

E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación

Estudio vibraciones y confort en vehículo



Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Juan Pedro Ayesa de la Fuente

Tutor UPNA: Jokin Aginaga

Tutor KyB: Alexander Alonso

Pamplona. 25/Junio/2014



KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales



Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar a aquellas personas que han colaborado de forma directa en el proyecto como son mis tutores: Jokin Aginaga, profesor de la Universidad Pública de Navarra y Alexander Alonso, miembro de KyB. Por su buena disposición y el tiempo dedicado en este trabajo y en segundo lugar al departamento de Puesta a Punto por el buen clima de trabajo y compañerismo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Resumen

Se quiere evaluar el confort relacionándolo con las vibraciones mecánicas en un vehículo para diferentes tipos de amortiguadores con la norma ISO2631-1 como referencia. Estimar el confort para diferentes zonas del cuerpo y analizar las vibraciones para analizar el comportamiento del vehículo y finalmente diseñar una interfaz en Matlab para permitir al equipo de KyB tener esta herramienta en forma de ejecutable.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Palabras clave

$a_w(t)$ – Aceleración instantánea en un eje ponderada en frecuencia en el tiempo t .

Aceleración raíz cuadrática media ponderada – Es la magnitud de la aceleración de la vibración calculada a partir de alguna de las ponderaciones de las frecuencias contenidas en el intervalo de frecuencia de interés.

Acelerómetro – Elemento transductor que sujeta a la superficie que vibra y convierte el movimiento mecánico en una señal eléctrica equivalente.

Análisis espectral – Es el gráfico que muestra cómo es la descomposición de una señal ondulatoria en el dominio de frecuencia.

FFT – Fast Fourier Transform – Transformada rápida de Fourier.

Intervalo de banda – Intervalo de frecuencia definida dentro de intervalos en tercios de octava.

ISO – International Organization for Standardization- Organización internacional para la normalización.

Matlab – Matrix Laboratory

MTVV – Valor máximo transitorio de vibración

Muestreo . Operación de crear una secuencia de números o muestras, a partir de una señal analógica en la que cada valor equivale a la magnitud de la misma en un instante de tiempo.

RMS – Valor efectivo de la señal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales



KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Indice

1	Introducción	11
1.1	Contexto	11
1.2	Suspensión	16
1.2.1	Historia suspensión	16
1.2.2	Funciones de los trenes de Suspensión	18
1.2.3	Funciones amortiguador	20
1.2.4	Lugares funcionamiento	22
1.2.5	Tipos Amortiguadores	24
1.3	Antecedentes	31
1.4	Objetivos	32
1.5	Vibración	34
1.5.1	Definición	34
1.5.2	Clasificación de vibraciones	34
1.5.3	Concepto de vibración con movimiento armónico simple	38
1.6	Dominio Frecuencial VS temporal	41
1.7	Percepción de la vibración en el cuerpo humano	43
1.8	Ponderación de la frecuencia	44
2	Marco teórico (ISO2631-1)	46
2.1	Instrumentos medición utilizados	46
2.2	Programa adquisición de datos	56
2.3	Ejes de medición	62
2.4	Acondicionamiento de señales en el dominio de la frecuencia	63
2.4.1	Transformada de Fourier	63
2.5	Evaluación de vibración	65
2.6	Evaluación de la vibración en el dominio temporal	65
2.6.1	Método básico	66
2.6.2	Método adicional	67

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2.6.3	Aceleración total	68
2.6.4	Factor de cresta	71
2.7	Análisis dominio de frecuencia	72
2.7.1	Medida Vibración	72
2.7.2	Dirección medida	72
2.7.3	Localización medida	72
2.7.4	Análisis 1/3 Octavas	73
2.7.5	Funciones de transferencia	78
3	Desarrollo práctico	82
3.1	Introducción Octave	82
3.2	Descripción del Programa	82
3.3	Descripción programas Octave	84
3.4	Necesidad de criterio	90
3.5	Ampliación programa (diseño de filtros 1/3 octavas)	90
3.6	Complementos programa Octave Inicial	95
3.7	Introducción Matlab	98
3.8	Descripción del programa	98
3.9	Adaptación a Matlab	100
3.10	Programas Matlab	100
3.11	Salida resultados	124
3.12	Análisis resultados	136
3.13	Implantación Toolbox	145
3.14	Método adicional de análisis gráfico	155
3.15	Esquema programas principales	157
3.15.1	Esquema “main”	158
3.15.2	Esquema “ACC4”:	159
3.15.3	Esquema “Acc3”:	160
3.15.4	Esquema “Gyro_Principal”	161

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.16	Resolución problemas integral	162
3.17	Resolución problemas derivada	169
4	Alcance análisis	184
5	Análisis experimental	185
5.1.1	Preparación	185
5.1.2	Contexto	185
5.1.3	Descripción componentes	185
5.1.4	Fotos Vehículo	188
5.1.5	Sensaciones	192
5.1.6	Adquisición de datos Rs2	192
5.1.7	Exportación de datos	195
5.1.8	Ejecución del programa /Análisis de datos (Matlab)	196
5.1.9	Valoración de resultados	199
5.1.10	Futuro Seguimiento	200
6	Diseño Interfaz	203
7	Conclusión	213
8	Anexos	215
8.1	Ficha técnica transductores	215
8.1.1	Giróscopo AIM	215
8.1.2	Acelerómetro Dyrtran	216
8.1.3	Potenciómetro hilo	217
8.1.4	Acelerómetro capacitivo	218
8.2	Código Fuente	220
8.2.1	Código Main	220
8.2.2	Código Main2	221
8.2.3	Código confort asiento	233
8.2.4	Código ACC3	235
8.2.5	Código buscar	238
8.2.6	Código espectrowk	238
8.2.7	Código ponderacionwk	239
8.2.8	Código MTVV	247
8.2.9	Código AV_ACyG	249

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

8.2.10	Código Gráficos AccA	250
8.2.11	Código Leer	258
8.2.12	Código Espectrofun	259
8.2.13	Código Awgeneral	259
8.2.14	Código FiltroINT	260
8.2.15	Código Hilo_main	263
8.2.16	Código Hilo	263
8.2.17	Código pasobajo	278
8.2.18	Código Hilo (GUI)	278
9	Bibliografía	284

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

1 Introducción

1.1 Contexto

Este proyecto ha sido desarrollado en la empresa KyB en la planta de Kybse.

KYB Europe GMBH es una filial de KYB Corporation, una empresa global con sede en Tokio, Japón.



Ilustración 1. Mapa mundi sedes KyB

Durante casi un siglo, KYB se ha especializado en sistemas hidráulicos, con una tecnología ampliamente utilizada en las industrias aeronáutica, ferroviaria y marítima. KYB es la empresa líder en sistemas hidráulicos de Japón.

El grupo KYB, que cuenta con 11.370 empleados en todo el mundo, factura 2.600 millones de dólares americanos, de los que el 60% proviene de ventas de amortiguadores a la industria de automoción.

De sus 15 fábricas en Asia, Europa y Estados Unidos, KYB tiene una capacidad anual de producción de más de 75 millones de amortiguadores. KYB posee la mayor fábrica de amortiguadores del mundo (en Gifu, Japón), con una

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

capacidad de más de 50 millones de piezas y un sistema altamente automatizado que logra producir una columna de suspensión en tan sólo 15 segundos. KYB Corporation cotiza en la bolsa de Tokio y exporta sus productos a más de 100 países de todo el mundo.

KYB Europe tiene su sede próxima a Dusseldorf, Alemania, con 7 sucursales que proporcionan servicio comercial y asistencia técnica en Europa y África.

La empresa KyB cuenta con una abarca una amplia gama de sectores:

 Equipamiento Hidráulico



Ilustración 2. Equipamiento Hidráulico

El equipamiento hidráulico para la construcción de KYB desarrolla potentes trabajos de forma ágil y los dispositivos hidráulicos de aviación ofrecen seguridad y precisión en todo el mundo.

KYB fabrica sistemas de dirección electrónica e hidráulica que contribuyen a una conducción segura de los vehículos con una rápida respuesta ante situaciones peligrosas. Los sistemas de tecnología espacial y de aviación desarrollados por KYB incluyen varios tipos componentes para el tren de aterrizaje. La fiabilidad y la seguridad son primordiales en estas áreas.

Como líder de la industria en dispositivos hidráulicos, KYB juega un importante papel en el progreso de la sociedad industrial. Incluso los

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

dispositivos más potentes se están volviendo más pequeños, electrónicos y sistematizados.

KYB Europe no comercializa equipos hidráulicos para la construcción.

Productos de Sistema



Ilustración 3. Página Web KyB

KYB produce equipos para aplicaciones variadas y a menudo únicas, combinando sistemas hidráulicos con funciones electrónicas, de control, neumáticas y una gran variedad de tecnologías; nuevas tecnologías que abren nuevos mercados y contribuyen al futuro.

Los camiones mezcladores de hormigón de KYB cuentan con una reputación mundial. La tecnología neumática se utiliza para transportar cemento, cal y otros materiales granulados. Las técnicas tradicionales de fabricación de tambor se están utilizando ahora para crear productos que respeten el medio ambiente, como vehículos para astillar árboles.

Como Asia es propensa a los terremotos, KYB ha desarrollado un equipo para minimizar la vibración de los edificios.

Esta tecnología también se utiliza en edificios altos que son susceptibles de tener que soportar vientos fuertes.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

En el mundo del deporte y del entretenimiento se utilizan sistemas hidráulicos únicos, incluyendo sistemas móviles y retractiles para cubiertas y gradas.

Para el equipamiento marítimo, KYB fabrica elementos como cubiertas de acero para barcos de transporte, equipos de carga y descarga, componentes para submarinos y embarcaciones de investigación en aguas profundas.

✚ Otros componentes de la suspensión



Ilustración 4. Página web KyB

Como proveedor de primeros equipos, KYB fabrica amortiguadores y horquillas frontales de motocicletas.

Con su famosa reputación mundial, los productos para motocicletas de KYB son utilizados por la mayoría de los principales fabricantes de motocicletas. El innovador amortiguador de dirección electrónica y las horquillas frontales recubiertas de carbono tipo diamante (DLC) han obtenido una gran aceptación en el mercado. En Europa, los componentes para motocicletas de KYB se distribuyen por medio de la empresa belga, Technical

El mundialmente famoso Shinkansen, o el tren de alta velocidad japonés, utilizan el sistema de suspensión semiactivo de KYB. El Shinkansen se desliza suave y cómodamente a velocidades superiores a los 300 km/h. La vibración del tren se controla mediante amortiguadores laterales ubicados entre la plataforma del tren y el vagón.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

**Ilustración 5. Página web KyB****Ilustración 6. Página web KyB**

La tecnología de amortiguación hidráulica de KYB apoya a atletas en las competiciones deportivas por todo el mundo; en deportes de dos y cuatro ruedas, bicicletas de montaña, vehículos para la nieve, buggies, etc.

Los sistemas de dirección electrónica de KYB se utilizan ampliamente en el deporte del motor, permitiendo a los conductores responder rápidamente ante situaciones críticas. Para entrar en contexto es necesario conocer como es un amortiguador, sus partes y su funcionamiento.

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

1.2 Suspensión

1.2.1 Historia suspensión

Con el desarrollo de los medios de transporte pronto se vio la necesidad de aislar a los pasajeros de las vibraciones provenientes de las irregularidades del terreno. Una primera solución fue separar la carrocería (masa suspendida) de las ruedas (masa no suspendida) a través de muelles o ballestas. Este sistema, aunque hacía algo más agradable el confort de marcha, tenía el inconveniente de que cualquier impacto provocaba que la “caja” se mantuviera oscilando continua e incontroladamente, provocando la inestabilidad del vehículo. Era necesario pues introducir algún otro elemento o mejora que detuviera esta oscilación. Estos dispositivos fueron los amortiguadores. Los primeros diseños consistieron en discos que amortiguaban por fricción entre ellos. Posteriormente se desarrollaron los amortiguadores hidráulicos telescópicos, que es el tipo que más se utiliza actualmente. De este tipo de amortiguador, que es el que centra nuestra atención, hablaremos mas adelante.



Ilustración 7. Manual del amortiguador KyB

Al principio los carruajes iban suspendidos directamente sobre el eje de las ruedas. Todas las perturbaciones se comunicaban directamente al carro y a los pasajeros. Esta solución fue mejorada al introducir ballestas entre las

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

ruedas (masa no suspendida) y el carro (masa suspendida). Aunque se mejoraba el confort de marcha, también era un sistema inestable, ya que al producirse una perturbación, esta continuaba de forma continua, de tal manera que el carro oscilaba ininterrumpidamente.

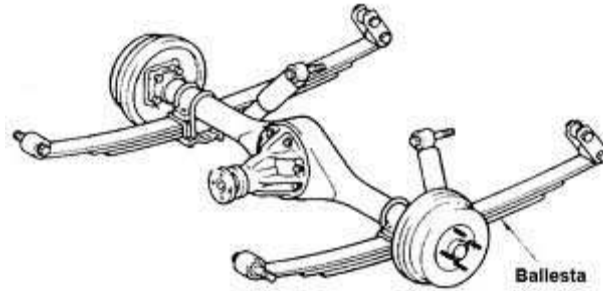


Ilustración 8. . Manual amortiguador KyB

Posteriormente se introdujeron elementos amortiguadores de estas oscilaciones. Hoy en día los elementos de suspensión de los automóviles han evolucionado de tal manera que podemos controlar el grado de confort y seguridad, para adaptarlo a las exigencias del mercado.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

KYB
Our Precision, Your Advantage

Ilustración 9. Manual amortiguador KyB

1.2.2 Funciones de los trenes de Suspensión

Centrémonos ahora en comprender algo más de la suspensión y dinámica de los vehículos. Se llama suspensión al conjunto de elementos elásticos que se une y se interponen entre los órganos suspendidos (bastidor, carrocería, pasajeros y carga) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes). Su misión es absorber las reacciones producidas en las ruedas por las desigualdades del terreno, asegurando así la comodidad de los pasajeros del vehículo y, al mismo tiempo, mantener la estabilidad de este. La absorción de estas reacciones se consigue por la acción combinada de los neumáticos, la elasticidad de los asientos y el sistema de suspensión.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

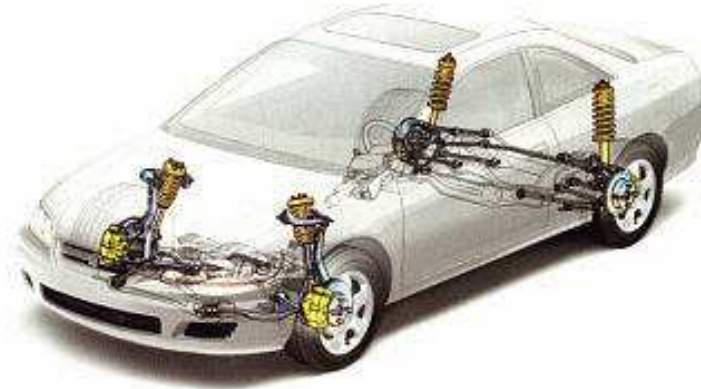


Ilustración 10. . Manual amortiguador KyB



Ilustración 11. . Manual amortiguador KyB

Las diferentes partes del sistema de suspensión de un vehículo moderno son:

- ✚ Elementos de guiado: Brazos de suspensión
- ✚ Elementos elásticos: Cauchos, resorte, barra suspensión.
- ✚ Elementos amortiguadores

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Las funciones del sistema o trenes de suspensión son las siguientes:

- ✚ Portar al vehículo y soportar su sobrecarga inercial, producida en aceleraciones, frenadas y cambios de trayectoria.
- ✚ Permitir el abatimiento de la rueda en movimiento vertical
- ✚ Guiar al vehículo de modo preciso. Cuando realizamos el frenado del coche se ha de evitar que éste no se mueva a derecha o izquierda sino que se mantenga recto.
- ✚ Dirigir al vehículo: Sistema de dirección.
- ✚ Impulsar y frenar el vehículo.
- ✚ Aislar a los pasajeros de las oscilaciones (confort).
- ✚ Asegurar la adherencia de las ruedas al suelo en todo momento y en todas

1.2.3 Funciones amortiguador

El amortiguador es uno más de los elementos que sirven de unión entre la masa no suspendida y la masa suspendida. Esencialmente es un sistema hidráulico que transforma la energía mecánica de los muelles de suspensión en energía calorífica que, a su vez, se distribuye por la masa del propio amortiguador y resulta disipada por el aire que le rodea. De esta forma controla la acción de la suspensión elástica en sus movimientos y garantiza la adherencia del neumático al suelo. Los amortiguadores actuales son básicamente bombas de hidráulicas de aceite. Un pistón unido al extremo de un vástago es forzado a moverse a lo largo de un tubo lleno de aceite

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

presurizado. Con el movimiento de subida y bajada de la suspensión, el fluido hidráulico pasa a través de estrechos pasos Manual del amortiguador KYBSE orificios dentro del pistón. Esto frena el movimiento del pistón, que a su vez frena los movimientos del muelle y de la suspensión.

La magnitud de la resistencia producida por el amortiguador depende de la velocidad de la suspensión y del número y tamaño de los orificios del pistón, de tal manera que a mayor velocidad del pistón, mayor es la fuerza de amortiguamiento. La fuerza de amortiguación sigue una ley del tipo:

$$F = c * V^n$$

Donde

✚ c: coeficiente de amortiguación

✚ V: velocidad del pistón

✚ n: tipo de orificio

Como veremos más adelante, el coeficiente de amortiguación puede hacerse distinto en función de rango de velocidades en que nos movamos, de tal manera que pueden realizarse mejores ajustes en el comportamiento.

Como hemos visto, la función básica del amortiguador es absorber la energía acumulada en el muelle de la suspensión. Esto que aparentemente es tan sencillo, conlleva otra serie de funciones en el vehículo que son de gran importancia. Las más importantes son las siguientes:

- ✚ Asegurar la adherencia de las ruedas al suelo. En caso de que las ruedas se despeguen del suelo perderemos el control del vehículo.
- ✚ Limitar los abatimientos verticales de la suspensión. Estos han de ser frenados de manera razonable.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

- ▣ Contribuir al confort acústico. El amortiguador debe absorber vibraciones que puedan provocar ruido.
- ▣ Funcionar a pesar de las agresiones ambientales. Debe resistir fundamentalmente la acción de la corrosión y el envejecimiento de gomas.

1.2.4 Lugares funcionamiento

El funcionamiento del amortiguador se basa en la circulación de aceite entre los dispositivos internos a través de un conjunto de válvulas que generan una resistencia al paso del mismo entre las cámaras del amortiguador. De esta forma se controlan las oscilaciones de la suspensión.

Tracción

Para que el amortiguador se abra, el pistón necesita subir y esto solo se logra si el aceite que está arriba del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuello del pistón y la ranuras que se hacen (codificado) en el asiento de la válvula de expansión. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión controlada. El actuar de estos tres elementos, proporciona las fuerzas del amortiguador que se conocen como resistencias hidráulicas.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

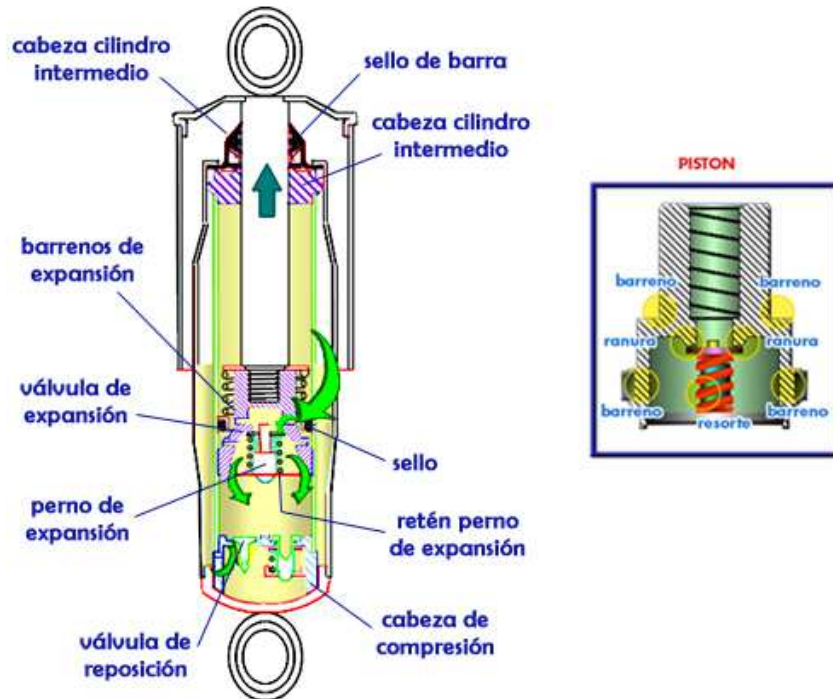


Figura 1. Amortiguador funcionamiento a tracción.

Compresión

Para que el amortiguador se cierre, el pistón necesita bajar y esto solo se logra si el aceite que está en la parte inferior del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuerpo del pistón y las ranuras que se hacen (codificados) en la cabeza de compresión donde se ubica la válvula de reposición. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de compresión ubicado en la cabeza de compresión que mantiene la válvula controlada. Como en la expansión, el trabajo de estos elementos, genera las fuerzas del amortiguador que se conocen como resistencias hidráulicas.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

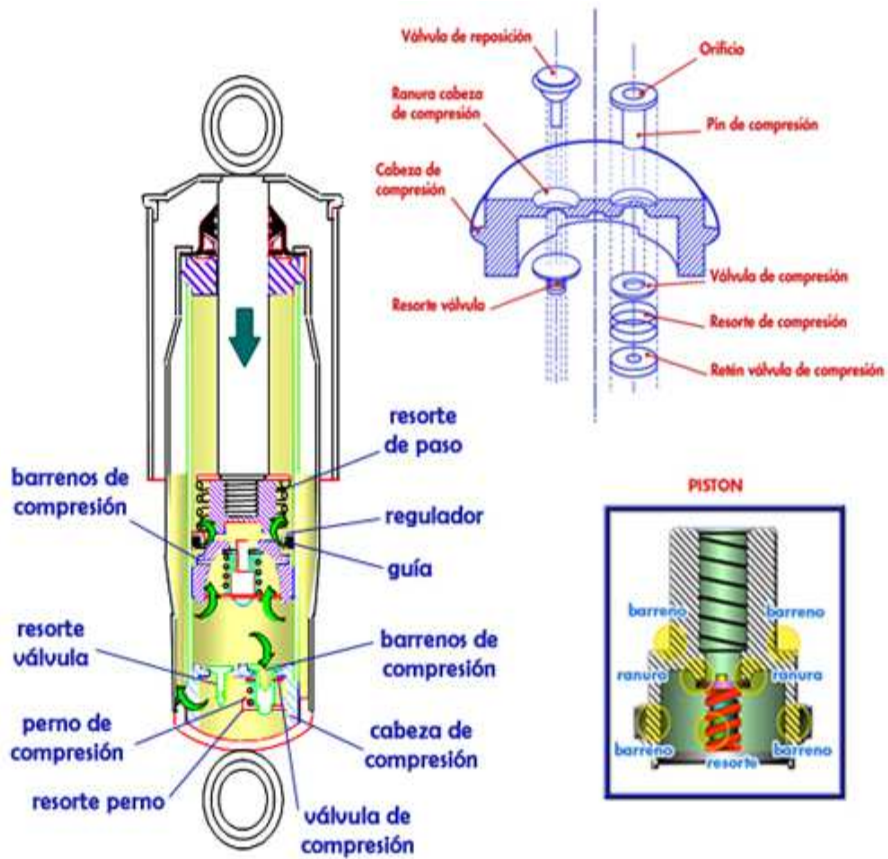


Figura 2. Amortiguador funcionamiento a compresión

1.2.5 Tipos Amortiguadores

Los amortiguadores hidráulicos convencionales los podemos clasificar en tres tipos, atendiendo a su construcción y utilización en vehículos. Estos son: Bitubos, Strut y Monotubos.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Amortiguador bitubo

Las fuerzas de amortiguación se generan en el tubo interior, y el volumen entre el tubo interior y exterior sirve para compensar el volumen ocupado por el vástago en su movimiento y no está completamente lleno de aceite. El tubo exterior soporta los esfuerzos mecánicos, mientras que el interior soporta los esfuerzos de amortiguación y pueden ir presurizados. Estos amortiguadores están formados principalmente por:

- ✚ Dos tubos concéntricos cerrados por la tapa y la guía por la parte superior.
- ✚ Pistón unido al vástago.
- ✚ Los tubos exterior e interior se comunican por medio del soporte de válvula. Son de diseño económico y se utilizan principalmente en el eje trasero.

Amortiguador Strutt

Van asociados a suspensiones tipo McPherson y normalmente en el eje delantero. Hidráulicamente funcionan como los amortiguadores bitubo. El amarre inferior se une a la mangueta y constan de un soporte para el muelle de la suspensión. Es más rígido y más caro que los bitubos.

Amortiguador monotubo

Está constituido de un único tubo en el que se generan las fuerzas de amortiguación y un vástago que se mueve en su interior. Existe una cámara presurizada separada por un pistón flotante que sirve para compensar el volumen desalojado por el vástago en su movimiento dentro del tubo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Amortiguadores Bi-Tubo vs. Mono-Tubo

Todos los vehículos están equipados con algún tipo de suspensión con control de amortiguación. Estos pueden usar fluido hidráulico, aire, gas o, inclusive, ser controladas eléctricamente. Los dos diseños internos más utilizados son los Bi-tubo y Mono-tubo.

El diseño Bi-tubo es actualmente el más común en autos, camiones livianos, pick-ups, SUV's (camionetas) y furgones (vans). Este diseño es costo efectivo, ya que brinda excelentes condiciones de maniobrabilidad y control para la mayoría de condiciones de manejo. El diseño Mono-tubo ofrece un rendimiento adicional, incluso en condiciones de manejo más exigentes.

Los amortiguadores bi-tubo tienen dos cilindros. El cilindro interior, conocido como el área de trabajo, es donde el pistón y el vástago (émbolo) se desplazan hacia arriba (extensión) y abajo (compresión). El cilindro exterior sirve como una cámara de reserva para el fluido hidráulico. Este diseño cuenta con dos sistemas de valvulado (pistón y base) encargados de controlar la fuerza de amortiguación.

Existen también amortiguadores Bi-tubo cargados con Gas Nitrógeno. Este gas presurizado permite remplazar el aire (oxígeno) dentro del amortiguador, lo que permite disminuir la aireación, evitar la pérdida de rendimiento y ofrecer mayor estabilidad.

Los amortiguadores mono-tubo tienen un solo cilindro. El cilindro está dividido en dos secciones: El área del fluido hidráulico y la cámara de gas. El pistón y el vástago (émbolo) se mueven en la sección del fluido, utilizando un solo sistema de valvulado (pistón). El diámetro del cilindro de trabajo y de la válvula del pistón son mayores comparados con el diseño Bi-tubo, aunque las dimensiones externas del amortiguador sean las mismas. La válvula opera sin aire o gas, lo que permite una respuesta inmediata, rendimiento constante y eliminando el fenómeno de aireación.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

La cámara de gas de alta presión es separada completamente del área del fluido hidráulico mediante el innovador pistón flotante. Esto provee un área de expansión para el exceso de movimiento del fluido durante la compresión. En condiciones de manejo más exigentes el pistón flotante es empujado hacia la cámara de gas, lo que incrementa rápidamente la presión del gas y genera fuerza de amortiguación adicional. Gracias a su mayor rendimiento, el diseño Mono-tubo es usado como equipo original en algunos vehículos, y ofrecido como una mejoría para aquellos vehículos que vienen equipados con amortiguadores Bi-tubo.



Figura 3. Diseño Bitubo

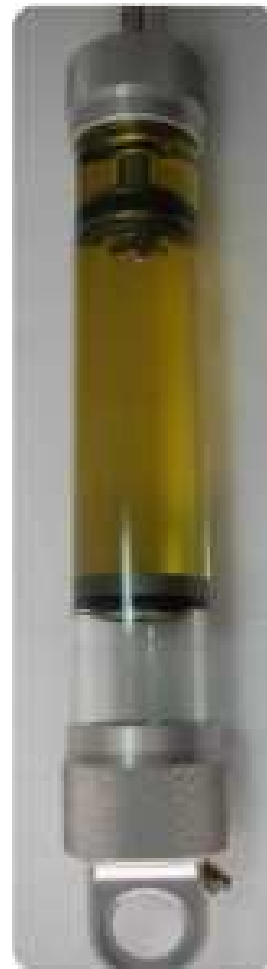


Figura 4. Diseño Monotubo

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

En la estructura podemos determinar que:

- ✚ Ambos tienen aceite.
- ✚ Diferencia en número de cilindros Bi-tubo (2) Mono-tubo (1)
- ✚ Tamaño del pistón, Mono-tubo tiene mayor tamaño.
- ✚ Área de trabajo mayor en el Mono-tubo.
- ✚ Número de válvulas Bi-tubo (2) Mono-tubo (1)
- ✚ Movimientos más rápidos y eficientes en el Mono-tubo.

KyB

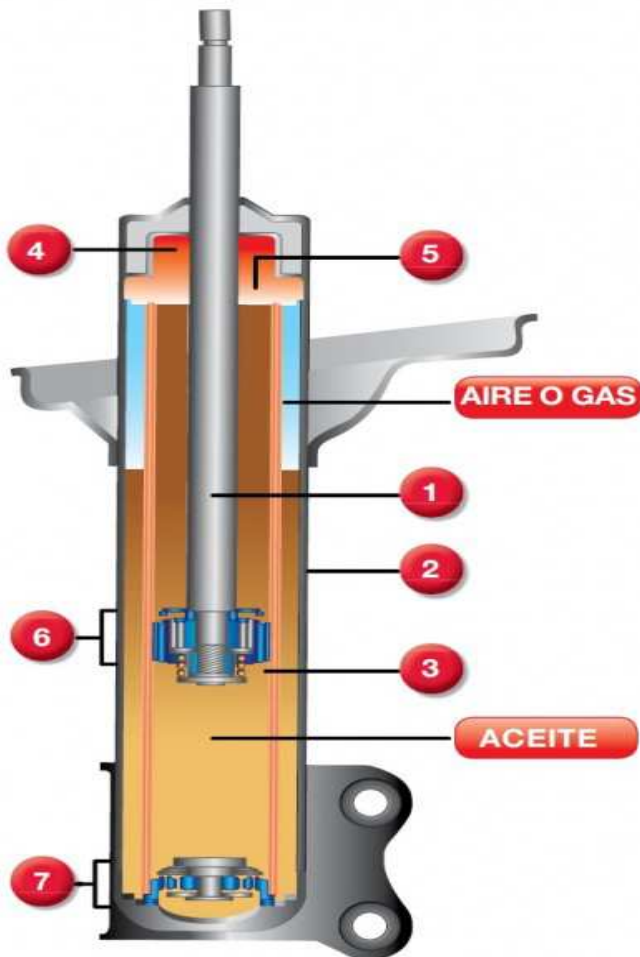
Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

ESTRUCTURA INTERNA

Bi - Tubo



El Amortiguador Bi-Tubo como su nombre lo indica está compuesto por 2 tubos. Un cilindro exterior (Cámara de reserva) y un cilindro interior (Cámara de trabajo). El aceite es inyectado en el interior de ambos cilindros, dejando el aire (Premium) o gas nitrógeno en la cámara de reserva.

La ventaja de éste tipo de amortiguador es el innovador sistema de valvulado de doble fase el cual ofrece una amortiguación óptima.

- 1 Vástago
- 2 Cilindro Exterior
- 3 Cámara de trabajo
- 4 Retén multilabios
- 5 Guía de vástago
- 6 Válvula de pistón
- 7 Válvula inferior

Figura5. Partes amortiguador Manual KyB

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

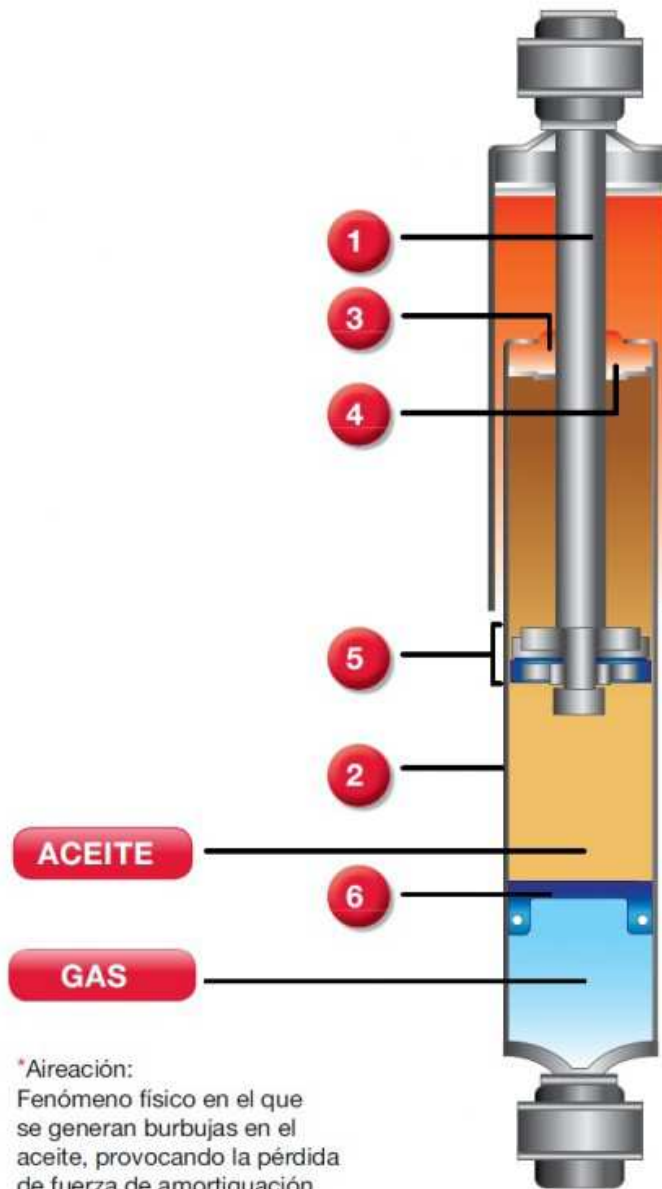
Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales



Mono - Tubo

El Amortiguador Mono-Tubo se conforma de un único cilindro. En el interior se encuentra separado el aceite del gas Nitrógeno altamente presurizado por medio de un pistón flotante. Esta alta tecnología permite obtener una respuesta inmediata de amortiguación y elimina por completo el Fenómeno de Aireación*

- 1 Vástago
- 2 Cilindro Exterior
- 3 Retén Multilabios
- 4 Guía del Vástago
- 5 Válvula del Pistón
- 6 Pistón Flotante



*Aireación:
Fenómeno físico en el que se generan burbujas en el aceite, provocando la pérdida de fuerza de amortiguación.

Figura6. Partes amortiguador Manual KyB

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

1.3 Antecedentes

Antes de nada es preciso conocer a que nos referimos cuando hablamos de "confort", el confort se trata de aquello que brinda comodidades y bienestar al usuario, al conductor, en este caso. Es un factor importantísimo en un vehículo que está directamente relacionado con la suspensión y que puede condicionar la compra o rechazo de un vehículo... por eso mismo el departamento de puesta a punto quiere cuidar hasta el último detalle para mejorar al máximo la relación confort/comportamiento

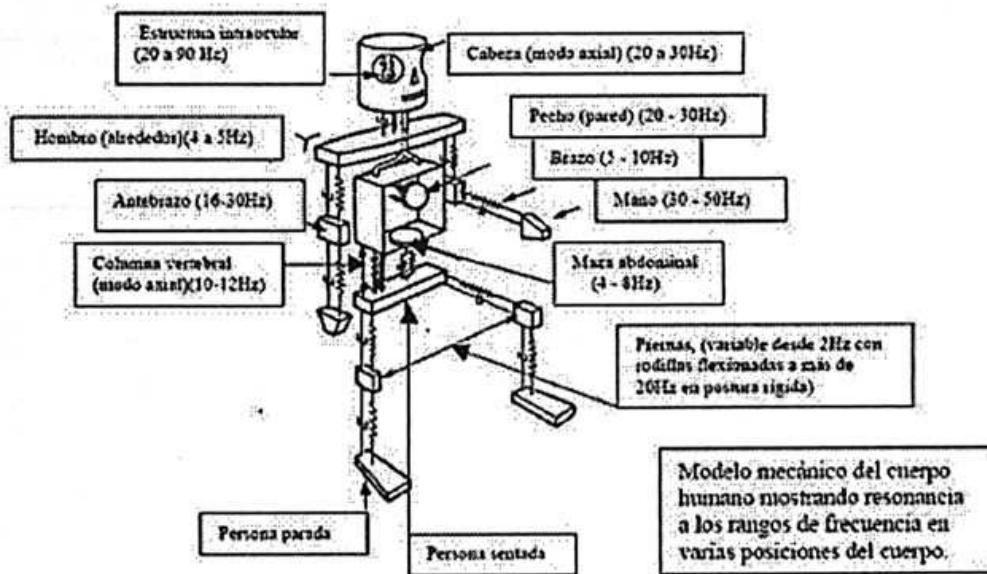


Figura 5. Resonancias cuerpo humano

Las vibraciones de la carretera llegarían a nuestro cuerpo tal como son si no fuera por el sistema de amortiguación del vehículo, gracias a este, las frecuencias se atenúan y nosotros no percibimos lo que perciben las ruedas.

Cada tipo de amortiguador va a tener un comportamiento diferente, por lo tanto, nuestras sensaciones van a variar de un reglaje a otro.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Siendo los usuarios tan diferentes es difícil definir un criterio de confort universal que complazca a todos. Normalmente es un probador quien valora el confort de un vehículo para los diferentes reglajes de algo tan importante como es la suspensión.

Según una prueba de conducción, el probador valora de una manera subjetiva el nivel de confort que nos ofrecen los amortiguadores. El probador es una persona generalmente con una amplia experiencia y gran sensibilidad en el vehículo.

Este tipo de pruebas queda claramente incompleta y demanda un estudio mas exhaustivo del confort , que tenga en cuenta valores firmes y objetivos para una visión más amplia y al alcance de todo el personal involucrado en el estudio y no solo un probador. Con este método de estudio no se quiere reemplazar la misión del probador, sino ofrecer un complemento al estudio del confort para llegar un poco más lejos, a los detalles más pequeños.

1.4 Objetivos

En este proyecto desarrollado en la empresa de amortiguadores KyB se va a definir un criterio para el estudio del confort de una manera muy visual por medio del estudio de vibraciones en el vehículo, viendo como estas interfieren en el cuerpo humano.

Aplicando una serie de ponderaciones según la norma ISO2631-1 se va a poder visualizar por medio de Matlab como afectan determinadas frecuencias al cuerpo humano y comparar diferentes reglajes para ser contrastados.

La herramienta que se pretende crear debe permitir al equipo de puesta a punto de KyB tener un ejecutable en Matlab (ponderado según la norma ISO2631-1) que introduciendo los valores recogidos mediante los transductores

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

instalados en el vehículo permita hacer un análisis comparativo de los diferentes tipos de amortiguador.

Aunque hoy en día existan varios tipos de equipos para el análisis de vibraciones no podemos decir lo mismo para sistemas computacionales que nos permitan extraer y tratar las señales para relacionarlas con el confort. De ahí la necesidad de diseñar un sistema computacional que nos ayude a realizar dichas valoraciones , aún más cuando estamos hablando de algo como es nuestra comodidad en la conducción y todo el valor añadido que esto conlleva. Por ello, este trabajo pretende crear un sistema de análisis que sea capaz de medir y evaluar la exposición humana a vibraciones teniendo la norma ISO2631-1 como referencia.

Objetivos principales del trabajo:

- ✚ Adaptar un programa de Octave a Matlab que procese la señal física obtenida.
- ✚ Implantar norma ISO2631-1.
- ✚ Definir un método según ISO para evaluar el confort.
- ✚ Complementar el programa en Matlab para valorar diferentes resultados.
- ✚ Evaluar las vibraciones mecánicas que sean capaces de afectar al confort del ser humano.
- ✚ Manejo de datos de todos los transductores disponibles.
- ✚ Definir método de valoración de resultados.
- ✚ Realizar prueba empírica para evaluar el vehículo.
- ✚ Desarrollar Interfaces de Usuario gráficas independientes de Matlab.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

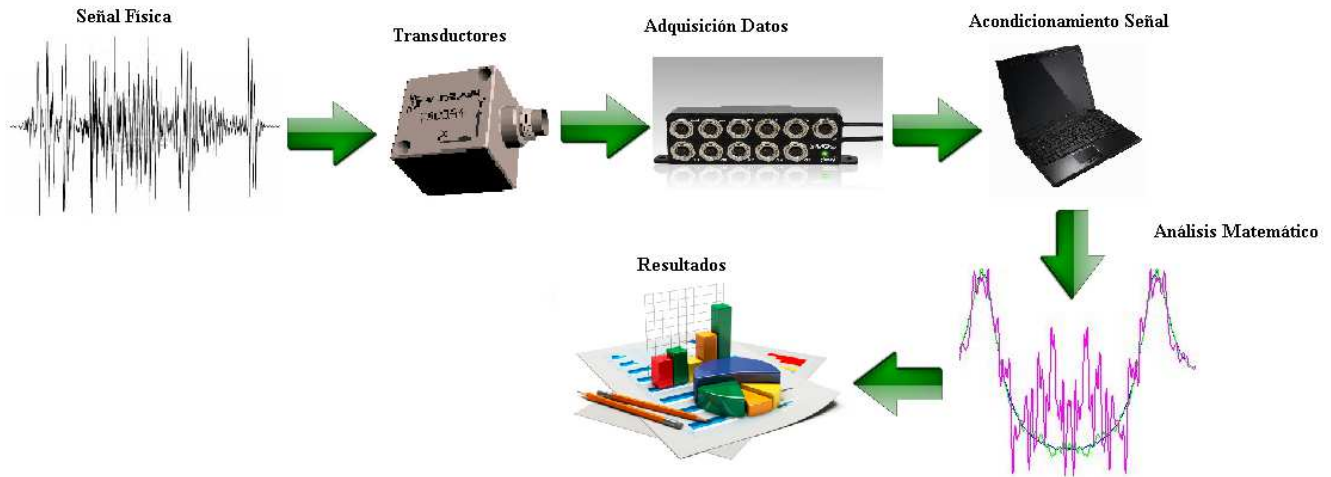


Figura 6. Áreas de estudio y esquema de proceso de trabajo.

1.5 Vibración

1.5.1 Definición

A lo largo del trabajo “ vibración ” es un término que aparecerá con notable frecuencia y es importante tener claro su concepto. En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Todos los cuerpos con masa y elasticidad son capaces de vibrar, de tal manera que la mayoría de las maquinas así como el cuerpo humano puede experimentar vibraciones. La vibración de un objeto es causada por una fuerza de excitación que está relacionada con la frecuencia y magnitud de vibración.

1.5.2 Clasificación de vibraciones

Vamos a ver varias formas de clasificar el estudio de las vibraciones mecánicas:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

- ✚ **Vibración libre:** es cuando un sistema vibra debido a una excitación instantánea. Estas perturbaciones aparecen y desaparecen inmediatamente. Un ejemplo de este tipo de vibración puede ser cuando un coche pasa a través de un guardia tumbado, el rasgueo de las cuerdas de una guitarra o un impacto puntual.

- ✚ **Vibración forzada:** es cuando un sistema vibra debida a una excitación constante. Por ejemplo cuando un vehículo va circulando por una carretera uniforme.

- ✚ **Vibración amortiguada:** es cuando la vibración de un sistema es disipada. Por ejemplo en un vehículo los amortiguadores disipan esta energía cinética en calor, y tiene como resultado un aumento de la temperatura.

- ✚ **Vibración no amortiguada:** es cuando la disipación de energía se puede disipar para su estudio.

El amortiguamiento es un sinónimo de la perdida de energía de sistemas vibratorios. Este hecho puede aparecer como parte del comportamiento interno de un material, de rozamiento, o bien, un elemento físico llamado amortiguador. En nuestro caso las señales estarán amortiguadas.

