio anteriormente comentado, cogiendo todos aquellos puntos consecutivos con una velocidad comprendida entre 0 y 5 km/h, como se muestra en la ilustración 48

Con el acelerómetro calibrado, se pueden tratar los datos del vuelo de la ida Madrid-Marrakech.



Ilustración 50 VELOCIDAD PROMEDIO EN VUELO



Ilustración 51 SENTIDO Y DIRECCION DEL DESPEGUE

La ilustración 50 muestra la velocidad que se ha alcanzado durante el vuelo, siendo el promedio (contando solo el vuelo, sin despegue ni aterrizaje) de 790 km/h, siendo la velocidad de crucero estipulada por el fabricante del avión de 853 km/h (BOEING, 2016). La ilustración 51 muestra el momento del despegue, con una pequeña desviación de la trayectoria sobre la pista de despegue, haciendo pensar que el avión ya se encuentra en vuelo y está modificando su trayectoria para adecuarse al recorrido establecido. Si esto fuera cierto, si se analizaran los

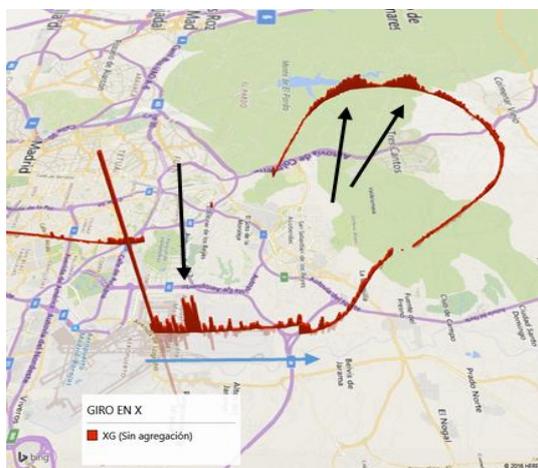


Ilustración 52 GIRO EN X (XG). SENTIDO DE VUELO: FLECHA AZUL

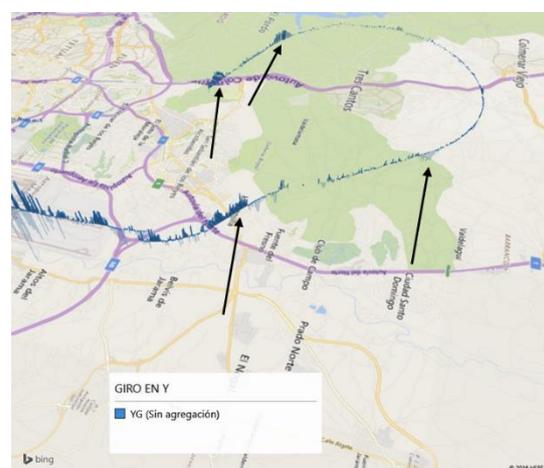


Ilustración 53 GIRO EN Y (YG)

datos del giro alrededor del eje X (XG) se observarían puntos positivos, como consecuencia del cabeceo del avión al despegar del suelo, tal y como se señalan en la ilustración 52. En la misma imagen también se muestra el cambio de dirección que tiene que realizar el avión, ya que el despegue es hacia el norte, y debe cambiar hacia el sur para llegar a Marrakech. El giro en X cuando está girando, se debe al método de giro de los aviones, balanceándose hacia un lado y, posteriormente, levantar el morro del avión para producirse el giro. De esta manera, se puede deducir los sentidos de los giros alrededor de X y de Y, cuando gira a la izquierda, por ejemplo. El giro en Y (YG) será negativo ya que se inclina hacia la izquierda (ilustración 53), mientras que el giro en X (XG) será positivo ya que levanta el morro.

A modo de comprobación de que se ha realizado un cambio de dirección del avión, se medirá la guiñada del mismo. Tal y como se muestra en la ilustración 54, y haciendo referencia de la ilustración 45 para los sentidos positivos, los giros a izquierdas serán positivos, mientras que los giros a derechas serán negativos. Esto servirá como referencia para posteriores giros realizados a lo largo del vuelo y buscar así, de una forma rápida, en que momento el avión cambia la dirección de avance

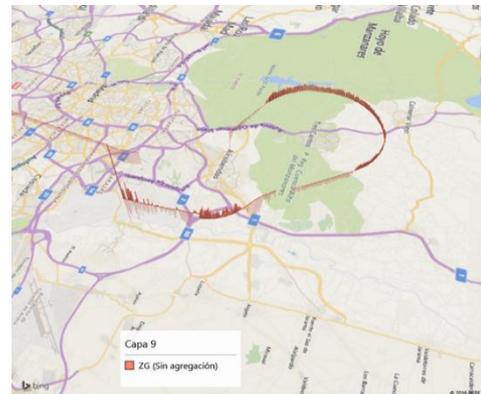


Ilustración 54 GUIÑADA (ZG)

Visualizando de forma general el recorrido, en el tramo final del vuelo, minutos antes del aterrizaje, el avión se coloca en línea recta, paralelo a la dirección de la pista de aterrizaje, durante casi 17 km, ya que el avión, en línea recta, comienza a decelerar (ilustración 55). Al igual que momentos antes del giro final que encarrilla al avión en línea recta, el avión sufre una deceleración



Ilustración 55 TRAMO ATERRIZAJE MARRAKECH



Ilustración 56 ACCELERACION EN Y (YA)

considerable de manera visual, consecuencia del acercamiento al giro anteriormente mencionado, y como se muestra en la ilustración 56.

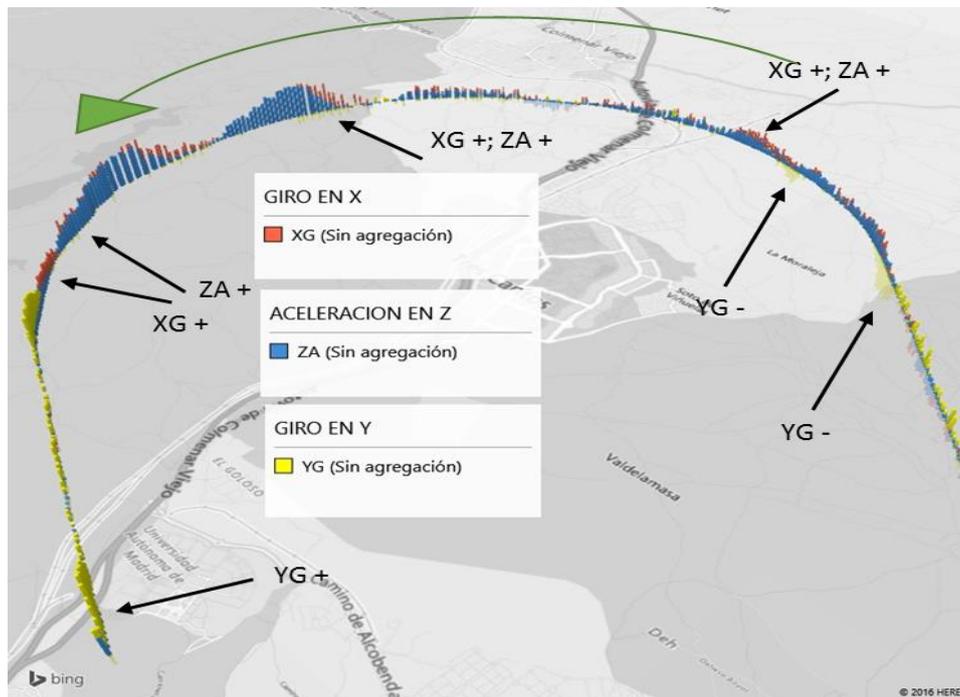


Ilustración 57 CURVA DESCRITA POR EL AVION. GIRO EN TORNO A X Y EN TORNO A Y (rad/s), ACELERACION EN Z (m/s<sup>2</sup>)

Los datos recogidos demuestran la cantidad de información que se puede recoger con un dispositivo móvil, en cualquier medio de transporte. Solo se están presentando los tramos más representativos del vuelo, pero se podrían mostrar muchos más de los que aparecen en este capítulo. Volviendo a la curva analizada en la página anterior, en la ilustración 57 se representa el giro en torno a X (XG) en rojo, la aceleración en Z (ZA) en azul, y el giro en torno a Y (YG) en amarillo. Sabiendo que el giroscopio mide movimientos, cambios de giro y, que cuando el giro o la inclinación del objeto en estudio se mantiene constante, el giroscopio marcará valores nulos, ya que su inclinación no ha variado. De este modo, y extendiéndolo a los 3 posibles giros en torno a los 3 ejes se tendrá en cuenta lo que realmente marca el giroscopio. En el caso del acelerómetro, las variaciones en aceleración significarán un aumento del empuje del avión en cualquiera de los 3 ejes; mientras que una aceleración constante podría medirse como referencia para averiguar en qué momento el avión conserva el giro, donde el giroscopio marcará valores casi nulos. Lógicamente, una aceleración constante significara un aumento de la velocidad en cualquiera de los 3 ejes.



Tomando como referencia la ilustración 45 y, entendiendo los datos mostrados, la escala de valores no es igual entre ellos para una mejor visualización, de modo que sólo muestran el sentido del giro o de la aceleración. La flecha verde curvada representada en la ilustración 57 representa el sentido de avance del giro, en el sentido contrario a las agujas del reloj. Por lo tanto, siguiendo el recorrido dibujado en el orden que indica la flecha, la primera de las sucesivas flechas rectas de color negro, señala valores negativos de YG; lo que quiere decir que el avión está cambiando su orientación alrededor de un eje, en este caso el Y. Siendo un valor negativo, el avión se inclina hacia la izquierda desde el punto de vista del pasajero del avión. Estos valores decrecen, para momentos más tardes volver a producirse un incremento negativo de los valores del giro alrededor de Y (YG). A estos datos, le acompañan el giro en torno a X (XG) más adelante, junto con la aceleración a lo largo de Z (ZA), ambos positivos. El signo de los datos de XG y ZA indican el cabeceo del avión alrededor del eje X, induciendo un empuje específico sobre el eje Z, es decir, el avión levanta el morro a la vez que asciende a lo largo del eje Z del dispositivo móvil. Analizando estos 3 datos en conjunto, se comprueba el giro del avión al realizar un cambio de trayectoria. Si se mira con detenimiento, se observan dos giros a izquierdas muy próximos entre sí. Echando un vistazo a los valores señalados por las siguientes flechas rectas de color negro, se vuelve a observar un incremento, esta vez mayor del cabeceo del avión y del empuje hablado anteriormente. Todos estos giros y aceleraciones son prácticamente imperceptibles para los pasajeros que viajan en el avión, ya que suelen ser giros y aceleraciones muy lentas (se habla del vuelo en sí, en el aire), con una distancia de maniobrabilidad muy grande, por lo que se transmiten giros muy suaves y pequeñas aceleraciones casi imperceptibles en algunas ocasiones, que hacen que