- ✚ **Vibración lineal:** si los componentes básicos de un sistema tienen un comportamiento lineal la vibración resultante es lineal,

- ✚ **Vibración no lineal:** se produce si alguno de sus componentes se comporta como no lineal.

El comportamiento lineal de un elemento facilita su estudio, en la realidad todo elemento se comporta como no lineal pero los resultados de su estudio no difieren, en su mayoría, a los realizados si se consideran como elementos

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

lineales. A continuación mostramos un sistema no lineal aproximado por el método de mínimos cuadrados.

En la física se encuentran numerosas leyes en las que dos magnitudes X e Y se relacionan por medio de una ecuación lineal

Como, por ejemplo, una recta: $Y = aX + b$

Donde b (ordenada en el origen) y a (pendiente) son parámetros constantes pero dependen del sistema que se estudia, es decir, cada sistema puede tener pequeñas variaciones en sus resultados, con la aplicación de este método se aproxima una recta que se adecua mejor a la dispersión de los resultados.

El método más efectivo que podemos utilizar para encontrar estas constantes es el método de mínimos cuadrados. No resulta interesante su explicación matemática en este trabajo pero resulta muy útil en diversas aplicaciones para poder evaluar sistemas no lineales.

Dependiendo de la señal:

✚ **Determinista:** como hemos visto a continuación hay vibraciones lineales que pueden ser representadas por ecuaciones y en algunos casos también las no lineales por mínimos cuadrados, en estos casos, se consideran señales deterministas. Dentro de este tipo de señales distinguimos las periódicas y las no periódicas.

A su vez, dentro de las periódicas encontramos las de tipo senoide y las complejas. Estas últimas presentan problemas para determinar su ecuación característica y se hace necesario acudir a teoremas matemáticos como la transformada de Fourier, que descompone una señal por la suma de armónicos, además, cuando esta representación de señal sea muy complicada

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

matemáticamente se recurrirá a la transformada rápida de Fourier (TRF) que sigue el mismo concepto pero calcula los armónicos por muestreo de la señal.

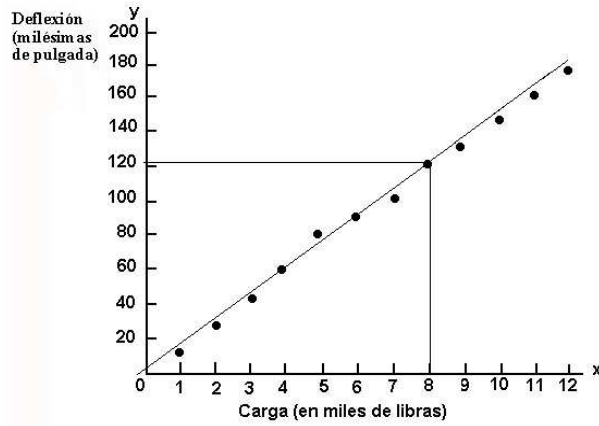


Figura 7. mínimos cuadrados

En la siguiente imagen observamos como una señal se descompone una señal compleja en sus diferentes armónicos:

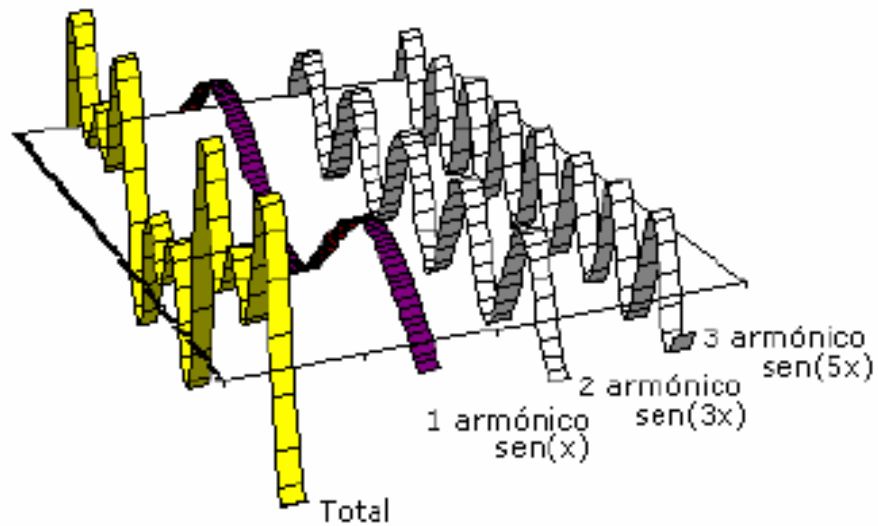


Figura 8. Armónicos

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

En la siguiente imagen apreciamos superpuestas dos señales, una del tipo senoide y otra compleja:

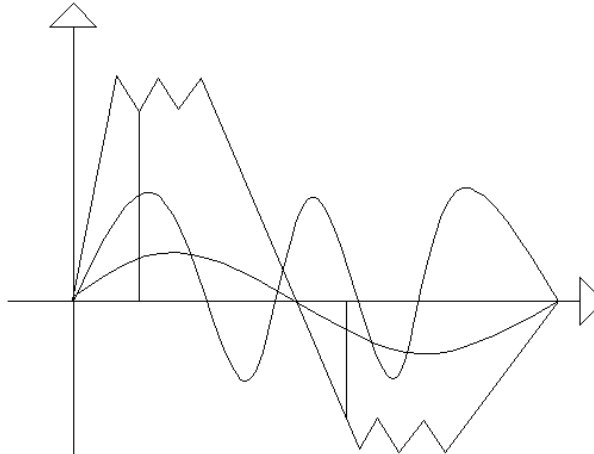


Figura 9. Señal senoide y compleja

- ✚ **Probabilística:** se dice de una señal que se caracteriza por ciclos irregulares de movimiento y no es predecible.

1.5.3 Concepto de vibración con movimiento armónico simple

La vibración en la visión más general es un movimiento periódico, es decir, que se repite después de un intervalo determinado llamado periodo y designado habitualmente con la letra T. Con este ejemplo de vibración con un armónico simple se pretende tener una idea clara de las características y parámetros de una vibración los más visual posible para formar una idea clara de las mismas.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Con la ayuda de una gráfica de desplazamiento “X” frente al tiempo “t” se muestra un ejemplo de señal de vibración que describe un péndulo con una masa suspendida al moverse en el eje vertical (solo un grado de libertad).

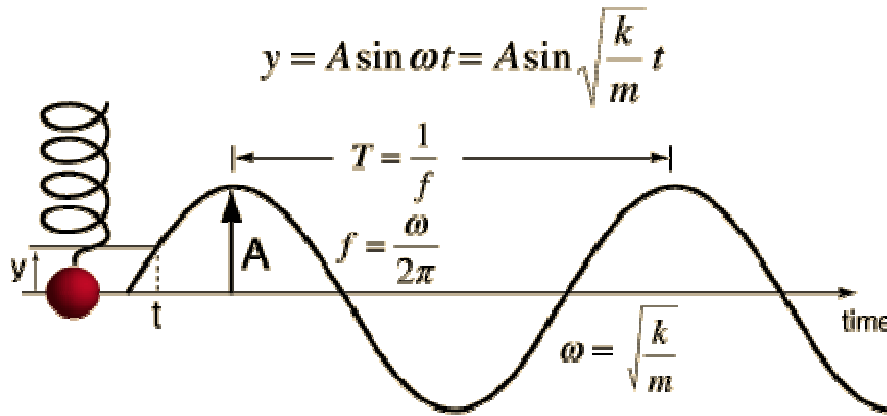


Figura 10. Movimiento armónico simple

$$X = A \sin(\omega t)$$

Donde

- ✚ **X** es el desplazamiento del movimiento armónico simple
- ✚ **A** es el valor máximo de desplazamiento o amplitud de vibración
- ✚ **W** es la frecuencia angular
- ✚ **t** es el tiempo en el que transcurre el movimiento

Si se desplaza la masa, hasta una cierta distancia de su punto de equilibrio, y después se suelta, el resorte regresará al equilibrio. Para entonces, la masa tendrá algo de energía cinética y rebasará la posición de descanso y desviará el resorte en la dirección opuesta. Perderá velocidad hasta llegar al otro extremo de desplazamiento donde volverá a repetir el proceso hasta el punto de equilibrio. El mismo proceso se volverá a repetir con la energía

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

transfiriéndose entre la masa y el resorte. Si no hubiese fricción en el sistema, la oscilación no sería atenuada y quedaría la oscilación constante para siempre. En la realidad todos los sistemas poseen fricción y la energía se disipa en forma de calor u otros modos de energía no recuperables.

Una medida importante de la vibración es el valor raíz cuadrático medio (r.m.s) de la aceleración. El valor r.m.s es proporcional al contenido de energía de la vibración medida.

Frecuencia Natural:

La frecuencia natural o de resonancia de un sistema es aquella frecuencia que tiene una tendencia o facilidad para vibrar. Todo sistema posee una o varias frecuencias naturales de forma que al ser excitadas se producirá un aumento importante de vibración. La fórmula de la frecuencia natural es:

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Ecuación 1. Frecuencia natural

Siendo m la masa y K la rigidez. De esta fórmula se deduce que si la rigidez aumenta, la frecuencia natural también aumentará, y si la masa aumenta, la frecuencia natural disminuye.

Resonancia:

La resonancia es un estado de operación en el que la frecuencia de excitación se encuentra cerca de la frecuencia natural del coche o cualquier objeto. Un coche tendrá varias frecuencias naturales, y es posible que algunas entren en resonancia con las vibraciones y las amplifiquen, para evitar picos de vibración. Es recomendable conocer las frecuencias naturales de vibración de partes clave del vehículo o el sistema de suspensión como el vástago o el chasis.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

1.6 Dominio Frecuencial VS temporal

La práctica más común es llevar a cabo el análisis en frecuencias, también llamado análisis espectro de la señal de vibración. La gráfica en el dominio de tiempo se llama *forma de onda* y la gráfica en el dominio de frecuencia se llama *espectro de la señal de vibración*. El análisis del espectro es equivalente a transformar la información de la señal del dominio de tiempo al de la frecuencia.

Hay varios motivos por los que se opta por representar las vibraciones con respecto a la frecuencia y no con respecto al tiempo. En muchas ocasiones la forma de onda contiene mucha información que no es aparente y que se pueden apreciar en el campo de la frecuencia, además, para el tema tratado en este trabajo, es más recomendable tratar con los espectros de vibración, como bien sabemos, el cuerpo humano es más sensible a determinadas frecuencias y de esta manera, la evaluación visual se puede corresponder más con la realidad.

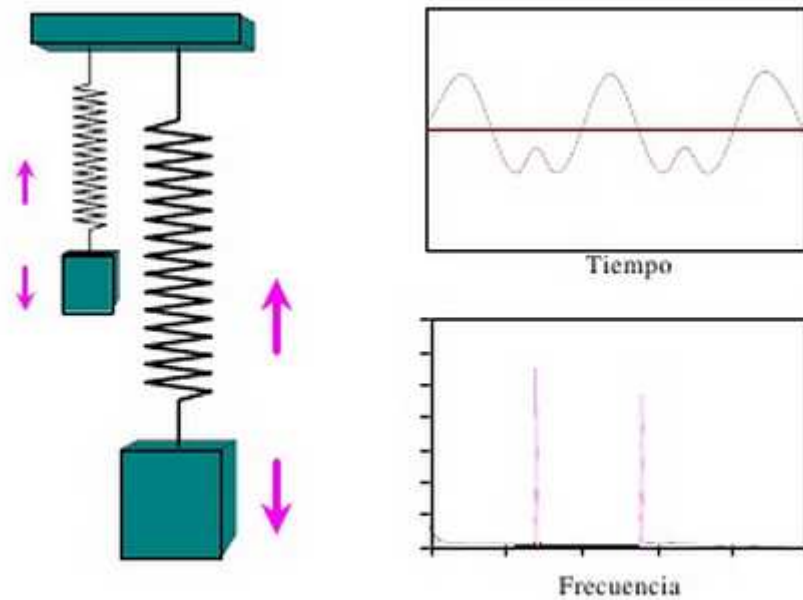
KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

A continuación se muestra una señal de vibración en el dominio del tiempo y de la frecuencia:



Dominio de Tiempo vs. Dominio de Frecuencia

Figura 11. Vibración compleja.

Al tener varios componentes que están en vibración, en el dominio del tiempo, estas vibraciones se van a solapar y no vamos a poder identificarlas, sin embargo, cuando observamos el dominio de frecuencia vemos como están identificados los dos péndulos y podemos evaluar mejor el sistema y en otros campos como el mantenimiento predictivo resulta muy útil para la identificación de fallos, no obstante, hay circunstancias donde la forma de onda nos proporciona mas información. El análisis del espectro es muy útil en la predicción de fallo en máquinas pero para el estudio del confort también está directamente relacionado.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

1.7 Percepción de la vibración en el cuerpo humano

El ser humano no está formado por una misma materia, sino que combina varios tejidos que responden de diferentes maneras ante las diferentes señales de vibración.

Hoy en día las personas se encuentran expuestas a vibraciones en muchos ámbitos de su vida. Cualquier usuario de un vehículo, un albañil operando con maquinaria, incluso peatón al transitar por la ciudad. Por eso mismo, al ser un agente físico tan común que puede afectar tanto al confort como a la salud su estudio se centra en el desarrollo de normas y procedimientos para atenuar y evaluar dichos riesgos para la salud y bienestar del personal.

Se puede hacer una división en el estudio de las vibraciones en el cuerpo humano: vibración en cuerpo entero y en extremidades superiores.

Podemos hablar de cuerpo entero cuando el cuerpo está apoyado en una superficie que vibra como en nuestro caso, el asiento del automóvil. Este apartado viene más detallado en la norma ISO 2631-1.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

En la siguiente gráfica podemos ver que zonas son las afectadas para las diferentes frecuencias:

Síntoma /efecto	Frecuencia (Hz)
Sueño	1-2
Resonancias en el sistema torácico abdominal	5 – 10 (vibraciones verticales)
Resonancias en el sistema cabeza - cuello abdominal	20 – 30 (vibraciones verticales)
Resonancias en el globo ocular	60 – 90 (vibraciones verticales)
Sensación general de molestia	4-9
Dolores de cabeza	13-20
Dolor en maxilar inferior	6-8
Influencia en el habla	13-20
Nudo en la garganta	12-16
Dolores de pecho	5-7
Dolores Abdominales	4-10
Necesidad de orinar	10-18
Tono muscular elevado	13-20
Dificultad para respirar	1-4
Contracción muscular	7-9
Fenómeno de Raynaud (dedo blanco)	30 – 300 Hz En extremidades superiores

Tabla 1. Relación vibración con el cuerpo

1.8 Ponderación de la frecuencia

En primer lugar me gustaría hacer énfasis en el término “ponderar”, cuando se habla de aplicar ponderaciones, lo que se quiere hacer es asignar un valor, un peso a las diferentes frecuencias según la relevancia que tengan en el ámbito del confort.

Como se ha comentado anteriormente, el ser humano es más sensible a determinadas frecuencias y de la dirección en la que se propagan ya que nuestro cuerpo no es capaz de filtrarlas. Estos factores necesitan estar valorados para estudiar el confort de la manera más rigurosa posible.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

La ponderación de frecuencias parte de la medición de una señal de vibración en un intervalo de sensibilidad humana. La manera de proceder será otorgar mayor ponderación a aquellas frecuencias más delicadas para el cuerpo humano y viceversa.

Estas ponderaciones que vamos a emplear proporcionan una buena correlación entre la vibración medida y el valor subjetivo de la sensibilidad o impacto producidos por la vibración.

Para este apartado la norma ISO 2631-1 nos ofrece una serie de ponderaciones que detallaremos más adelante, como por ejemplo: Wc, P.D., Wc, GE, NJ.

Cada ponderación tiene su relación tanto en salud como en confort y percepción.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2 Marco teórico (ISO2631-1)

2.1 Instrumentos medición utilizados

Descripción

La medición de cualquier fenómeno físico es esencial para observar y realizar pruebas e investigaciones tecnológicas.

Por esto mismo los instrumentos de medición son desarrollados para recopilar y monitorear variables físicas y dar una salida que pueda ser tratada para posteriores aplicaciones, es lo que conocemos como transductores.

Estos dispositivos son capaces de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida. En nuestro caso tendremos una cantidad física como es la vibración mecánica provocada por la carretera y obtenemos una salida que es una señal eléctrica analógica.

Atendiendo a su principio constructivo, hay transductores de vibración de desplazamiento, velocidad y aceleración, cada uno de ellos más o menos idóneo a cada aplicación industrial.

Todos los transductores deben ser precisos a la hora de tomar las lecturas de amplitud, ofreciendo repetibilidad (dos señales de la misma amplitud tendrán que generar en el transductor la misma salida de tensión). Los transductores también deben ser muy precisos en la información de frecuencias de la señal mecánica. Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración, como se puede apreciar en la tabla siguiente.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Tipo Transductor	¿Qué mide?
Desplazamiento	Desplazamiento
Sísmico de velocidad	Velocidad
Piezoeléctrico o acelerómetro	Aceleración

Tabla 2. Tipos de transductores.

Medición

El procedimiento de convertir una señal de desplazamiento a velocidad o de velocidad a aceleración es equivalente a la operación matemática de diferenciación. De modo contrario, la conversión de aceleración a velocidad o de velocidad a desplazamiento es la integración matemática. Es posible llevar a cabo estas operaciones con instrumentos que miden la vibración y de esta manera convertir los datos de cualquier sistema de unidades a cualquier otro.

Desde un punto de vista práctico la diferenciación es un procedimiento ruidoso en sí, y muy raras veces se lleva a cabo. La integración, por otra parte se lleva a cabo con mucha precisión, con un circuito electrónico muy barato. Esa es una de las razones de que el acelerómetro sea el transductor estándar para medición de vibraciones, ya que su señal de salida se puede integrar fácilmente una o dos veces para mostrar velocidad o desplazamiento. La integración no es adecuada para señales con una frecuencia muy baja (por debajo de 1 Hz), ya que en este área el nivel de ruido se va incrementando y la precisión del procedimiento de integración padece. La mayoría de los integradores disponibles comercialmente funcionan correctamente por encima

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

de 1 Hz, lo que es lo suficientemente bajo para casi todas las aplicaciones de vibraciones.

Afortunadamente, este rango de medida de frecuencias del acelerómetro nos será perfectamente útil ya que según la norma el rango establecido para la ponderación de la aceleración es de 1-80 Hz.

Transductores piezoeléctricos

Este tipo de transductor genera una tensión eléctrica proporcional a la aceleración por presión sobre un cristal piezoeléctrico. Un acelerómetro piezoeléctrico puede captar con precisión señales entre 1 Hz y 15.000 Hz. Estos dispositivos son muy apropiados para tomar datos de vibración a alta frecuencia, donde aparecen grandes esfuerzos con desplazamientos relativamente pequeños. Algunos transductores especiales pueden medir frecuencias mucho más bajas y también mucho más altas. La recogida de datos de vibración a altas frecuencias depende del medio de fijación del transductor a la máquina

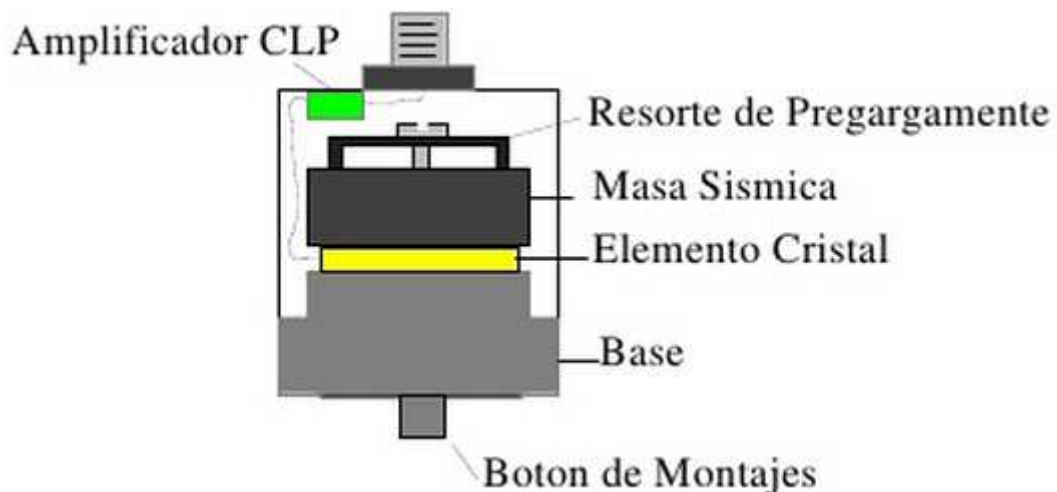


Figura 12. Acelerómetro piezoeléctrico.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Ventajas del transductor piezoeléctrico:

- ✚ La mayoría de los sensores tiene un amplio rango de frecuencia, normalmente entre 2 Hz y 15.000 Hz. Hay que observar que la respuesta en frecuencia depende del tipo de montaje del sensor en la máquina.
- ✚ Estos transductores son muy compactos, sin partes móviles, ligeros y de tamaño reducido, necesitando pequeñas bases magnéticas.
- ✚ Se montan fácilmente con adhesivos o atornillados. También se puede disponer de bases magnéticas para montajes temporales o aplicaciones especiales.

Inconvenientes del transductor piezoeléctrico:

- ✚ Cuando se usa en modo "hand-held" o "stinger" para medir altas frecuencias, la respuesta de señal es muy pobre por encima de 1.200 Hz.
- ✚ Los acelerómetros necesitan una fuente de alimentación externa.
- ✚ La salida de amplitud viene dada en unidades de aceleración. Esta salida debe ser integrada para obtener la representación espectral o el valor global de amplitud de velocidad.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Transductores utilizados

Giróscopo

Gyroscope eng 101

**Figura 13. Giróscopo digital.****KyB***Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Acelerómetro piezoeléctrico**Figura 14. Acelerómetro piezoeléctrico**

Es importante comprobar que este acelerómetro puede captar a partir de la frecuencia de un Hz, en este caso su rango de frecuencias abarca desde 1Hz hasta 5000Hz.

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Acelerómetro capacitivo

Modifican la posición relativa de las placas de un micro condensador cuando está sometido a aceleración. El movimiento paralelo de una de las placas del condensador hace variar su capacidad. Los acelerómetros capacitivos basan su funcionamiento en la variación de la capacidad entre dos ó más conductores entre los que se encuentra un dieléctrico, en respuesta a la variación de la aceleración. Los sensores capacitivos en forma de circuito integrado en un chip de silicio se emplean para la medida de la aceleración. Su integración en silicio permite reducir los problemas derivados de la temperatura, humedad, capacidades parásitas, terminales, alta impedancia de entrada, etc. Cuando se observa el sensor micro mecanizado parece una "H". Los delgados y largos brazos de la "H" están fijos al substrato. Los otros elementos están libres para moverse, lo forman una serie de filamentos finos, con una masa central, cada uno actúa como una placa de un condensador variable, de placas paralelo. La aceleración o desaceleración en el eje "SENSOR", ejerce una fuerza a la masa central. Al moverse libremente, la masa desplaza las minúsculas placas del condensador, provocando un cambio de capacidad. Este cambio de capacidad es detectado y procesado para obtener un voltaje de salida fácil de utilizar con el programa de adquisición de datos.

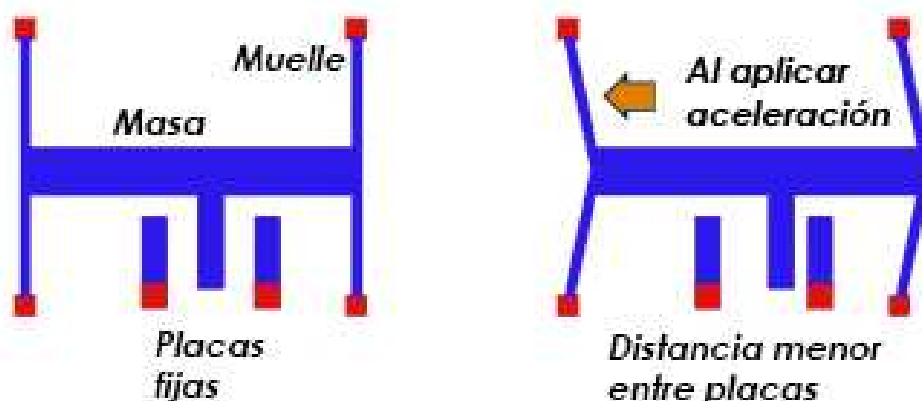


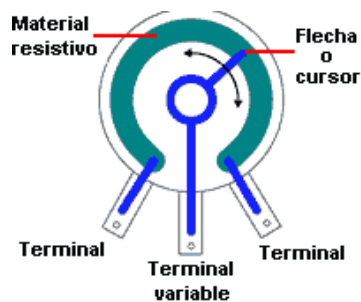
Figura 15. Ilustración funcionamiento acelerómetro capacitivo

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Potenciómetro de hilo**Figura 16. Sensor de hilo.****Figura 17. Potenciómetro****Figura18. Vista interna potenciómetro**

Un potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie.

Este tipo de dispositivos se usan en circuitos de baja corriente, ya que no son aptos para disipar altas potencias.

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Si medimos con el polímetro la resistencia entre los terminales obtenemos la resistencia máxima (nominal) del potenciómetro, por el contrario, si medimos la resistencia entre el terminal b el terminal variable la resistencia es un valor intermedio entre 0 y el valor nominal del potenciómetro. La salida será en potencia o en resistencia, y será posteriormente traducida a longitud.

Existen dos tipos de potenciómetros:

- ✚ **Potenciómetros impresos**, realizados con una pista de carbón o de Serret sobre un soporte duro como papel baquelizado, fibra, alúmina, etc. La pista tiene sendos contactos en sus extremos y un cursor conectado a un patín que se desliza por la pista resistiva.
- ✚ **Potenciómetros bobinados**, consistentes en un arrollamiento toroidal de un hilo resistivo (por ejemplo, constantán) con un cursor que mueve un patín sobre el mismo.

Según su aplicación podemos hacer una subdivisión:

- ✚ **Potenciómetros de mando**. Son adecuados para su uso como elemento de control en los aparatos electrónicos. El usuario acciona sobre ellos para variar los parámetros normales de funcionamiento. Por ejemplo, el volumen de una radio.
- ✚ **Potenciómetros de ajuste**. Controlan parámetros preajustados, normalmente en fábrica, que el usuario no suele tener que retocar, por lo que no suelen ser accesibles desde el exterior. Existen tanto encapsulados en plástico como sin cápsula, y se suelen distinguir potenciómetros de ajuste vertical, cuyo eje de giro es vertical, y potenciómetros de ajuste horizontal, con el eje de giro paralelo al circuito impreso.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Según la ley de variación de la resistencia $R = \rho(\theta)$:

- ✚ **Potenciómetros lineales:** La resistencia es proporcional al ángulo de giro. Generalmente denominados con una letra B.
- ✚ **Logarítmicos:** La resistencia depende logarítmicamente del ángulo de giro. Generalmente denominados con una letra A.
- ✚ **Senoidales:** La resistencia es proporcional al seno del ángulo de giro. Dos potenciómetros senoidales solidarios y girados 90° proporcionan el seno y el coseno del ángulo de giro. Pueden tener topes de fin de carrera o no.
- ✚ **Antilogarítmicos:** Generalmente denominados con una letra F

Por último tendríamos los potenciómetros digitales que carecen de interés ya que los utilizados en la medición son todos analógicos. Para la práctica, utilizaremos un potenciómetro bobinado de ajuste lineal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2.2 Programa adquisición de datos

RS2analysis

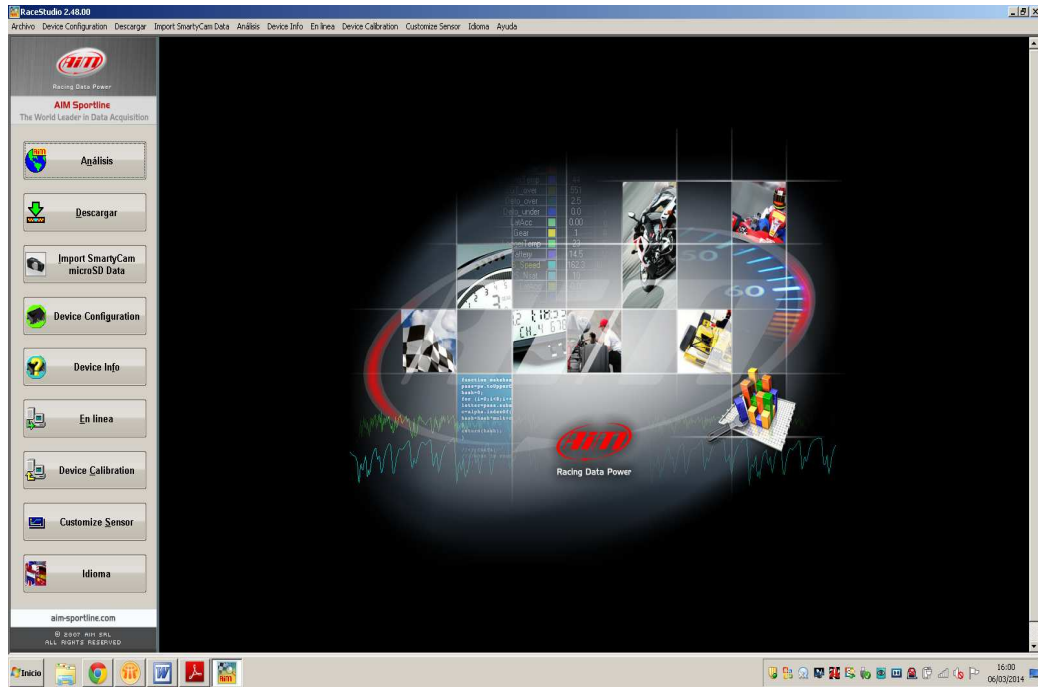


Figura 19. Interfaz principal Rs2

Descripción

El software "Race Studio Analysis" es capaz de manejar datos que provienen de los registradores de datos de la marca "Aim". Este programa nos permite visualizar los datos medidos en el vehículo en diferentes tipos de gráficas y con diversas posibilidades de estudio.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Medidas digitales y analógicas

La medida de una magnitud física, como la velocidad de un coche o la temperatura de la salida de gas es una operación sencilla a la par que compleja. El primer elemento necesario es el transductor, en nuestro caso, se utilizarán acelerómetros y giróscopos, para que procesen la señal física.

Los registradores de datos graban la señal en forma analógica y un ordenador elabora solo señales en forma digital, por este motivo, los registradores realizan esta operación, transforman todas las señales a forma digital.

Ratio de muestreo

Esto se refiere a la frecuencia de adquisición de datos de nuestro registrador de datos, aunque los transductores cambien continuamente de salidas, los registradores de datos toman medidas a unos tiempos prefijados (de una forma discreta), este ratio viene expresado en Hz.

Por ejemplo, para una frecuencia de muestreo de 10 Hertz significa que se toman 10 medidas por segundo y el periodo de muestreo es de 0,1 segundos.

Es muy importante tener una buena frecuencia de muestreo y realizar mediciones durante un periodo representativo para representar correctamente el sistema y así asegurar la fiabilidad de los datos, es aquí donde resulte interesante presentar el Teorema de Nyquist o del Muestreo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Teorema de Nyquist o del Muestreo

Según el Teorema de Nyquist o de Muestreo, para poder replicar con exactitud la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear.

Si tengo una vibración de 200 Hz, la frecuencia de muestreo según Nyquist será 400 Hz y el proceso será reversible, o sea, la onda no ha perdido ninguna información, se ha generado de forma clónica a la original. Da igual que utilicemos una frecuencia de muestreo de 1000 Hz o 2000 Hz, la calidad será la misma que con 200 Hz. Pasa lo mismo con una fotografía, sabemos que resolución de pantalla es 72 ppp, por tanto la fotografía no va a necesitar más resolución que esa, podemos ponerle 300 ó 1.000 ppp que se verá igual que a 72 ppp.

El aliasing se produce cuando la frecuencia de muestreo es inferior a la frecuencia Nyquist y por lo tanto insuficiente para hacer el muestreo correctamente con lo cual inventa frecuencias fantasmas que no tiene nada que ver con la original. Afecta más a las frecuencias altas, que se pierden antes, por lo tanto los tonos agudos se verán más afectados por el aliasing.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

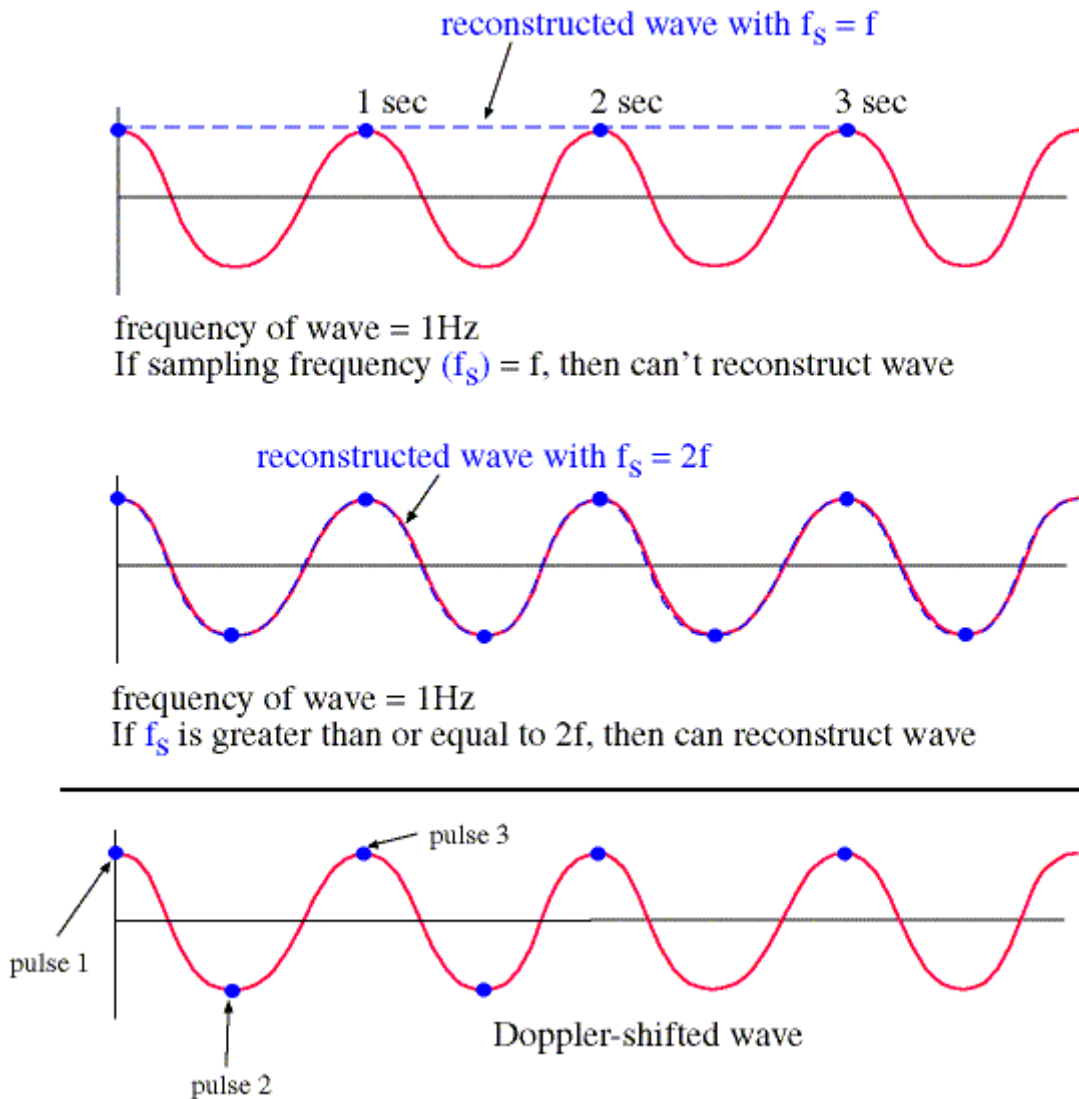


Figura 20. Ilustración Nyquist

En la primera imagen la frecuencia de la onda es 1 Hz, al igual que la frecuencia de muestreo, por lo tanto, cada segundo se toma una muestra que corresponde con el pico de la señal obteniendo así una señal constante en el tiempo de la magnitud del pico a partir de una señal senoidal. En cambio, en la segunda gráfica tenemos una frecuencia de muestreo de 2 Hz, ahora tenemos la onda representada como la original cumpliendo el teorema de Nyquist, vemos como tomando como mínimo dos muestras por periodo de la señal conseguimos obtener una onda igual.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Análisis de datos

Cuando ya tenemos los datos en forma digital en el programa se pasa a visualizarlos por medio de gráficas, histogramas y generación de mapas.

Las gráficas son el método más usual de análisis, muestrean el eje vertical los valores grabados en función del tiempo o distancia.

Historigrama:

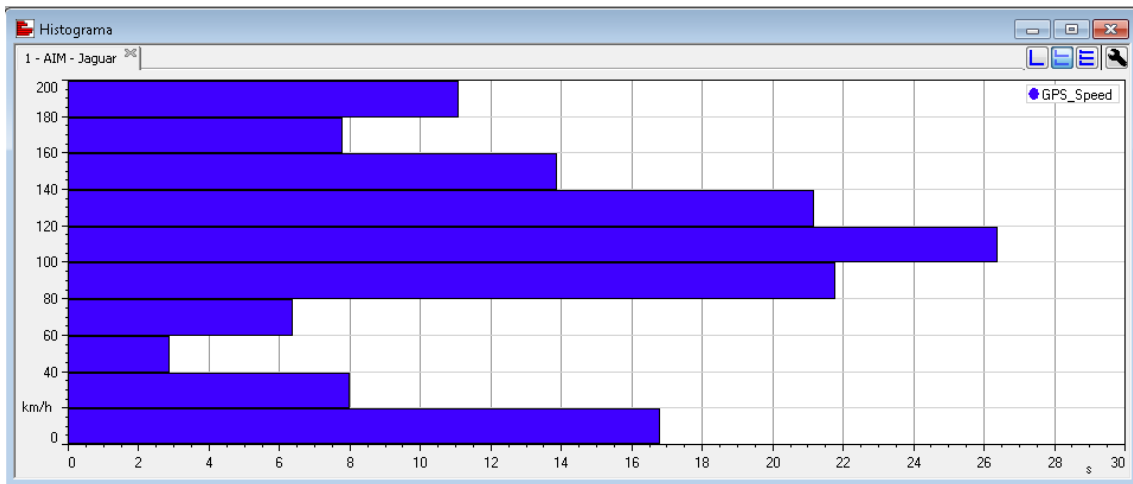


Figura 21. Historigrama Rs2

Señal de posición medida por gps:

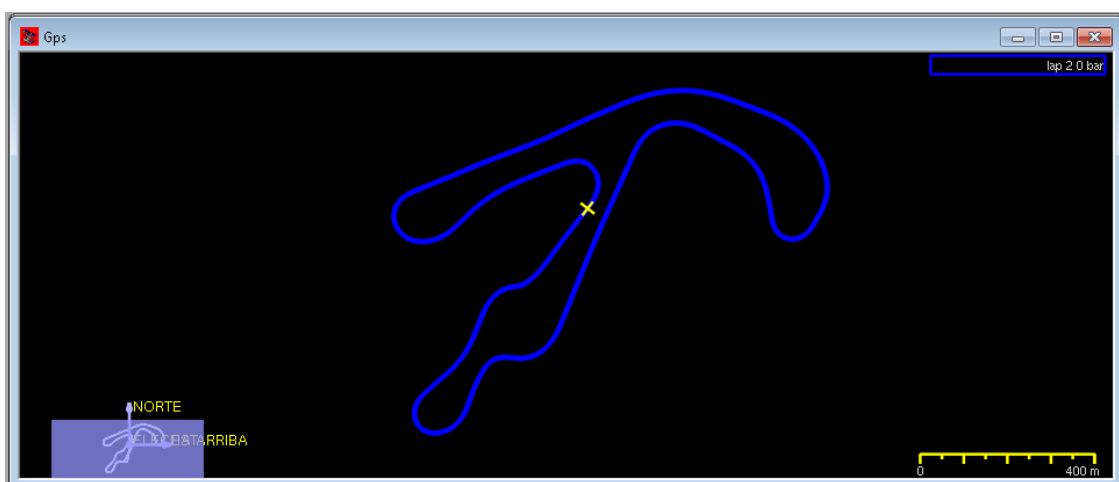


Figura 22. Gráfica gps Rs2

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Revoluciones por mil del motor en una vuelta al circuito:

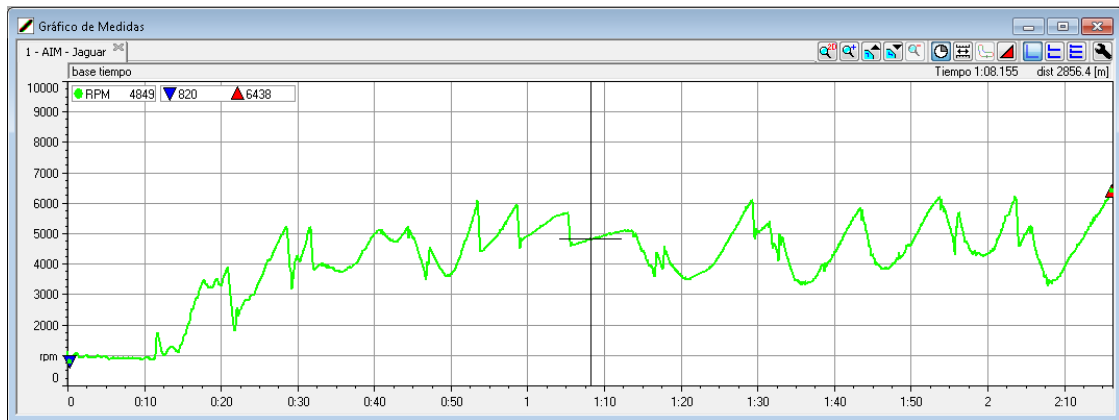


Figura 23. Vueltas rpm motor

Compatibilidad de datos

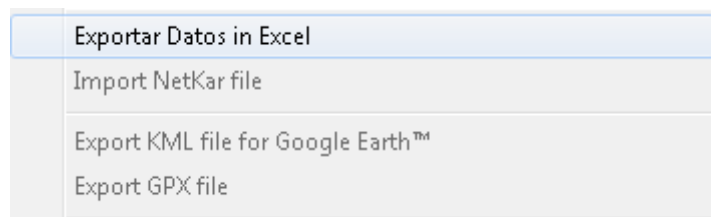


Figura 24. Menú de exportación

Tenemos la necesidad de extraer estos datos a otras plataformas para seguir trabajando con ellos, el programa nos da las opciones que se muestran en la imagen, nosotros utilizaremos la opción de exportar a Excel, sin embargo, debido a que hay muestras demasiado largas es posible que necesitemos convertir ese archivo de "xls" a otro "txt".

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2.3 Ejes de medición

Como se ha dicho previamente, se va a tener como referencia la norma ISO2631-1 e intentar aproximarnos lo máximo posible para obtener unos resultados normalizados y veraces.

Los transductores colocados en la zona de medición deberán estar lo más juntos posibles y colocados ortogonales entre si.