el pasajero no sea consciente del cambio de dirección que toma el avión o la aceleración debida al empuje de las turbinas del avión.

En la ilustración 58 se muestra la trayectoria realizada por el avión al tomar la curva, donde se puede llegar a distinguir dos curvas en lugar de una. La trayectoria es tangente a los dos círculos, cuyo es radio es muy similar. Con esta imagen se comprueba la suavidad de los movimientos en el avión donde, para hacer un cambio de giro de prácticamente 180 grados, recorre un círculo de más de 10 km de diámetro.

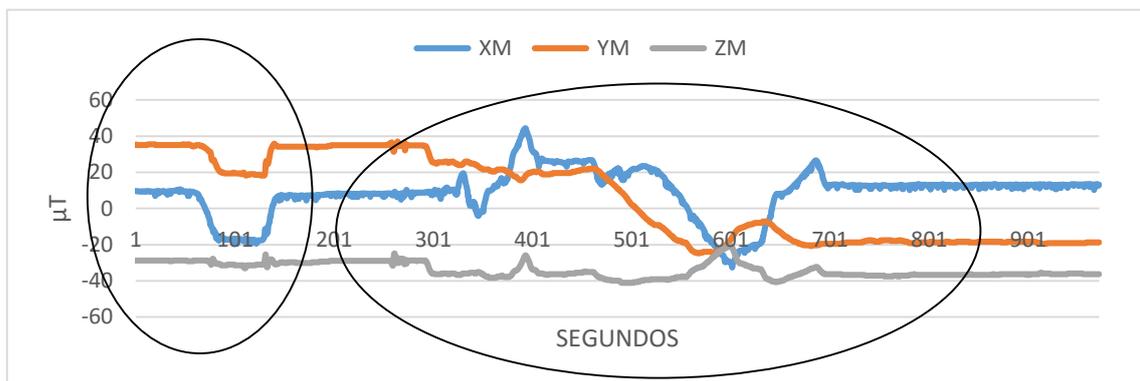


Gráfico 35 ORIENTACION DE AVIÓN RESPECTO AL CAMPO MAGNETICO

El gráfico 35 muestra la variación del campo magnético del teléfono móvil como consecuencia de un cambio de dirección del avión respecto al campo magnético terrestre. El primero de los círculos señala un cambio en la orientación del avión cuando circula por la pista de carreteo hasta que llega a la pista de despegue, en torno al segundo 165, donde se mantiene constante durante el despegue. Más adelante, en el segundo círculo, se muestra el giro de 180 grados realizado (ilustración 58). Durante el giro, la orientación del avión respecto al

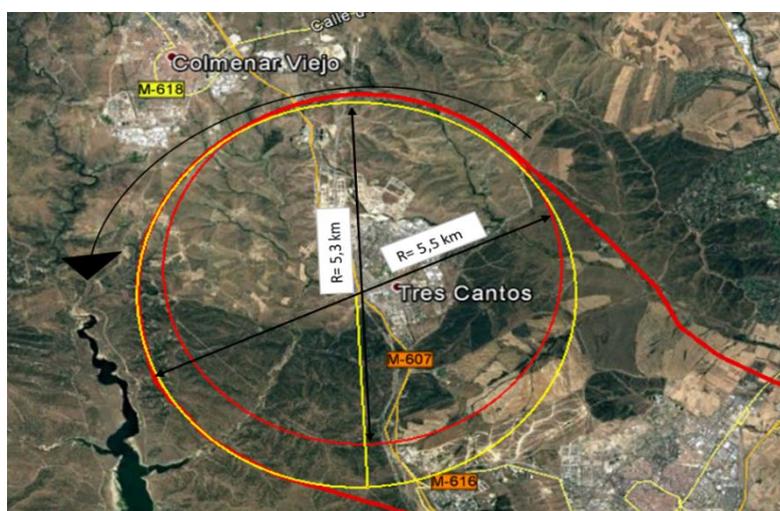


Ilustración 58 RADIOS DE CURVAS DESCRITAS

campo magnético de la Tierra varía distribuyéndose los valores del citado en torno a los 3 ejes par, una vez realizado el giro, mantenerse constante de nuevo, pero con unos valores distintos a los del despegue, ya que el avión se encuentra en la misma dirección, pero en sentido contrario.

El análisis del campo magnético resulta útil para detectar un cambio de dirección durante el trayecto. Pero hay que tener cuidado a la hora de analizar los datos, ya que estos estarán influidos por la inclinación que mantenga el avión en ese momento, por lo que el campo magnético terrestre se distribuirá por los ejes de una manera u otra, según la situación.

## ii. TRAYECTO DE VUELTA

En este trayecto se buscarán diferencias en comparación con el trayecto de ida. Como ya se enseñó antes, los trayectos son distintos, aunque se esperan unos valores muy similares. Al igual que para el trayecto de ida, se realizará la calibración pertinente, antes de comenzar el vuelo. Se buscarán los puntos de velocidad mínima y se procederá de la misma manera que en el apartado anterior

Para calcular la velocidad media de vuelo, se realizará como anteriormente. Se filtrarán los segundos correspondientes al tramo de vuelo, sin despegue ni aterrizaje, y se calculará el promedio de la velocidad. El resultado es de 790 km/h, igual que en el trayecto de ida.

En la ilustración 59 se muestra una parte de la pista del aeropuerto de Marrakech. Se pueden ver dos curvas, pertenecientes a la pista de carreteo, previo al despegue del avión. Estas curvas son recogidas por el sensor de aceleración del móvil, mostrando valores negativos para una curva a



Ilustración 59 ACCELERACION EN X. PISTA DE CARRETEO  
AEROPUERTO MENARA, MARRAKECH

izquierdas, como era de esperar. También se puede ver cómo una vez pasadas estas dos curvas, los valores en X de la aceleración son prácticamente nulos, consecuencia del despegue en línea recta del avión.

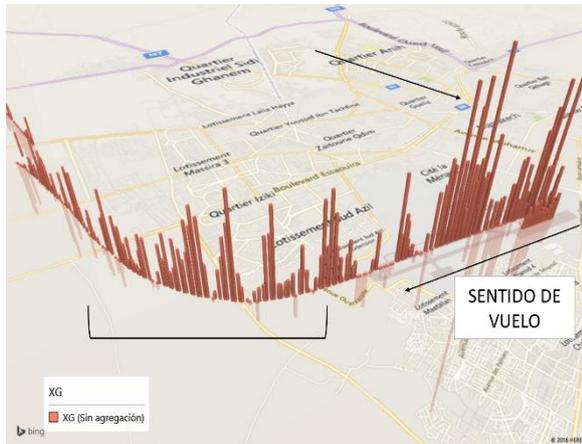


Ilustración 60 CABECEO, GIRO EN TORNO A X DESPEGUE

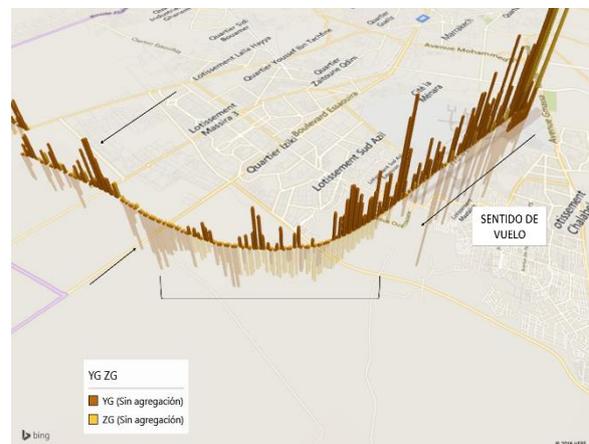


Ilustración 61 BALANCEO Y GUIÑADA, GIRO EN TORNO A Y/Z DESPEGUE

En la ilustración 60 se puede deducir el despegue del avión según indica la flecha, con valores positivos para el cabeceo del avión (XG) cuando éste levanta el morro. Un poco más adelante estos valores son ligeramente negativos, lo que quiere decir que está estabilizándose en vuelo, el avión está perdiendo inclinación en torno al eje X. Ya en la curva, vuelven a verse valores positivos. Si estos datos se complementan con el balanceo (YG) y la guiñada (ZG), en naranja y amarillo respectivamente, según aparecen en la ilustraciones 60 y 61, se observa cómo el avión gira alrededor de su dirección de avance, para cuando los valores de XG son negativos o parcialmente nulos. Por lo que está preparándose para tomar la curva a derechas que viene a continuación, girando sobre Y en sentido positivo (YG+) y sobre X en sentido positivo también (XG+), para tomar una curva a derechas. Una

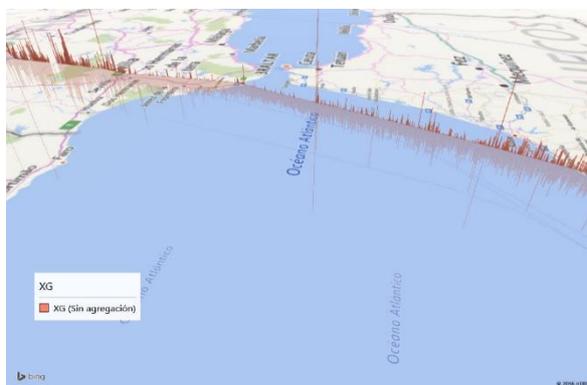


Ilustración 62 CABECEO, GIRO EN TORNO A X DURANTE EL VUELO



Ilustración 63 CABECEO/BALANCEO, GIRO EN TORNO A X/Y DURANTE EL VUELO

vez realizada la curva, el avión recupera su inclinación y comienza a ganar velocidad, preparándose para el largo trayecto.