En la norma se especifican unos ejes de medición para una persona sentada como se muestran en la figura:

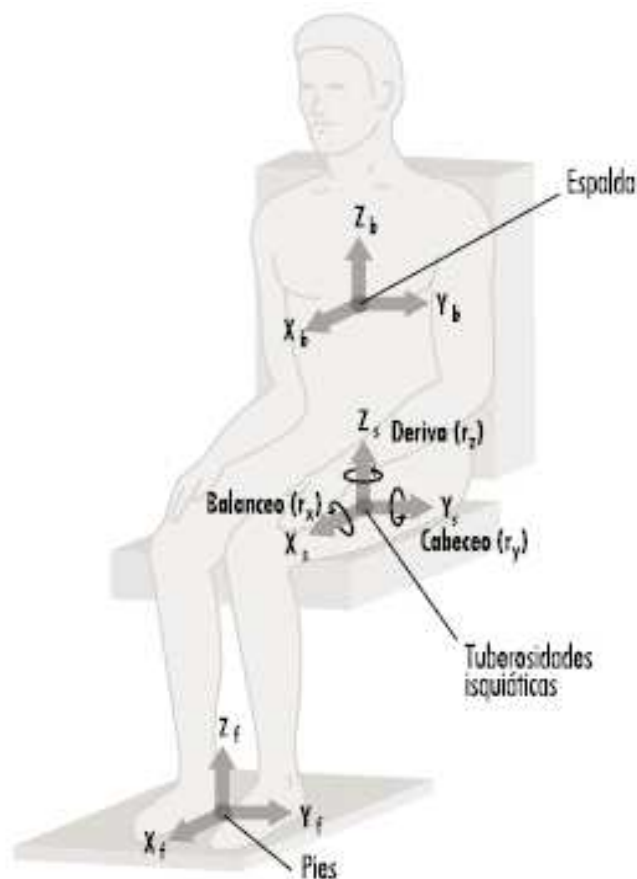


Figura 25. Direcciones normalizadas

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

La fijación de los ejes de medición es un aspecto fundamental en la realización de las pruebas para evitar fallos en la elección de ficheros y tipos de ponderación.

Ejes en asiento vehículo:

- ✚ Eje X: desde la espalda hacia el pecho.
- ✚ Eje Y: desde el hombro derecho al izquierdo.
- ✚ Eje Z: desde el asiento hacia la cabeza.
- ✚ Balanceo (Roll): Giro respecto al eje X.
- ✚ Deriva (Yaw): Giro respecto al eje Z.
- ✚ Cabeceo (Pitch): Giro respecto al eje Y.

2.4 Acondicionamiento de señales en el dominio de la frecuencia

Resulta necesario acondicionar la señal cuando la recibimos para poder tratarlas más adelante, hay varios métodos como el modelo auto regresivo, la transformada de Fourier o el análisis en 1/3 de octava.

Para este trabajo se utilizará la transformada rápida de Fourier para obtener el espectro de la señal y el análisis en 1/3 de octavas para aplicar las ponderaciones.

2.4.1 Transformada de Fourier

Por medio del sistema de adquisición de datos vamos a obtener una medida de vibración distribuida en el tiempo, pero para el estudio de las

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

vibraciones es conveniente representar su espectro en el dominio de la frecuencia, para ello utilizaremos la transformada de Fourier.

Existen cuatro formas de transformada de Fourier:

- ✚ La serie de Fourier: transforma una señal infinita periódica en un espectro de frecuencia infinito discrecional.
- ✚ La transformada integral de Fourier: transforma una señal continua de tiempo infinito en un espectro de frecuencias continuo.
- ✚ La transformada Discrecional de Fourier: transforma una señal discrecional periódica de tiempo en un espectro de frecuencias discrecional periódico.
- ✚ La transformada rápida de Fourier: un algoritmo para calcular la transformada discrecional de Fourier.

2.4.1.1 La transformada Discrecional de Fourier (TDF)

El espectro que resulta es una aproximación de la serie de Fourier, una aproximación en el sentido de que se perdió la información entre las muestras de la forma de onda. La clave hacia la TDF es la existencia de una forma de onda de la que se tomaron muestras, esto es la posibilidad de representar la forma de onda en una serie de números. Para realizar este cálculo ha sido necesario procesar la señal análoga de la señal y convertirla al dominio digital, es conveniente una frecuencia de muestreo elevada para asegurar una buena representación de la señal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2.4.1.2 Transformada rápida de Fourier

Es el conjunto de algoritmos computacionalmente eficientes para la evaluación rápida de la transformada discreta de Fourier (TDF), cuyo concepto central es dividir los N puntos de la TDF en dos o más TDF pequeñas, cada una de las cuales pueden computarse en forma individual y combinarse en forma lineal para obtener la TDF de la secuencia de N puntos originales. Su importancia radica en la rapidez de cálculo conseguida ya que la TDF aumenta el número de operaciones necesarias para la resolución de forma exponencial, la transformada rápida los hace casi de forma lineal.

2.5 Evaluación de vibración

En nuestro sistema de medición de datos tenemos un proceso de adquisición de datos, posteriormente un acondicionamiento de los mismos y, por último, un análisis y extracción de parámetros e información de las vibraciones. Los datos pueden ser evaluados en el dominio temporal y en el de la frecuencia. Sin embargo, como se van aplicar ponderaciones a las diferentes bandas de frecuencia trabajaremos en este dominio.

2.6 Evaluación de la vibración en el dominio temporal

Para la evaluación de cuerpo completo se nos presentan dos métodos de medición: método básico y método adicional según la norma ISO 2631

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2.6.1 Método básico

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) dt}$$

Ecuación 2. Cálculo valor rms básico

Este método es el de la aceleración cuadrática media ponderada en frecuencia. (R.M.S)

El valor R.M.S de una señal de vibración es una medida importante de su amplitud. Para calcular este valor, los valores instantáneos de amplitud de onda se deben llevar al cuadrado y esos cuadrados se deben promediar durante un cierto intervalo de tiempo. Este tiempo debe ser por lo menos un periodo de la onda para llegar a ese valor. El intervalo de estudio recomendado por la norma será de 1Hz-80Hz para cada uno de los ejes (X, Y, Z).

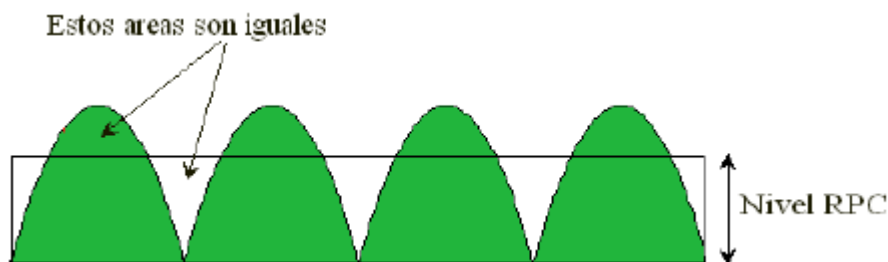


Figura 26. Ilustración RMS

Podemos entender este cálculo como el valor eficaz de la onda.

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) dt}$$

Ecuación 3. . Cálculo valor rms

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Donde

✚ **$a_w(t)$** es la aceleración instantánea ponderada en frecuencia como función de tiempo en m/s².

✚ **T** es la duración de la medición, en s.

Es necesario considerar a_w (rms) para estimar los efectos en el confort.

2.6.2 Método adicional

Valor de la dosis de vibración (VDV) o aceleración raíz al cuadrado media.

Se utiliza en ambientes donde hay impactos o vibraciones transitorias, se deberá obtener “ la dosis de vibración a la cuarta potencia” (m/s^{1.75}), la cual es mas sensible a picos utilizando una potencia a la cuarta en lugar de al cuadrado

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}}$$

Ecuación 4. Valor dosis de vibración

Donde:

✚ **$a_w(t)$** es la aceleración instantánea ponderada en frecuencia como función de tiempo en m/s².

✚ **T** es la duración de la medición, en s.

Este método se puede aproximar más a nuestras necesidades ya que en la conducción podemos encontrarnos diversas condiciones de asfalto, baches o

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

escalones que producen una serie de impactos que deben ser considerados en el estudio del confort. Para efectos de confort es recomendable utilizar este método.

Analizando el factor de cresta para el tramo analizado seremos capaces de valorar si el método básico es insuficiente y deberemos acudir a este último.

Es importante tener en cuenta que el “confort” depende del pasajero, no todos reaccionamos de la misma manera, depende también de la duración del viaje, de la actividad que realiza mientras viaja (leer, conducir, descansar...), y de otros muchos factores como la temperatura, el ruido, el tipo de asiento...

2.6.3 Aceleración total

A continuación se muestra una relación entre la aceleración ponderada y el confort teniendo en cuenta una valoración de una serie de personas en un transporte público:

Aceleración Ponderada m/s²	Reacción al Confort
< 0.315	Aceptable
0.315 – 0.63	Ligera molestia
0.5 – 1.00	Poco incómodo
0.8 – 1.6	Incómodo
1.25 -2.5	Muy incómodo
> 2.00	Extremadamente incómodo

Tabla 3. Relación confort con valores rms.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Nota: La cantidad primaria para expresar la magnitud de la vibración será la aceleración ponderada en frecuencia en m/s².

Para determinadas ponderaciones que tengan en cuenta más de una dirección de medición habrá que combinar las vibraciones como indica la norma, especialmente para el confort.

$$a_v = \left(k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 5. Aceleración rms total.

Donde:

- ✚ **Av** es el valor rms total.
- ✚ **awx, awy, awz** es el valor ponderado r.m.s. de la aceleración con respecto ejes ortogonales.
- ✚ **Kx, Ky, Kz** son los factores de multiplicación que están determinados para diferentes campos de aplicación, en lo que se refiere al confort encontramos en la cláusula 8. Estos factores para personas sentadas son los siguientes:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Eje	Lugar	Ponderación	factor multiplicación
x	Asiento horizontal	Wd	k=1
y	Asiento horizontal	Wd	k=1
z	Asiento horizontal	Wk	k=1
Rx	Asiento horizontal	We	K=0,63m/rad
Ry	Asiento horizontal	We	K=0,4m/rad
Rz	Asiento horizontal	We	K=0,2m/rad
x	Respaldo	Wc	K=0,8
y	Respaldo	Wd	k=0,5
z	Respaldo	Wd	K=0,4
x	Pies	Wk	k=0.25
y	Pies	Wk	k=0.25
z	Pies	Wk	k=0.4

Tabla 4. Lugar aplicación filtros según ISO2631-1

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

2.6.4 Factor de cresta

El factor de cresta se define como el módulo de la razón del valor pico máximo instantáneo de la aceleración con respecto al valor rms

$$Q = a_m / a_w$$

Donde:

- ✚ **Q** es el factor de cresta.
- ✚ **am** (Max Peak) es el valor pico máximo instantáneo de la aceleración promediada en frecuencia.
- ✚ **aw** (r.m.s) es el valor r.m.s de la aceleración promediada en frecuencia.

La norma indica que un factor de cresta Q menor o igual a 9, indica si es suficiente o no determinar el valor de la aceleración rms ponderada por el método básico, o es necesario aplicar el método adicional. Este factor nos indica un alto contenido de impactos en la señal (severidad), a mayor factor de cresta, mayor severidad del tramo estudiado. Este factor puede no resultar determinante ya que es posible que una señal de un vehículo tenga un solo bache con un factor de cresta muy elevado pero el resto de la señal tenga un factor de cresta por debajo de 9.

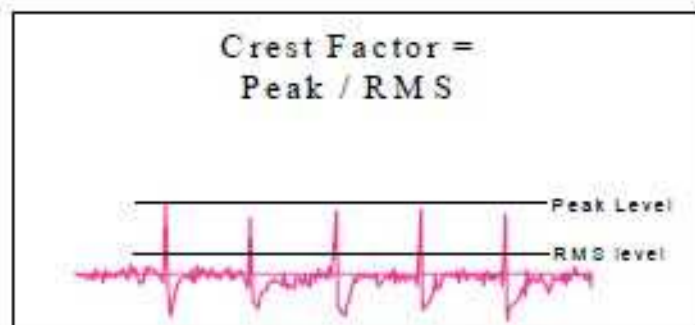


Figura 27. Factor de cresta.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Podemos observar en la imagen que la señal tiene un valor RMS bajo ya que la mayor parte de la onda no tiene una amplitud elevada, sin embargo, se aprecian una serie de picos que no se contemplan en el análisis básico y es posible que se deba acudir a otro análisis más preciso que sea sensible a estos picos para obtener una magnitud más verosímil del valor rms como la VDV.

2.7 Análisis dominio de frecuencia

Como se ha comentado anteriormente el confort está directamente relacionado con la frecuencia de vibración y es interesante poder hacer un análisis en este dominio. Podemos hacer el análisis en bandas de 1/3 de octavas aplicando las atenuaciones propuestas en las tablas 2 y 3 de la norma o con una serie de funciones de transferencia propuestas también en esta norma.

2.7.1 Medida Vibración

Para la medida de vibración se va intentar ceñirse lo máximo posible a la norma. La principal magnitud de medida de vibraciones será la aceleración.

2.7.2 Dirección medida

La vibración deberá ser medida donde en la zona principal de entrada a nuestro cuerpo.

Los acelerómetros se posicionaran ortogonales entre si y los transductores rotacionales deberán estar los más juntos posibles.

2.7.3 Localización medida

Los transductores deberán estar colocados de manera que midan la vibración en la superficie de contacto con el cuerpo humano. Cuando las zonas principales de contacto entre el cuerpo humano y la fuente de vibración no sean evidentes la norma ofrece tres zonas principales (espalda, asiento, pies).

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Para la medida en el asiento se tomará en la principal zona de apoyo, para los pies se colocarán los acelerómetros en la zona donde el pie esté mas tiempo y para la espalda un poco por encima de la espalda. En todos los casos el lugar de la medición debe estar bien reportado.

Cuando la vibración se transmite al cuerpo desde un material no rígido (asiento por ejemplo) se debe asegurar que el apoyo de los transductores sea rígido y que no altere la presión entre la superficie y el material.

Notas

Cuando las medidas directas de vibración no sean posibles, la medida se hará en una posición rígida de la fuente de vibración como el centro de gravedad, para este caso será necesario cálculos adicionales y requiere el conocimiento de la dinámica estructural.

Es posible que la medida en el respaldo sea difícil por colocar el transductor, en estos casos la medida se puede hacer en la parte trasera del respaldo y la vibración será corregida por la transmisividad del material.

2.7.4 Análisis 1/3 Octavas

Una octava es una banda de frecuencia donde el límite superior es el doble del límite inferior. Cuando queremos estudiar algo con mayor precisión podemos acudir al estudio en 1/3 de octavas. Se dispone de unas tablas con unos factores divididos en intervalos de banda normalizados por la IEC 1260.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Tabla 5. Tabla de ponderaciones ISO2631-1

Table 3 — Principal frequency weightings in one-third octaves

Frequency band number ¹⁾ <i>x</i>	Frequency <i>f</i> Hz	<i>W_k</i>		<i>W_d</i>		<i>W_f</i>	
		factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB
-17	0,02					24,2	-32,33
-16	0,025					37,7	-28,48
-15	0,031 5					59,7	-24,47
-14	0,04					97,1	-20,25
-13	0,05					157	-16,10
-12	0,063					267	-11,49
-11	0,08					461	-6,73
-10	0,1	31,2	-30,11	62,4	-24,09	695	-3,16
-9	0,125	48,6	-26,26	97,3	-20,24	895	-0,96
-8	0,16	79,0	-22,05	158	-16,01	1 006	0,05
-7	0,2	121	-18,33	243	-12,28	992	-0,07
-6	0,25	182	-14,81	365	-8,75	854	-1,37
-5	0,315	263	-11,60	530	-5,52	619	-4,17
-4	0,4	352	-9,07	713	-2,94	384	-8,31
-3	0,5	418	-7,57	853	-1,38	224	-13,00
-2	0,63	459	-6,77	944	-0,50	116	-18,69
-1	0,8	477	-6,43	992	-0,07	53,0	-25,51
0	1	482	-6,33	1 011	0,10	23,5	-32,57
1	1,25	484	-6,29	1 008	0,07	9,98	-40,02
2	1,6	494	-6,12	968	-0,28	3,77	-48,47
3	2	531	-5,49	890	-1,01	1,55	-56,19
4	2,5	631	-4,01	776	-2,20	0,64	-63,93
5	3,15	804	-1,90	642	-3,85	0,25	-71,96
6	4	967	-0,29	512	-5,82	0,097	-80,26
7	5	1 039	0,33	409	-7,76		
8	6,3	1 054	0,46	323	-9,81		
9	8	1 036	0,31	253	-11,93		
10	10	988	-0,10	212	-13,91		
11	12,5	902	-0,89	161	-15,87		
12	16	768	-2,28	125	-18,03		
13	20	636	-3,93	100	-19,99		
14	25	513	-5,80	80,0	-21,94		
15	31,5	405	-7,86	63,2	-23,98		
16	40	314	-10,05	49,4	-26,13		
17	50	246	-12,19	38,8	-28,22		
18	63	186	-14,61	29,5	-30,60		
19	80	132	-17,56	21,1	-33,53		
20	100	88,7	-21,04	14,1	-36,99		
21	125	54,0	-25,35	8,63	-41,28		
22	160	28,5	-30,91	4,55	-46,84		
23	200	15,2	-36,38	2,43	-52,30		
24	250	7,90	-42,04	1,26	-57,97		
25	315	3,98	-48,00	0,64	-63,92		
26	400	1,95	-54,20	0,31	-70,12		

1) Index *x* is the frequency band number according to IEC 1260.

NOTES

- 1 For tolerances of the frequency weightings, see 6.4.1.2.
- 2 If it has been established that the frequency range below 1 Hz is unimportant to the weighted acceleration value, a frequency range 1 Hz to 80 Hz is recommended.
- 3 The values have been calculated including frequency band limitation.

Table 4 — Additional frequency weightings in one-third octaves

Frequency band number ¹⁾ <i>x</i>	Frequency <i>f</i> Hz	<i>W_c</i>		<i>W_e</i>		<i>W_j</i>	
		factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB	factor × 1 000	dB
-10	0,1	62,4	-24,11	62,5	-24,08	31,0	-30,18
-9	0,125	97,2	-20,25	97,5	-20,22	48,3	-26,32
-8	0,16	158	-16,03	159	-15,98	78,5	-22,11
-7	0,2	243	-12,30	245	-12,23	120	-18,38
-6	0,25	364	-8,78	368	-8,67	181	-14,86
-5	0,315	527	-5,56	536	-5,41	262	-11,65
-4	0,4	708	-3,01	723	-2,81	351	-9,10
-3	0,5	843	-1,48	862	-1,29	417	-7,60
-2	0,63	929	-0,64	939	-0,55	458	-6,78
-1	0,8	972	-0,24	941	-0,53	478	-6,42
0	1	991	-0,08	880	-1,11	484	-6,30
1	1,25	1 000	0,00	772	-2,25	485	-6,28
2	1,6	1 007	0,06	632	-3,99	483	-6,32
3	2	1 012	0,10	512	-5,82	482	-6,34
4	2,5	1 017	0,15	409	-7,77	489	-6,22
5	3,15	1 022	0,19	323	-9,81	524	-5,62
6	4	1 024	0,20	253	-11,93	628	-4,04
7	5	1 013	0,11	202	-13,91	793	-2,01
8	6,3	974	-0,23	160	-15,94	946	-0,48
9	8	891	-1,00	125	-18,03	1 017	0,15
10	10	776	-2,20	100	-19,98	1 030	0,26
11	12,5	647	-3,79	80,1	-21,93	1 026	0,22
12	16	512	-5,82	62,5	-24,08	1 018	0,16
13	20	409	-7,77	50,0	-26,02	1 012	0,10
14	25	325	-9,76	39,9	-27,97	1 007	0,06
15	31,5	256	-11,84	31,6	-30,01	1 001	0,00
16	40	199	-14,02	24,7	-32,15	991	-0,08
17	50	156	-16,13	19,4	-34,24	972	-0,24
18	63	118	-18,53	14,8	-36,62	931	-0,62
19	80	84,4	-21,47	10,5	-39,55	843	-1,48
20	100	56,7	-24,94	7,07	-43,01	708	-3,01
21	125	34,5	-29,24	4,31	-47,31	539	-5,36
22	160	18,2	-34,80	2,27	-52,86	364	-8,78
23	200	9,71	-40,26	1,21	-58,33	243	-12,30
24	250	5,06	-45,92	0,63	-63,99	158	-16,03
25	315	2,55	-51,88	0,32	-69,94	100	-19,98
26	400	1,25	-58,08	0,16	-76,14	62,4	-24,10

1) Index *x* is the frequency band number according to IEC 1260.

NOTES

- 1 For tolerances of the frequency weightings, see 6.4.1.2.
- 2 If it has been established that the frequency range below 1 Hz is unimportant to the weighted acceleration value, a frequency range 1 Hz to 80 Hz is recommended.
- 3 The values have been calculated including frequency band limitation.

Tabla 6. Tabla ponderaciones ISO2631-1

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Otra opción de evaluación propuesta por la norma son los filtros analógicos.

Filtros de ponderación en frecuencia para la exposición humana

La medición de vibraciones se obtiene mediante acelerómetros, sin embargo, se requieren filtros de ponderación para relacionar las mediciones físicas de la vibración con la respuesta humana y para ponderar con una mayor relevancia las frecuencias en las que los humanos somos más sensibles. La norma nos ofrece una serie de filtros analógicos. Este trabajo utilizará los que nos ofrece la norma, es decir, ecuaciones de filtros analógicos, otra opción también propuesta es el análisis en 1/3 de octavas que incluyen las ponderaciones pertinentes. Y por último la utilización de filtros digitales.

Las ponderaciones propuestas por la norma son las siguientes:

Frequency weighting	Health (see clause 7)	Comfort (see clause 8)	Perception (see clause 8)	Motion sickness (see clause 9)
W_k	z-axis, seat surface	z-axis, seat surface z-axis, standing vertical recumbent (except head) x-, y-, z-axes, feet (sitting)	z-axis, seat surface z-axis, standing vertical recumbent (except head)	—
W_d	x-axis, seat surface y-axis, seat surface	x-axis, seat surface y-axis, seat surface x-, y-axes, standing horizontal recumbent y-, z-axes, seat-back	x-axis, seat surface y-axis, seat surface x-, y-axes, standing horizontal recumbent	—
W_l	—	—	—	vertical

Tabla 7. Tabla filtros ISO2631-1

Frequency weighting	Health (see clause 7)	Comfort (see clause 8)	Perception (see clause 8)	Motion sickness (see clause 9)
W_c	x-axis, seat-back ¹⁾	x-axis, seat-back	x-axis, seat-back	—
W_o	—	r_x -, r_y -, r_z -axes, seat surface	r_x -, r_y -, r_z -axes, seat surface	—
W_l	—	vertical recumbent (head) ²⁾	vertical recumbent (head) ²⁾	—

Tabla 8. Tabla filtros ISO2631-1

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Cada ponderación tiene un filtro diferente y se sirve de de las mediciones en determinados ejes.

En la siguiente tabla podemos observar cual es la aplicación de cada uno de los filtros y cual debe ser la dirección de medición:

¿Qué son los filtros?

Se les denomina a los sistemas que presentan características selectivas de frecuencias. Básicamente significa que la atenuación en ellos es variable con la frecuencia, lo cual permite discriminar las señales que pasarán libremente a través del filtro, las cuales quedarán atenuadas.

Para la aplicación de estos filtros la norma nos ofrece los parámetros de las funciones de transferencia por medio de las siguientes tablas:

Filtro	Dirección	Aplicación
Wk	Vertical	Vibración asiento
Wd	Frente, atrás y lateral	Vibración asiento
Wc	Frente- atrás	Vibración respaldo
We	Roll,pitch,yaw	Vibración asiento rotacional
Wj	Vertical	Vibración cabeza

Tabla 9. Dirección y aplicación de los filtros

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Table A.1 — Parameters of the transfer functions of the principal frequency weightings

Weighting	Band-limiting		Acceleration-velocity transition (a-v transition)			Upward step			
	f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_4	f_5 Hz	Q_5	f_6 Hz	Q_6
W_k	0,4	100	12,5	12,5	0,63	2,37	0,91	3,35	0,91
W_d	0,4	100	2,0	2,0	0,63	∞	—	∞	—
W_f	0,08	0,63	∞	0,25	0,96	0,062 5	0,80	0,1	0,80

Tabla 10. Factores funciones de transferencia ISO2631-1

Table A.2 — Parameters of the transfer functions of the additional frequency weightings

Weighting	Band-limiting		Acceleration-velocity transition (a-v transition)			Upward step			
	f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_4	f_5 Hz	Q_5	f_6 Hz	Q_6
W_c	0,4	100	8,0	8,0	0,63	∞	—	∞	—
W_B	0,4	100	1,0	1,0	0,63	∞	—	∞	—
W_j	0,4	100	∞	∞	—	3,75	0,91	5,32	0,91

Tabla 11. Factores funciones de transferencia ISO2631-1

2.7.5 Funciones de transferencia

Filtro paso alto: Un filtro paso alto corresponde a un filtro caracterizado por permitir el paso de las frecuencias más altas y atenuar las más bajas. Son aquellos que permiten el paso de señales desde una frecuencia denominada “frecuencia de corte inferior”, hasta una superior, que teóricamente en un filtro ideal se extiende hasta el infinito.

$$H_h(s) = \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_1}{Q_1}s + \omega_1^2}$$

Ecuación 6. Función de transferencia filtro paso alto

Filtro paso bajo: Son aquellos que permiten el paso de señales de frecuencias cero hasta un valor predeterminado que se denomina “frecuencia

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

de corte superior” del filtro (es aquel en el que la frecuencia produce una atenuación de 3 dB).

$$H_1(s) = \frac{\omega_2^2}{s^2 + \frac{\omega_2}{Q_2}s + \omega_2^2}$$

Ecuación 7. Función de transferencia filtro paso bajo

Gracias a el filtro de paso bajo y paso alto conseguimos un filtro de paso de banda que permite el paso de señales cuyas frecuencias están comprendidas entre dos, denominadas “ frecuencia de corte superior e inferior” respectivamente.

Filtro transición aceleración- velocidad:

$$H_1(s) = \frac{\frac{\omega_4^2}{\omega_3} s + \omega_4^2}{s^2 + \frac{\omega_4}{Q_4} s + \omega_4^2}$$

Ecuación 8. Función de transferencia filtro aceleración-velocidad

Filtro “Uward Step”:

$$H_s(s) = \frac{s^2 + \frac{\omega_5^2}{Q_5} s + \omega_5^2}{s^2 + \frac{\omega_6}{Q_6} s + \omega_6^2}$$

Ecuación 9. Función de transferencia filtro upward Step

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

El producto de $H_t(p) \cdot H_i(p)$ representa la función de transferencia de limitación de banda.

El producto $H_t(p) \cdot H_s(p)$ representa la función de transferencia ponderada para cada tipo de aplicación.

Excepciones:

$H_t(p) = 1$ para la ponderación W_j

$H_s(p) = 1$ para las ponderaciones de W_c , W_d y W_e .

La función de ponderación total es:

$$H(p) = H_h(p) \cdot H_i(p) \cdot H_t(p) \cdot H_s(p)$$

La norma anexa también las graficas de las ponderaciones:

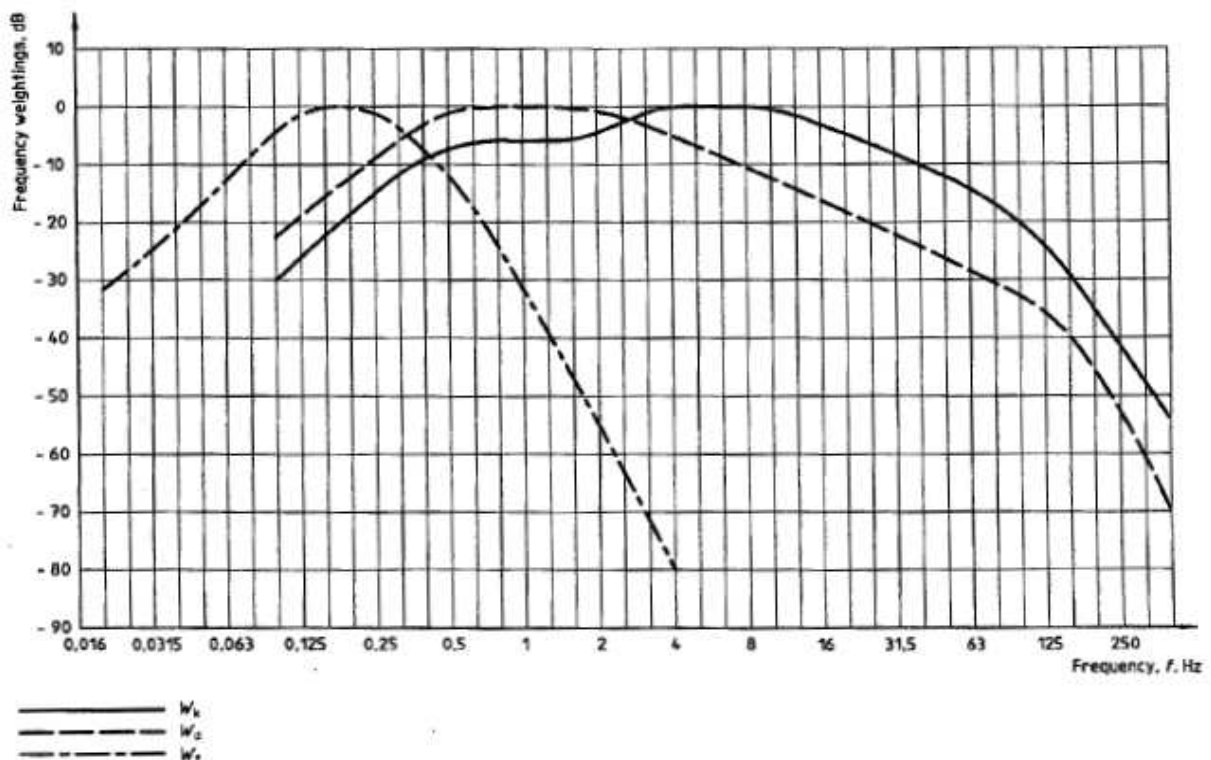


Figure 2 — Frequency weighting curves for principal weightings

Figura 28. Tabla ponderación para principales ponderaciones ISO2631-1

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

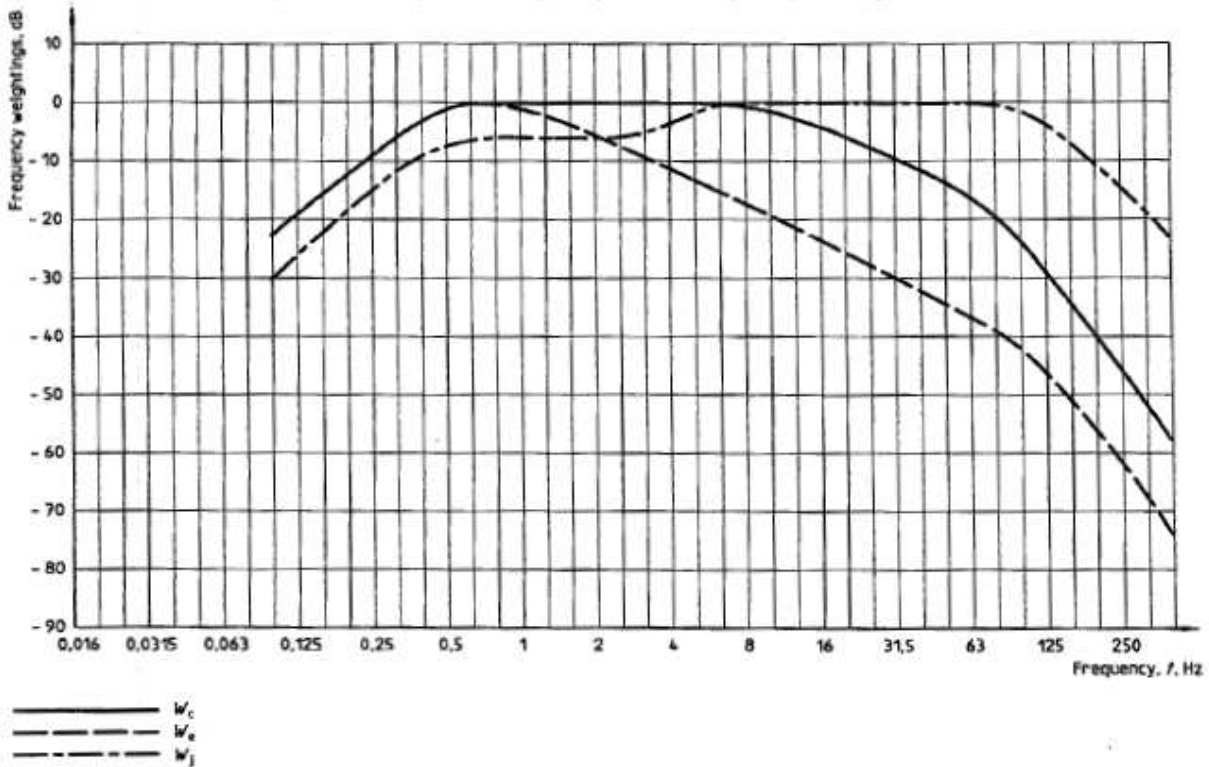


Figure 3 — Frequency weighting curves for additional weightings

Figura 29. Tabla ponderación para ponderaciones secundarias ISO2631-1

A simple vista podemos observar que, efectivamente, los mayores valores de ponderación se encuentran entre 1 y 80 Hz. En la práctica se comprobará que en un vehículo las altas frecuencias son prácticamente inexistentes y tienen mayor relevancia las bajas.

Así que aunque el rango de estudio del confort sea de 1-80 Hz veremos como el espectro no muestra densidad en las frecuencias más altas de estudio en la mayoría de los casos.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3 Desarrollo práctico

3.1 Introducción Octave

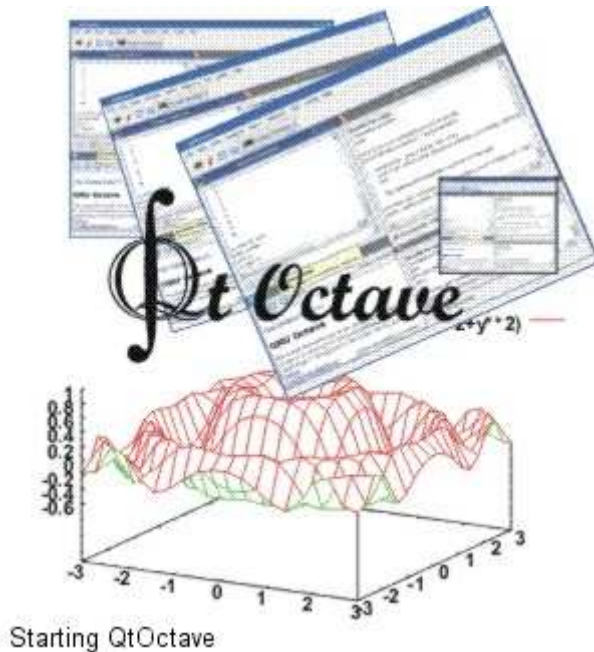


Figura 30. Logo Octave

3.2 Descripción del Programa

GNU Octave es un lenguaje de alto nivel destinado para el cálculo numérico. Provee una interfaz sencilla, orientada a la línea de comandos, que permite la resolución de problemas numéricos lineales y no lineales, además permite la ejecución de scripts y puede ser usado como lenguaje orientado al procesamiento por lotes.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Incluye herramientas para resolver problemas numéricos comunes de álgebra lineal, búsqueda de raíces de ecuaciones no lineales, integración de funciones ordinarias, manipulación de polinomios, integración de ecuaciones diferenciales algebraicas y generación de gráficas (usando GNU Plot).

Su tipo de datos fundamental es la matriz; integra compatibilidad con números complejos e incluye una potente y extensiva librería de funciones matemáticas, que puede ser extendida mediante funciones definidas por el usuario.

La sintaxis de operación en línea de comandos y para la creación de scripts es muy similar a Matlab. Octave incluye varios interfaces gráficos, nosotros utilizaremos QOctave.

Es un software libre y puede usarse para varios sistemas operativos como pueden ser Windows o Ubuntu.

Necesidad

El programa Rs2Analisys es válido a la hora de acondicionar las señales en el dominio temporal, trabajar con señales de gps ,comparar pruebas... sin embargo, tenemos la necesidad de trabajar con el espectro de señal en el dominio frecuencial. Por ello, necesitamos el soporte de otro programa que nos facilite estos cálculos, este programa será Octave.

El equipo de KyB tiene una serie de programas que calculan el PSD de la señal adquirida por el sistema de adquisición de datos. Se tratan tanto señales de aceleración transnacional como velocidad rotacional.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Los datos son exportados de Rs2Analisys en una tabla de Excel que es posteriormente convertida en formato 'txt' si los datos son demasiado extensos.

3.3 Descripción programas Octave

El objetivo del programa es calcular la densidad espectral de potencia (PSD) tanto para los giróscopos como para los acelerómetros. Empezaremos describiendo los programas para el giróscopo iniciales:

GYRO_2_V2

```
4 av=1024;
5 fm=500;
6 id=fopen('bism_v26_h124_a2_L1_v1_50_Groll.txt','rt');
7
8 enc=fgetl(id);
9 enc_2=fgetl(id);
10 enc_3=fgetl(id);
11 enc_4=fgetl(id);
12 enc_5=fgetl(id);
13 enc_6=fgetl(id);
14 enc_7=fgetl(id);
15 enc_8=fgetl(id);
16 enc_9=fgetl(id);
17 enc_10=fgetl(id);
18 enc_11=fgetl(id);
19 enc_12=fgetl(id);
20 enc_13=fgetl(id);
21 enc_14=fgetl(id);
22 enc_15=fgetl(id);
23 enc_16=fgetl(id);
24 enc_17=fgetl(id);
25 enc_18=fgetl(id);
26
27
28 a=fread(id);
29
30
31
32 fclose(id);
33 A=char(a);
34 cr1="";
35 cr2="";
36 A=A';
37 B=strrep(A,cr1,cr2);
38 m=str2num(B);
39
40
41 length(m);
42 Tf=m(length(m),1);
43
44 Ts=1/fm;
45 Fs=1/Ts;
46
47 XI=[0:Ts:Tf];
48
49
50
51 pwelch_sensor_db_1;
52 m3=m2;
53
54
55
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Descripción “GYRO_2_V2”:

Este programa principal (desde el cual se llamará al resto) nos sirve para limpiar el archivo de entrada y almacenar los datos en una matriz donde la primera columna será el tiempo y la segunda el valor de velocidad en [°/seg]. Ahora necesitamos un programa que nos calcule el PSD (pwelch_sensor_db_2) y otro que nos seque las gráficas para visualizar el resultado (PSD_2).

PWELCH_SENSOR_DB_2

```
3 m2=m(:,:);
4
5 m2=[m2(2:length(m2),1:columns(m2))];
6
7
8
9
10 Nxz = length(m2(:,2));
11 wz = hanning(av);
12 nfftz =Nxz;
13
14 [Pyy2z2,Fy2z2] = pwelch(m2(:,2),wz,0,nfftz,Fs);
15
16
17 Pyy3z2=10*log10(Pyy2z2);
```

Primero elegimos el intervalo de tiempo de toma de datos, luego eliminamos la primera fila porque al tomar un valor nulo se produce un error y finalmente calculamos el PSD con pwelch:

Este comando densidad espectral de potencia de una señal (o serie de datos en nuestro caso) por el periodograma de Welch (método FFT).

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Todos los argumentos salvo la señal son opcionales. Esta señal se divide en segmentos si "window" es un vector, cada segmento tiene la misma longitud de "window" y es multiplicado por "window"

La densidad espectral es la media de los periodogramas, escalada de tal forma que el área por debajo del espectro es la misma que la media cuadrada de los datos. Finalmente definimos una matriz con los valores del espectro en escala logarítmica.

Descripción PWELCH_SENSOR_DB_2:

Este programa tiene como finalidad de calcular con la transformada rápida de Fourier el espectro de densidad de nuestra matriz de datos.

PSD_2

```
1 figure(4);
2 clf
3 figure(1);
4 clf
5 figure(2);
6 clf
7 figure(3);
8 clf
9 figure(4);
10 clf
11
12
13 figure(1);
14 hold on
15 plot(m3(:,1),m3(:,2),'r');
16 plot(m4(:,1),m4(:,2),'g');
17 grid minor on
18 hold off
19
20 figure(2);
21 hold on
22 semilogx(Fy2z1,Pyy2z1,'r');
23 semilogx(Fy2z2,Pyy2z2,'g');
24 grid minor on
25 hold off
26
27 figure(3);
28 hold on
29 semilogy(Fy2z1,Pyy2z1,'r');
30 semilogy(Fy2z2,Pyy2z2,'g');
31 grid minor on
32 hold off
33
34 figure(4);
35 hold on
36 semilogx(Fy2z1,Pyy3z1,'r');
37 semilogx(Fy2z2,Pyy3z2,'g');
38 grid minor on
39 hold off
40
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Descripción “PSD_2”:

Primero limpia las gráficas con clf y posteriormente va dando valores a las graficas en el orden que van a aparecer en pantalla cuando se ejecute el programa. Tenemos unos mismos datos pero representados en diversas escalas (temporal en figure(1), semilogarítmica en el eje x en la figure(2), semilogarítmica en el eje y en la figure(3) y finalmente los dB en el eje vertical y escala logarítmica para eje x figure(4)).

Este programa nos muestra superpuestas las dos graficas para distinto reglaje de amortiguador como podemos ver en las distintas gráficas para la velocidad de giro pitch:

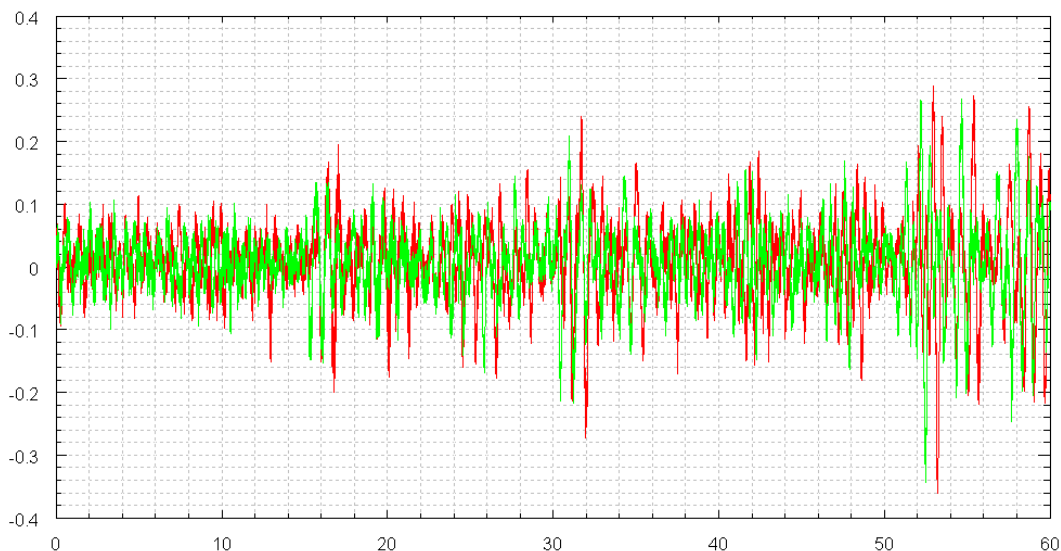


Figura 31. Velocidad Pitch respecto al tiempo

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

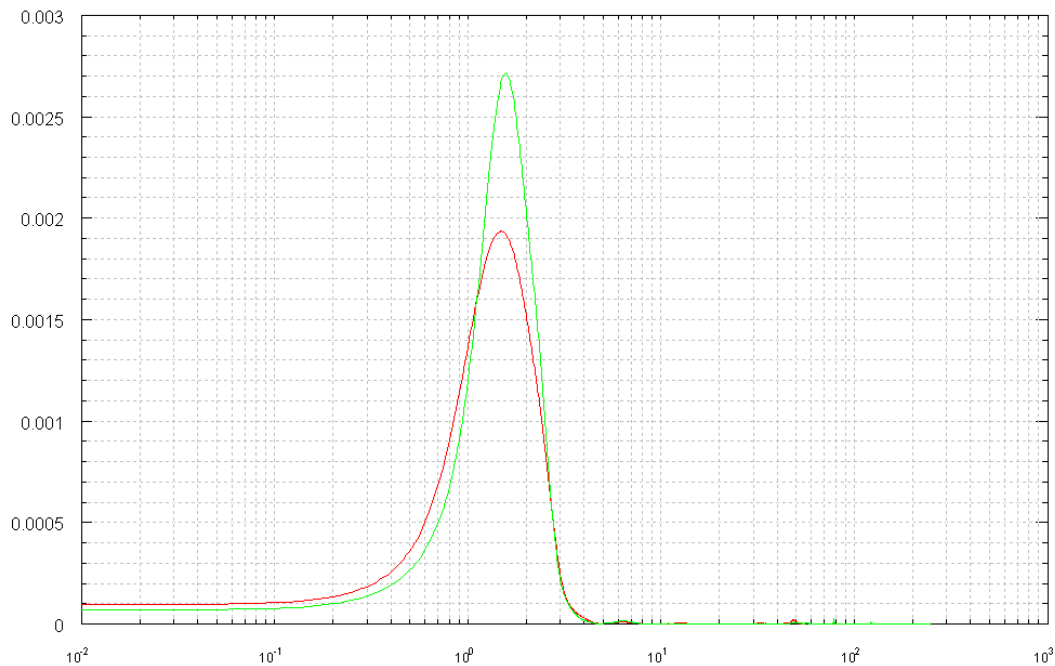


Figura 32. Espectro PSD señales

En realidad todas estas gráficas (salvo la del dominio temporal) nos están mostrando un análisis espectral de la señal de velocidad de pitch, sin embargo, dependiendo de la escala se puede llegar a apreciar mejor la diferencia entre un reglaje y otro. Por eso mismo, no descartamos ninguna para la comparación de reglajes aunque es obvio que en el dominio temporal no vamos a poder sacar conclusiones ni similitudes con lo experimentado en el vehículo a simple vista.

Acondicionamiento señal acelerómetro

Los programas para acondicionar la aceleración son los mismos que para acondicionar la velocidad rotacional, es decir, siguen el mismo procedimiento. En este caso las unidades de medidas son “g” siendo g la aceleración de la gravedad.

$$1g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

A continuación se muestra un ejemplo de dos reglajes diferentes a una misma velocidad de 50 km/h y las diferentes gráficas asociadas.

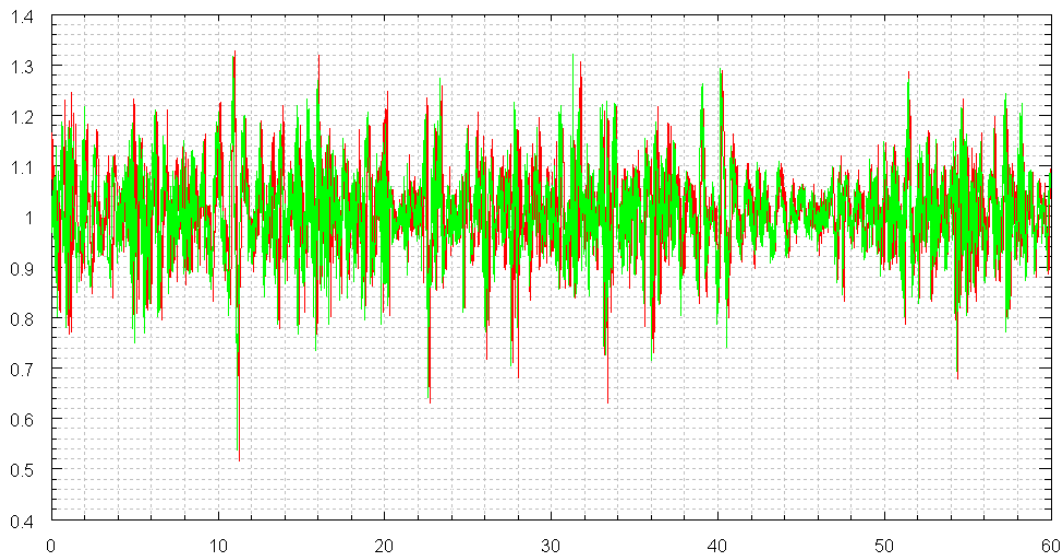


Figura 33. Señales temporales

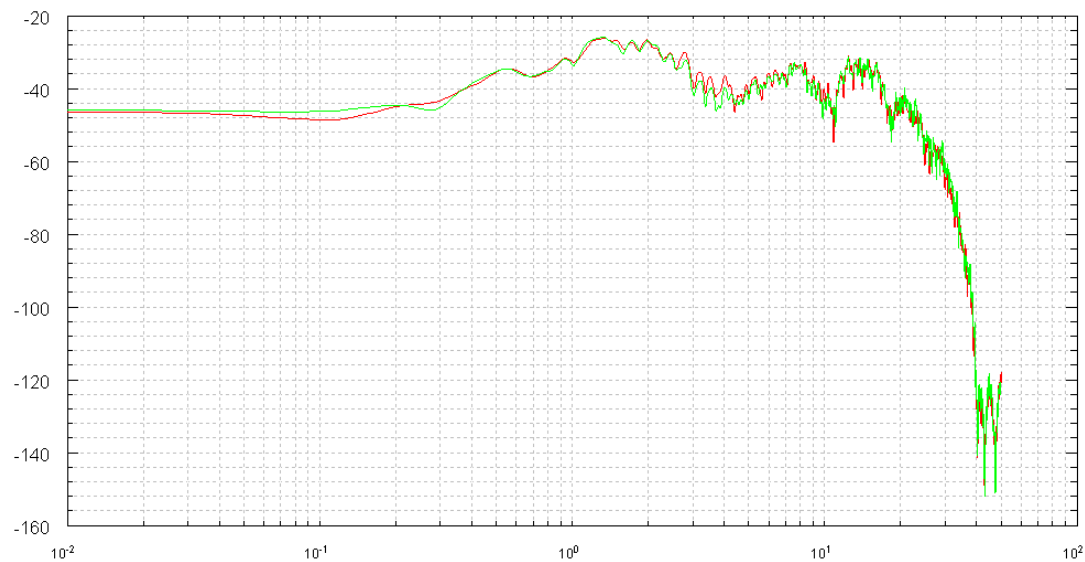


Figura 34. Densidad espectral de potencia con la aceleración en escala logarítmica y la frecuencia en escala lineal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.4 Necesidad de criterio

En las gráficas vistas anteriormente nos podemos hacer una idea de la diferencia de confort que hay entre un reglaje y otro pero estos datos no se corresponden con las sensaciones físicas en el vehículo. Es en este momento cuando resulta necesario aplicar las ponderaciones de frecuencia que nos ofrece la norma ISO2631-1 para que lo que vemos gráficamente se corresponda con las sensaciones que nos ha proporcionado el vehículo en la prueba y poder así, definir un criterio para la valoración objetiva del confort por medio de la visualización de estas gráficas. Además es necesario complementar mucho el programa para permitir al usuario un uso intuitivo del mismo y con la posibilidad de diversos cálculos que se describirán más adelante.

3.5 Ampliación programa (diseño de filtros 1/3 octavas)

En primer lugar hace falta definir el concepto de octava es el intervalo que separa a dos frecuencias y cuyos valores tienen una relación de uno a dos. Ejemplo de octava: 640 Hz. es la octava de 1280 Hz. Para nuestro caso utilizaremos una frecuencia central y definiremos los intervalos por tercios de octavas, esto se hace para aplicar las ponderaciones con más exactitud.

Para ello se ha utilizado las siguientes fórmulas:

$$f_c = (f_i 2^{1/3} f_j)^{1/2} = 2^{1/6} f_i$$

Figura 35. Fórmulas para el cálculo de bandas de tercio de octava

$$2^{1/3} f_i - f_i = k 2^{1/6} f_i$$

$$f_s - f_i = (2^{1/3} - 1) / 2^{1/6} f_c = 0,23 f_c$$

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Donde

- ✚ fc: frecuencia central
- ✚ fi: frecuencia inferior (del intervalo de 1/3 de octava)
- ✚ fs: frecuencia superior (del intervalo de 1/3 de octava)

A partir de estas fórmulas se ha hecho esta tabla para el rango de frecuencias que afectan al cuerpo humano (1Hz a 80Hz) con sus frecuencias centrales y he calculado el intervalo aproximado de ancho de banda para todas ellas.

También están los valores de atenuaciones en dB para cada una de las ponderaciones que afectan al confort o sus factores de multiplicación.

Análisis 1/3 Octavas

f[Hz]	límite inf	límite sup	Ancho banda	Atenuación[dB]				
				Wk	Wc	Wd	We	Wj
1,25	1,11	1,4	[1,11-1,43)	-6,29	0	0,07	-2,25	-6,28
1,6	1,43	1,79	[1,43-1,78)	-6,12	0,06	-0,28	-3,99	-6,32
2	1,78	2,24	[1,78-2,23)	-5,49	0,1	-1,01	-5,82	-6,34
2,5	2,23	2,8	[2,23-2,81)	-4,01	0,15	-2,2	-7,77	-6,22
3,15	2,81	3,53	[2,81-3,53)	-1,9	0,19	-3,85	-9,81	-5,62
4	3,56	4,48	[3,53-4,48)	-0,29	0,2	-5,82	-11,93	-4,04
5	4,45	5,6	[4,48-5,60)	0,33	0,11	-7,76	-13,91	-2,01
6,3	5,61	7,06	[5,60-7,1)	0,46	-0,23	-9,81	-15,94	-0,48
8	7,13	8,97	[7,1-8,94)	0,31	-1	-11,93	-18,03	0,15
10	8,91	11,21	[8,94-11,17)	-0,1	-2,2	-13,91	-19,98	0,26
12,5	11,14	14,01	[11,17-14,13)	-0,89	-3,79	-15,87	-21,93	0,22
16	14,25	17,93	[14,13-17,88)	-2,28	-5,82	-18,03	-24,08	0,16
20	17,82	22,42	[17,88-22,35)	-3,93	-7,77	-19,99	-26,02	0,1
25	22,27	28,02	[22,35-28,04)	-5,8	-9,76	-21,94	-27,97	0,06
31,5	28,06	35,31	[28,04-35,45)	-7,86	-11,84	-23,98	-30,01	0
40	35,64	44,84	[35,45-44,99)	-10,05	-14,02	-26,13	-32,15	-0,08
50	44,54	56,04	[44,99-59,09)	-12,19	-16,13	-28,22	-34,24	-0,24
63	56,13	70,62	[59,09-70,45)	-14,61	-18,53	-30,6	-36,62	-0,62
80	71,27	89,67	[70,45-89,67]	-17,56	-21,47	-33,53	-39,55	-1,48

Tabla 12. Tabla de bandas de tercio de octava

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

El objetivo del programa es ponderar la salida del espectro, aprovechando que la transformada rápida de Fourier nos proporciona dos vectores columna (frecuencia y espectro), programar una sentencia “for” e “if” que vaya ponderando los valores del espectro en dB con los factores de multiplicación que nos ofrece la norma.

El programa se ha hecho para la ponderación W_k como primera prueba y unos valores de aceleración vertical, por lo tanto, estaríamos midiendo el confort en lo referente al eje vertical en el asiento del vehículo. El programa se muestra a continuación:

Ponderación:

```

1 %programa para la ponderación en frecuencia  $W_k$  de la prue 37
2 38
3 39
4 n=length(Py2z2); 40
5 m8=ones(length(Py2z2),1); 41
6 m7=Fy2z2; 42
7 43
8 44
9 %vamos a aplicar la ponderacion  $W_k$  para la segunda prueb. 45
10 46
11 for i=1:n % voy aplicando un fac 47
12     if (m7(i)<1.1) 48
13         m8(i)=Py3z2(i)*0.482; 49
14         elseif (m7(i)>=1.11 & m7(i)<1.43) 50
15             m8(i)=Py3z2(i)*0.484; 51
16             elseif (m7(i)>=1.43 & m7(i)<1.78) 52
17                 m8(i)=Py3z2(i)*0.494; 53
18                 elseif (m7(i)>=1.78 & m7(i)<2.23) 54
19                     m8(i)=Py3z2(i)*0.531; 55
20                     elseif (m7(i)>=2.23 & m7(i)<2.81) 56
21                         m8(i)=Py3z2(i)*0.631;
22                         elseif (m7(i)>=2.81 & m7(i)<3.53)
23                             m8(i)=Py3z2(i)*0.804;
24                             elseif (m7(i)>=3.53 & m7(i)<4.48)
25                                 m8(i)=Py3z2(i)*0.967;
26                                 elseif (m7(i)>=4.48 & m7(i)<5.60)
27                                     m8(i)=Py3z2(i)*1.039;
28                                     elseif (m7(i)>=5.60 & m7(i)<7.1)
29                                         m8(i)=Py3z2(i)*1.054;
30                                         elseif (m7(i)>=7.1 & m7(i)<8.94)
31                                             m8(i)=Py3z2(i)*1.036;
32                                             elseif (m7(i)>=8.94 & m7(i)<11.17)
33                                                 m8(i)=Py3z2(i)*0.988;
34                                                 elseif (m7(i)>=11.17 & m7(i)<14.13)
35                                                     m8(i)=Py3z2(i)*0.902;
36                                                     else if (m7(i)>=14.13 & m7(i)<17.88)
37                                                         m8(i)=Py3z2(i)*0.768;
38                                                         elseif (m7(i)>=17.88 & m7(i)<22.35)
39                                                             m8(i)=Py3z2(i)*0.636;
40                                                             elseif (m7(i)>=22.35 & m7(i)<28.04)
41                                                                 m8(i)=Py3z2(i)*0.513;
42                                                                 elseif (m7(i)>=28.04 & m7(i)<35.45)
43                                                                     m8(i)=Py3z2(i)*0.405;
44                                                                     elseif (m7(i)>=35.45 & m7(i)<44.99)
45                                                                         m8(i)=Py3z2(i)*0.314;
46                                                                         elseif (m7(i)>=44.99 & m7(i)<59.09)
47                                                                             m8(i)=Py3z2(i)*0.246;
48                                                                             elseif (m7(i)>=59.09 & m7(i)<70.45)
49                                                                                 m8(i)=Py3z2(i)*0.186;
50                                                                                 elseif (m7(i)>=70.45 & m7(i)<89.67)
51                                                                                     m8(i)=Py3z2(i)*0.132;
52                                                                                     elseif m7(i)>=89.67
53                                                                                         m8(i)=0;
54                                                                                         end
55                                                                                         end
56                                                                                         end

```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Objetivo del programa:

La finalidad del programa es aplicar al espectro una ponderación en intervalos de 1/3 de octavas al espectro obtenido con la transformada rápida de Fourier anteriormente a las dos matrices de datos.

Descripción “ponderación”:

Se ha definido un vector de ‘unos’ para almacenar los valores de ponderación y otro con el vector de frecuencia obtenido en el espectro, Por medio de la sentencia “for” vamos a hacer un barrido por el rango de frecuencias aplicando una ponderación (factor de multiplicación) a la imagen de la frecuencia correspondiente. Para el diseño del programa he considerado que el campo de estudio es de 1 a 80 Hz , es importante observar que las frecuencias inferiores a 1 Hz no están ponderadas y tienen su valor inicial y a partir de 80Hz he asignado un valor “0” al espectro.

Este bucle va haciendo iteraciones para cada valor de la frecuencia aplicando un determinado factor de multiplicación dependiendo del intervalo en el que se encuentre.

Salida:

Este programa, como se ha dicho anteriormente va modificar el espectro ponderándolo en un determinado intervalo de frecuencia, el resultado es el siguiente:

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

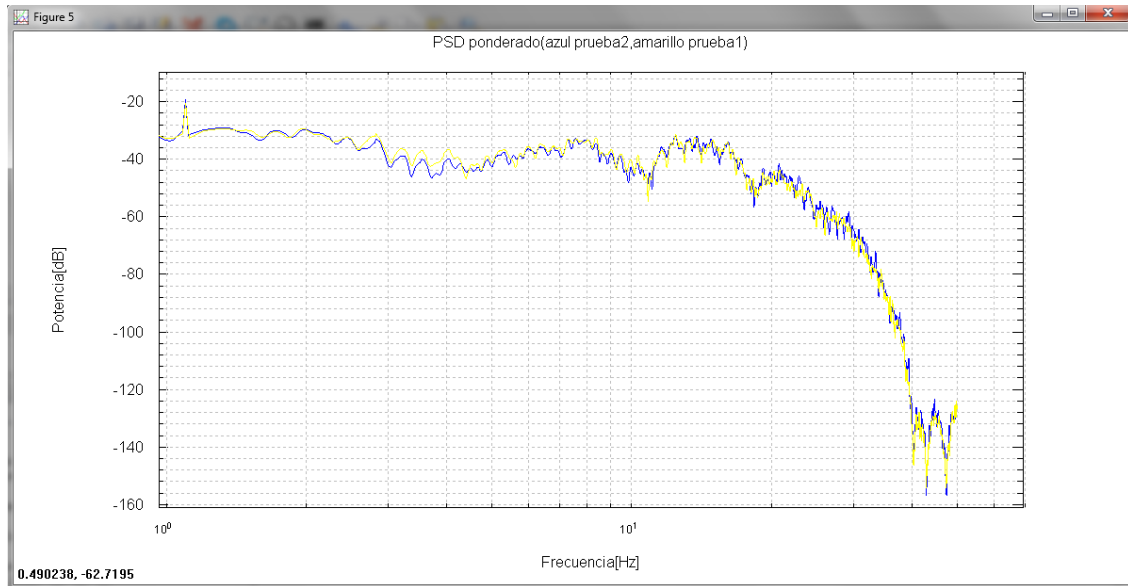


Figura 36. Espectro señales ponderadas

Programa comparativa ponderación en aceleración

```

1 figure(6)
2 clf
3 figure(7)
4 clf
5
6 figure(6);
7 hold on
8 semilogx(m7,Pon1,'b');
9 semilogx(Fy2z1,Py3z1,'r');
10 title('Comparativa de la prueba 1 antes/después de la ponderación');
11 xlabel('Frecuencia[Hz]');
12 ylabel('Potencia[dB]');
13 grid minor on
14 hold off
15
16 figure(7);
17 hold on
18 semilogx(m9,Pon2,'b');
19 semilogx(Fy2z2,Py3z2,'g');
20 title('Comparativa de la prueba 2 antes/después de la ponderación');
21 xlabel('Frecuencia[Hz]');
22 ylabel('Potencia[dB]');
23 grid minor on
24 hold off
    
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Nuestro objetivo es visualizar la comparación de espectro ponderado para las diferentes zonas de confort y los distintos ejes de coordenadas.

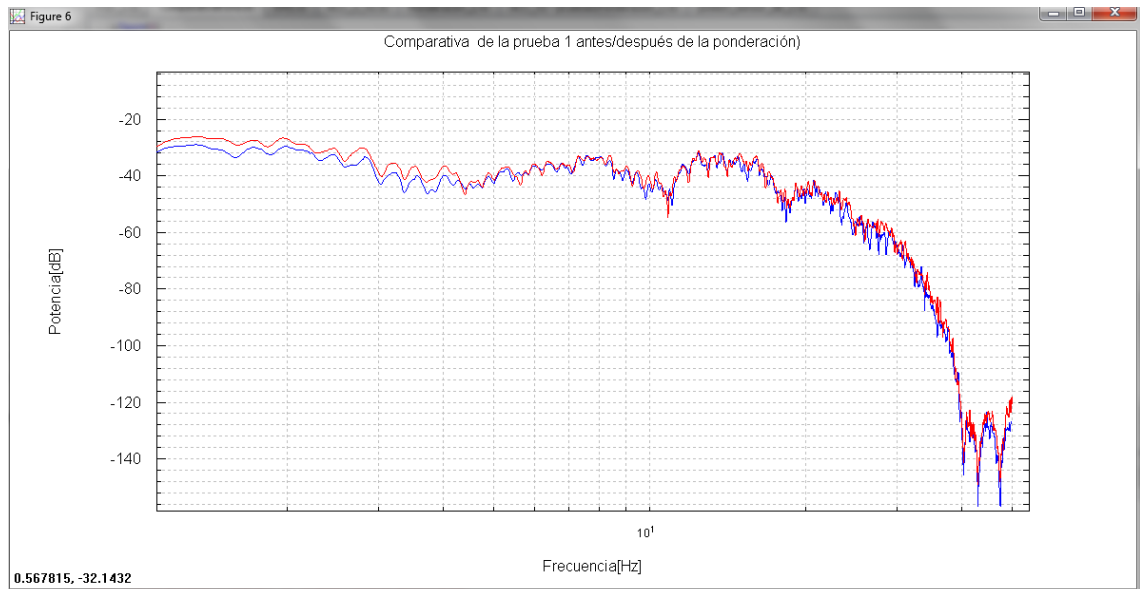


Figura 37. PSD señales ponderadas

3.6 Complementos programa Octave Inicial

Puesta de etiquetas (medida y unidades) y título a las gráficas que se ejecutan para su mejor interpretación.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

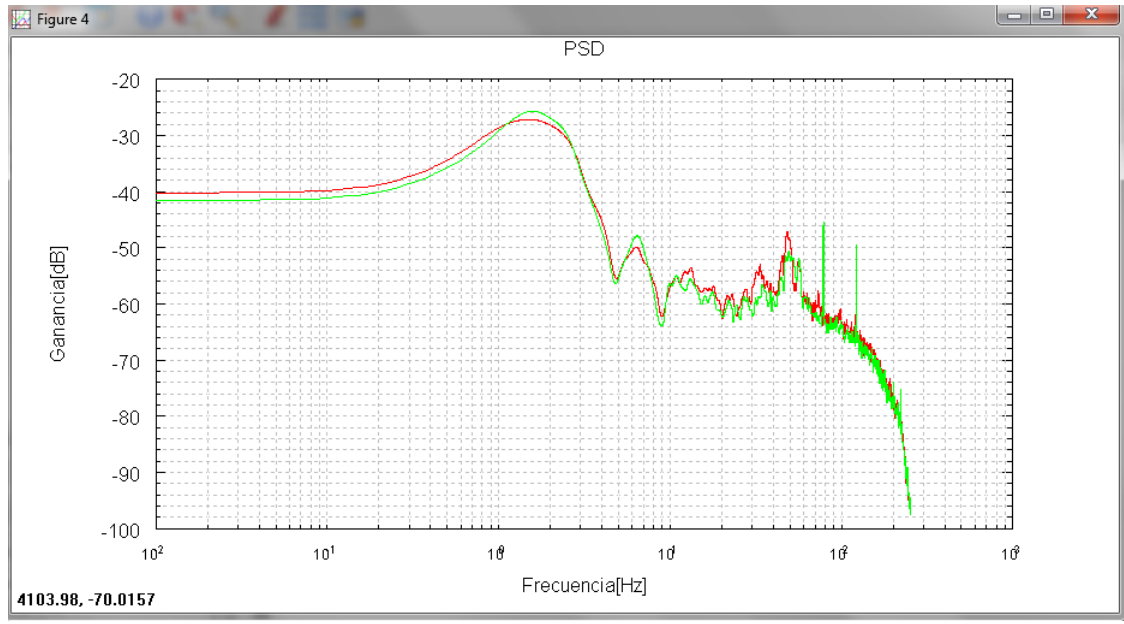


Figura 38. Gráfica con etiquetas.

Para ello se han utilizado unos simples comandos:

- 📌 title('PSD') : pone un título a la gráfica.
- 📌 xlabel('Frecuencia[Hz]'): pone una etiqueta al eje x.
- 📌 ylabel('Ganancia[dB]'); pone una etiqueta al eje y.

Cambio de unidades al sistema internacional

G → m/s²

°/seg → rad/seg

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Es necesario hacer muchas complementaciones al programa además de los filtro de ponderación para el giróscopo y acelerómetro, no obstante, como el programa está pensado para disponer de un ejecutable, es necesario acudir a Matlab y seguir ahí con el diseño del programa.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.7 Introducción Matlab

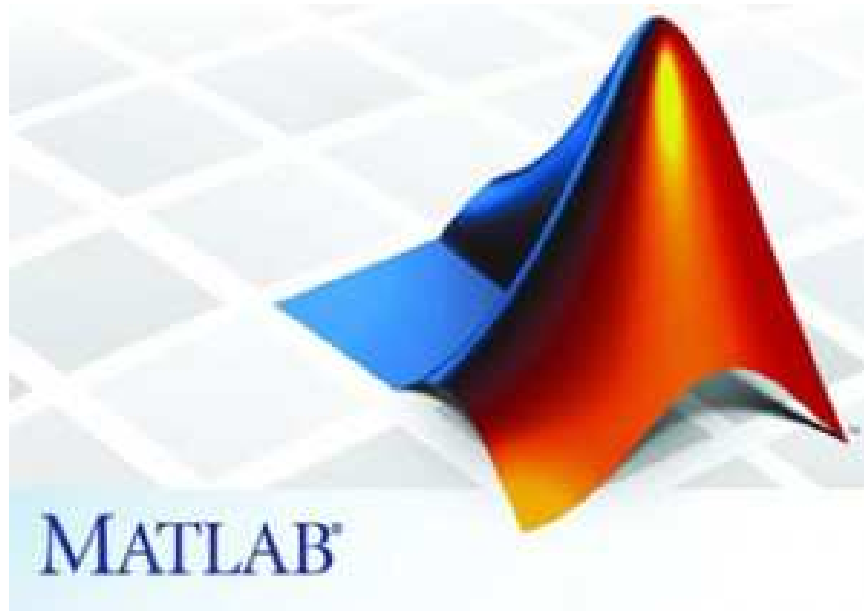






Figura 39. Logo Matlab

3.8 Descripción del programa

MATLAB es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización. Integra:

-  Análisis numérico
-  Cálculo matricial
-  Procesado de señales
-  Gráficos






KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

En un entorno fácil de usar, donde los problemas y las soluciones son expresados como se escriben matemáticamente, sin la programación tradicional. El nombre MATLAB proviene de "MATrix LABoratory" (Laboratorio de Matrices). MATLAB fue escrito originalmente para proporcionar un acceso sencillo al software matricial desarrollado por los proyectos LINPACK y EISPACK, que juntos representan lo más avanzado en programas de cálculo matricial. MATLAB es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es una matriz que no requiere dimensionamiento. Esto permite resolver muchos problemas numéricos en una fracción del tiempo que llevaría hacerlo en lenguajes como C, BASIC o FORTRAN. MATLAB ha evolucionado en los últimos años a partir de la colaboración de muchos usuarios. En entornos universitarios se ha convertido en la herramienta de enseñanza estándar para cursos de introducción en álgebra lineal aplicada, así como cursos avanzados en otras áreas. En la industria, MATLAB se utiliza para investigación y para resolver problemas prácticos de ingeniería y matemáticas, con un gran énfasis en aplicaciones de control y procesamiento de señales. MATLAB también proporciona una serie de soluciones específicas denominadas TOOLBOXES. Estas son muy importantes para la mayoría de los usuarios de MATLAB y son conjuntos de funciones MATLAB que extienden el entorno MATLAB para resolver clases particulares de problemas como:

-  Procesamiento de señales
-  Diseño de sistemas de control
-  Simulación de sistemas dinámicos
-  Identificación de sistemas
-  Redes neuronales y otros.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.9 Adaptación a Matlab

La mayoría de comandos eran similares a los utilizados por Matlab, sin embargo, ha sido necesario hacer modificaciones en los programas, además se ha tenido que cambiar algunos comandos ya que no se disponía de ese paquete de herramientas Matlab, son programas similares a la hora de programar.

Algunas modificaciones:

- ✚ Elseif: Matlab no lo reconoce escrito junto.
- ✚ &&: Matlab utiliza dos en vez de uno
- ✚ comandos más eficaces

3.10 Programas Matlab

Este programa está diseñado para proporcionar al usuario un uso intuitivo del mismo con diversas posibilidades de cálculo para facilitar el análisis gráfico. Está compuesto por varios programas que se muestran a continuación:

Principales

MAIN: Programa principal en el cual vamos a introducir los archivos obtenidos en las pruebas.

Hilo_main: Programa principal para el análisis del desplazamiento , velocidad y aceleración de vástago

Secundarios

Main2: Programa que va ir llamando al resto.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Hilo: Programa para el procesado de datos del potenciómetro de hilo.

CSVread: programa que analiza los csv.

Complementarios

ACC3: programa acelerómetros para análisis en el asiento.

ACC3BIS: programa acelerómetros para análisis en el asiento con pequeñas modificaciones.

ACC4: programa acelerómetros para análisis en el respaldo.

Gyro_Principal: Programa giróscopos para análisis en el asiento.

AV_AA: programa para calcular el valor rms total del asiento.

AV_AC: programa para calcular el valor rms total del asiento.

AV_ACyG: programa para calcular el valor rms total del asiento teniendo en cuenta la aceleración rotacional.

AV_G: programa para calcular el valor rms total del asiento rotacional.

awc: programa para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado wc.

awd23: programa para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado wdx.

awd2zz: programa para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado wdz.

awd3: programa para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado wdy.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

awk: programa para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado wk.

RMSx: programa para calcular la media de aceleraciones rotacionales en cada banda de octava del espectro ponderado wex.

RMSy: programa para calcular la media de aceleraciones rotacionales en cada banda de octava del espectro ponderado wey.

RMSz: programa para calcular la media de aceleraciones rotacionales en cada banda de octava del espectro ponderado wez.

espectrowc: Programa para obtener el espectro de las señales para ponderación wc en el eje x.

espectrowd: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación wd en el eje y.

espectrowd2: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación wd en el eje x.

espectrowdz: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación wd en el eje z.

espectrowex: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación we en el eje x.

espectrowey: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación we en el eje y.

espectrowez: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación we en el eje z.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

espectrowk: Programa para obtener el espectro de la señal para la ponderación wk en el eje y.

Graficas_Acelerómetros: Programa para obtener la salida gráfica de los acelerómetros adicionales en el asiento.

Graficas_Acelerómetros2: Programa para obtener la salida gráfica de los acelerómetros adicionales en el respaldo.

Graficas_Gyro: Programa para obtener la salida gráfica de los giróscopos adicionales en el asiento.

Graficos_AccA: Programa para obtener la salida gráfica de los acelerómetros en el respaldo.

GraficosACC: Programa para obtener la salida gráfica de los acelerómetros en el asiento.

GraficosACyG: programa para obtener la salida gráfica de los acelerómetros y giróscopos en el asiento.

GraficosG: programa para obtener la salida gráfica de los giróscopos y giróscopos en el asiento.

ponderacionwc: Programa que aplica la ponderación wc en el eje x.

ponderacionwd: Programa que aplica la ponderación wd en el eje y.

ponderacionwd2: Programa que aplica la ponderación wd en el eje x.

ponderacionwd2z: Programa que aplica la ponderación wd en el eje z.

ponderacionwex: Programa que aplica la ponderación we en el eje x.

ponderacionwey: Programa que aplica la ponderación we en el eje y.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

ponderacionwez: Programa que aplica la ponderación we en el eje z.

ponderacionwk: Programa que aplica la ponderación wk en el eje y.

TripleACC: Programa que superpone los espectros en los tres ejes cartesianos de una misma prueba.

FiltroINT: Programa para filtrar una señal y eliminar la componente continua y poder integrar con precisión.

FiltroPB: Programa que aplica un filtro paso bajo para limpiar una señal y tener una derivada más clara.

Funciones

buscar: función que busca una cadena de caracteres para empezar a leer los archivos txt.

MTVV: función que muestra el valor máximo rms y la banda en la que se encuentra.

Espectrofun: función que calcula el espectro de una señal.

Leer: función que lee los archivos csv.

Pasobajo: función que aplica un filtro paso-bajo a una señal de entrada.

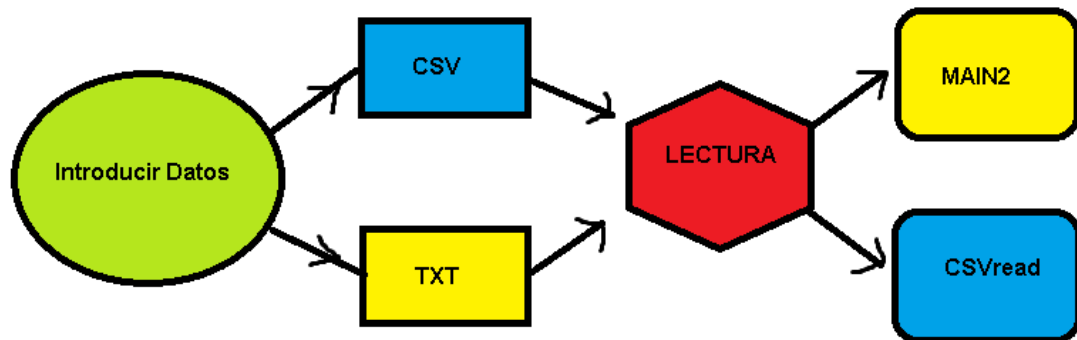
Ahora vamos a entrar en detalle al diseño de los programas, como hay varios programas que hacen lo mismo pero para diferentes datos, se expondrá uno de cada tipo y se empezará del más general al más específico.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

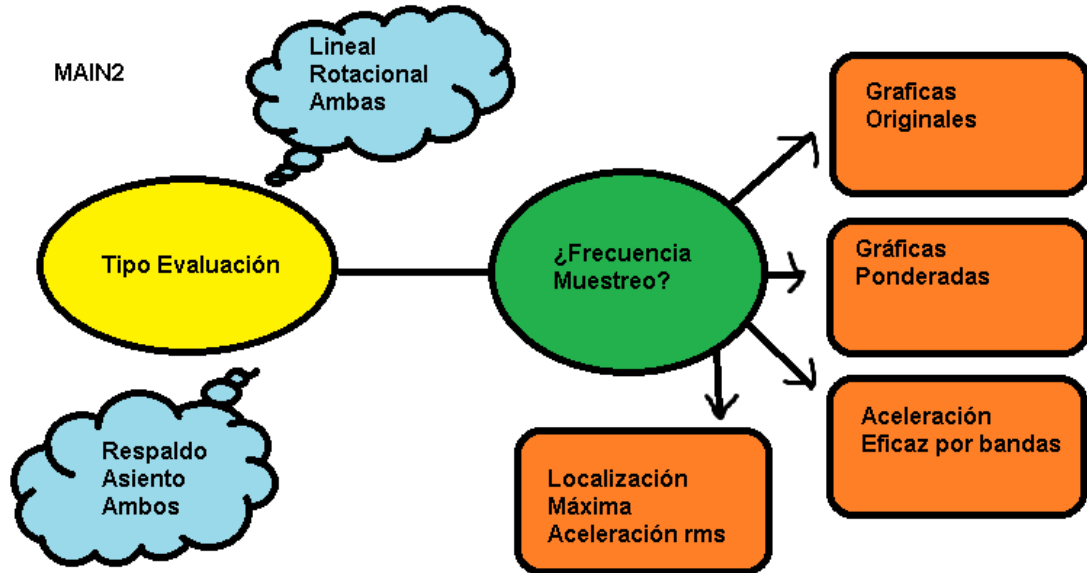
UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

MAIN:**Figura 40. Esquema Main.****Descripción “MAIN”:**

Este es el programa principal que deberemos ejecutar para analizar los datos, desde aquí se ira ejecutando el resto. Como podemos observar tenemos la posibilidad de introducir los datos en formato ‘txt’ o ‘xls/csv’, cada archivo hay que introducirlo donde le corresponde, si una prueba no se va a evaluar sus correspondientes casillas deben estar vacías o la evaluará. No ocurre lo mismo con los datos introducidos en “csv”, aquí introducimos una o dos pruebas y elegimos las ponderaciones que se desean aplicar. Cuando elegimos el formato de datos este programa irá llamando al resto (main2 o csvread).

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Main2:**Figura 41. Esquema Main2****Descripción “Main2”:**

En primer lugar el programa limpia el terminal cada vez que se ejecuta para evitar errores con cálculos previos con el comando 'clc', a continuación, lo primero que nos indica es introducir donde se desea evaluar el confort

→ Opción 1: Asiento

→ Opción 2: Respaldo

→ Opción 3: Ambos

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Utilizando el comando 'while' consigo un bucle que te pide introducir una opción mientras la elegida no este dentro de las propuestas, de esta manera no impide que se ejecute correctamente el resto del programa.

```
Command Window
Inserte Donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 , Ambos==>3:6
La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo
fx Inserte Donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 , Ambos==>3:
```

Figura 42. Salida texto en la ventana de comandos Matlab

Como se puede observar, al introducir un '6' no lo reconoce y vuelve a pedir que se inserte una opción.

Una vez escogido el lugar de estudio se vuelve a preguntar que tipo de vibración quiere visualizarse

→Opción 1: Aceleración lineal

→Opción 2: Aceleración rotacional

→Opción 3: Ambos

El programa está diseñado para aplicar las ponderaciones correspondientes dependiendo de donde se desea evaluar el confort, de esta manera no se deja posibilidad de error al usuario porque cada zona de confort está asociada a los tipos de ponderación que le corresponden según la norma.

Para no entrar en detalle en cada una de las ramas explicaré una sencilla como el análisis en el asiento para la aceleración rotacional y finalmente el estudio del confort en el asiento y respaldo con el máximo de complementos posibles.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Análisis vibración lineal en el asiento:

En primer lugar tenemos un display que nos pide la frecuencia de muestreo que hemos utilizado en la adquisición de datos (mediante el comando “input” almacenamos la variable “Fs” que nos servirá para cálculos posteriores), a continuación se ejecuta el programa “ACC3” para definir las matrices de datos y diferentes variables que describiremos mas adelante. Ahora se nos indica si queremos observar las gráficas ponderadas de la aceleración y los valores r.m.s, y después tenemos la posibilidad de visualizar las aceleraciones eficaces por bandas en el rango de bandas interesante desde el punto de vista del estudio del confort. Finalmente se ejecutan las gráficas de los datos originales en el programa “Gráficas_Acelerómetros”

Análisis del confort en el asiento y respaldo

Como vemos es igual que el anterior caso pero la cantidad de programas involucrados es mucho mayor, y también ha sido preciso hacer alguna modificación en “ACC3” ya que la prueba se realiza con los mismos acelerómetros y no es necesario volver a introducir la variable de frecuencia de muestreo, definiéndose así “ACC3bis”. Es importante que el programa esté bien estructurado, ya que a la hora de hacer modificaciones o mejoras es más manipulable y ayuda mucho al programador, es una parte en tener en cuenta para futuras mejoras o ampliaciones.

Ahora vamos a entrar en el tipo de programas como “ACC3”, “ACC4” o “Gyro_Principal” describiré uno de acelerómetros ya que en esta parte aún no difieren prácticamente nada salvo en la conversión de unidades y los programas relacionados.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

ACC3:

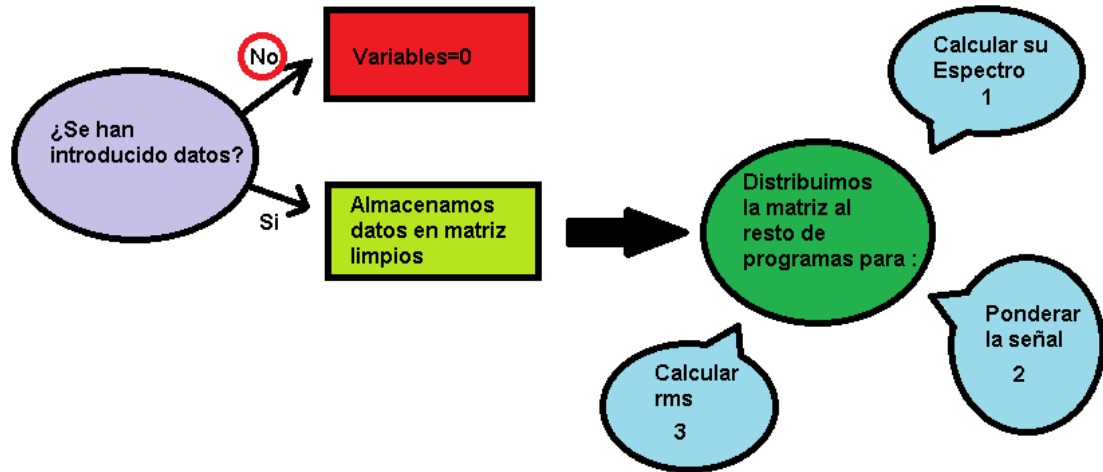


Figura 43. Esquema ACC3.

Como se ha comentado, el programa funciona comparando diferentes tipos de amortiguador recopilando los datos en pruebas, si a esto le sumas que se trata de hacer un programa lo más flexible posible el programa aumenta su complejidad y es necesario diseñarlo para funcionar cuando no se introduzcan datos en alguna dirección.

Descripción ACC3:

Con la sentencia “if” vemos si el nombre del archivo en el programa principal se corresponde con alguno que hay en la carpeta del programa, se pueden dar dos casos:

➔ Primer caso: El programa detecta que el archivo que se quiere leer no se corresponde con nada, es decir, su valor es “-1”, entonces, al no procesarse los programas debemos definir alguna variables como nulas tanto para la prueba 1 como para la 2

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if id==-1

ab9=0;

ab10=0;

awkz=0;

awk2z=0;

awkz_max=0;

awk2z_max=0;

field1 = 'awkz'; value1 = 0;

field4 = 'awk2z'; value4 = 0;
```

➔ Segundo caso: El programa detecta que se han introducido datos, ahora se llama a la función “buscar” que se explicará a más adelante para descartar el encabezado de los archivos de texto. Seguidamente leemos los datos y los almacenamos en una matriz lista para procesar.

```
buscar(id)           %llamamos a la funcion buscar

fscanf(id,'%s',1);

a=fread(id);

fclose(id);

A=char(a);

c1=' ';

c2=' ';

A=A';

B=strrep(A,c1,c2);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
m=str2num(B); % Matriz que contiene los datos pero repetida la columna
de aceleración

m1=[m(1:length(m),1) m(1:length(m),2)*9.81]; % estoy metiendo datos en
m/s2
```

En la siguiente imagen se muestra el encabezado que hay que eliminar y las comillas de los datos que impiden introducirlos de forma normal en una matriz y hay que eliminarlas y convertir posteriormente los datos con su código digital a números y almacenarlos en una matriz manipulable eliminando también una columna ya que están repetidos.

```
10 "Duration","75.000"
11 "Segment","Lap 1 - 1:15.000"
12
13 "Time","Acc_FR_vastago",
14 "Time","Acc_FR_vastago",
15 "sec","V",
16 "", "1",
17
18 "0.000","3.660888","3.660888"
19 "0.002","3.658447","3.658447"
20 "0.004","3.653564","3.653564"
21 "0.006","3.648681","3.648681"
22 "0.008","3.636474","3.636474"
23 "0.010","3.626709","3.626709"
24 "0.012","3.621826","3.621826"
```

Figura 44. Encabezado texto de pruebas

Después de almacenar estos datos en una matriz que contenga los datos útiles se llaman al resto de programas para que, a partir de la matriz, calculen el espectro, hagan la ponderación de la señal y analicen la aceleración rms por bandas de tercio de octava.

Hemos visto que sin la función “buscar” no se podrían leer los datos porque el encabezado causaría un error porque tenemos caracteres

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

numéricos. Esta función es una función recursiva, es conveniente definirla para saber como funciona ya que son realmente útiles en la programación cuando hay operaciones repetitivas.

Se dice que una función es recursiva cuando el cuerpo de la función utiliza a la propia función. Dentro de una función recursiva suelen distinguirse dos partes:

- ✚ Los casos base: Son aquellos que para su solución no requieren utilizar la función que se está definiendo.
- ✚ Los casos recursivos: Son aquellos que sí que requieren utilizar la función que se está definiendo.

Las definiciones recursivas funcionan siempre y cuando las llamadas recursivas se realicen de forma que en algún momento se lleguen a los casos base.