En la ilustración 62 se vuelve a observar el cabeceo, pero, esta vez, en pleno vuelo. Se aprecia un giro constante del avión respecto a su inclinación, negativo durante un buen trayecto de tiempo. Esto, se alterna con algunos valores positivos que pueden tratarse de curvas o solo cambios respecto a su inclinación, que pueden deberse a la búsqueda de estabilidad del avión. Si se trataran de cambios en la inclinación del avión, podría tratarse de las correcciones que el piloto tenga que hacer para mantenerse en sus límites de altitud, y volar por la troposfera. Siendo la Tierra esférica, deberá ir corrigiendo dicha inclinación, por muy leve que sea. De hecho, se han comparado los vuelos de ida y vuelta, y los resultados son muy parecidos. Por lo que se deberían realizar más pruebas en aviones para



Ilustración 64 CLASIFICACION DE LOS GIROS/GRADOS DE ALABEO EN UN AVION. Foto: (APUCA - Asociación Pilotos U-Control Argentino, 2016)

comprobar si la hipótesis con la que se ha partido es correcta. En la ilustración 63 se analiza una curva realizada al entrar en zona geográfica española, sobrevolando Barbate, cercano al estrecho de Gibraltar. Se puede ver el giro a izquierdas del avión sobre su dirección de avance (YG -) antes de tomar la curva. Mantiene esa inclinación durante la curva, ya que el giro sobre Z es positivo (ZG+) consecuencia del comienzo de la curva, para luego girar en sentido contrario sobre Y (YG-) y recuperar su posición inicial a la curva. Las velocidades de giro sobre Y tanto para un lado como para otro son parecidas entre ellas y al principio y al final de la curva mayoritariamente, lo que confirma ha sido un giro provocado, tal y como los datos de ZG muestran. La ilustración 64 muestra los posibles giros del avión en función del ángulo girado. Servirá para hacerse una idea de las inclinaciones en curva de un avión.

Se han presentado los puntos más representativos de vuelo, aunque hay alguno más, como el aterrizaje del avión o alguna curva realizada con unos valores



muy similares a los ya mostrados. En el aterrizaje aparecen los valores que deberían aparecer si se tiene en cuenta el sentido de los signos y el movimiento al que corresponde.



## VI. CONCLUSIONES

Este trabajo ha querido ser una demostración de lo que se puede conseguir con un teléfono móvil como dispositivo de medida de magnitudes físicas. El potencial de los dispositivos móviles de hoy en día es mayor que el de su uso habitual. Los sensores presentes en ellos, a pesar de haber sido fabricados para el uso cotidiano como puede ser girar la pantalla del Smartphone para ver un video e incluso la orientación a partir del campo magnético terrestre, han arrojado unos resultados satisfactorios para el análisis realizado.

Si se consiguiera que, un determinado grupo de personas, mediante el uso de ésta aplicación se leyera toda la información procedente de la calzada para un trayecto determinado y, con la gran expansión del internet de las cosas (Alonso-Arévalo, 2016), donde la cantidad de información presente en la Red hace que su uso sea necesario para la gran parte de la población hoy en día, se podría crear una base de datos a partir de las medidas realizadas por distintos vehículos. A partir de esta base de datos, los valores se compararían con la información dada por los vehículos que circulan sobre esa carretera en tiempo real y se obtendría una información cualitativa del estado de la calzada, ya sean baches, parches, o un asfalto irregular. Sabiendo que la suspensión de cada vehículo varía en función del modelo, gama, o función principal para la cual se ha diseñado el vehículo, se podría llegar a calcular el confort del coche durante ese trayecto, comparándolo con datos de un trayecto anterior que se encontrara guardado en la base de datos anteriormente citada. Si a mayores, la suspensión de los vehículos fuera activa, es decir, que conforme va realizando un trayecto determinado la suspensión corrige su altura para amortiguar o mantener la altura respecto al suelo siempre dentro de un rango, los vehículos serían capaces (mediante algún software) de predecir el estado de la calzada y prepararse antes de afrontar cada uno de las irregularidades en el firme que pudieran presentarse.

Este trabajo puede seguir desarrollándose en cursos posteriores, aumentando la cantidad de información relativa a los sensores, como la mitigación del ruido de éstos. Si se consiguiera mitigar en gran medida el ruido que producen estos sensores, los cálculos a realizar con los datos serán mucho más fiables. Hay muestras que no se han podido introducir en este trabajo porque los valores no concordaban con la realidad. Un claro ejemplo del ruido es, en el gráfico 28, la



diferencia en el giro alrededor de Z (ZG) entre el dispositivo delantero y trasero cuando deberían ser muy parecidos.