Una función es recursiva final cuando tras la llamada recursiva no hay que realizar ningún cómputo adicional. Es decir, el valor devuelto en la llamada recursiva es igual al valor que debe devolver la función. Veamos el caso de “buscar”

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Función “buscar”:

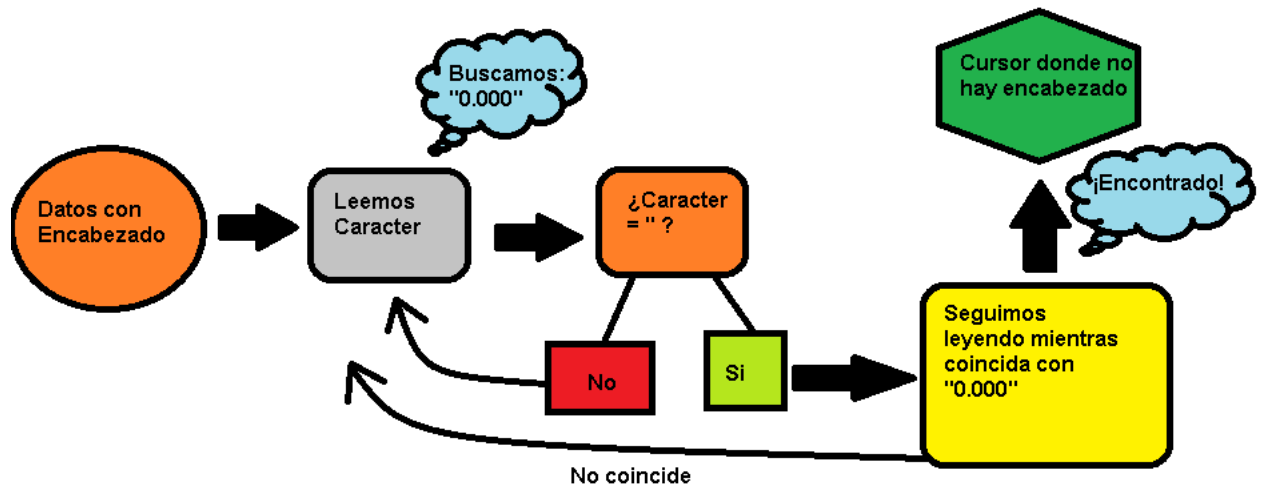


Figura 45. Esquema buscar

Definimos la función buscar (fd), “fd” será en nombre de nuestro archivo para cada caso (id, id2, id3...), con “fscanf” vamos leyendo caracteres, cuando estos sean igual a ‘ ‘ ‘seguimos evaluando los siguientes para comprobar que estamos en “0,000”, es decir , que ya hemos acabado con todo el encabezado y podemos almacenar el resto de datos. Esta función reemplaza al ‘fgetl’ ya que es mucho mas eficiente, funciona en todos los casos y facilita mucho la programación. Como se puede apreciar, he introducido un operador lógico “or= ||” para ciertos casos que se han dado en los que no tenia dobles comillas al final del cero.

Ahora se va a proceder con el cálculo de los espectros, como en otros casos, estos programas se repiten y voy a comentar uno de ellos:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Espectrowk:

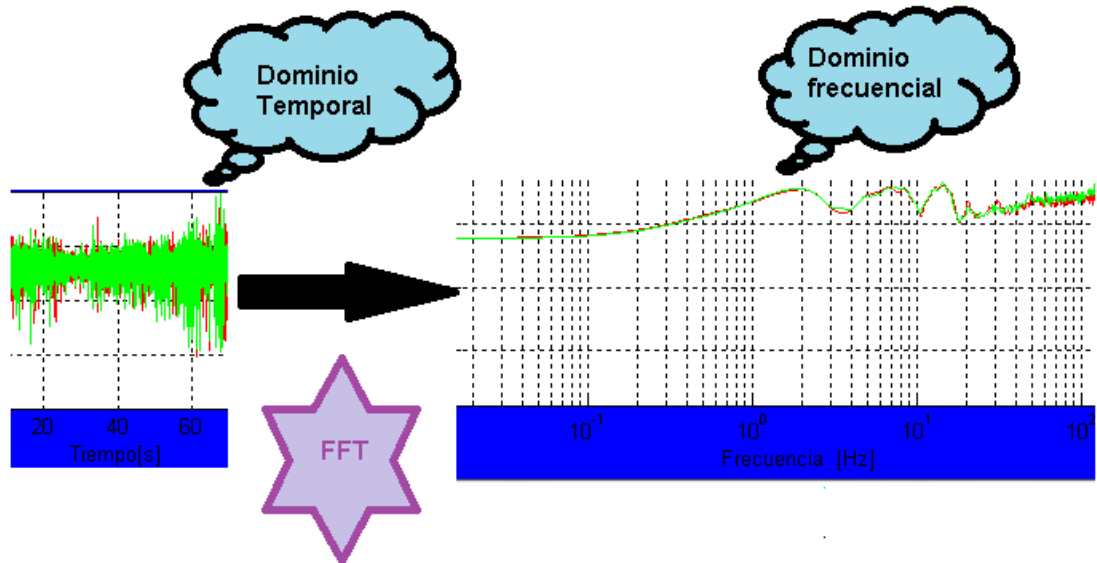


Figura 46. Esquema espectrowk

Descripción “Espectrowk”:

Este programa es fundamental, es el encargado de calcular el espectro de la señal a partir de los datos que se definen en el dominio temporal. Es importante tener en cuenta la longitud de los vectores para la futura representación gráfica ya que es necesario que sean de la misma longitud, por lo tanto, el vector frecuencia se define de la misma longitud que la del espectro. Para el cálculo del espectro en Matlab he utilizado la transformada rápida de Fourier ya que prescindía del paquete de análisis de señales de Matlab.

Aquí hay una diferencia importante en con los giróscopos ya que con estos estamos midiendo velocidad y necesitamos valores de aceleración para poder realizar los cálculos posteriores, de esta manera surge la necesidad de derivar la señal de velocidad de manera discreta para poder proceder de manera normal

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

%Pasamos los datos de velocidad a aceleracion rotacional mediante una derivada discreta:

```
diferencia=diff(m30(:,2));
```

```
derivada=(diferencia/(1/Fs));
```

```
md30=[m30(1:length(m30)-1,1),derivada]; % matriz aceleracion  
rotacional en funcion del tiempo reglaje1
```

```
diferencia=diff(m31(:,2));
```

```
derivada=(diferencia/(1/Fs));
```

```
md31=[m31(1:length(m31)-1,1),derivada]; % matriz aceleracion  
rotacional en funcion del tiempo reglaje2
```

Para calcular las matrices que serán posteriormente procesadas he derivado la original, y obtenido otra matriz con datos en [rad/seg²], para ello he usado el comando “diff” para calcular la diferencia entre puntos consecutivos y lo he derivado entre el intervalo de tiempo que es la inversa de la frecuencia de muestreo.

Ahora que hemos calculado el espectro de la señal obtenida, vamos ponderarlo en frecuencia, para ello se necesita las diferentes ponderaciones explicadas previamente para los diferentes lugares de confort.

Este programa estaba previamente diseñado en octave pero ha sido necesario aplicarlo para los diferentes tipos de ponderaciones y direcciones.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

PonderaciónWk

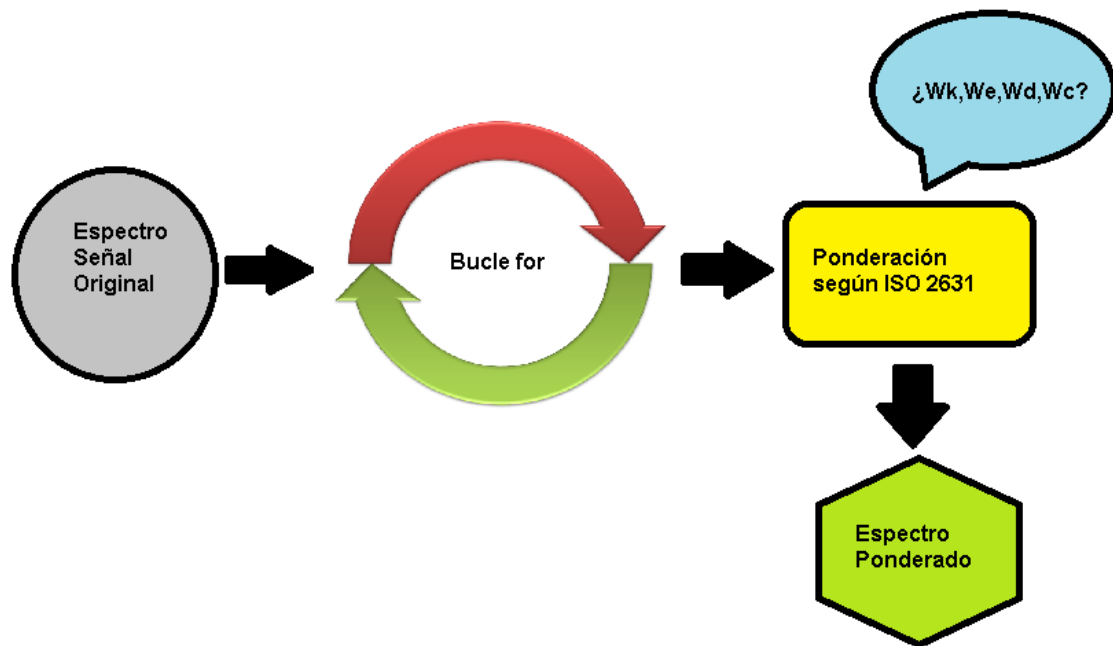


Figura 47. Esquema PonderaciónWk

Descripción “PonderaciónWk”:

El programa convierte el espectro a dB (unidad de potencia) y va pasando por las bandas de frecuencia aplicando el factor de multiplicación que corresponda y almacenando los datos en una matriz previamente definida, cogemos el valor absoluto del espectro ya que esta compuesto por números complejos.

Hasta aquí podríamos ser capaces de obtener resultados gráficos pero queremos ir un poco más lejos y ofrecer otra serie de indicadores que nos ayuden a decantarnos por el reglaje más confortable. Para ello se ha diseñado un programa que calcula el valor rms para cada reglaje de amortiguador tanto para todo el espectro como para cada tercio de banda de octava, un ejemplo de este tipo de programas es el siguiente:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Awk

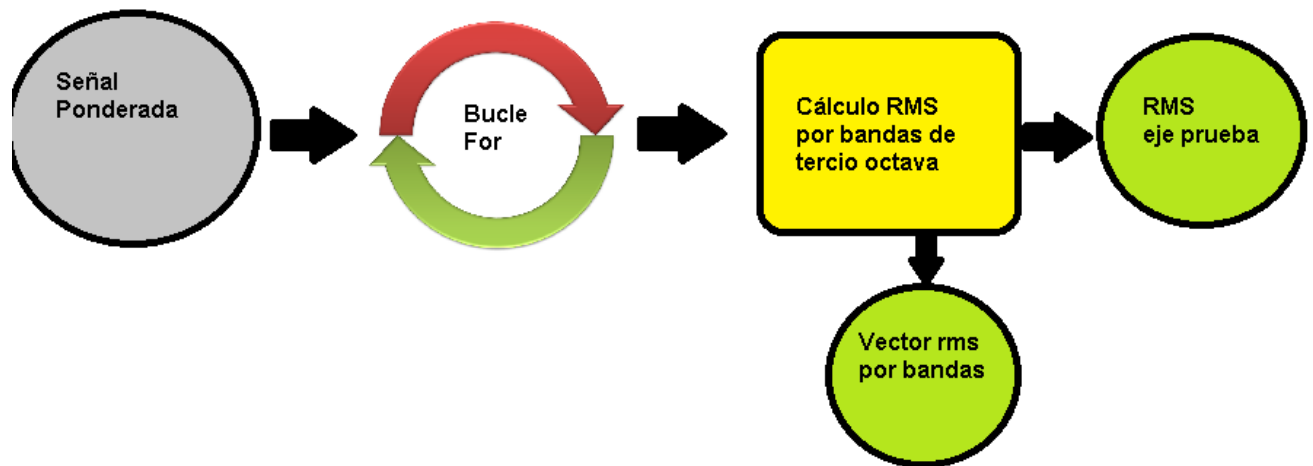


Figura 48. Esquema Awk.

Descripción “Awk”:

Este programa seguramente sea el más costoso de todos, ya que al carecer del paquete de análisis de señales se ha tenido que programar el valor rms manualmente.

El valor rms para el dominio de la frecuencia es el siguiente:

$$\sum_{n} x^2(t) = \frac{\sum_n |X(f)|^2}{n}$$

Donde $X(f) = \text{FFT}\{x(t)\}$ y n es el número de muestras en cada banda.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n x^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_n |X(f)|^2} = \sqrt{\sum_n \left| \frac{X(f)}{n} \right|^2}$$

Ecuación 10. Fórmula rms en el dominio frecuencial

Para calcular el numero de muestras en cada banda he definido variables que vayan aumentando de 1 en 1 cada ciclo del “if” y otra variable “j” que marque el índice del vector que recogerá todos los valores rms de cada banda que resultará útil para ver en que banda se está produciendo una mayor inconformidad, finalmente se calcula el valor rms total y se almacena en variables que serán visibles en la ejecución del programa.

Como se puede observar en estos programas también llamamos a una función, en este caso se llama “MTVV” esta función lo que hace es calcular la banda con mayor dosis de vibración y nos dice tanto su valor como su localización.

Veamos como funciona:

Función MTVV

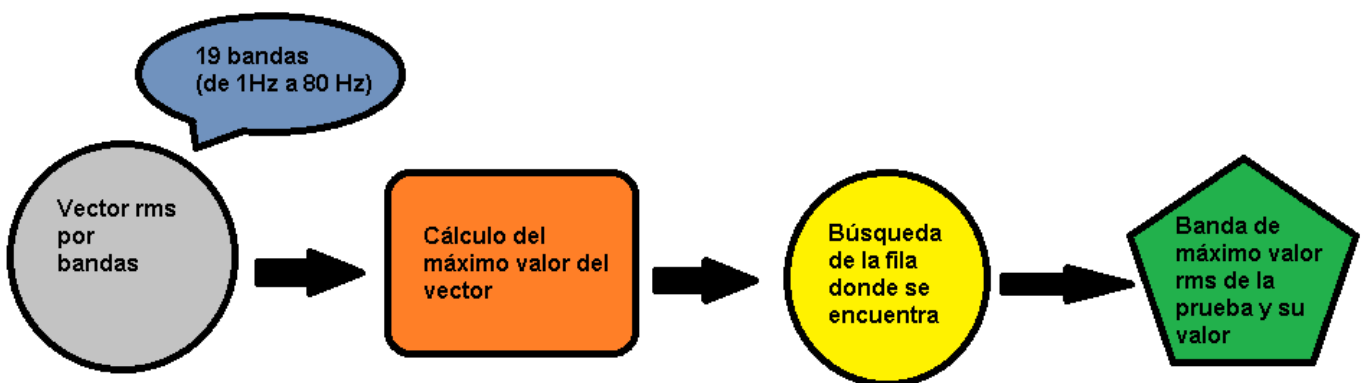


Figura 49. Esquema function MTVV

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Descripción “MTVV”:

Como se ha visto previamente, vamos a obtener un vector con los valores de rms por cada banda “ab”, con este programa se consigue obtener el máximo valor de este vector y ver de que banda proviene, por lo tanto a partir del vector “ab”:

```
Command Window
ab =
    0.2435
    0.2558
    0.1184
    0.1195
    0.0425
    0.0441
    0.0529
    0.0440
    0.0183
    0.0376
    0.0167
    0.0082
    0.0033
    0.0008
    0.0007
```

Ecuación 11. Vector valores rms por bandas

Definimos una función que nos proporcione una salida (que será el máximo valor de ab) y a partir de la posición en la que esté sabremos a que banda corresponde, para ello, iremos comparando sirviéndonos de la sentencia “if” y por medio de “fprintf” veremos el resultado en pantalla para estudiar más detalladamente esos intervalos que tienen mayor importancia en el confort y posiblemente se observen mayores diferencias entre los reglajes. Como

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

podemos ver en este vector, para un vehículo, las bajas frecuencias son las que mayor importancia tienen.

Factor de Cresta

Siguiendo con el programa “awk” puede observarse que el factor de cresta está programado pero en vista de los resultados de varias pruebas he constatado que no representa la severidad de las vibraciones y he optado por no utilizarlo.

Siguiendo con los programas, ahora que ya hemos visto como calculamos el espectro, ponderamos la señal y calculamos los valores rms vamos a ver como calcular el valor total de vibración o valor rms total para diferentes direcciones de vibración y ponderaciones. Para este cálculo hay varios programas para distintos lugares de estudio un ejemplo es:

AV_ACyG:

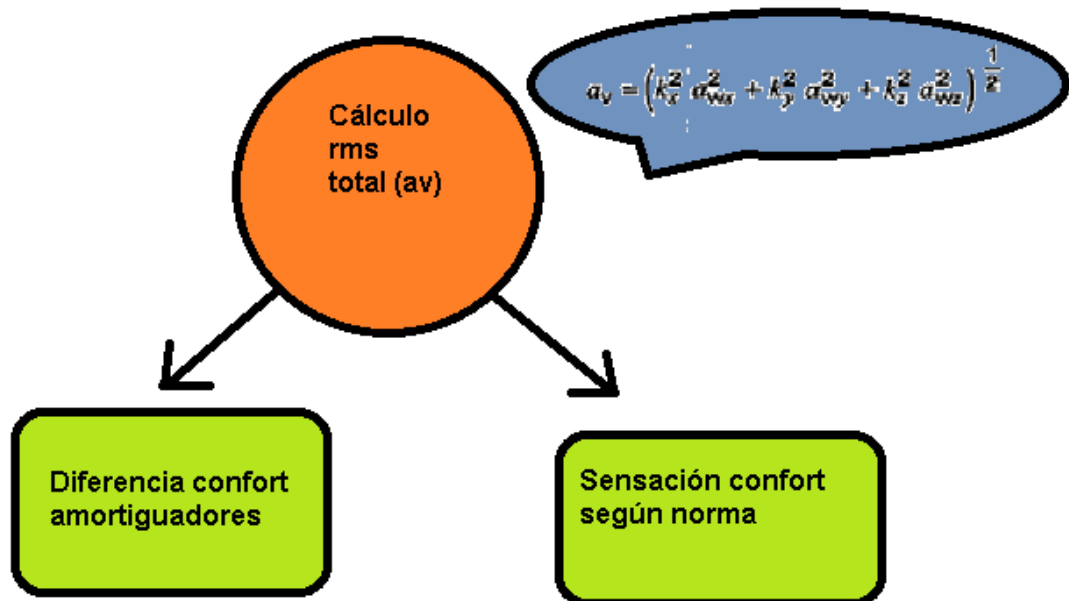


Figura 50. Esquema AV_ACyG

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Descripción “AV_ACyG”:

Como hemos visto, el programa ofrece la posibilidad de estudiar el confort en el asiento, para esto hace falta tener en cuenta tanto aceleraciones lineales como rotacionales combinando varias direcciones, cabe decir que cuantos más datos valoremos mayor será la precisión del cálculo. Para evaluar todo la norma nos ofrece una serie de coeficientes para el cálculo de “av”, además de calcular este valor, lo comparamos con la referencia que nos ofrece la norma:

Aceleración Ponderada m/s²	Reacción al Confort
< 0.315	Aceptable
0.315 – 0.63	Ligera molestia
0.5 – 1.00	Poco incómodo
0.8 – 1.6	Incómodo
1.25 -2.5	Muy incómodo
> 2.00	Extremadamente incómodo

Tabla 13. Tabla relación confort-aceleración rms

Y mediante estas relaciones sacamos unas primeras impresiones de las mediciones, estas relaciones no son algo exacto, nos debe servir mas como referencia que como conclusión. Finalmente el programa calcula la diferencia entre el primer amortiguador y el segundo y nos dice que amortiguador es el más confortable a priori.

Ahora que ya hemos hecho prácticamente todo el cálculo teórico nos metemos en la representación gráfica. Si recordamos, el programa secundario (main2) nos daba la posibilidad de observar las gráficas ponderadas y las

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

originales (sin ponderar), la representación gráfica ofrece muchas opciones y se ha optado por las escalas que representan mejor los datos.

En primer lugar hablaremos del tipo de programa de las gráficas originales, por ejemplo “Graficas_Acelerometros”

Graficas_Acelerometros:

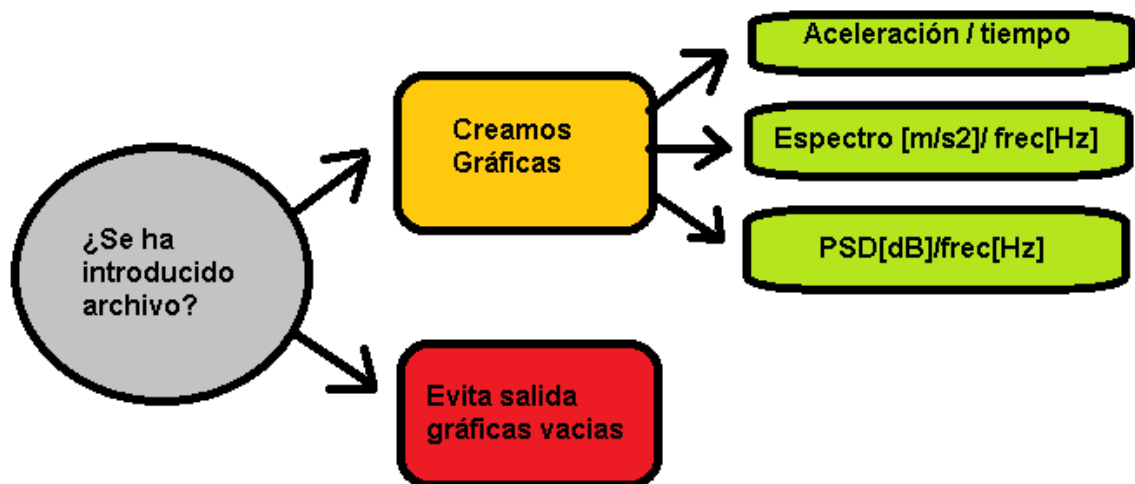


Figura 51. Esquema Graficas_Acelereometros

Descripción “Graficas_Acelerometros”:

Vamos a ‘plotear’ tres gráficas en la misma pantalla:

1 → aceleración respecto al tiempo

2 → PSD / frecuencia

3 → dB / frecuencia

Cada gráfica consta de sus etiquetas y leyendas para saber que se está representando así como el título de cada ventana ya que en algunos casos

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

vamos a obtener varias gráficas y puede llegar a resultar pesado aún teniendo 3 gráficas por ventana. Como se puede observar, el programa analiza que datos se han introducido y solo saca las gráficas necesarias y evita sacar ventanas vacías que incomodarían al usuario.

Ahora vamos a ver el programa para la creación de gráficas ya con los espectros ponderados y para los diferentes ejes como por ejemplo:

Graficos_AccA

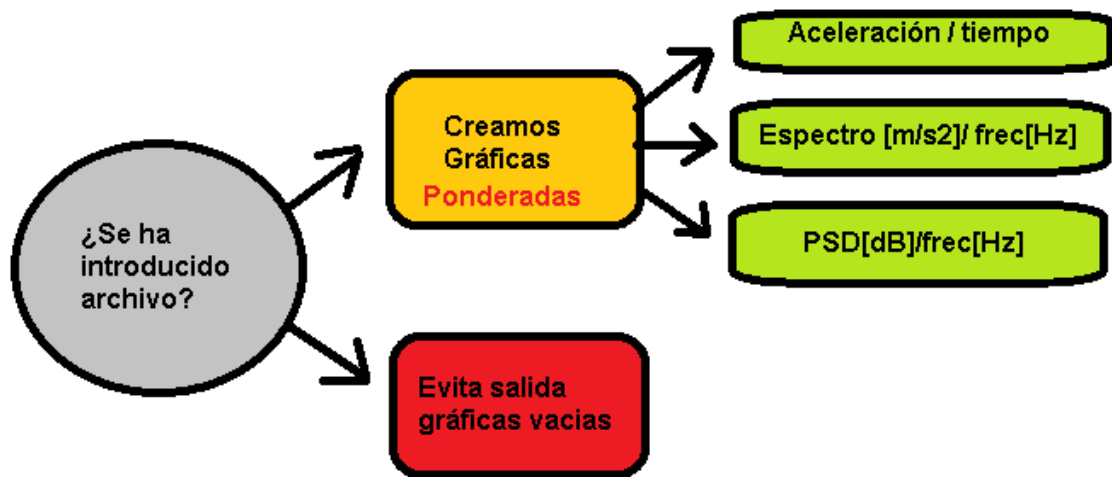


Figura 52. Esquema Graficos:AccA

Descripción “Graficos_AccA”:

Este programa representa el espectro en dB obtenido gracias a los programas explicados previamente y lo representa frente a la frecuencia para las diferentes direcciones ofreciendo también esa flexibilidad al trabajar solo con los datos que introduce el usuario en el programa principal. Resulta tedioso la programación para las diferentes posibilidades pero es realmente gratificante poderse adecuar a los datos que se tengan para hacer el cálculo sin obtener

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

ningún tipo de error. A lo largo de todo el programa se ha tenido especial cuidado con los colores de representación, se ha definido el siguiente criterio:

Roj: para los datos de la prueba 1 originales.

Verde: para los datos de la prueba 2 originales.

Azul: para los datos de la prueba 2 ponderada.

Amarillo: para los datos de la prueba 1 ponderada.

3.11 Salida resultados

Habiéndonos ya detenido en prácticamente cada tipo de programa, vamos a observar como sería la salida de resultados para los siguientes datos:

Aceleración vertical asiento

Aceleración lateral asiento

Aceleración frontal asiento.

Aceleración rotacional pitch.

Aceleración rotacional roll.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Procedimiento

Introducimos los datos en el formato que dispongamos (.txt) en el programa principal MAIN.

```
Editor - C:\Users\ayesap\Documents\MATLAB\DEFINITIVO(PRUEBAS)\MAIN.m*
MAIN.m* x +
17 %DATOS EN FORMATO TXT
18
19 %Introducir datos de ACVertical Wk, P1
20 id=fopen('bmw_v17_h114_a2_L1_v1_accz.txt','r');
21 %Introducir datos de ACVertical Wk, P2
22 id2=fopen('bmw_v17_h114_a3_L1_v1_accz.txt','r');
23 %Introducir datos de ACLateral Wd, P1
24 id3=fopen('bmw_v17_h114_a2_L1_v1_accrl.txt','r');
25 %Introducir datos de ACLateral Wd, P2
26 id4=fopen('bmw_v17_h114_a3_L1_v1_accrl.txt','r');
27 %Introducir datos de ACFrontal Wd, P2
28 id5=fopen('bmw_v17_h114_a2_L1_v1_accfr.txt','r');
29 %Introducir datos de ACFrontal Wd, P2
30 id6=fopen('bmw_v17_h114_a3_L1_v1_accfr.txt','r');
31 %Introducir datos de ACFrontal Wc, P1
32 id13=fopen('','r');
33 %Introducir datos de ACFrontal Wc, P2
34 id14=fopen('','r');
35 %Introducir datos de ACVertical Wd, P1
36 id15=fopen('','r');
37 %Introducir datos de ACVertical Wd, P2
38 id16=fopen('','r');
39 %Introducir datos de Aceleración rotacionalY We, P1
40 id7=fopen('bmw_v23_h119_a2_L3_v1_d_Gpitch.txt','r');
41 %Introducir datos de Aceleración rotacionalY We, P2
42 id8=fopen('bmw_v23_h119_a3_L3_v1_d_Gpitch.txt','r');
43 %Introducir datos de Aceleración rotacionalX We, P1
44 id9=fopen('bmw_v23_h119_a2_L3_v1_d_Groll.txt','r');
45 %Introducir datos de Aceleración rotacionalX We, P2
46 id10=fopen('bmw_v23_h119_a3_L3_v1_d_Groll.txt','r');
47 %Introducir datos de Aceleración rotacionalZ We, P1
48 id11=fopen('');
49 %Introducir datos de Aceleración rotacionalZ We, P2
```

Figura 53. Cabecera programa main

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Como podemos observar los datos que no vamos a introducir se dejan sin rellenar.

Ejecutamos el programa:



o presionamos F5

Observaciones: si nos da un error del tipo de variables indefinidas es posible que hayamos introducido mal algún nombre del archivo y no deja que el programa lo lea.

Introducimos las opciones que queremos analizar y las frecuencias de muestreo de los acelerómetros y giróscopos.

Salida de texto:

En primer lugar tenemos la selección de opciones y los valores rms máximos y su banda correspondiente para los valores de aceleración lineal,

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
Command Window
Inserte Donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 , Ambos==>3:1
Inserte que quiere evaluar: Aceleración lineal==>1 , Aceleración rotacional==>2 , Las dos==>3 :3
Análisis ambas aceleraciones para el asiento
Ingrese el valor de la variable:Frecuencia de muestreo del ACELERÓMETRO [Hz]:100

awkz_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,11-1,43]Hz , valor:2.554158e-01 [m/s^2]
awk2z_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,43-1,78]Hz, valor:2.558005e-01 [m/s^2]
awdy_max==>|
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,11-1,43]Hz , valor:2.759465e-01 [m/s^2]
awd2y_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,43-1,78]Hz, valor:2.897049e-01 [m/s^2]
awdx_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,43-1,78]Hz, valor:2.069306e-01 [m/s^2]
awd2x_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,11-1,43]Hz , valor:2.624252e-01 [m/s^2]
```

Figura 54. Salida texto ventana de comandos Matlab

En segundo lugar tenemos que introducir la frecuencia de muestreo del giróscopo y visualizamos sus valores rms máximos.

```
Ingrese el valor de la variable:Frecuencia de muestreo del GIRÓSCOPO [Hz]:500
away_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [5,60-7,1]Hz, valor:3.355923e-03 [m/s^2]
awe2y_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,11-1,43]Hz , valor:1.711007e-03 [m/s^2]
awex_max==>
El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [5,60-7,1]Hz, valor:1.681790e-02 [m/s^2]
awe2x_max==>
```

Figura 55. Salida texto ventana de comandos Matlab

En tercer y último lugar se nos pide si queremos visualizar las gráficas originales y se visualiza el resto de datos.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
¿Quiere visualizar las gráficas originales? Si==>1 , No==>2 :1
```

```
AceleracionesPonderadas =
```

```
awkz: 0.3646  
awdy: 0.3834  
awdx: 0.3044  
awk2z: 0.4046  
awd2y: 0.3978  
awd2x: 0.3987  
awey: 0.0053  
awex: 0.0222  
awez: 0  
awe2y: 0.0031  
awe2x: 0.0100  
awe2z: 0
```

```
El nivel de confort para primer reglaje es: Un poco incómodo, av=6.182926e-01 [m/s^2]
```

```
El nivel de confort para el segundo reglaje es: Un poco incómodo, av2=6.966648e-01 [m/s^2]
```

```
La aceleración cuadrática media total ponderada en frecuencia de la prueba 1 es MENOR que la de la prueba2, Diferencia=7.837219e-02
```

Figura 56. Salida texto ventana de comandos Matlab

Las aceleraciones ponderadas son las totales para cada tipo de ponderación y dirección, por ejemplo, awkz es la aceleración ponderada para la ponderación Wk en el eje vertical z.

Av: Aceleración total ponderada para el asiento de la prueba 1

av2: Aceleración ponderada total para el asiento de la prueba 2

Por último tenemos la diferencia de ambos en Diferencia.

Podemos observar que al no haber introducido los valores de yaw los valores de aceleraciones ponderadas son nulas.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Salida gráfica

Antes de empezar con el análisis gráfico vamos a ver que tipos de gráficas vamos a obtener. En primer lugar tenemos las gráficas originales ya que hemos escogido visualizarlas:

Gráfica ACCV. Aceleración vertical

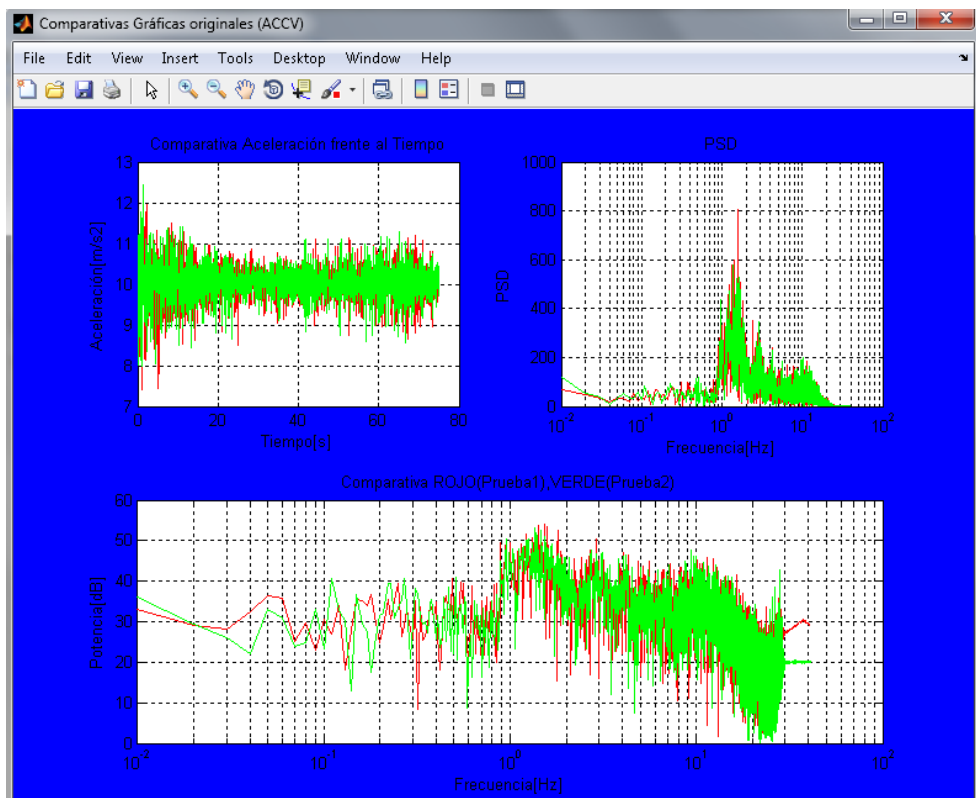


Figura 57. Salida gráfica Aceleración vertical Matlab

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Gráfica ACCL. Aceleración lateral

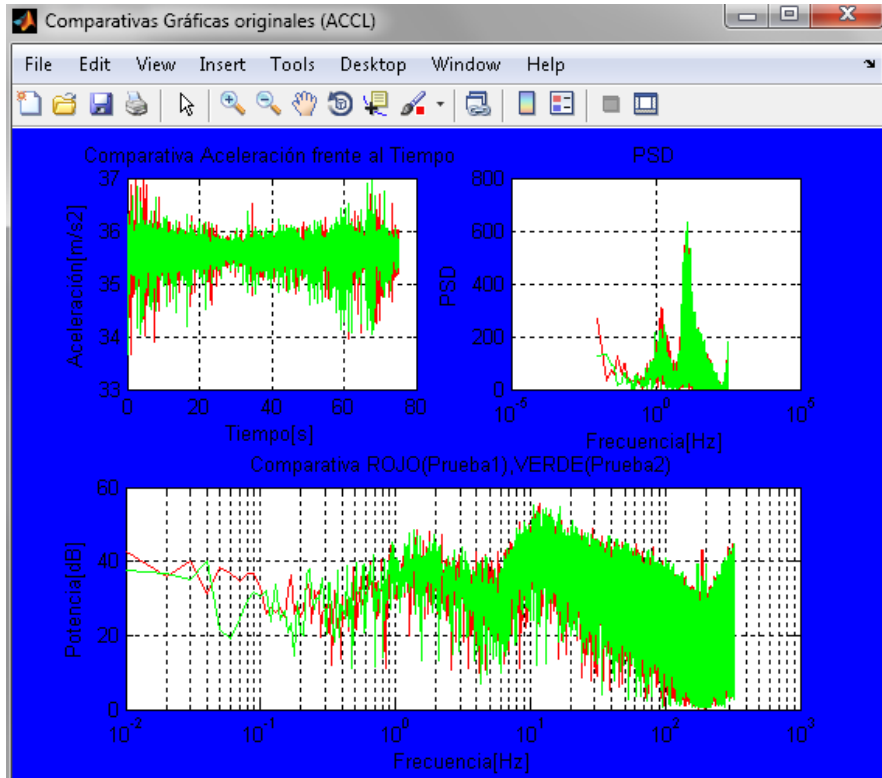


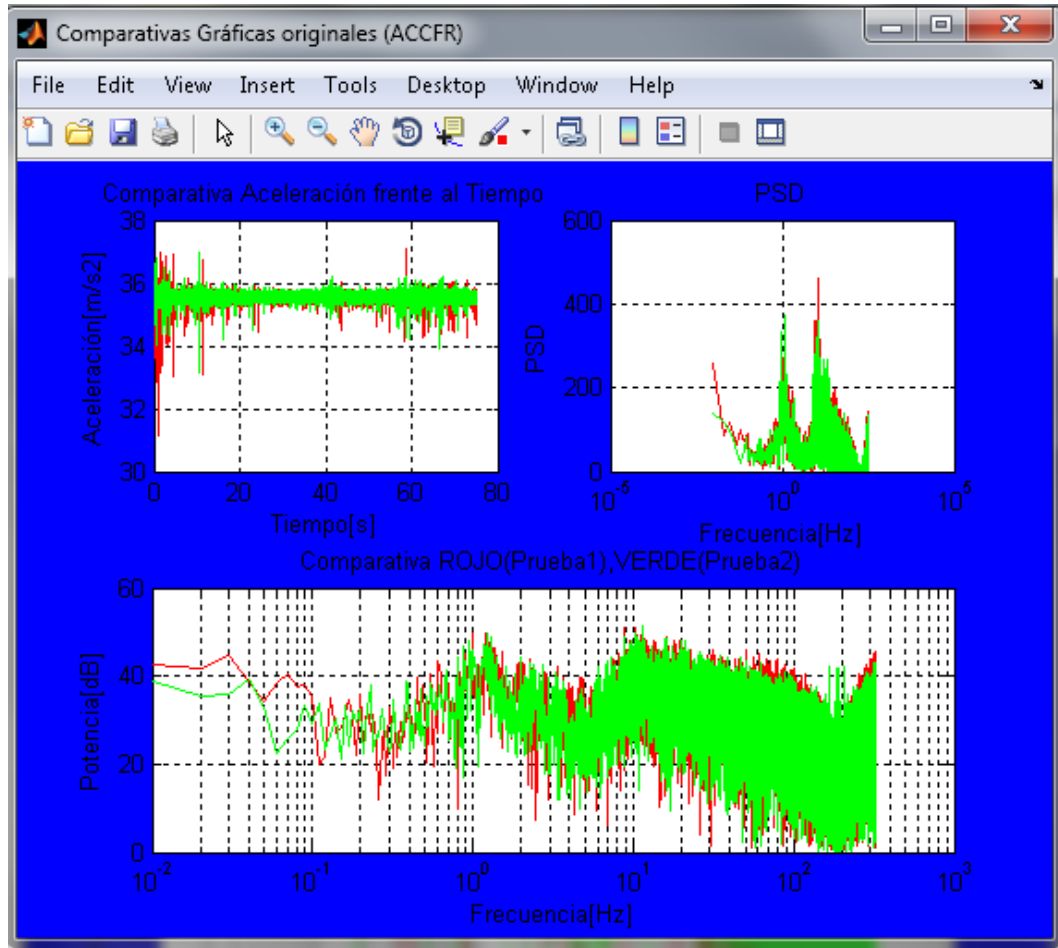
Figura 58. Salida gráfica Aceleración lateral Matlab

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Gráfica ACCFR. Aceleración frontal**Figura 59. Salida gráfica Aceleración frontal Matlab****KyB***Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

📊 Aceleración Pitch

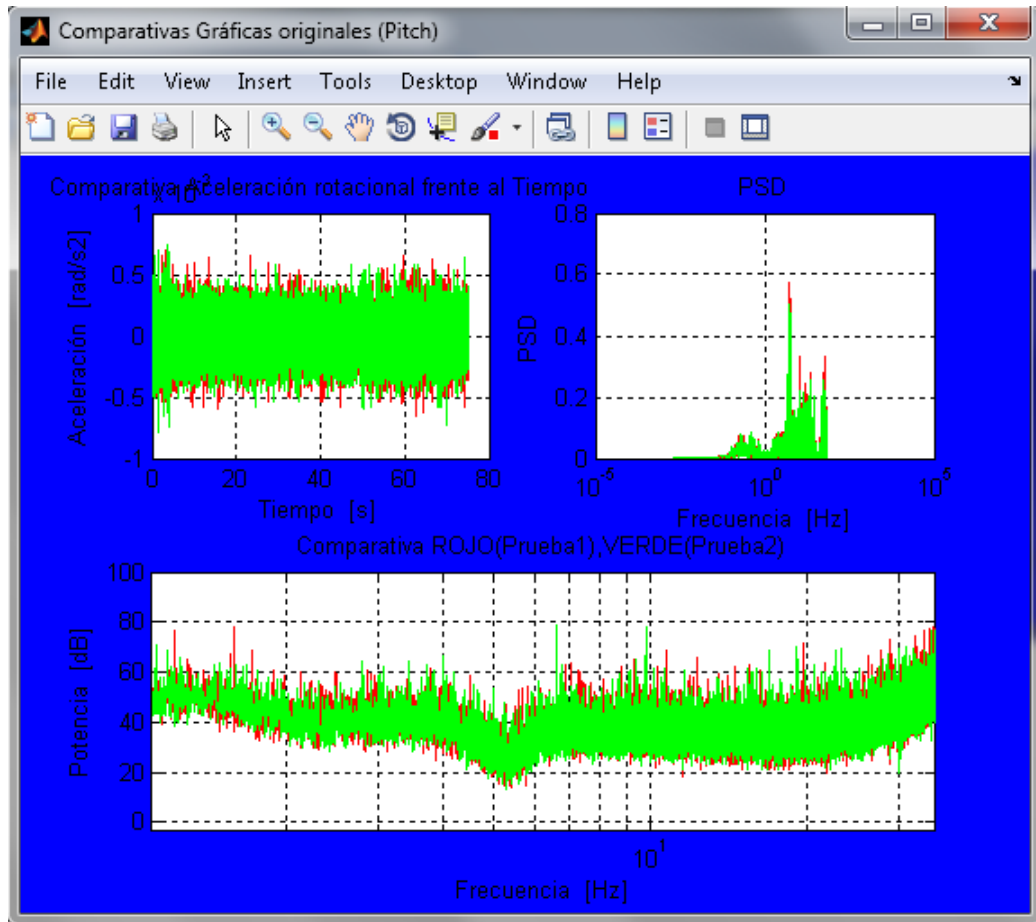


Figura 60. Salida gráfica Aceleración Pitch Matlab

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

✚ Aceleración Roll

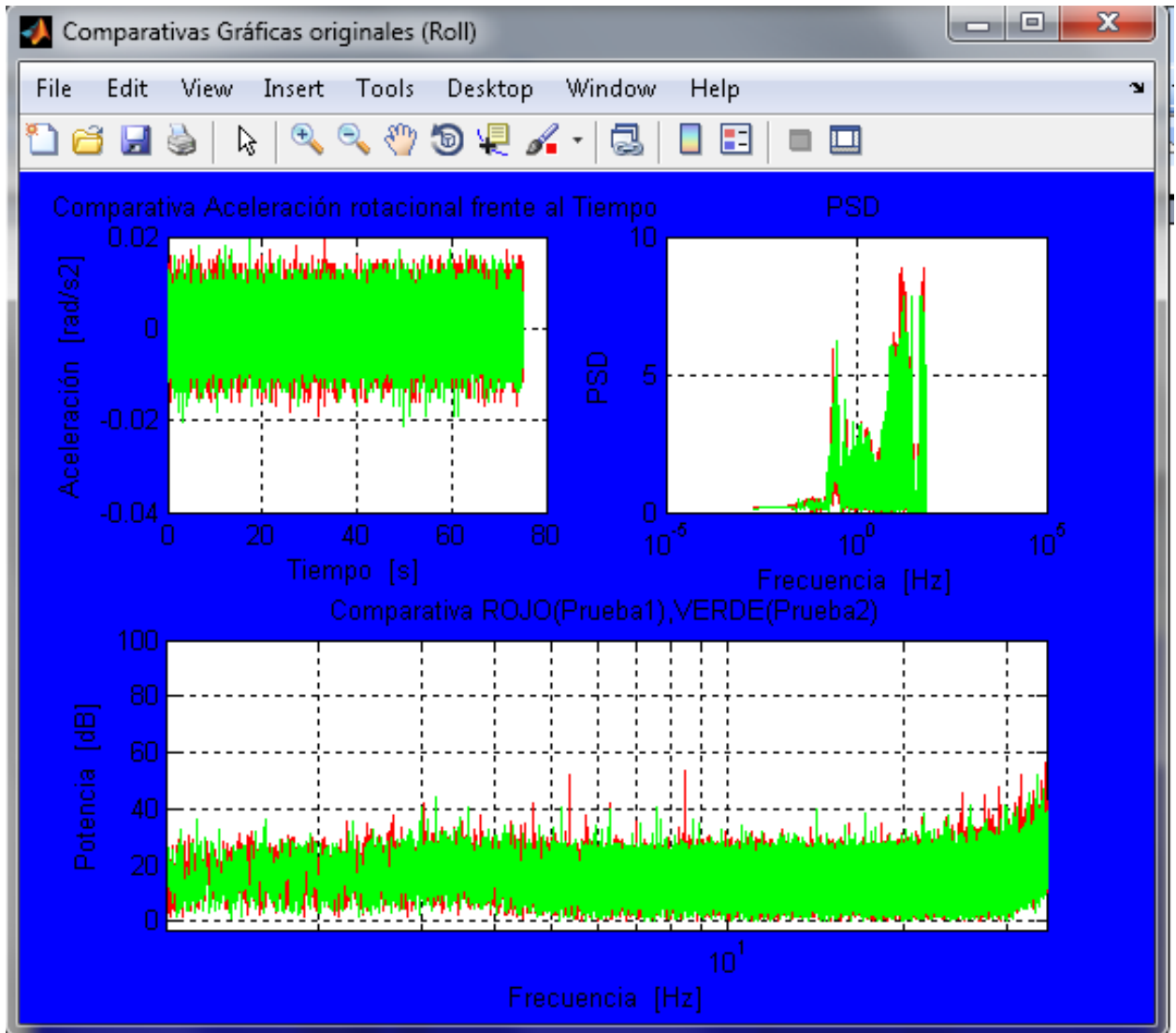


Figura 61. Salida gráfica Aceleración Roll Matlab

A simple vista, debido a la cantidad de datos aportados por los giróscopos que presentan una frecuencia de muestreo elevada, la primera visión de las gráficas puede resultar negativa.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Comparativas Ponderadas (PITCH ROLL)

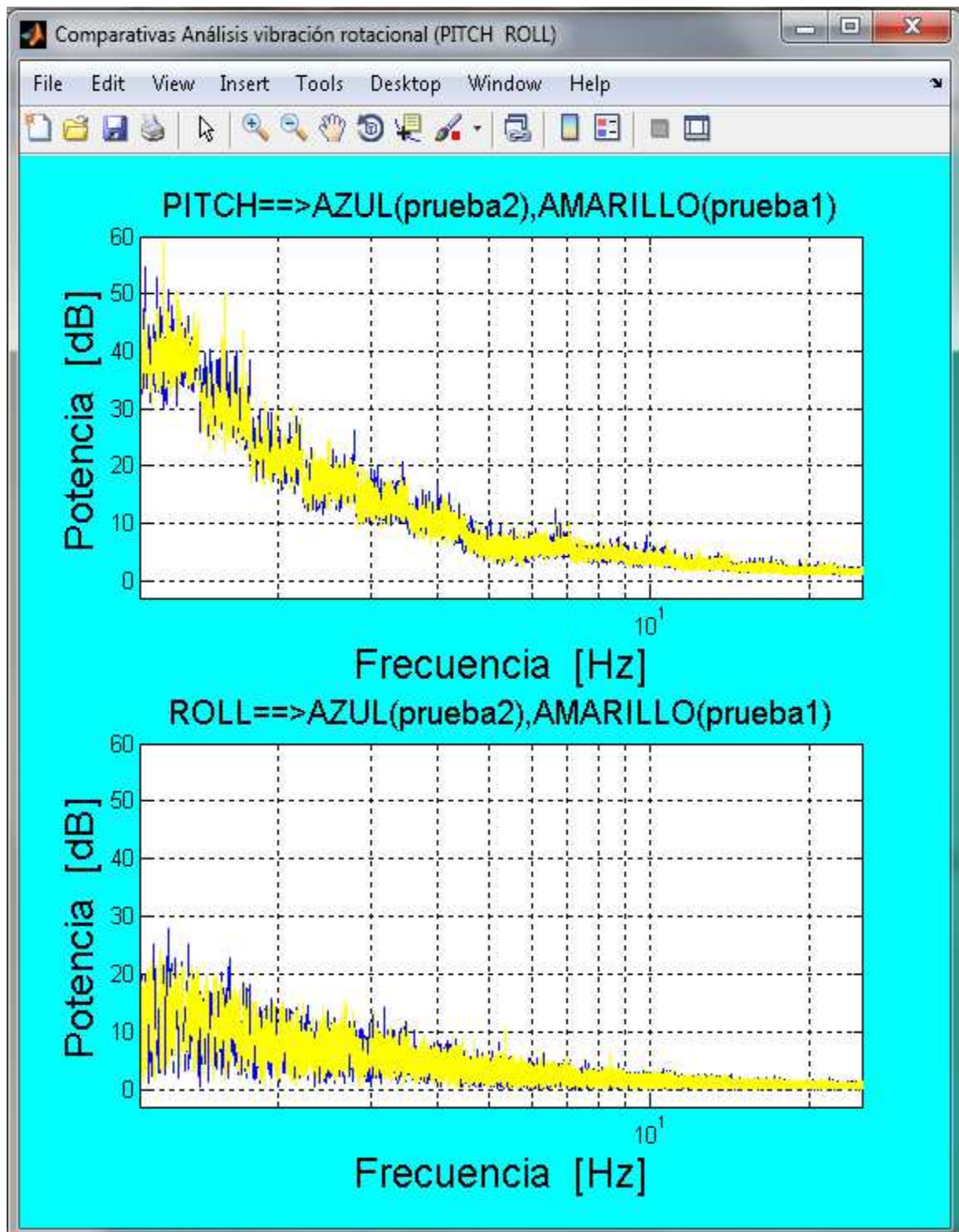


Figura 62. Salida gráfica Aceleraciones rotacionales ponderadas Matlab

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Comparativas Ponderadas (ACCV ACCL ACCFR)

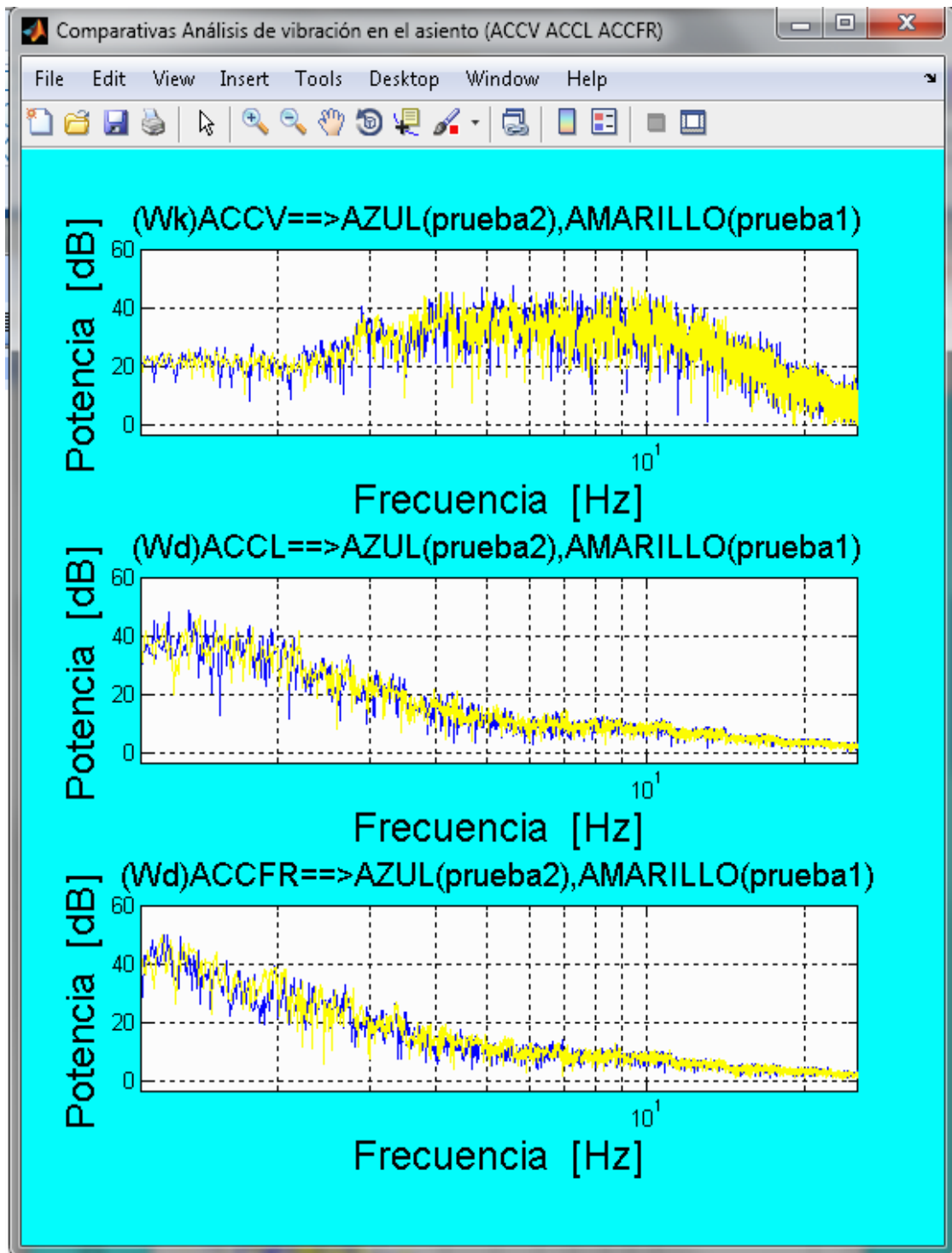


Figura 63. Salida gráfica Aceleraciones lineales ponderadas Matlab

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.12 Análisis resultados

Matlab nos ofrece un amplio abanico de posibilidades para poder tratar estas gráficas. A priori no podemos sacar conclusiones aparentes y puede que después del análisis tampoco podamos decantarnos por un reglaje en concreto. Para este análisis deberíamos fijarnos primero en los valores rms y ver entre cuales hay mayor diferencia:

AceleracionesPonderadas =

awkz: 0.3646

awdy: 0.3834

awdx: 0.3044

awk2z: 0.4046

awd2y: 0.3978

awd2x: 0.3987

away: 0.0053

awex: 0.0222

awez: 0

awe2y: 0.0031

awe2x: 0.0100

awe2z: 0

Seguidamente vemos donde se encuentran las bandas con mayor importancia en esta dirección:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

awdx_max==>

El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: **[1,43-1,78]Hz**,
valor:2.069306e-01 [m/s²]

awd2x_max==>

El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: **[1,11-1,43]Hz**,
valor:2.624252e-01 [m/s²]

Con estos datos acudimos a la gráfica de aceleración frontal.

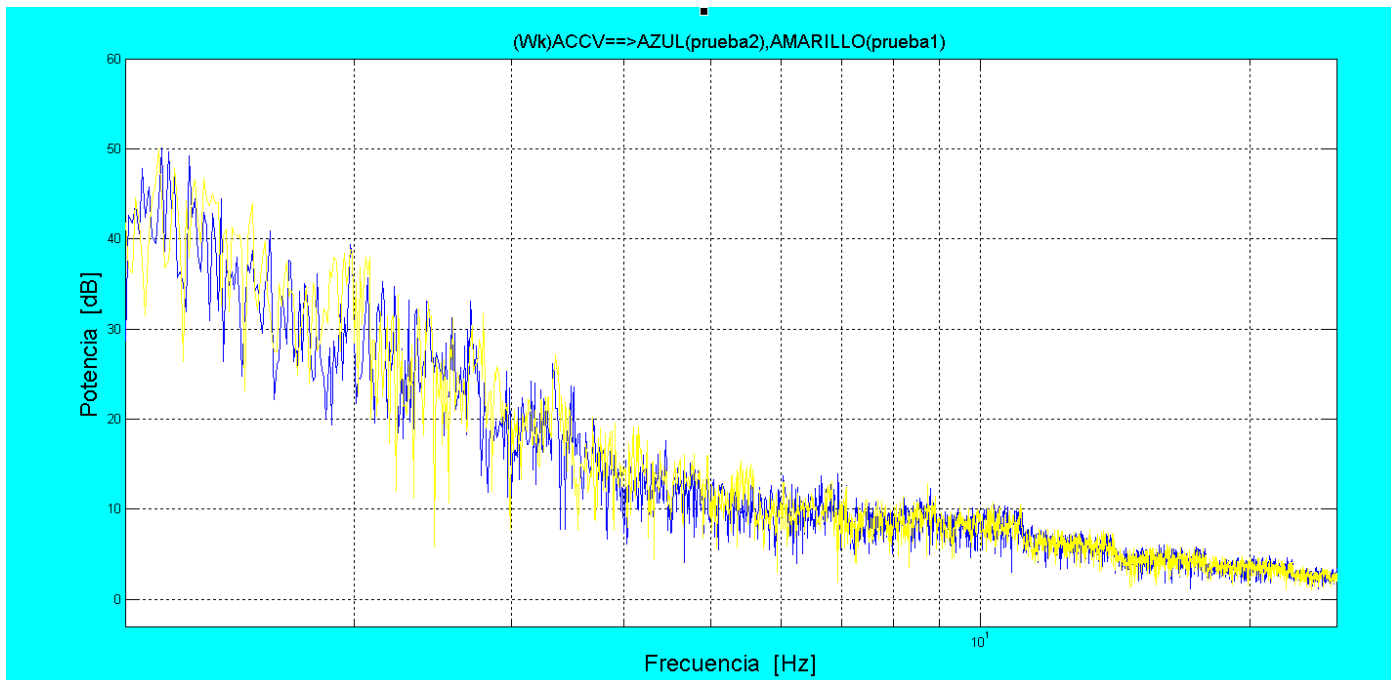


Figura 64. Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab

Y ahora ampliamos la zona que queremos analizar con mayor detenimiento:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Escala lineal:

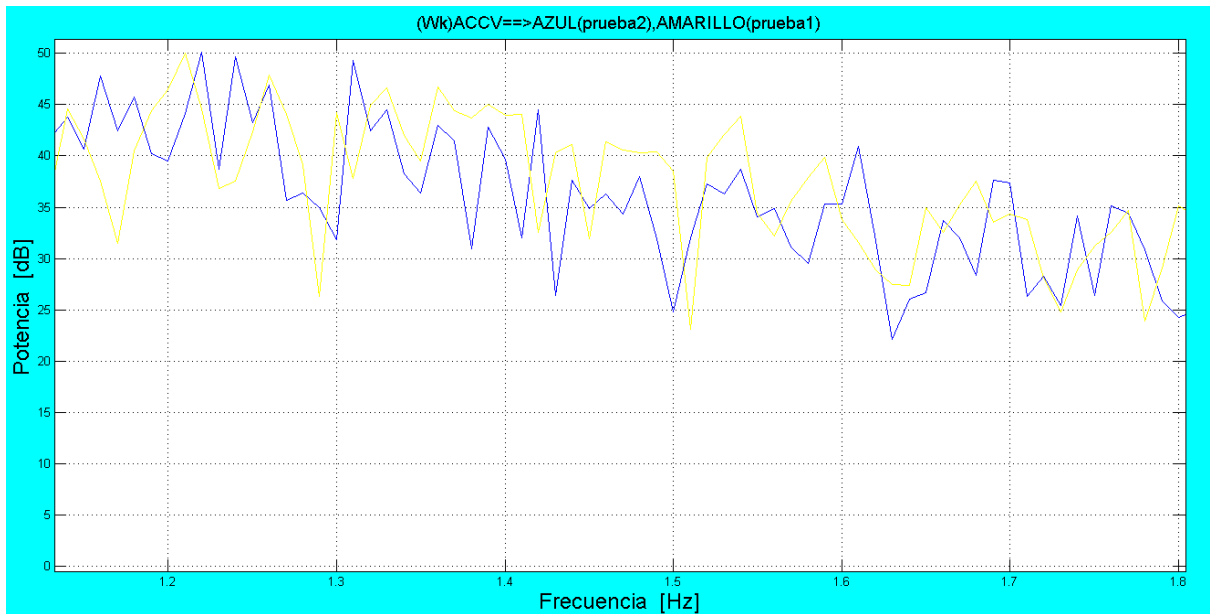


Figura 65. Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab 1-1.8 Hz

Escala logarítmica:

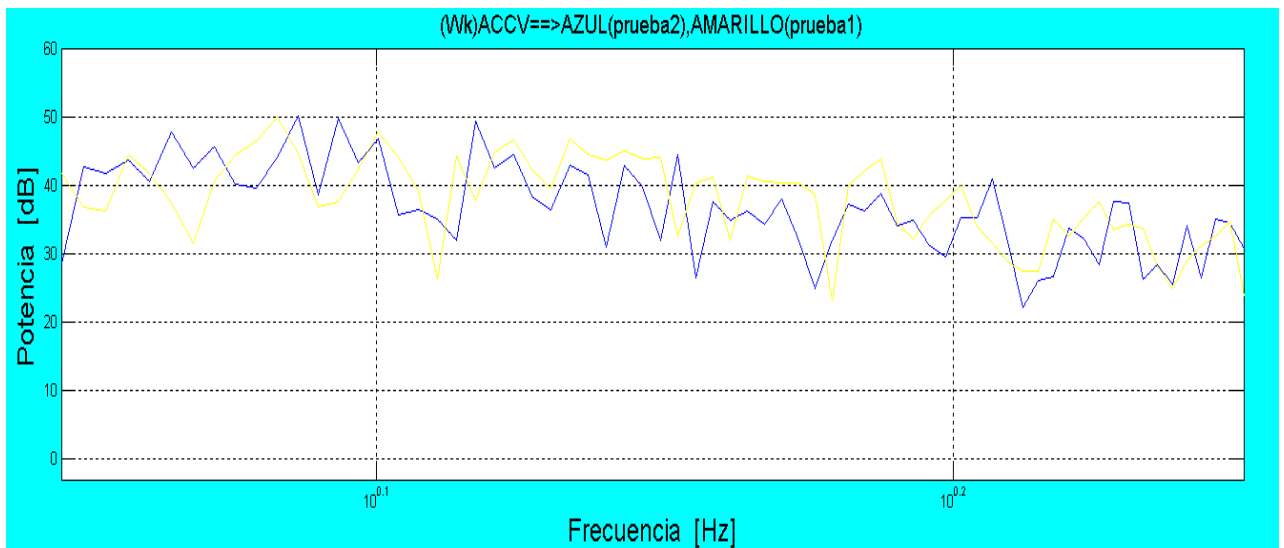


Figura 66. Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab escala logarítmica

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Podemos modificar todas las propiedades de la gráfica, tanto el color como las etiquetas, escala... podemos modificarlos a nuestro antojo según nos interese para discernir mejor. Viendo la gráfica es posible que las líneas no nos dejen valorar correctamente la diferencia, para ello, mediante la barra de herramientas de la ventana gráfica acudimos a view →property editor. Y tenemos la opción de cambiar líneas por alguna de las siguientes opciones:



Figura 67. Opciones de representación Matlab

Después de algunas pruebas, descartamos Stem y Area para quedarnos con Bar y Stairs

Estas dos últimas nos ofrecen una visión mas clara de la diferencia:

 Representación por barras:

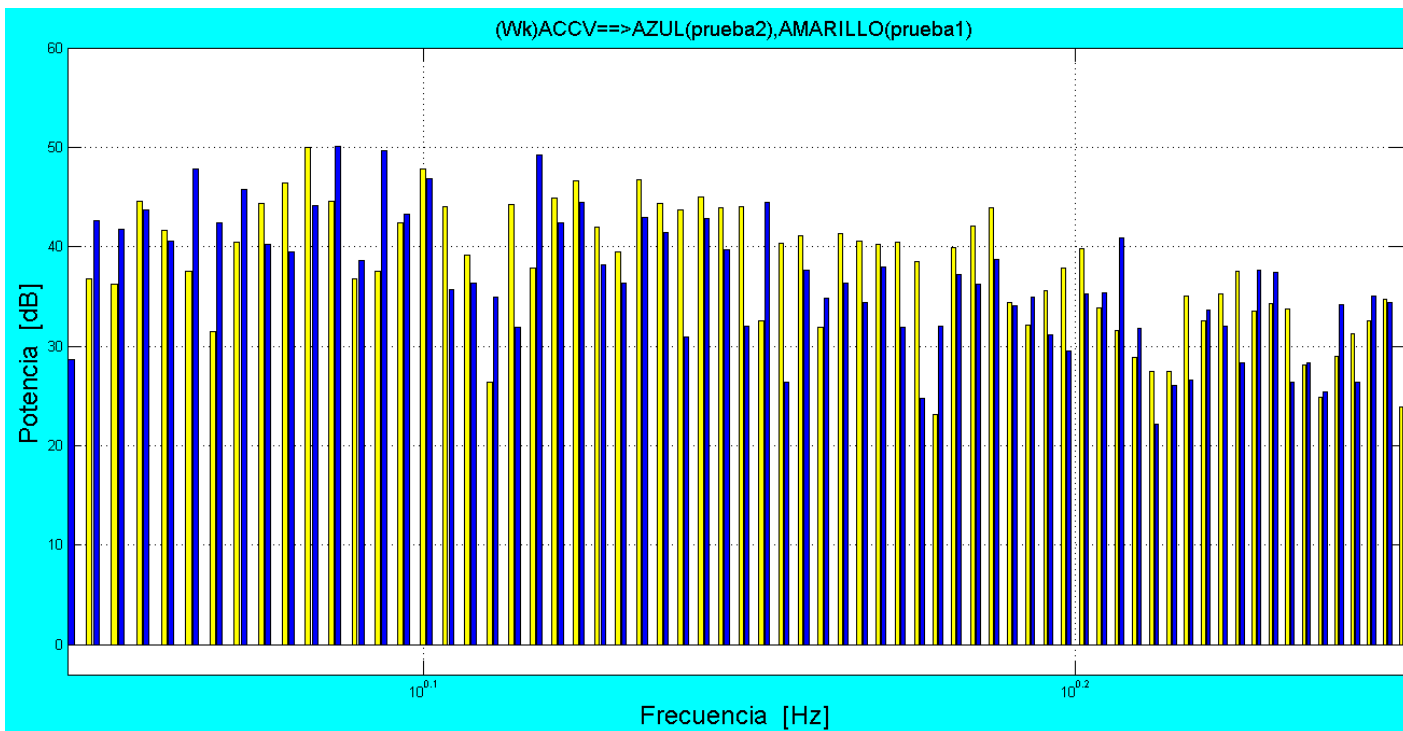


Figura 68 Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab por barras

Representación por escalones:

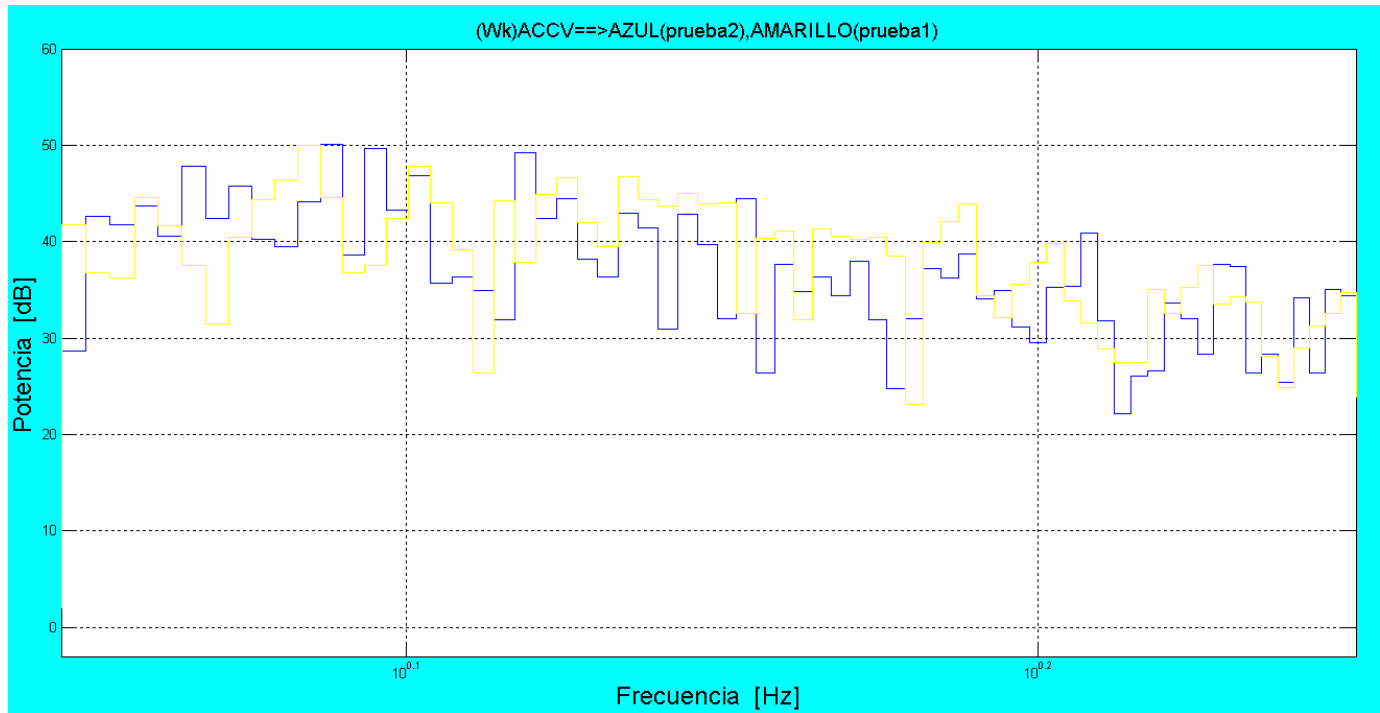


Figura 69. Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab por escalones

Incluso podemos hacer algo intermedio, por ejemplo, dejar en barras la prueba 1 (amarilla) y escalones para la segunda:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

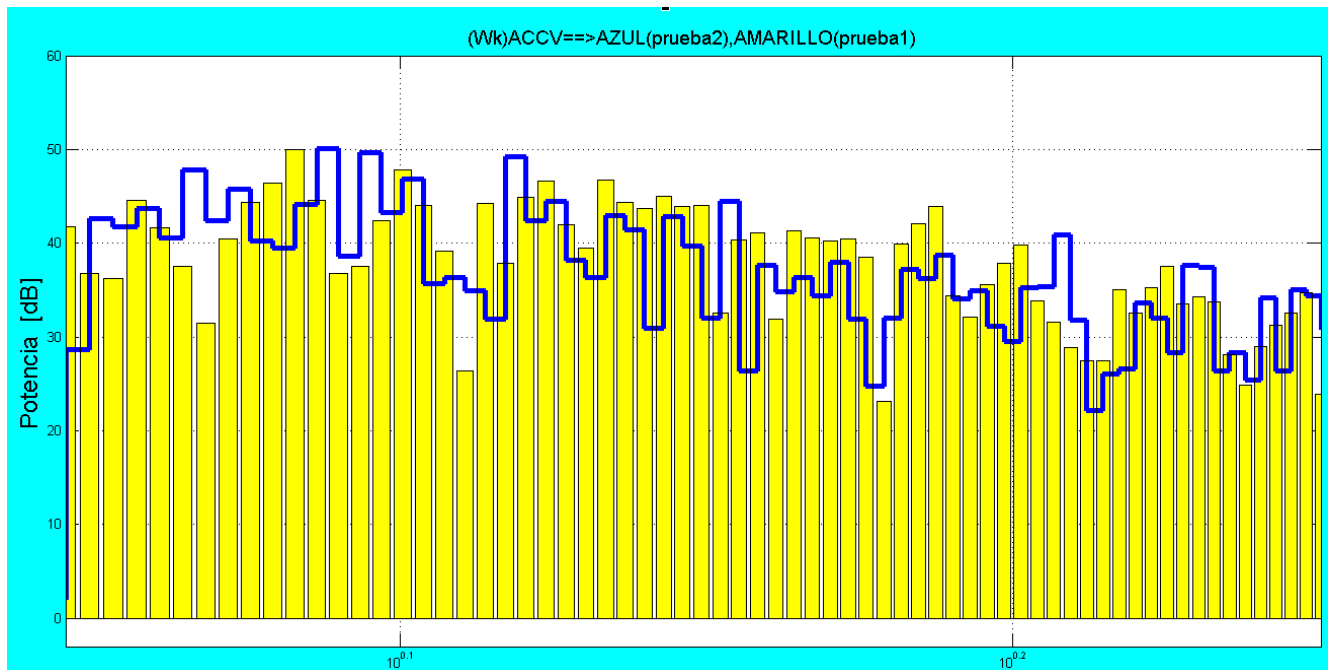


Figura 70. Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab por barras/escalones

Esta opción resulta bastante interesante, parece la más limpia que las dos anteriores y aunque con las barras perdemos precisión nos puede resultar más fácil sacar conclusiones acerca de los amortiguadores.

Sirviéndonos de las herramientas de Matlab podemos hacer anotaciones, marcar zonas o cambiar los puntos a mostrar de los ejes.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

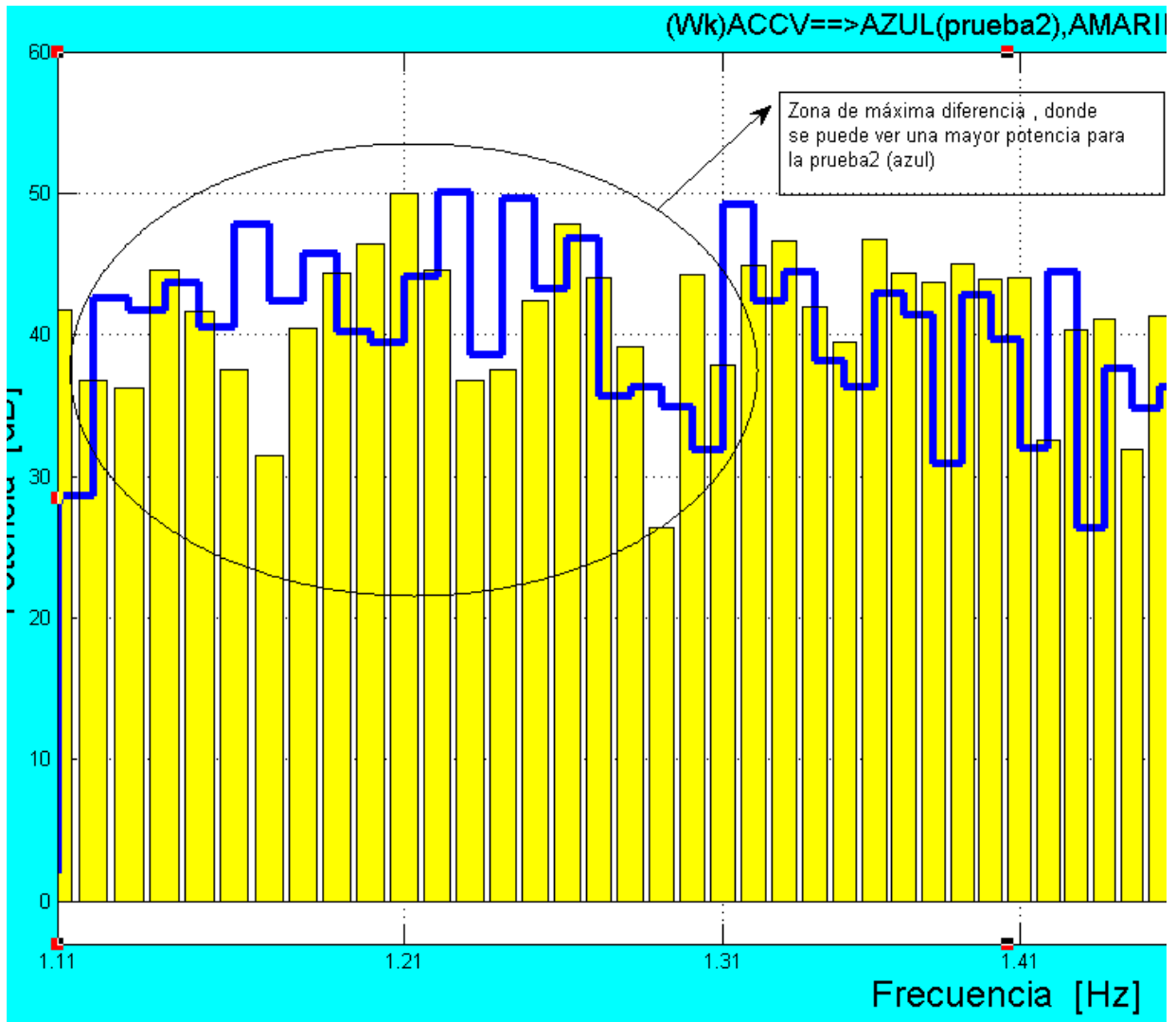


Figura 71. Salida gráfica Aceleracion vertical ponderada Matlab en detalle

Estas herramientas resultan realmente interesantes a la hora de elaborar informes y nos sirven de guía para hacer modificaciones en los componentes del amortiguador.

La mayor potencia de vibración se encuentra a bajas frecuencias, este será nuestro rango principal de estudio, es el lugar donde deberemos intentar

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

atenuar las vibraciones ya que es el lugar que más negativamente está interfiriendo en nuestro confort.

Con el tiempo, y con la ayuda de esta herramienta, se podrá ver que componentes perjudican al confort y cuales no afectan, pudiendo así definir un criterio con el cual estimar el confort que proporciona un tipo determinado de amortiguador.

Para exportar estas interpretaciones tenemos diferentes opciones, lo más recomendable es guardar un archivo en formato “.fig” para hacer modificaciones si son necesarias y otro “.jpg” para poder abrir la imagen con otro tipo de programas a la hora de realizar un informe.

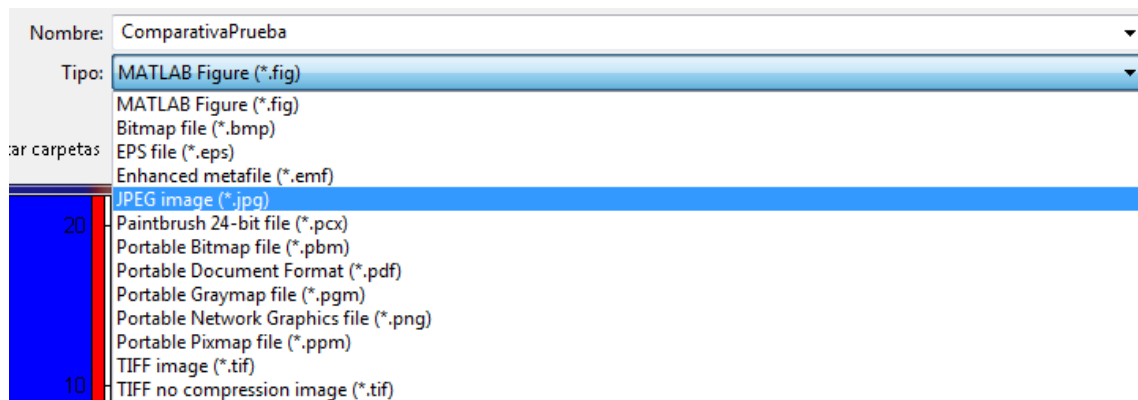


Figura 72. Opciones de formato para guardado de imágenes Matlab

Habiendo hecho esto, surge la necesidad de tener una plataforma para emitir los informes con nuestras conclusiones o hipótesis, con este motivo se ha hecho una hoja de Excel, un programa de uso muy habitual que puede ser visualizado sin necesidad de tener licencia de Matlab.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M														
1																											
2	INFORME ANÁLISIS VIBRACIONES				Reglaje1=																						
3					Reglaje2=																						
4																											
5	ASIENTO	Awd (Z)	Awd (Y)	Awd (X)	Awe (Pitch)	Awe (Roll)	Awe (Yaw)		Referencia:																		
6	Reglaje 1								<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aceleración Ponderada m/s²</th> <th>Reacción al Confort</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 0.315</td> <td>Aceptable</td> </tr> <tr> <td>0.315 – 0.63</td> <td>Ligera molestia</td> </tr> <tr> <td>0.5 – 1.00</td> <td>Poco incómodo</td> </tr> <tr> <td>0.8 – 1.6</td> <td>Incómodo</td> </tr> <tr> <td>1.25 -2.5</td> <td>Muy incómodo</td> </tr> <tr> <td>> 2.00</td> <td>Extremadamente incómodo</td> </tr> </tbody> </table>	Aceleración Ponderada m/s ²	Reacción al Confort	< 0.315	Aceptable	0.315 – 0.63	Ligera molestia	0.5 – 1.00	Poco incómodo	0.8 – 1.6	Incómodo	1.25 -2.5	Muy incómodo	> 2.00	Extremadamente incómodo				
Aceleración Ponderada m/s ²	Reacción al Confort																										
< 0.315	Aceptable																										
0.315 – 0.63	Ligera molestia																										
0.5 – 1.00	Poco incómodo																										
0.8 – 1.6	Incómodo																										
1.25 -2.5	Muy incómodo																										
> 2.00	Extremadamente incómodo																										
7	Reglaje2																										
8																											
9	AV :																										
10	AV2																										
11																											
12																											
13	RESPALDO	Awd (Z)	Awd (Y)	Awd (X)																							
14	Reglaje 1																										
15	Reglaje2																										
16																											
17	AV :																										
18	AV2																										
19																											
20	Observaciones																										
21																											
22																											
23																											
24																											
25																											
26																											
27																											

Figura 73. Plantilla informes para pruebas Excel

Esta sencilla hoja de cálculo va almacenar los datos y aspectos más relevantes de las pruebas que se realicen para los distintos amortiguadores con el fin de tener informes y constancia de los resultados de cada sistema de amortiguación.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.13 Implantación Toolbox

Necesidad

Pese al uso de estas herramientas se ha visto que el espectro tiene demasiados puntos y no se puede ver diferencias a simple vista y se ha adquirido el paquete de análisis de señales de Matlab “Signal Processing Toolbox” para tener disponibilidad de otros métodos para el cálculo del espectro. Se ha decidido implantar el “pwelch” para calcular el poder espectral de densidad, este comando nos da la posibilidad de trabajar con ventanas y nos reduce a la mitad la frecuencia de muestreo.

Ventanas:

$N^{\circ}\text{puntos totales} = f_{\text{muestreo}} [\text{Hz}] * \text{tiempo}(\text{s})$

$N^{\circ}\text{puntos totales (pwelch)} = (\text{puntos totales}/2)$

$\text{Puntos por ventana} = (\text{puntos totales}/2) / N^{\circ}\text{ventanas} \rightarrow$

$N^{\circ}\text{ventanas} = (\text{puntos totales}/2) / \text{Puntos por ventana}$

Queremos hallar un compromiso entre verosimilitud de la representación y resolución de la gráfica PSD, por lo tanto, al elegir los puntos por ventana variamos la cantidad de ventanas que habrá. A mayor número de puntos por ventana tendremos más puntos representados en el espectro, pero al tener menos ventanas nos perderemos máximos y mínimos de la señal temporal y nuestro análisis no resultara válido. Al contrario, cuando reduzcamos los puntos de la ventana tendremos un espectro más claro y la señal temporal estará mejor muestreada, sin embargo, si reducimos mucho el numero de puntos el

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

espectro se deteriora mucho y tampoco resulta representativo, es por ello que hay que llegar a un compromiso en los número de puntos a representar.