Podría complementarse toda la información sacada de este trabajo con alguna otra aplicación para ANDROID con la que conectar el Smartphone al vehículo mediante la salida OBD de éste. De esta manera, la información recogida sería más que suficiente para tener los movimientos del vehículo en todo momento junto con la información de las condiciones de trabajo del motor. Así, se podría saber si las aceleraciones en Y (YA) en un transcurso de tiempo, vienen dadas por aumento del régimen de vueltas del motor o de la subida de una pendiente, por ejemplo. Sería muy parecido a la telemetría que hoy en día los equipos de competición utilizan en sus vehículos ya que, aparte de tener información instantánea del motor, se obtienen los giros y movimiento provocados por la inercia del propio vehículo; pudiendo llegar a entender mejor muchos puntos del trayecto grabado que solo con la información de los sensores no se puede llegar a explicar.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Arévalo, J. (2016). *gredos.usal.es*. Obtenido de El "Internet de las cosas...":  
<http://gredos.usal.es/xmlui/handle/10366/127354>
- APUCA - Asociación Pilotos U-Control Argentino. (2016). *APUCA*. Obtenido de  
<http://www.apuca.com.ar/NOTAS/efectos.htm>
- Arduomotive. (2016). *instructables*. Obtenido de <http://www.instructables.com/id/Arduino-Digital-Magnetic-Compass-HMC5883L-2-displa/>
- BOEING. (5 de Junio de 2016). *WEB OFICIAL BOEING*. Obtenido de  
<http://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/737ng.page>
- Brown, J. (2014). *Blog WEB: Scribd*. Obtenido de DISEÑO DEL PERALTE:  
<https://www.scribd.com/doc/105641829/DISENO-DEL-PERALTE>
- Castañeda García, F. N., Henao, R. A., & Valencia, F. A. (13 de Junio de 2016). *Universidad Católica de Manizales*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10839/1246>
- DESCONOCIDO. (2012). *Blog WEB: BLOGGER*. Obtenido de <http://arqmoviles.blogspot.com.es/>
- DESCONOCIDO. (6 de mayo de 2014). *Blog WEB: quesabesde*. Obtenido de  
[http://www.quesabesde.com/noticias/acelerometros-moviles-tablets-riesgo-privacidad-usuarios\\_11732](http://www.quesabesde.com/noticias/acelerometros-moviles-tablets-riesgo-privacidad-usuarios_11732)
- Esteban Moreno, D., & Huete García, F. (19 de Junio de 2015). *App Android: Sensor Mobile*. Valladolid, España.
- gabenerative. (s.f.). *app*. Obtenido de Google Play Store: Brújula:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gn.android.compass&hl=es>
- Jiménez Fontenla, J. L. (marzo de 2014). *Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de  
[https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22874/TFG\\_Jose\\_Luis\\_Jimenez\\_Fontenla.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22874/TFG_Jose_Luis_Jimenez_Fontenla.pdf)
- JinchangGPS. (2016). *Jiashan Jinchang Electron Co., Ltd*. Obtenido de  
[http://www.jinchanggps.com/jinchang\\_en/product\\_detail.asp?id=102](http://www.jinchanggps.com/jinchang_en/product_detail.asp?id=102)
- Johnson, D. A. (2011). *Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform*. Obtenido de  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6082793&filter%3DAND%28p\\_IS\\_Number%3A6082792%29](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6082793&filter%3DAND%28p_IS_Number%3A6082792%29)
- Metrología, C. E. (2013). *Recomendaciones del Centro Español de Metrología para la enseñanza y utilización del S.I de Unidades de Medida*.
- Oficina Internacional de Pesas y Medidas, C. E. (2006). *El S.I. de Unidades, 8ª Edición*.



- Rosario-Gabriel, E. R.-C.-V. (16 de Octubre de 2013). *Estimacion de la Orientacion de un Cuerpo Rigido: Estudio Experimental Comparativo*. Obtenido de <http://amca.mx/memorias/amca2013/articulos/0084.pdf>
- Sastré, H. M. (Diciembre de 2011). *DOC PLAYER*. Obtenido de <http://docplayer.es/10327528-Facultad-de-ciencias-de-la-electronica.html>
- TIPLER, & MOSCA. (2013). *Dísica para la ciencia y la tecnología. 5ª Edición, Vol. 1 Mecánica, Oscilaciones y ondas, Termodinámica*. Reverté.
- Total, G. (2016). *gpstotalcr*. Obtenido de <http://gpstotalcr.com/>
- WEB\_OFICIAL\_SAMSUNG. (23 de Junio de 2016). *WEB OFICIAL SAMSUNG*. Obtenido de Galaxy S3: <http://www.samsung.com/es/consumer/mobile-devices/smartphones/galaxy-s/GT-I9301MBIPHE>
- Zhao, F. (Marzo de 2002). *IEEE Xplore, Digital Library*. Obtenido de [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=985685&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D985685](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=985685&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D985685)

## I. ANEXO I

Como ya se indicó al comienzo del trabajo, en este anexo se explicará la calibración de los distintos sensores. Esto es fundamental para una toma correcta de los datos, ya que el giroscopio mantiene la orientación a partir de un punto de partida o una referencia. En este caso, ese punto de partida será la superficie plana sobre la que se apoyará el dispositivo móvil durante el trayecto. Por lo que el objetivo será calibrar el giroscopio sobre dicha superficie plana, momentos antes de realizar una toma de datos.