Elección de ventana:

Hanning

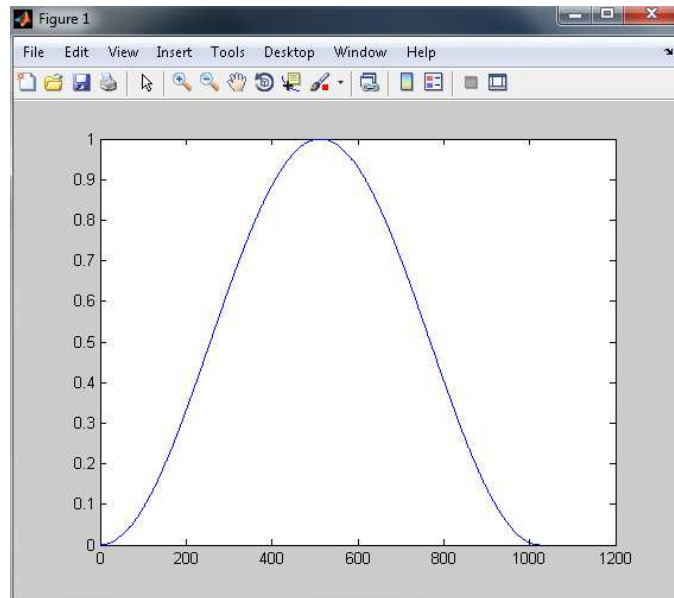


Figura 74. Forma de ventana Hanning

Prueba a 1024 puntos de ventana:

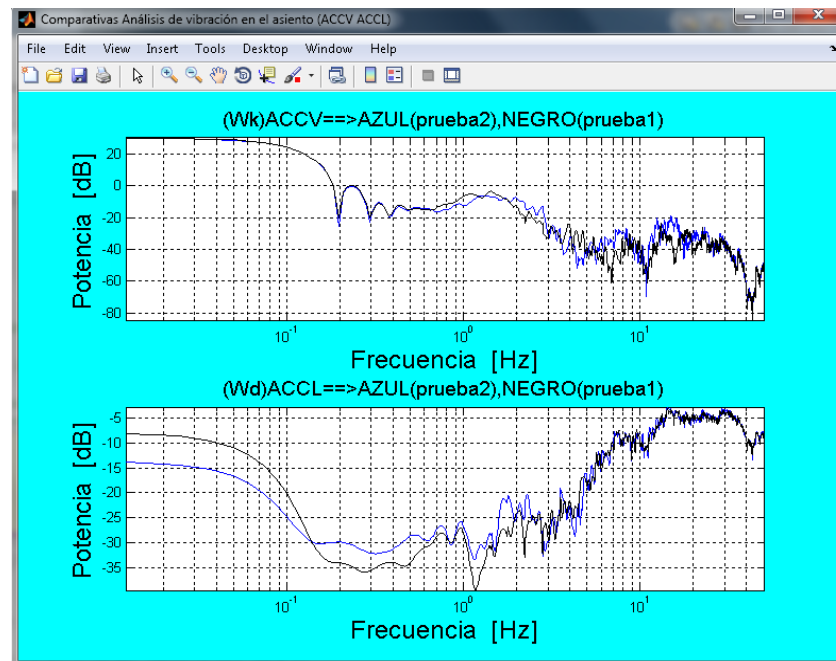


Figura 75. Espectro de señal con 1024 puntos por ventana

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Prueba a 2048 puntos por ventana:

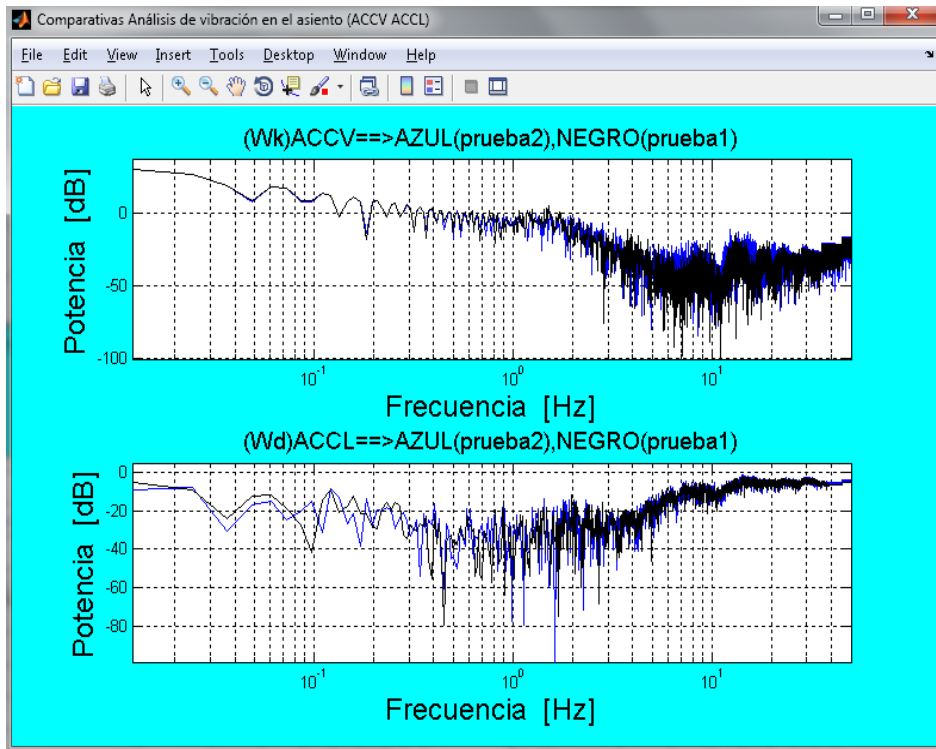


Figura 76. Espectro de señal con 12048 puntos por ventana

Para poder apreciar la diferencia y tener una visión clara de cómo afecta la selección de puntos de la ventana se han superpuesto 3 espectros de la misma prueba con diferentes puntos

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Azul → 2048 puntos **Rojo** → 1024 puntos **Verde** → 512 puntos

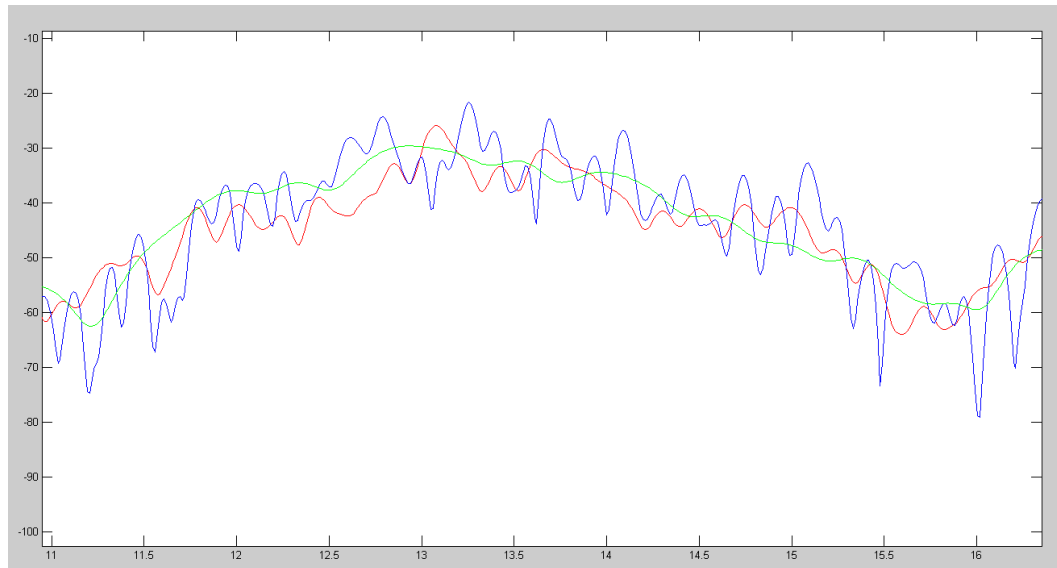


Figura 77. Superposición de una misma prueba para varios puntos de ventana

Como se puede apreciar, a medida que disminuimos el número de puntos nos estamos perdiendo picos del espectro pero logramos mayor claridad para la comparación, debido a esto deberemos llegar a un compromiso entre claridad y verosimilitud. A raíz del cambio de comando para analizar el espectro se han hecho ciertas modificaciones en algunos programas como el espectro, veamos un ejemplo:

```
%CALCULAMOS EL ESPECTRO DE LA PRIMERA PRUEBA:
L = length(m1); % Length of signal
NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of x
[espc,f] = pwelch(m1(:,2),wz,0,NFFT,Fs,'onesided');

%CALCULAMOS EL ESPECTRO DE LA SEGUNDA PRUEBA:
L = length(m2); % Length of signal
NFFT88=2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of x
[espc2,f2] = pwelch(m2(:,2),wz,0,NFFT88,Fs,'onesided');
espc2db=mag2db(espc2);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
espcdb=mag2db( espc ) ;
```

Con el paquete de procesado de señales podemos convertir a decibelios con el comando “mag2db”. Ahora no es necesario definir el vector frecuencia ya que es un output del comando de la misma longitud que el espectro. Este vector frecuencia corresponde a la mitad del usado para muestrear, es decir, estaríamos submuestreando al 50% ya que es la mitad de la frecuencia de muestreo, esto puede perjudicarnos debido a que normalmente los acelerómetros muestrean a 100 Hz y se nos quedaría un vector f (0-50Hz) perdiendo así un intervalo de estudio del confort de (50-80 Hz), no obstante, los intervalos que suscitan interés para el análisis de vibraciones están por debajo.

Ha sido necesario reprogramar varias partes ya que han quedado obsoletas algunas variables y hacer otros cambios ya que la salida del espectro con “pwelch” son números reales (no tienen parte compleja como con fft).

Ahora las gráficas son mucho más claras pudiendo llegar así a conclusiones más rápidamente.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

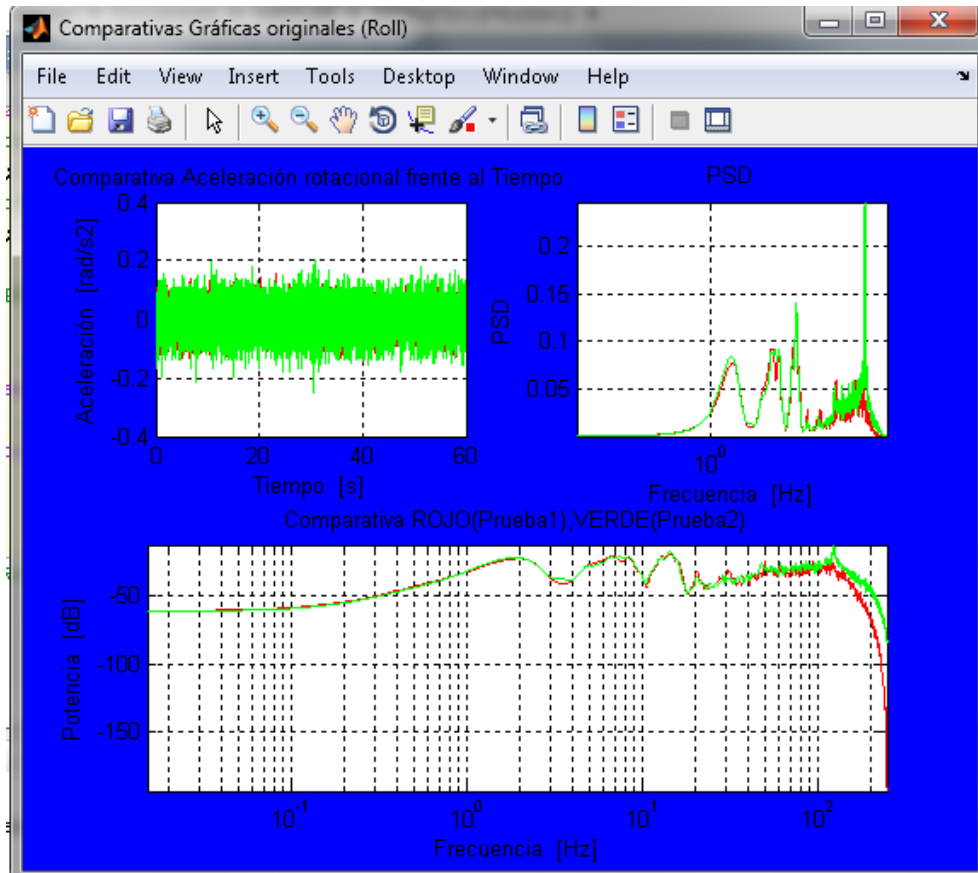


Figura 78. Espectro con el Nuevo comando “pwelch”

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Por último es necesario describir el programa de lectura de “CSVread”

CSVread:

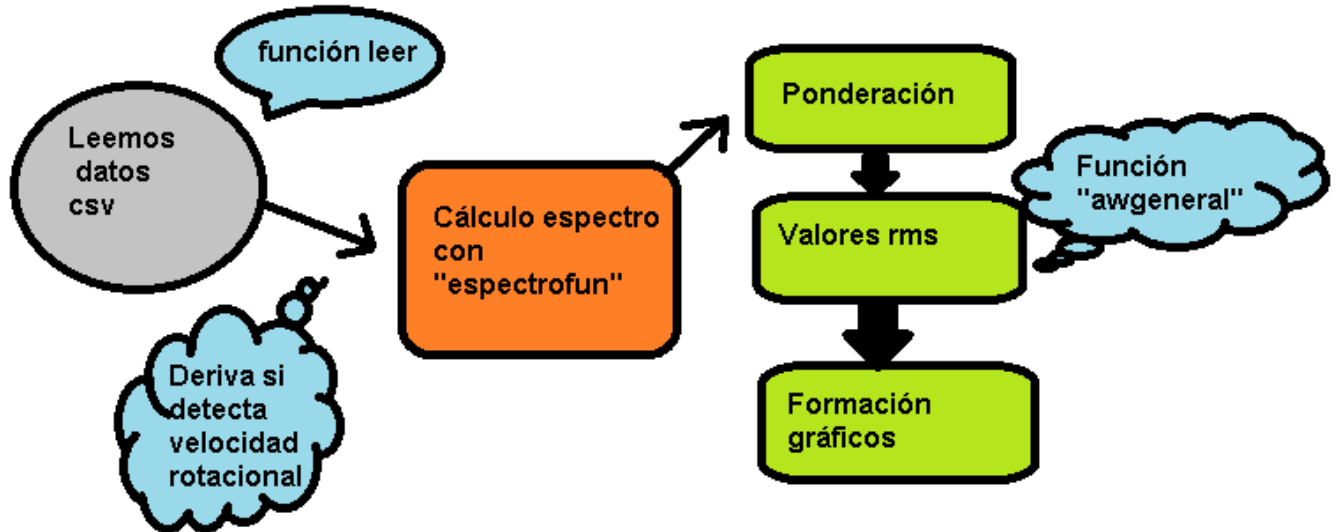


Figura 79. Esquema CSVread

Descripción “CSVread”:

Este programa ha sido el último en desarrollarse, contiene una programación más eficiente y avanzada mediante funciones (“leer”, “espectrofun”, “awgeneral”) que nos permiten ahorrarnos muchas líneas de programación.

Hay un inconveniente con el comando “xlsread” y es que cuando no detecta el input su output es el siguiente error:

```

Error using xlsread (line 128)
XLSREAD unable to open file '.csv'.
File 'C:\Users\ayesap\Documents\MATLAB\DEFINITIVO(PRUEBAS)\.csv' not found.

Error in MAIN (line 65)
[~,id]=xlsread('.csv');
    
```

Figura 80. Error de lectura prueba CSV

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Esto impide seguir la misma filosofía que con los “.txt” que su salida es - 1 cuando no introducimos un archivo, por consiguiente, con los archivos “csv” se va a poder introducir solo dos pruebas y en este caso va ser necesario seleccionar la ponderación a aplicar debido a que el programa no sabe que tipo de datos son. Los resultados van a ser los mismos salvo que ahora no podemos analizar más de una dirección al mismo tiempo. Este programa calcula el espectro y las aceleraciones por bandas por medio de funciones (espectrofun, awgeneral) esto conlleva una reducción del número de programas involucrados considerable. Para la conversión de unidades se solicita el tipo de aceleración (lineal o rotacional) de los datos. Para los cálculos del espectro se usa la función “espectrofun”, para las aceleraciones eficaces la función “awgeneral” y para leer los archivos la función “leer” para lo que antes se necesitaban varios programas ahora se soluciona con dos funciones. Veamos en que consisten dichas funciones:

Leer:

Descripción “leer”:



Figura 81. Esquema función Leer

La función tiene como finalidad almacenar los datos “.csv” en la matriz “m”, debido a que el comando “xlsread” no reconoce los valores numéricos ha

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

siendo necesario procesar los caracteres , ir recorriendo la matriz “A “ partiendo de filas que no disponen de encabezado quitando las ‘ ‘ ‘ para poder almacenarlo finalmente en la matriz “m”.

Espectrofun:

Descripción “Espectrofun”:

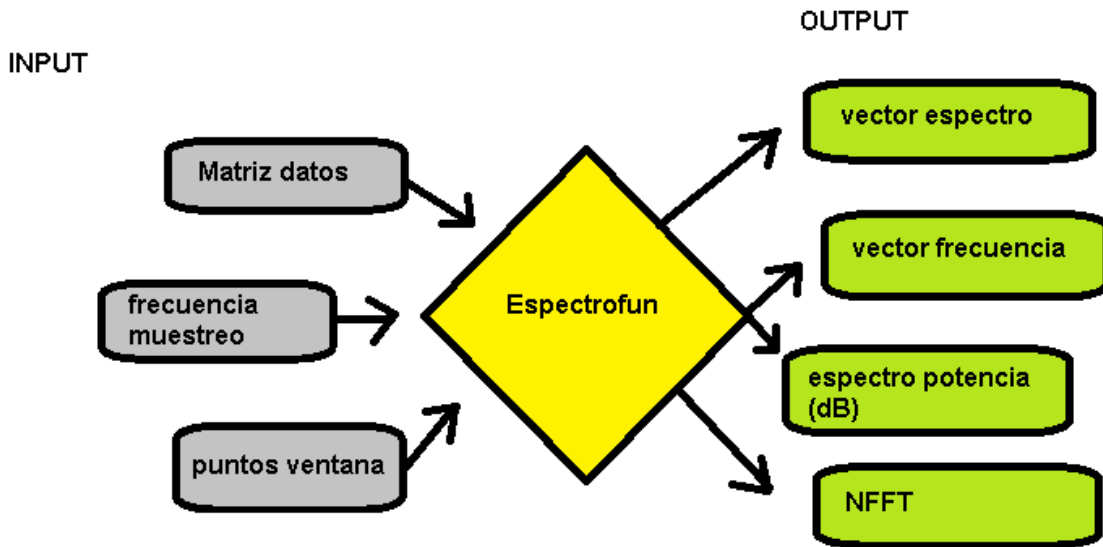


Figura 82. Esquema function espectrofun.

Este programa calcula el espectro como lo hacen el resto de programas previamente descritos pero de forma genérica, se podría considerar como una caja negra para calcular el PSD de una señal discreta. Es necesario introducir tres variables : datos (columna de valores de señal) , Fs (frecuencia de muestreo de la prueba) , av (puntos ventana PSD) y obtendremos como salida en espectro , el vector de frecuencia , el espectro en dB y NFFT (la primera potencia de 2 a partir de la longitud de la señal). En lo que previamente ha sido necesario definir 5 programas lo podríamos hacer todo mediante esta función, cambiando únicamente las variables salida y entrada.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

“awgeneral”:

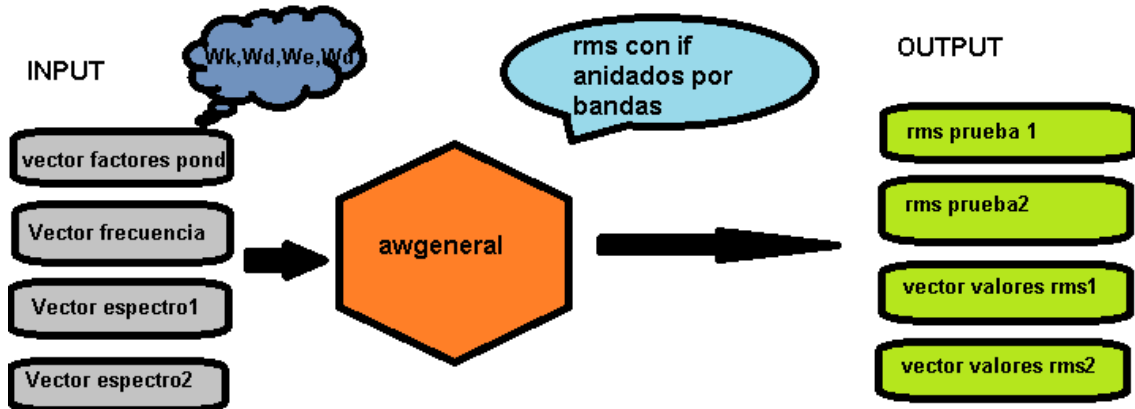


Figura 83. Esquema función awgeneral.

Descripción “awgeneral”:

`Function [rms ,rms2 ,ab1 ,ab2]=awgeneral(w ,f ,espc ,espc2)`

Salidas:

Valor rms primera prueba (rms).

Valor rms segunda prueba (rms2).

Vector aceleración eficaz por bandas primera prueba (ab1).

Vector aceleración eficaz por bandas segunda prueba (ab2).

Entradas:

Vector de factores de multiplicación por bandas (w).

Vector frecuencia (f).

Espectro primera prueba (espc).

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Espectro segunda prueba (espc2).

El principal cambio con el resto de programas de ponderación es que se define previamente el vector “w” así no se condiciona a que el programa sea útil para una única ponderación, los vectores “w” se definen en función de la ponderación que se elija en el programa que apela a esta función.

3.14 Método adicional de análisis gráfico

Necesidad

Hemos estado comparando durante todo el trabajo dos pruebas de amortiguador en el mismo eje, pero ¿qué sucede si queremos analizar como se comporta el vehículo con un conjunto de amortiguadores? , el programa (“tripleACC”) no nos ofrecía dicha posibilidad, con el nuevo programa podemos exportar los datos de una prueba del acelerómetro triaxial y superponerlos en la misma gráfica, veamos que puertas abre esta metodología de análisis:

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

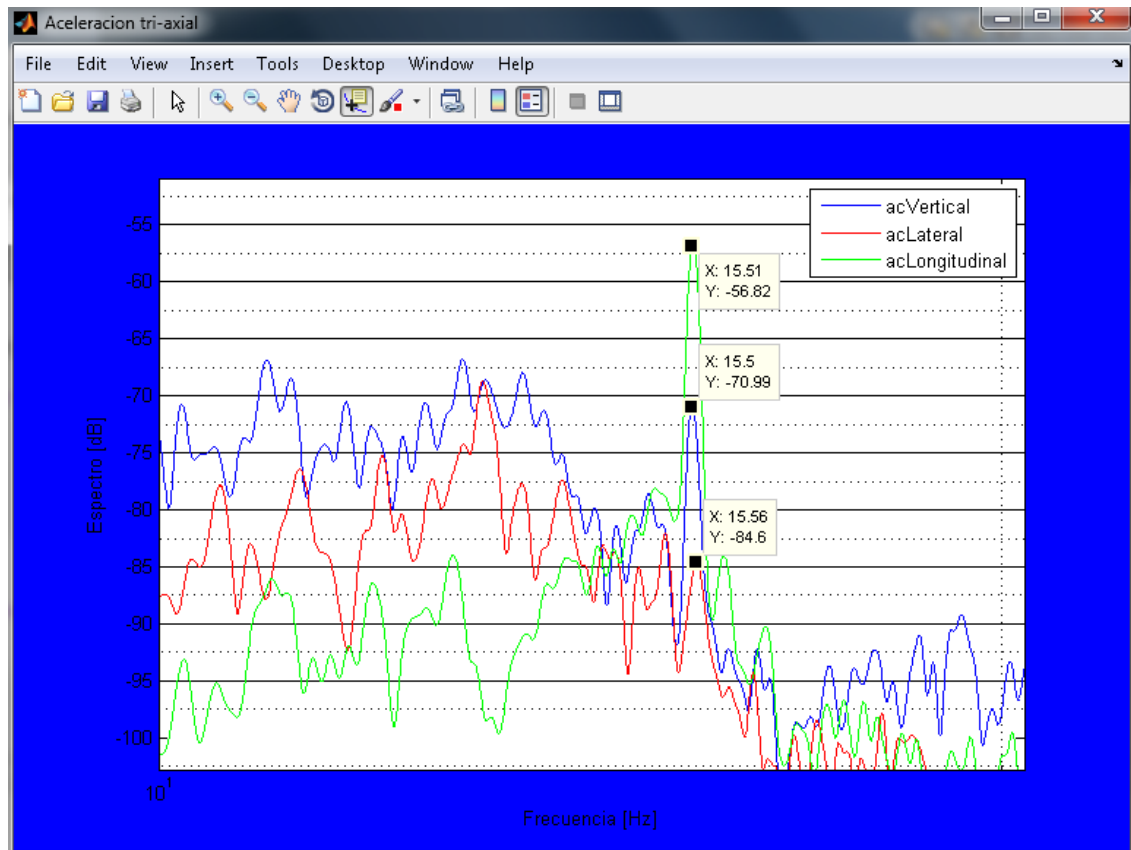


Figura 84. Superposición triaxial de una misma prueba Matlab.

Para no dar lugar a equívocos se ha añadido una leyenda aclaratoria. Antes teníamos representadas las pruebas en los tres ejes pero por separado, ahora, teniéndolos en una misma gráfica podemos encontrar picos de resonancia que de otra forma pasarían desapercibidos u otros defectos en el comportamiento del vehículo, además de esta forma podemos ver claramente que aceleración es la más elevada. Este tipo de representación aumenta el alcance del análisis de este programa y aumenta las posibilidades de detección de fallos en la suspensión y ayuda a su definición. El programa no presenta grandes diferencias en cuanto a programación y su descripción no resulta muy interesante.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.15 Esquema programas principales

Para tener una visión más amplia de los programas y ver como están relacionados entre si, se ha hecho un organigrama principal a grandes rasgos y otros sucesivos con otros programas para no sobrecargar el principal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.15.1 Esquema "main"

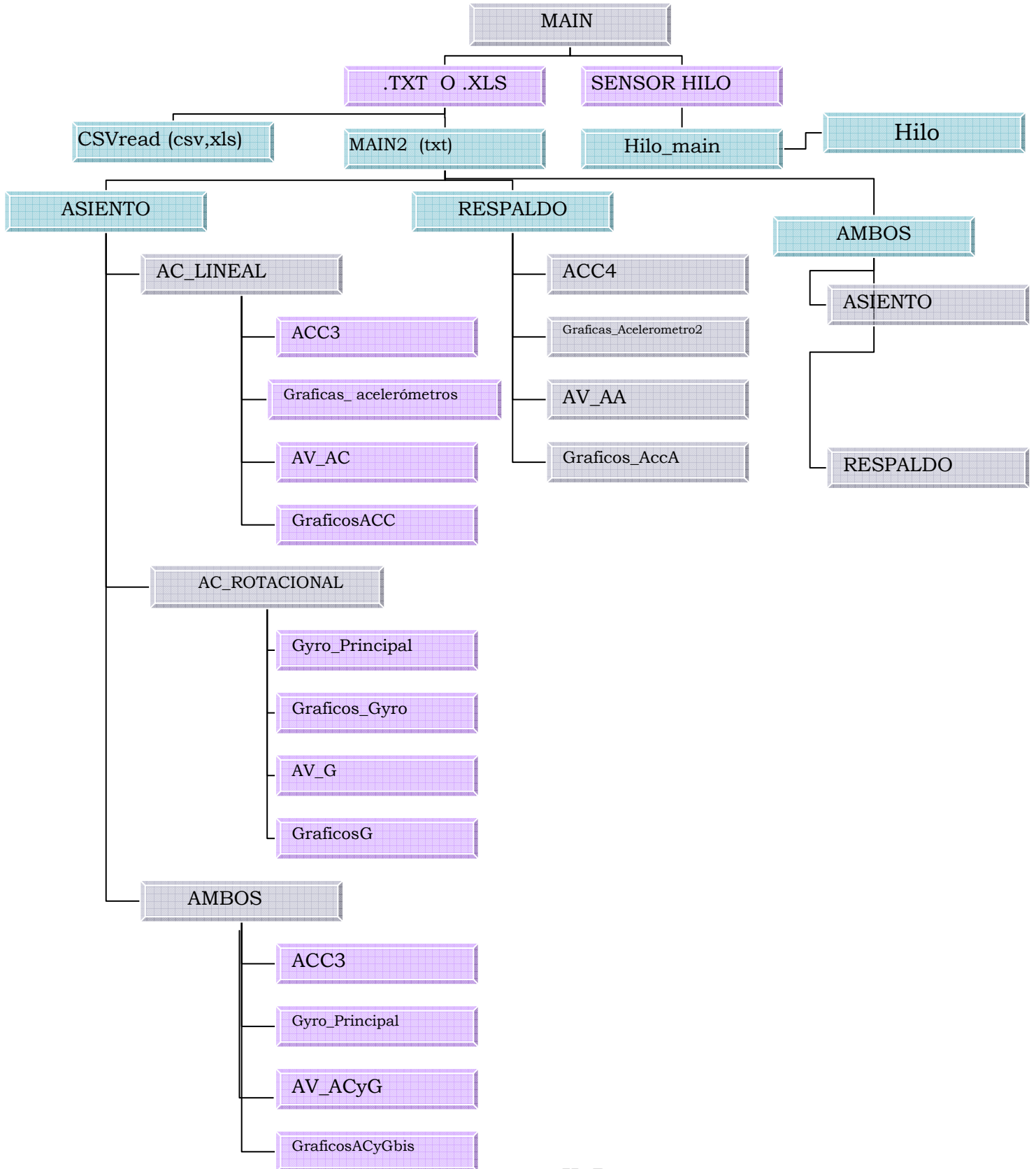


Figura 85. Esquema main

V-D

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.15.2 Esquema “ACC4”:

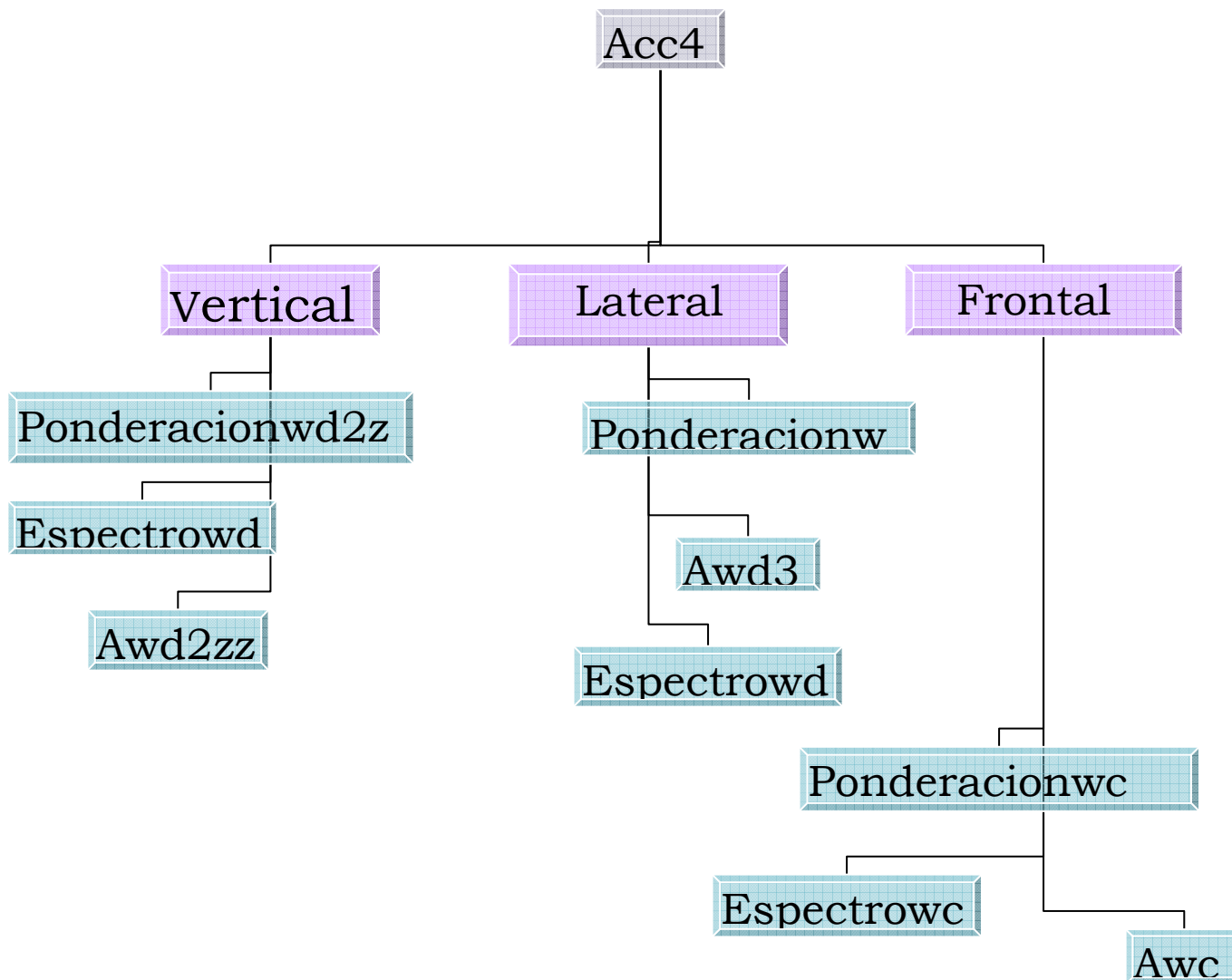


Figura 86. Esquema ACC4

KyB

UPNA

3.15.3 Esquema “Acc3”:

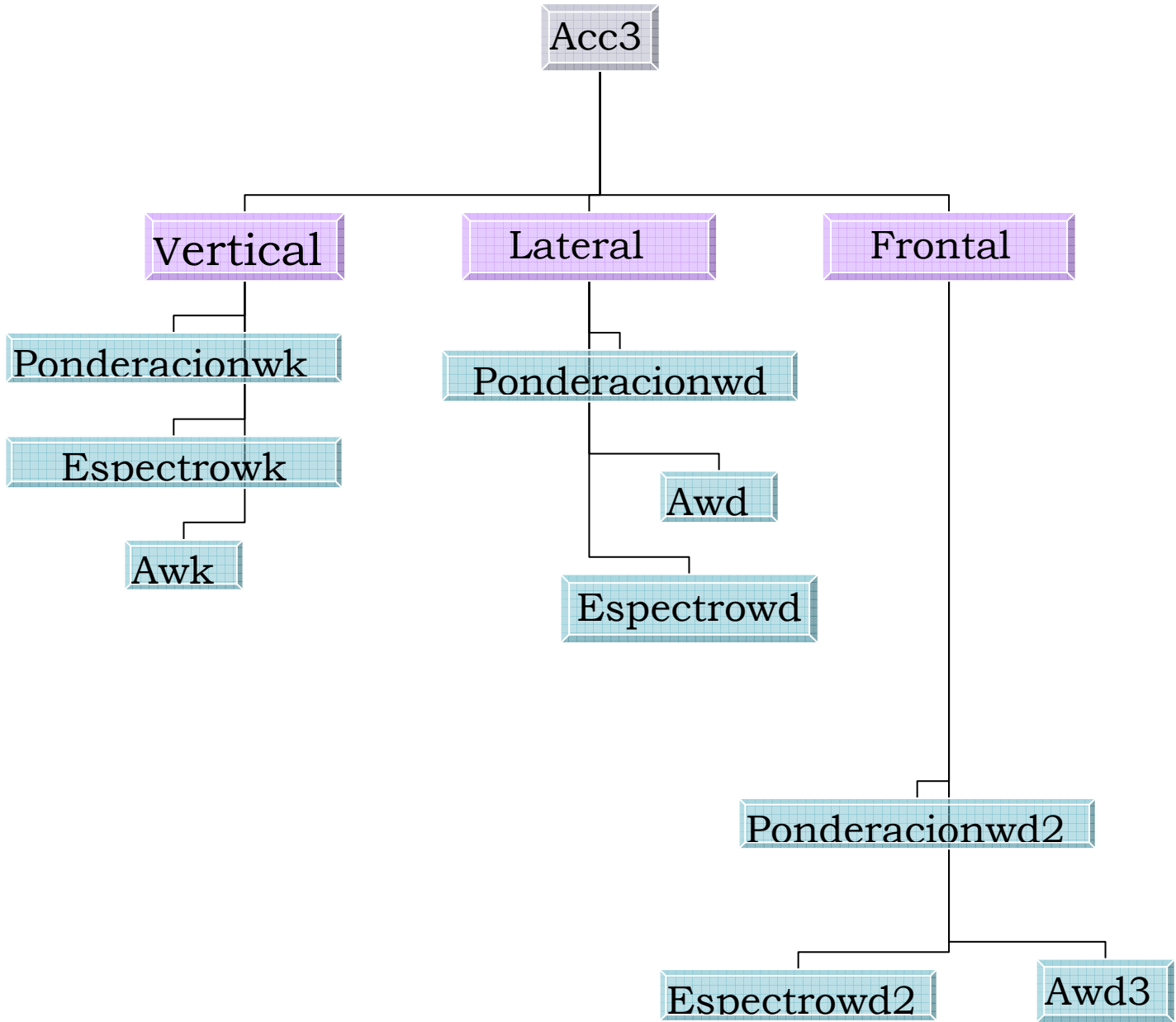


Figura 87. Esquema ACC3

KyB

UPNA

3.15.4 Esquema “Gyro_Principal”

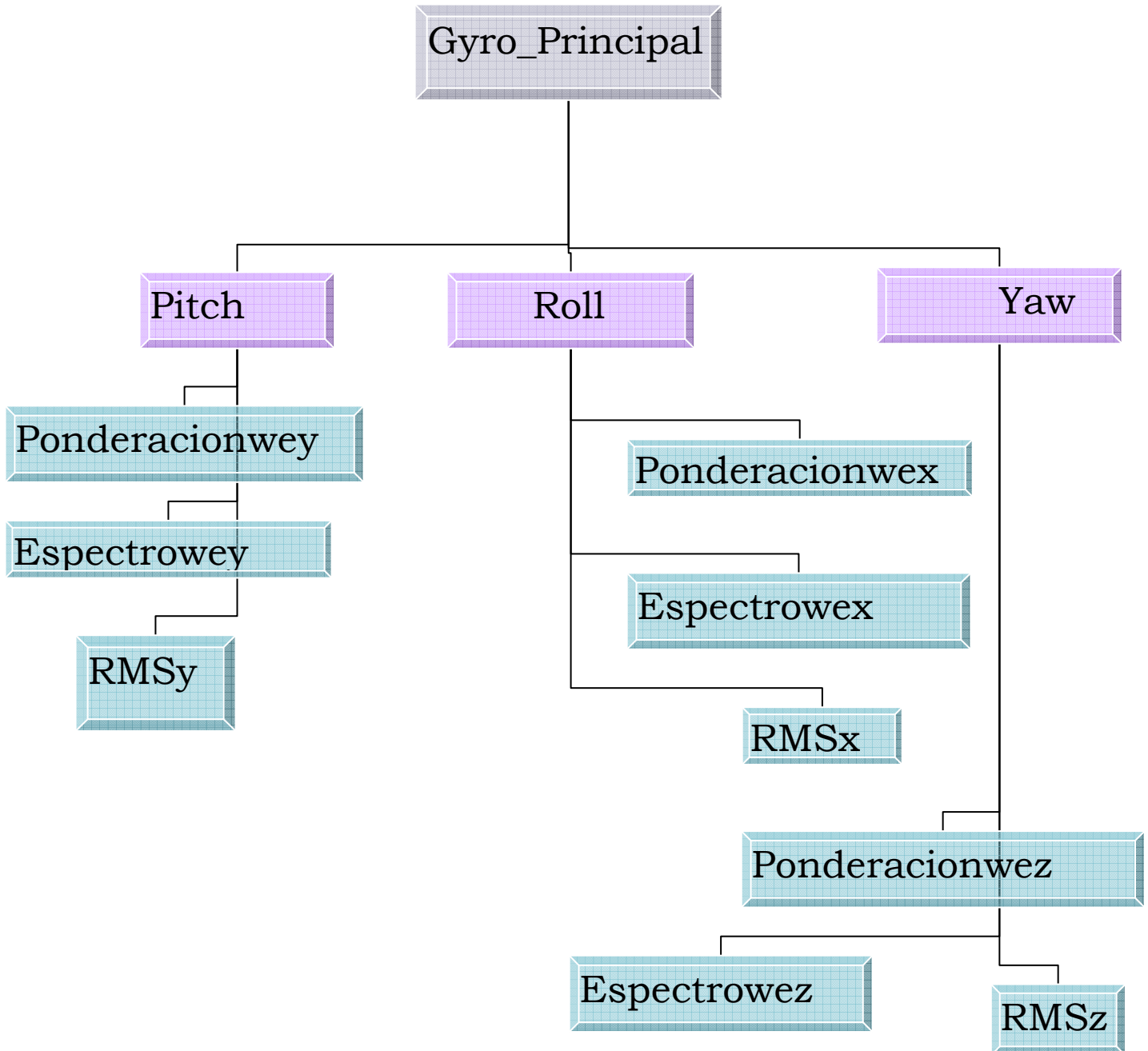


Figura 88. Esquema Gyro_Principal

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

3.16 Resolución problemas integral

Partiendo de una señal de aceleración de vástago adquirida por un acelerómetro se quiere obtener la velocidad integrando dicha señal. Se ha observado que el acelerómetro en reposo está midiendo la gravedad, para calcular la aceleración con respecto a una referencia inercial es necesario restar este valor a la señal obtenida, sin embargo, esta resta no es perfecta, y durante toda la prueba va a quedar parte de ese valor debido a la aceleración de la gravedad. Como consecuencia tenemos un problema al integrar la función, ya que este valor continuo va hacer que el área bajo la curva crezca paulatinamente obteniendo así datos de velocidad altísimos y completamente ilógicos además, cuando se integra por debajo de 1 Hz estamos integrando mucha cantidad de ruido indeseado.

Para deshacernos de este valor de manera efectiva y poder integrar con mayor precisión se ha diseñado un filtro “butterworth” pasa altas.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

FiltroINT:

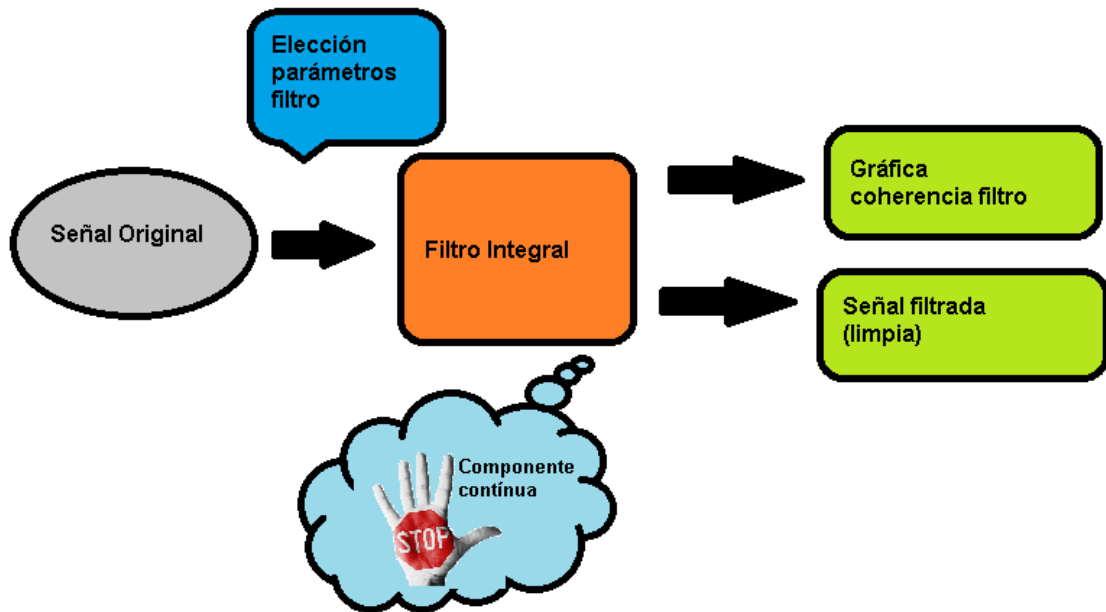


Figura 89. Esquema función filtroINT.

Descripción “filtroINT”:

Después de introducir los datos en una matriz definimos el filtro butter

Paso alto, luego se programan las graficas superpuestas en el dominio temporal para ver como actúa el filtro y posteriormente se integra con el comando “cumtrapz” que nos ofrece la posibilidad de calcular integrales por la regla del trapecio por intervalos, obteniendo las sucesivas áreas bajo la curva para posibilitar la representación. Posteriormente se observa como actúa el filtro y se aplica a la señal para poder integrarla y encontrar picos de velocidad.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Salida Gráfica:

En primer lugar se tiene las gráficas de aceleración respecto al tiempo (gráfica1), aceleración filtrada superpuesta a la original (gráfica2), y por último el filtro butter.

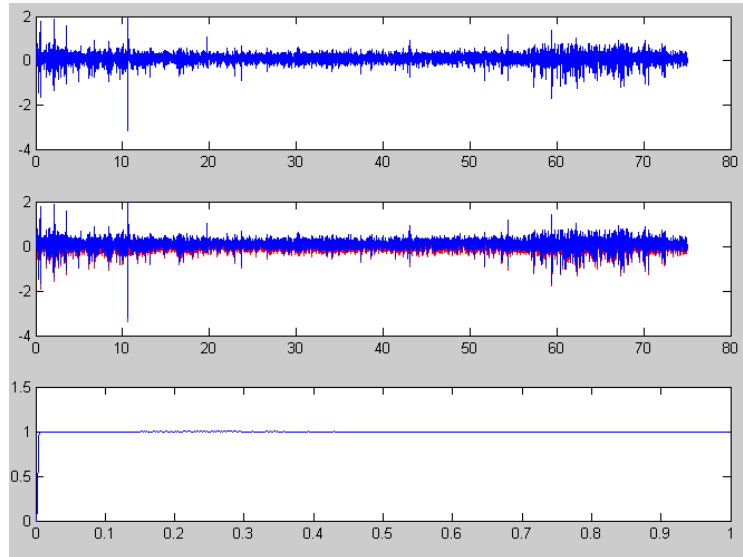


Figura 90. Gráfica funcionamiento del filtro.

En la siguiente imagen podemos ver en más detalle como actúa el filtro en la señal y como es la respuesta en amplitud del filtro:

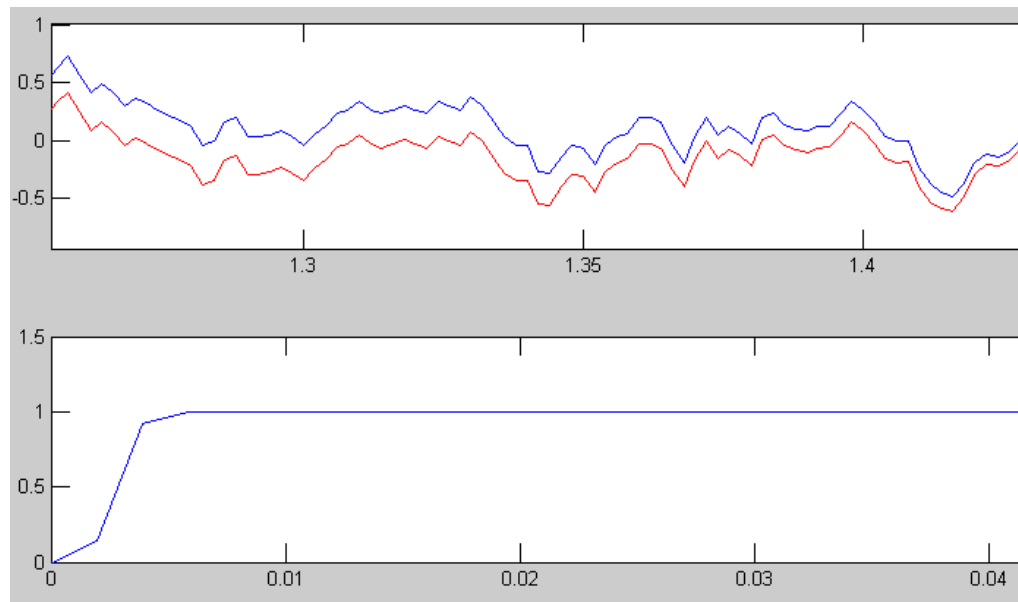


Figura 91. Gráfica funcionamiento del filtro en detalle.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

El filtro está diseñado en el dominio digital en frecuencias normalizadas, se introduce el valor de cortabanda 0,5 Hz → el filtro cortará todo hasta $0,5/500 = 0,001$ hasta el valor de pasabanda 2 Hz → $2/500 = 0,004$ el intervalo entre ambos es un rango de transición, donde el filtro no atenúa por completo esas frecuencias.