La calibración del giroscopio (ilustración 65) se encuentra en uno de los apartados de ajustes del propio teléfono móvil. No ha hecho falta ningún tipo de aplicación externa para realizarlo.

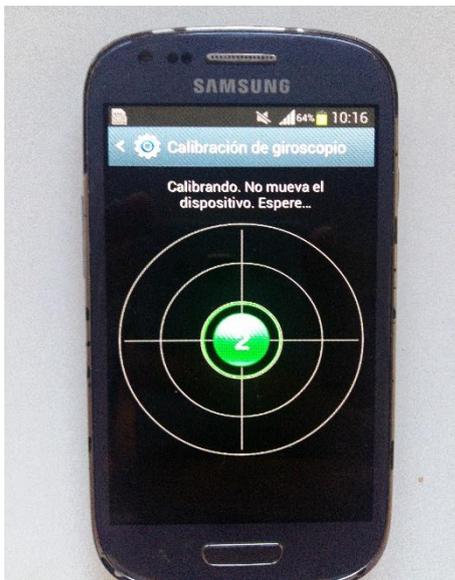


Ilustración 65 CALIBRACION GIROSCOPIO

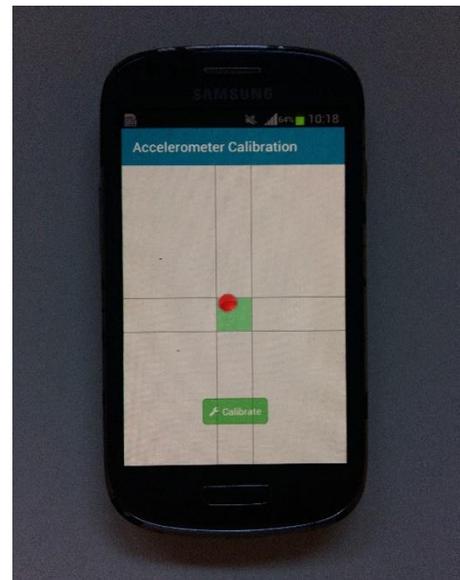


Ilustración 66 CALIBRACION  
ACCELEROMETRO

Para el acelerómetro (ilustración 66), la filosofía a seguir es la misma. Se deberá calibrar sobre una superficie plana del vehículo, preferiblemente ya colocado en su posición de partida. Una vez calibrado, los valores de la aceleración en los ejes X e Y deberá ser prácticamente nula y, en el eje Z deberá marcar el valor de la gravedad, aproximadamente  $9,8 \text{ m/s}^2$ . En este caso, se necesita descargar una app externa que sea capaz de calibrar el acelerómetro, como se muestra en la ilustración 66. Si no se dispusiera de la aplicación, hacer rotar el móvil en torno a cada uno de sus ejes, o “dibujar” un 8 con el teléfono móvil cara arriba, en teoría



bastaría para calibrarlo. Aunque lo mejor será a través de una app externa, y con el/los teléfonos/s posicionado/s en el vehículo.

Una vez calibrados ambos sensores y, ya colocado en su posición de partida, tanto para el dispositivo en la parte delantera como para el colocado en la parte trasera, se arranca el vehículo. Se ejecuta la app SENSOR MOBILE en ambos móviles y se selecciona acelerómetro y giroscopio. Con el vehículo arrancado, pero parado, se graba durante 15 segundos. El resultado de la grabación mostrará las vibraciones que se producen con el vehículo en parado. Estas vibraciones se mostrarán en forma de velocidad angular para el giroscopio, y en forma de aceleraciones para el acelerómetro. Por lo tanto, si se realiza el promedio de los valores recogidos para cada uno de los sensores y en cada uno de sus ejes, se obtiene una media de las vibraciones/oscilaciones que sufre el vehículo, provocadas por el movimiento del propio motor. El objetivo será restar el valor promedio correspondiente a cada sensor y en cada eje. De esta manera, queda establecida una posición "0" para el teléfono. Esta posición será la referencia para todos los datos recogidos durante el trayecto y permitirá una lectura más clara en su análisis posterior. Al hacer la media comentada anteriormente, hay que decidir si para el valor de ZA (donde se medirá fundamentalmente la gravedad) se quiere restar el promedio comentado anteriormente. Si sólo se quieren medir variaciones en las aceleraciones a lo largo del eje Z, lo mejor será restar dicho valor para poder analizar mejor los datos.

## II. ANEXO II

La realización de este trabajo se ha basado en el uso explícito de Excel, acompañado de una extensión de dicho programa que permite visualizar los datos recogidos en un mapa, el visor de mapas 3D. Como complemento a este visor de mapas, se ha hecho uso también de otros visores más conocidos como Google Earth o Sig Pac, con los que se ha podido medir distancias sobre el trayecto y calcular el radio de la curva realizada a partir del vehículo de una manera visual, rápida y fiable.

Debido a que la aplicación utilizada guarda las grabaciones hechas por cada sensor por separado y, si se hace uso de dos teléfonos móviles para grabar el trayecto como se ha realizado aquí, la cantidad de archivos se multiplica, hay que tratar los datos de la manera más clara posible, con un orden que permita su comprensión y respetando la nomenclatura a cada uno de los posibles movimientos y giros. Para ello se ha creado una plantilla en la que pegar los valores de cada uno de los archivos, consiguiendo de esta manera un tratamiento más ordenado de los datos, sin necesidad de ir a buscar el archivo origen cada vez que quiera consultarse algo.

Ilustración 67 PLANTILLA EXCEL

La ilustración 67 muestra la plantilla anteriormente comentada, comenzando por la izquierda con el GPS, acelerómetro y giroscopio en ese orden. Las celdas en amarillo es el resultado final de la calibración del teléfono móvil sobre el vehículo. La plantilla para el otro dispositivo móvil es idéntica a la presentada en la imagen.

Con la gran cantidad de datos que se puede llegar a recoger, lo más conveniente será crear una tabla dinámica que trate los resultados de una manera más compacta. Esto se consigue, una vez insertada la tabla dinámica, agrupando los segundos por cada 0,5 segundos. De esta manera pasan a tratarse los datos en intervalos de 0,5 segundos cada uno, siendo el valor en esa fracción de segundo el promedio de los datos contenidos en el dicho intervalo.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a complex data table. The table is organized into columns for different sensor types: GPS (Delantero and Trasero), Acelerómetro, and Giroscopio. Each sensor type has multiple sub-columns for specific data points like Altitud, X, Y, Z coordinates, and various acceleration/rotation rates. The rows represent time intervals, with the first column showing the time range (e.g., 0-1, 1-2, 2-3) and subsequent columns containing numerical data for each sensor parameter. The spreadsheet includes standard Excel interface elements like the ribbon at the top and a status bar at the bottom.

Ilustración 68 TABLA DINAMICA EXCEL

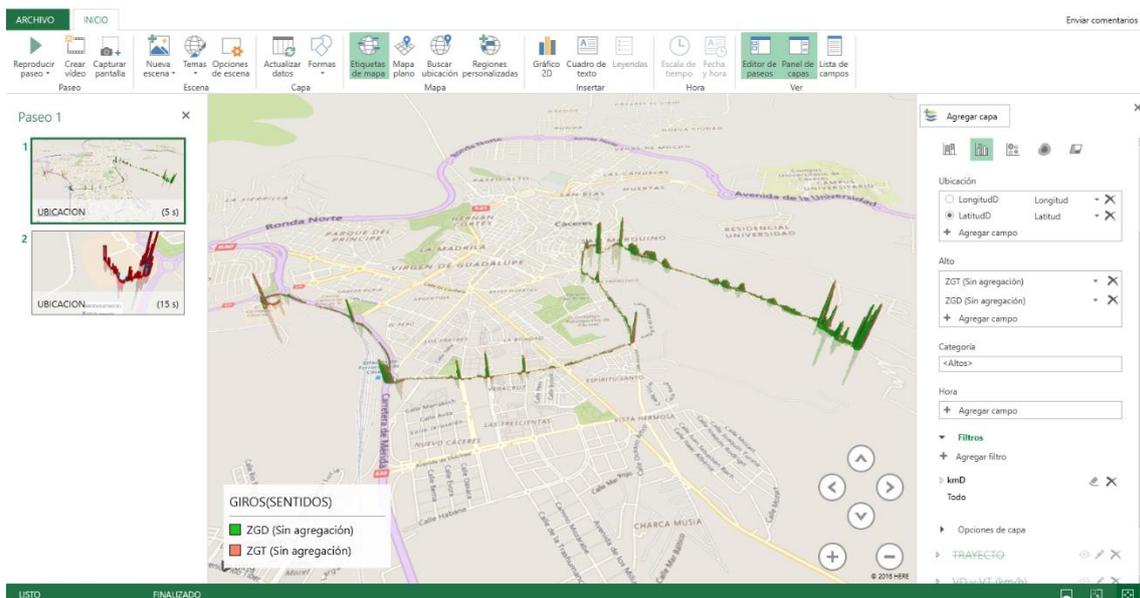


Ilustración 69 VISOR DE MAPA 3D

Una vez agrupados los datos como aparecen en la ilustración 68, se procederá a agregarles al visor de mapas de Excel, para poder situar los valores en función de su posición dada por el GPS. Ahora ya se pueden ubicar los valores grabados por cada uno de los sensores como muestra la ilustración 69. Esta aplicación de Mapas 3D da total libertad a la hora de representar los datos a gusto



de cada uno. El uso de este visor ha sido fundamental a la hora de realizar el trabajo, ya que permite una visión más general de los datos.

El próximo paso será identificar qué es lo que se quiere analizar y cuánto tiempo dura, para poder extraer esos datos y analizarlos de manera discreta. A partir de aquí, exista libertad de elección sobre qué se quiere analizar, si los giros, las aceleraciones o todo ello como conjunto dando una visión más global de lo que le esta pasado al vehículo o medio de transporte en estudio.