En la siguiente imagen se puede observar como la componente continua afecta a la integral y va ascendiendo, en cambio, la señal filtrada (roja) se mantiene en unos valores lógicos:

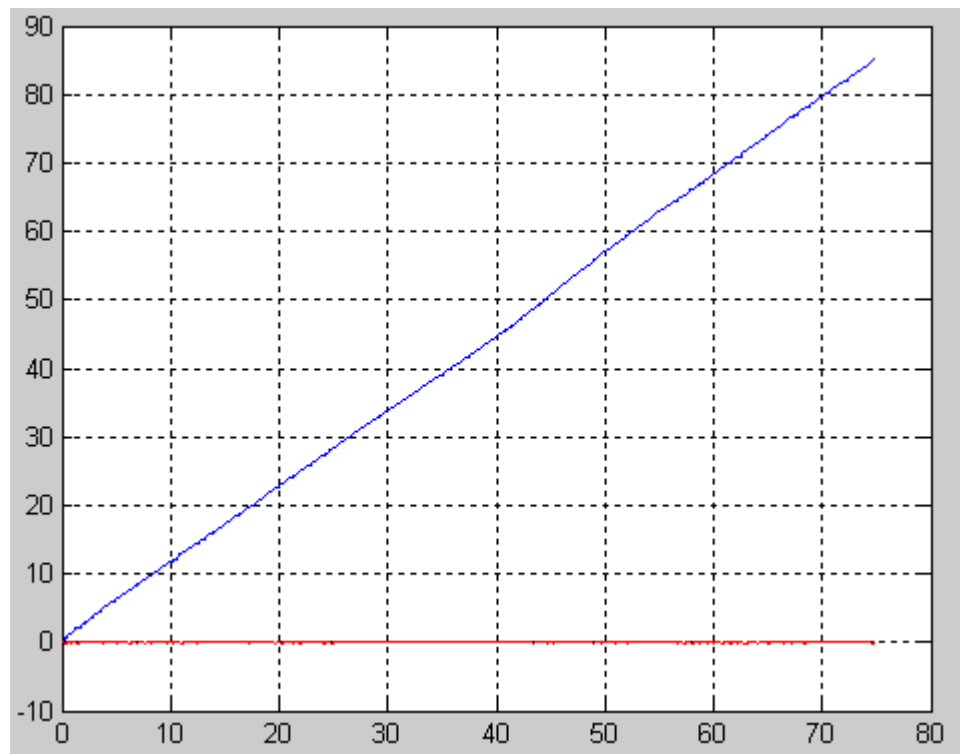


Figura 92. Gráfica señal filtrada.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Aquí podemos ver en más detalle la señal integrada de aceleración, la velocidad de vástago, en función del tiempo:

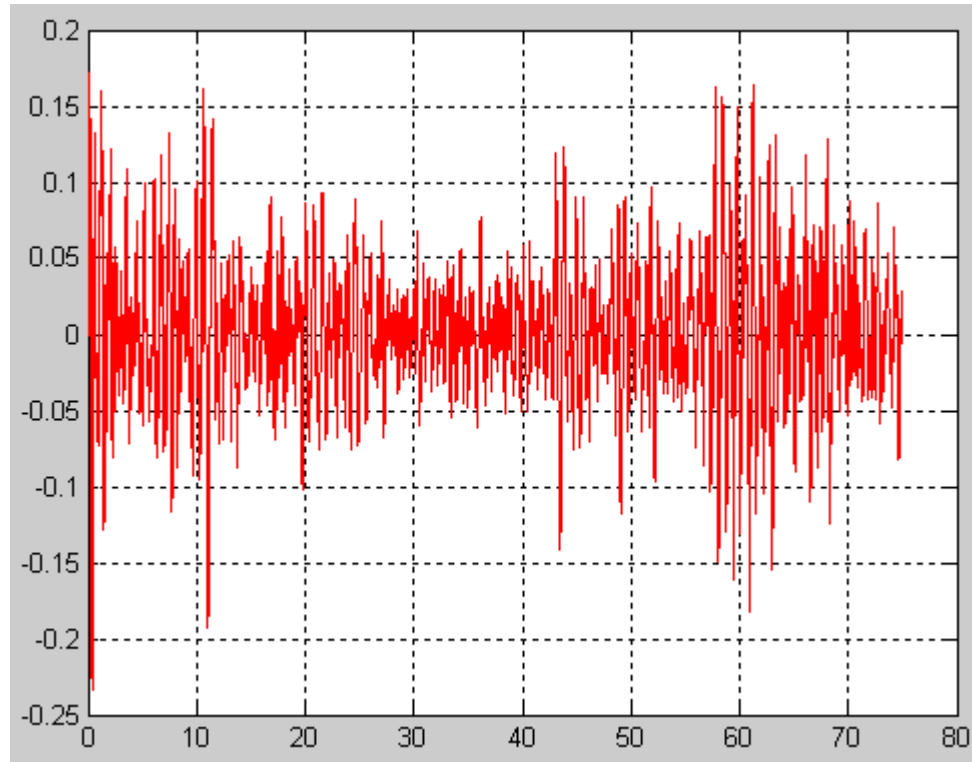


Figura 93. Señal aceleración escala temporal

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Salida terminal:

```

Command Window
El máximo valor de velocidad es: 0.172 [m/s]
El mínimo valor de velocidad es: -0.233 [m/s]
El máximo valor de velocidad es: 85.204 [m/s]
El mínimo valor de velocidad es: -0.001 [m/s]
fx >>
    
```

Figura 94. Salida ventana comandos.

Por último, calculamos las velocidades máximas y mínimas del vástago. Para la señal filtrada tenemos unos valores aceptables que se corresponden con la prueba realizada mientras que en la señal sin filtrar obtenemos un valor de velocidad máxima desorbitado debido a la componente continua de señal.

Diseño filtro Butterworth

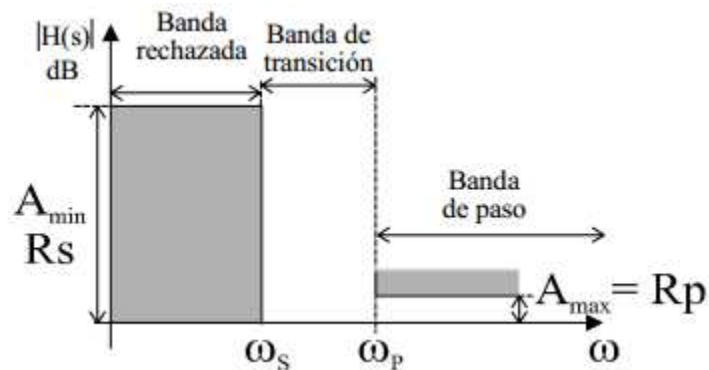


Figura 95. Ilustración funcionamiento Butterworth

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

El filtro debe cumplir con nuestras condiciones que son datos de nuestro problema (componente continua).

Para aplicar el filtro butterworth primero debemos calcular el orden de filtro mínimo que necesitamos para las condiciones deseadas “n” y la frecuencia de corte “Wn” para ello se utiliza el comando “buttord”:

$[n, Wn] = \text{buttord}(Wp, Ws, Rp, Rs)$

Donde

- ✚ **n**: orden mínimo del filtro.
- ✚ **Wn**: frecuencia cutoff.
- ✚ **Wp**: frecuencia de corte pasabanda (Wp/Fs).
- ✚ **Ws**: frecuencia de corte stopbanda (Ws/Fs).
- ✚ **Rp**: atenuación dB en pasabanda.
- ✚ **Rs**: atenuación dB en stopbanda.

Una vez obtenidos “n” y “Wn” acudimos al comando “butter”

$[z, p] = \text{butter}(n, Wn, \text{'ftype'})$

Donde:

- ✚ **z**: zeros.
- ✚ **p**: polos.
- ✚ **'ftype'**: tipo de filtro (paso-bajo, paso-alto, pasa-banda).

Butter diseña filtros pasa-bajos, pasa-altos y pasa-banda tanto digitales como analógicos.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse




UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

$[H,W]=\text{freqz}(z,p,N)$

Este comando devuelve la respuesta a un filtro digital a partir de los coeficientes z y p obtenidos previamente.

Donde:

-  **H**: vector de puntos de respuesta en frecuencia.
-  **W**: vector de puntos de frecuencia en rad/muestra del filtro.
-  **N**: número de puntos de evaluación (512 por defecto)

3.17 Resolución problemas derivada

Necesidad

Debido a que el equipo disponible tiene la limitación de conversión analógico/digital a 12 bytes, en altas frecuencias se nos pueden llegar a producir solapamiento de puntos porque los primeros decimales sean iguales, esto, al calcular la derivada va a provocar una aceleración nula ya que la diferencia entre valores de aceleración consecutivos es nula pero no lo es la diferencia de tiempo, esto provoca un valor de aceleración nulo y cuando se pueda hacer la derivada correctamente van a aparecer picos en la señal ficticia, es decir, la señal que estamos visualizando puede que tenga picos cuando debería tener una trayectoria más estable. Además, los transductores con el tiempo se van deteriorando y su sensibilidad disminuye favoreciendo el solapamiento de puntos y haciendo el filtrado más necesario, este último problema también favorece que haya cambios bruscos entre puntos produciendo más picos de aceleración.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Con un simple cálculo podemos hayar la sensibilidad del potenciómetro de fábrica :

500mm ----- 5 v (extendido)

X----- 0,001221 mV (comprimido)

→ $X = 0,1221$ mm (sensibilidad)

→ $500/0,1221 = 2^{12}$ divisiones de escala.

La siguiente tabla muestra las diferencias entre puntos consecutivos de una prueba, es interesante analizarlos para explicar la necesidad del filtrado de la señal, resulta poco creíble que en una prueba en la que el vehículo este a una velocidad considerable no exista diferencia de desplazamiento entre dos puntos consecutivos, lo que nos lleva a pensar en solapamiento de puntos, también tenemos un valor que se repite mucho “0,2728” puede ser un indicativo de que sea la nueva sensibilidad del potenciómetro por lo menos en ese intervalo, otro aspecto a destacar es el valor de “-0,8183” que curiosamente se ve después de un punto de posible solape.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Parte1	Parte2	Parte3
0.5456	0.2728	-0.2728
-0.2728	0	-0.6820
-0.2728	0.2728	0.2728
0.8184	0.2728	0.2728
0	-0.2728	0.2728
-0.4092	-0.5456	0.8184
0	-0.1364	0
-0.1364	0.2728	-0.2728
0.2728	0.4092	0.5456
0	0.2728	0
0.2728	-0.2728	-0.8184
0.2728	-0.5456	0
-0.2728	-0.2728	0.5456
-0.2728	0.2728	0.2728
-0.2728	0.2728	-0.5456
0	0.2728	-0.2728
0.2728	0	0
0	0.2728	-0.2728
-0.2728	-0.2728	0.5456
0.5456	-0.5456	0.5456
0.2728	0.2728	0.2728
-0.4092	0.2728	0
-0.2728	0	-0.8183
-0.4092	-0.2728	-0.2728
0	-0.1364	0

Tabla 14. Valores prueba sensor hilo.

Nota: las partes son una misma fila que se ha cortado de una prueba

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

“FiltroPB”

El filtro creado para integrar se puede convertir a “paso-bajo” cambiando ciertos parámetros, ahora podemos filtrar una señal pero hace falta conocer que influencia está teniendo este filtro sobre la señal original, ¿Estará modificando esta la señal en exceso? , para saberlo se ha usado un comando “mscohere” que compara dos señales en frecuencias calculando el espectro por Welch, con esto obtenemos un vector que mide la coherencia de las señales con valores comprendidos entre 0 y 1 que indican cuanto se asemejan estas señales siendo 1 la mayor semejanza.

Vemos como repercute en el paso-bajo en una prueba muestreada a 500 Hz atenuando las frecuencias de 250 Hz en adelante. En este punto la definición del filtro influye directamente a la coherencia de la señal, con una misma frecuencia de corte y modificando la frecuencia límite podemos tener más o menos coherencia en el filtrado.

A continuación tenemos la señal con $W_s=450/500$ y $W_p=250/500$

Filtro butter (respuesta en amplitud)

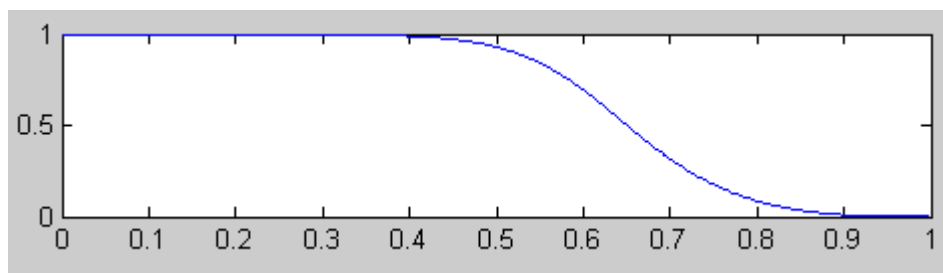


Figura 96. Respuesta amplitud de del filtro butter.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Gráfica de coherencia:

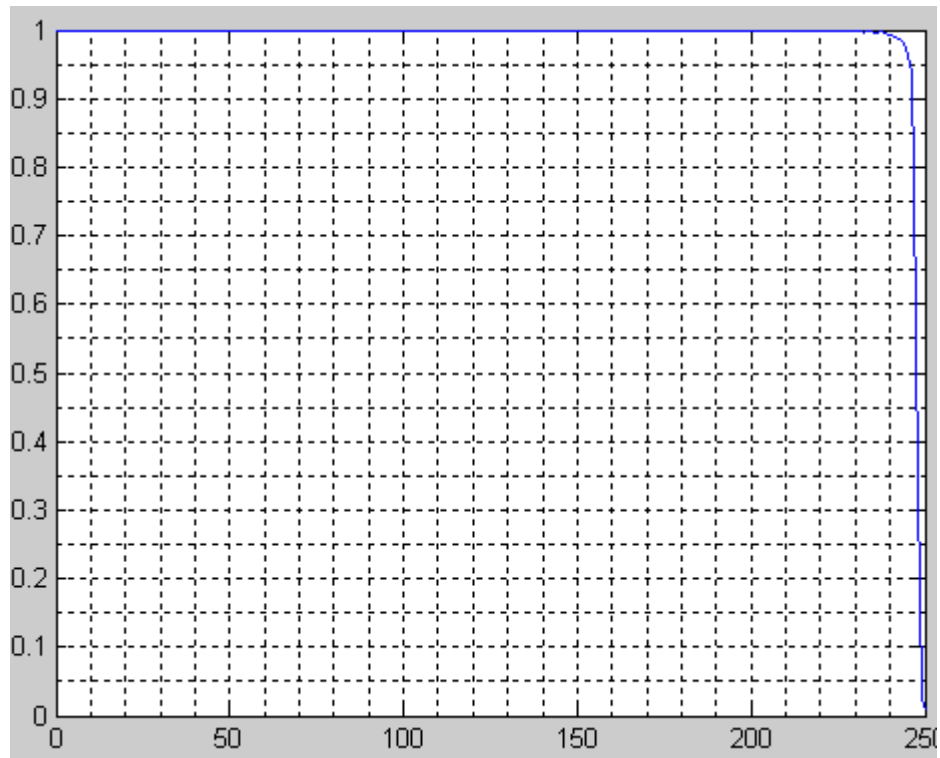


Figura 97. Gráfica correspondencia señal original y filtrada

Veamos que sucede ahora variando la frecuencia $W_s \rightarrow W_s=270/500$

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Respuesta filtro:

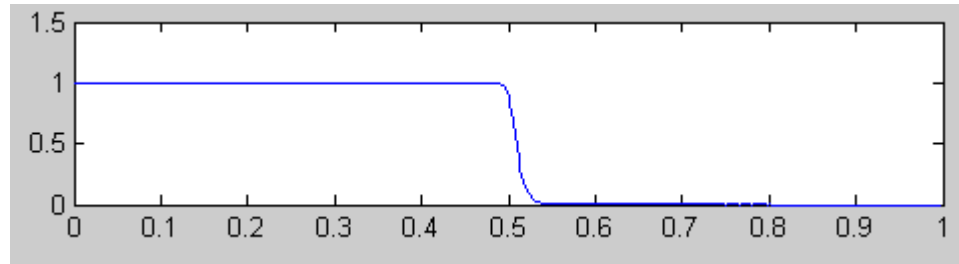


Figura 98. Respuesta filtro.

Coherencia señales:

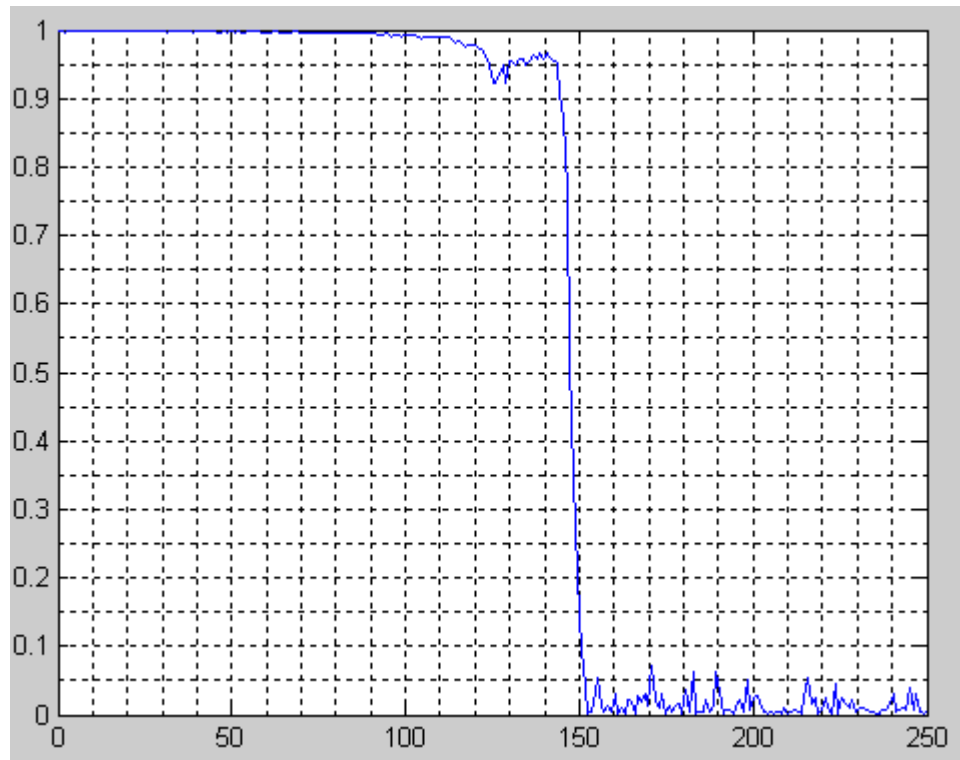


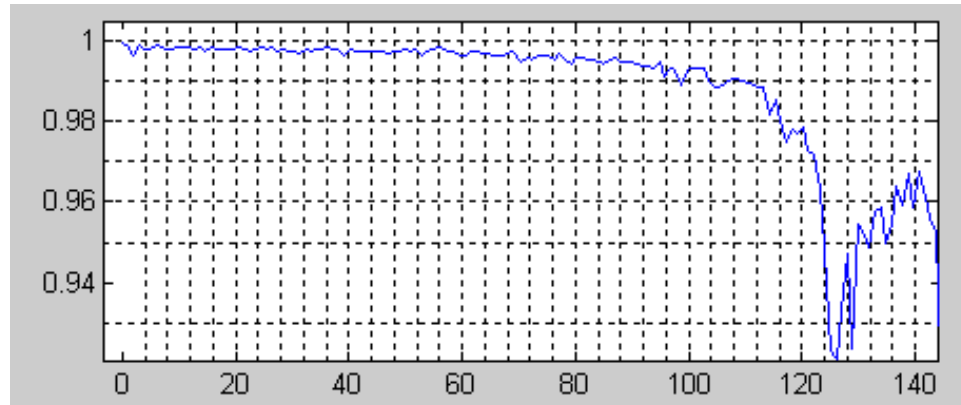
Figura 99. Correspondencia de señales.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Detalle bajas frecuencias:**Figura 100. Correspondencia de señales en detalle**

Así como con el primer filtro copiaba prácticamente igual la señal hasta lo 250 Hz con el segundo a 150 Hz ya tenemos una señal diferente porque estamos cortando de forma más agresiva las altas frecuencias con el filtro y no solo eso, además tenemos a bajas frecuencias cierta irregularidad en la señal filtrada que no se encontraba en el primer filtro.

Veamos un caso práctico:

Se parte de una señal de velocidad rotacional de pitch y se le aplica el filtro atenuando las frecuencias por encima de 100 Hz (para ver la diferencia) y se derivan posteriormente para calcular la aceleración.

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

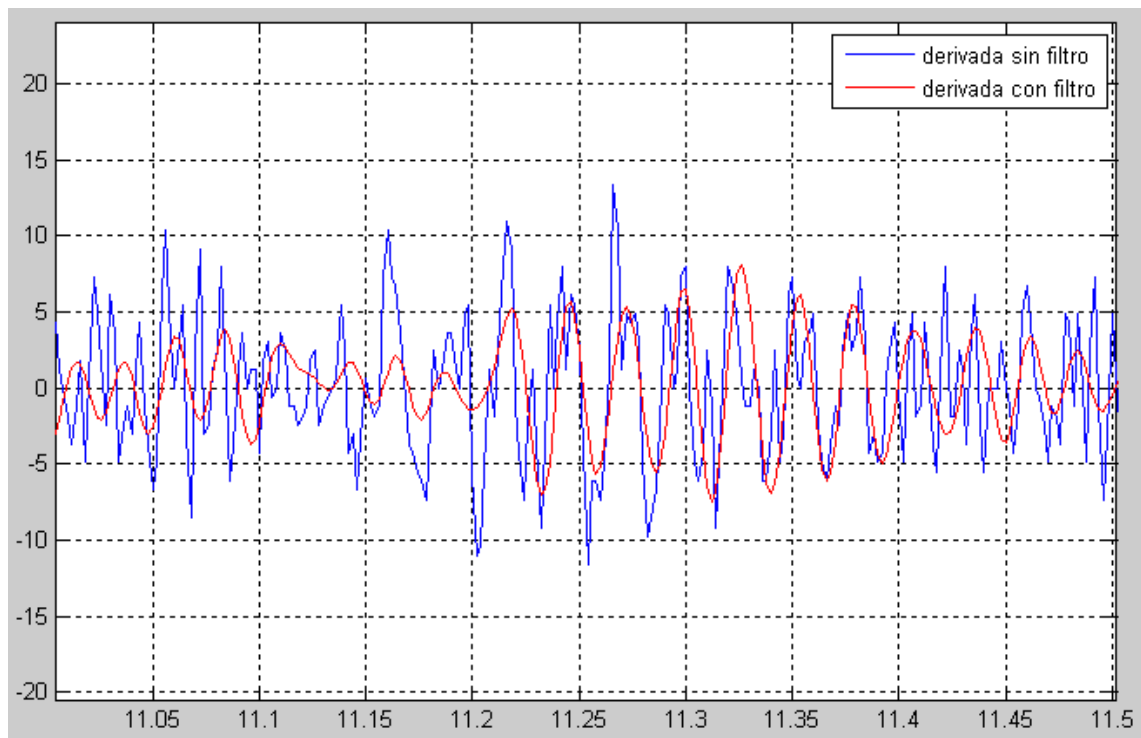


Figura 101. Funcionamiento filtro.

La señal sin filtrar tiene muchos picos de aceleración mientras que la filtrada es menos abrupta, esto no será así en todos los casos ya que se filtrará a partir de frecuencias más altas. Hace falta definir un punto en el que no perdamos información relevante de la señal y en el cual podamos evitar el solapamiento de datos y lograr una representación coherente de la señal.

Una vez visto los programas para el análisis de las vibraciones vamos a proveer a explicar un programa para el análisis de desplazamiento, velocidad y aceleración de vástago a partir de los datos del potenciómetro de hilo en el que podemos aplicar el filtro pasabajo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Hilo_main:

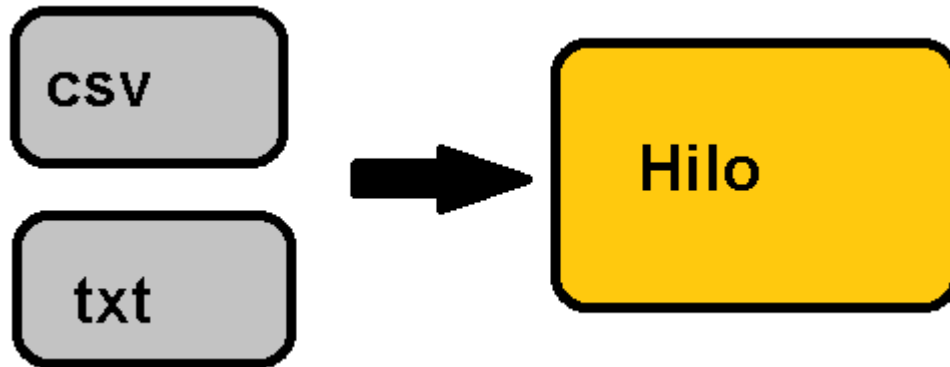


Figura 102. Esquema Hilo_main.

Descripción “Hilo_main”:

Este programa sirve para introducir los archivos a procesar, tenemos la opción de introducirlos en “.txt” o “.csv” (serán leídos por diferentes funciones), seguidamente se llama a “hilo” que hace todo el cálculo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Hilo

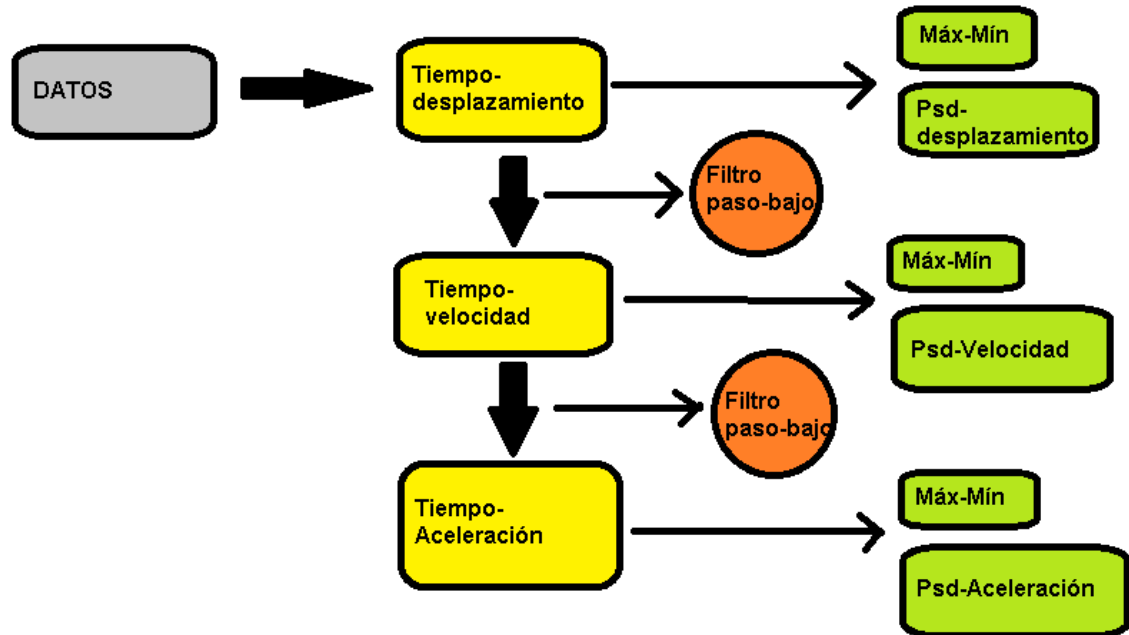


Figura 103. Esquema Hilo

Descripción “Hilo”:

En este programa se procesan los datos del potenciómetro de hilo. Los datos son tomados en valores de potencia (voltios) y son transformados en Rs2analysis a valores de desplazamiento. En primer lugar deberíamos introducir el número de puntos de la ventana PSD, la frecuencia de muestreo de la prueba. Estos datos se recopilan a 1000 Hz, lo que conlleva una cantidad considerable de datos y provocará que no podamos discernir diferencias entre las pruebas.

Al disponer de 1000 datos por segundo y recopilar datos con 12 bytes es posible que datos consecutivos parezcan solapados cuando están digitalmente almacenados, y al hacer la derivada nos creará picos inexistentes, al filtrar la señal evitamos este defecto y conseguimos un mejor contraste de las pruebas. Siguiendo con la filosofía de programación se ha programado para poder

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

visualizar datos cuando una prueba no se introduzca y es necesario definir algunas variables que serán nulas. En primer lugar leemos los datos, los almacenamos en una matriz, la filtramos mediante la función “pasobajo” y calculamos su dos primera derivada velocidad, volvemos a filtrar y calculamos la aceleración almacenándolas en sus respectivas matrices, ahora que tenemos estos datos definimos el desplazamiento, la velocidad y aceleración media. En segundo lugar mediante la función “espectrofun” se calcula el espectro y finalmente se define la salida gráfica.

Prueba con datos “.csv”:

```
Command Window
¿Qué formato se desea procesar? TXT==>1, CSV==>2:2
Introduzca puntos de ventana psd :1024
Introduzca frecuencia de muestreo de la prueba :1000
ANÁLISIS DESPLAZAMIENTO,VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VÁSTAGO
Medias medidas y máximas desplazamiento[mm],velocidad[mm/s], aceleración[mm/s^2] vástago

Datos =

    mediaDesp1: 61.2983
    mediaDesp2: 68.1152
    maxDesp1: 97.3485
    maxDesp2: 107.9432
    maxVel1: 1.4965e+04
    maxVel2: 1.7079e+04
    maxAc1: 2.9002e+06
    maxAc2: 3.2985e+06

Fin de Resultados
fx >> |
```

Figura 104. Salida ventana de comandos

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Salida gráfica:

Desplazamiento:

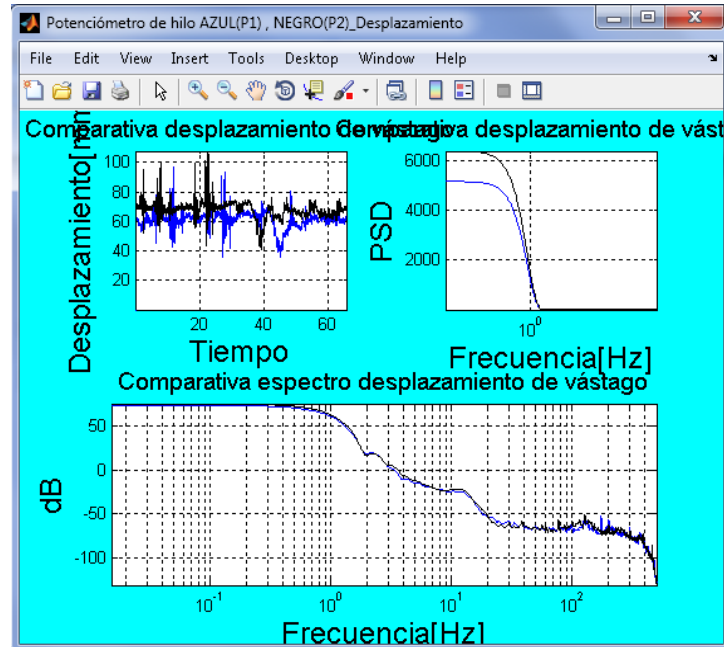


Figura 105. Gráficas para desplazamiento.

Velocidad:

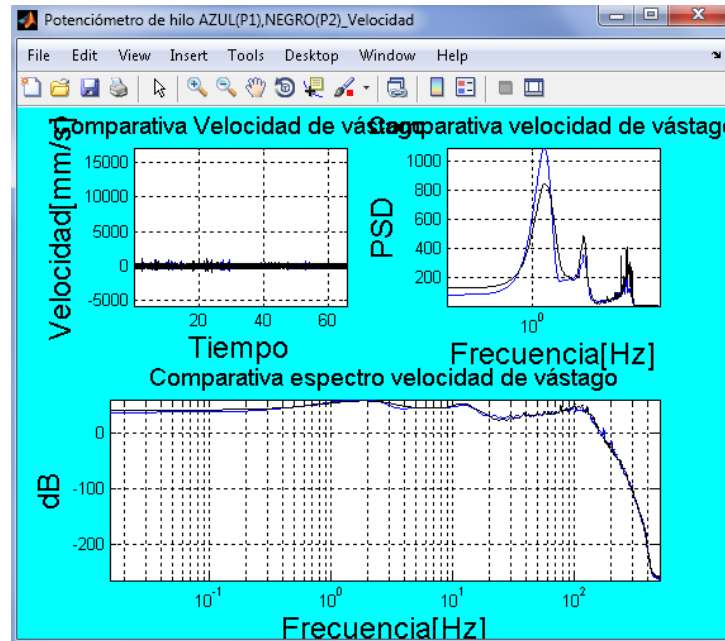
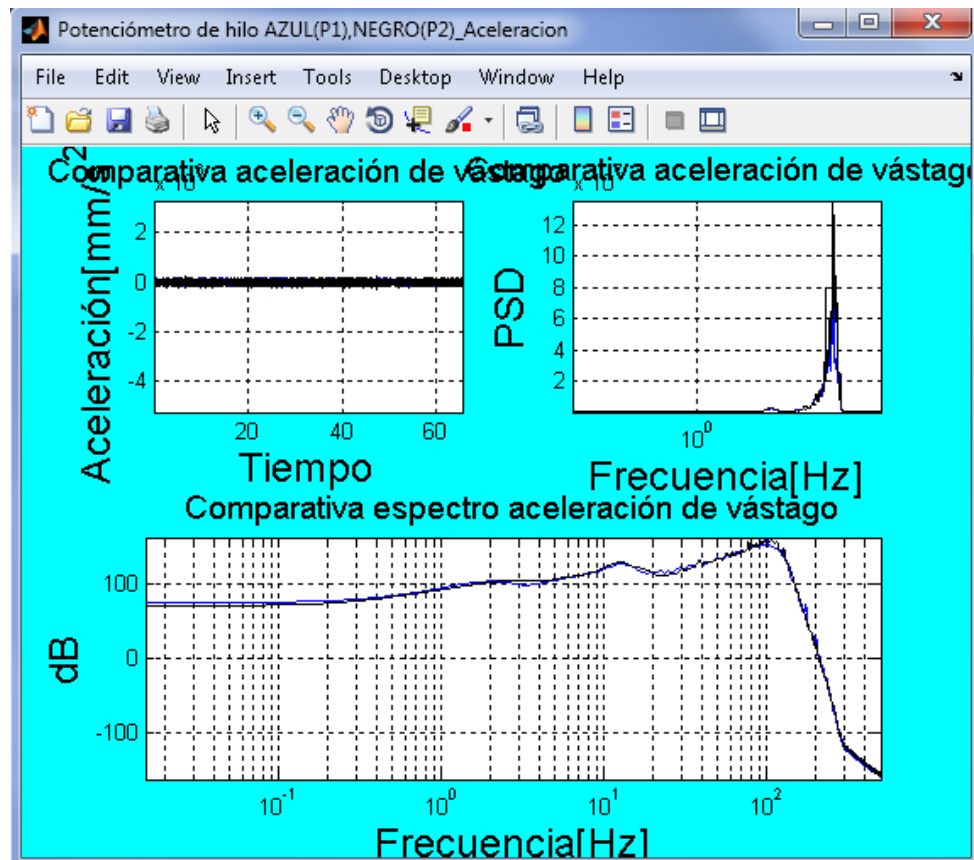


Figura 106. Gráficas para velocidad.

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Aceleración:**Figura 107. Gráficas para aceleración.**

El deterioro del transductor de hilo es elevado si su mantenimiento no es el adecuado, se debe limpiar después de cada prueba con alcohol y tratar de no llevarlo por carreteras rurales donde pueda entrar suciedad. Cuando filtramos la señal estamos eliminando frecuencias para poder tener unas gráficas limpias pero a su vez estamos modificando la señal original.

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

Veamos como funciona la función pasobajo utilizada en el programa anterior.

“pasobajo”

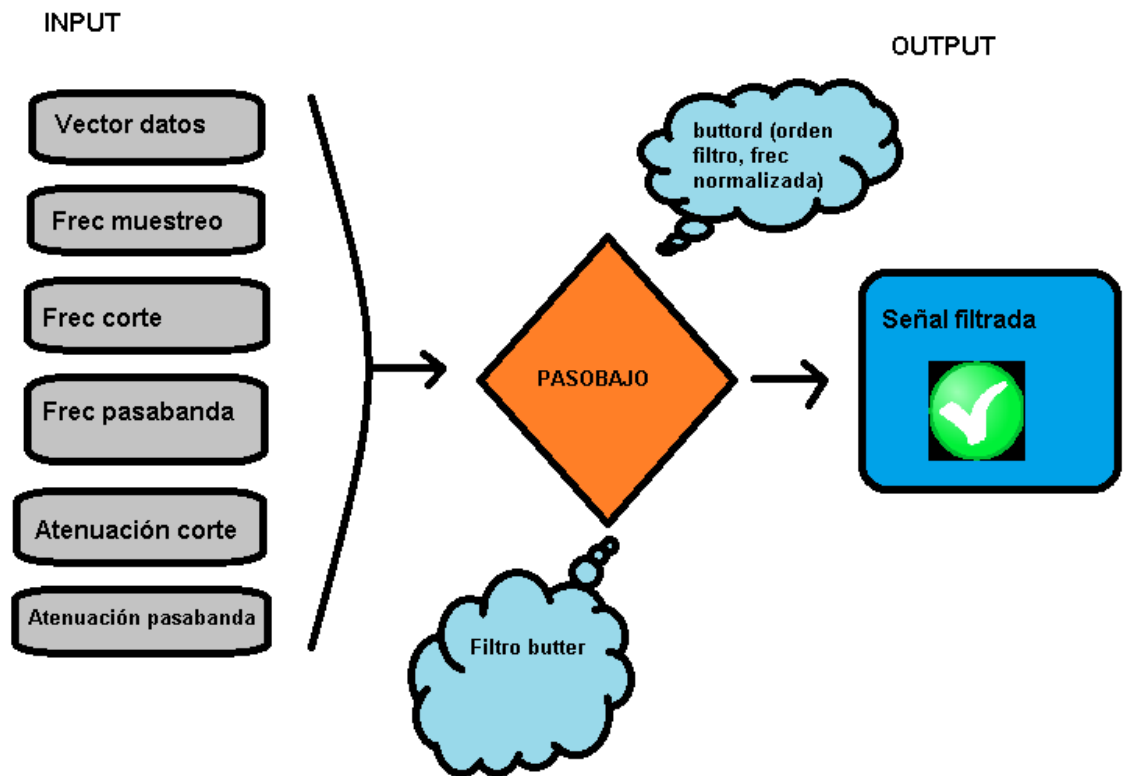


Figura 108. Esquema filtro pasobajo.

Descripción “pasobajo”:

A partir del filtro programado en el programa “filtPB” donde analizábamos como funcionaba el filtro y lo aplicábamos a una señal se ha creado una función para aplicarla en programas posteriores y tener una “caja negra” que aplique el filtro.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Nota:

Cuando el programa analiza un archivo en formato .csv existe una limitación en Excel de 65536 filas, para casos en los que tengamos pruebas de mas de esas columnas deberemos utilizar el formato .txt ya que ahí no existen limitaciones.



Figura 109. Aviso de error Excell.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

4 Alcance análisis

¿Hasta donde podemos llegar con este análisis?

Como se ha comentado previamente, existe una necesidad de definir un criterio de confort y, mediante este programa, vamos a poder analizar las vibraciones en el vehículo. Con las sensaciones percibidas en la prueba de pista y los informes realizados con el programa se pretende tener una herramienta ayude a contrastar las sensaciones físicas en la prueba con algo objetivo.

Está comprobado que las gráficas son representativas de la prueba de vehículo, y que recogen con verosimilitud las sensaciones físicas percibidas. Estas herramientas nos otorgan una gran ventaja en el estudio del confort y nos dan información tanto del comportamiento del vehículo como de los amortiguadores, podemos detectar tanto resonancias del vehículo como del amortiguador y dar respuestas a nuestras dudas. La experiencia juega un papel importantísimo en la interpretación de los resultados.

Con este programa, además de procesar las señales originales, podemos ver como el cuerpo humano filtra dichas frecuencias, y centralizar el estudio en el rango más relevante.

También podemos realizar estudios que no estén relacionados con el confort, es decir, podemos ver como se comporta el vehículo en diferentes carreteras (balanceo, velocidad de vástago, aceleraciones...) y hacer análisis individuales y comparativos. Ayuda a la búsqueda de problemas de definición de reglaje, puede ser útil a la hora de detectar resonancias en el vehículo para la predicción de fallos. Incluso podemos utilizar esta herramienta para comparar diferentes carreteras, observando que frecuencias se excitan en cada una con un mismo sistema de amortiguadores.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

5 Análisis experimental


5.1.1 Preparación

Antes de nada preparamos los sensores en las partes donde queremos hacer medidas, nos aseguramos que todas las conexiones son correctas y tomamos los ceros con el vehículo en reposo.

5.1.2 Contexto

Se ha percibido un balanceo considerable en el vehículo y un tiempo excesivo en amortiguar las irregularidades del terreno. Se quiere adquirir datos del defecto en el comportamiento del vehículo para llegar a comprender el motivo. Se tienen varias hipótesis como son que el fallo se puede estar produciendo por una velocidad excesiva del vástago, lo que puede deberse a bajas cargas a compresión y con respecto al tiempo excesivo de estabilizarse el vehículo puede deberse a la resonancia de la masa suspendida.

Lo primero es colocar los sensores en el vehículo, para esta prueba necesitaremos:

-  GPS
-  Sensor hilo
-  Giróscopo pitch

5.1.3 Descripción componentes

Placa: La plancha donde está sujeto el equipo de adquisición está en el reposabrazos del vehículo con intención de posicionarlo en el centro de gravedad del vehículo, este está unido al chasis con unos brazos metálicos

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

para medir directamente la vibración, además está apoyada en el reposabrazos mediante un tocho de material aislante para no contaminar las mediciones.

Adquisidor de datos: El logger Evo 4 dispone de un sensor interno de 3 ejes (acelerómetro triaxial), 3 canales digitales (RPM y 2 velocidades) y 5 canales analógicos (0 – 5 v), una entrada para tiempo por vuelta y un GPS integrado a 10Hz. Por la tecnología CAN-Bus es posible ampliar canales hasta casi el infinito. Solamente necesita un Data-Hub y una expansión de canales para ampliar su sistema. Adquiere datos a 1000Hz en hasta 5 canales analógicos.

Extensión de canales: Se dispone de de una expansión de 4 canales analógicos en los que van conectados los 4 sensores de hilo (dos delanteros y dos traseros), que transmiten por bus-CAN (Controller Area Network) a un máximo de 100 Hz al data-logger.

Extensión termopares: Esta extensión recoge datos de sensores de temperatura a 1 Hz de frecuencia por hasta cuatro canales.

Giróscopos: La placa tiene sujetos tres giróscopos orientados según los tres ejes cartesianos.

Ordenador: Se dispone de un ordenador portátil para adquirir los datos obtenidos en la prueba conectándose al logger Evo4

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Croquis componentes:

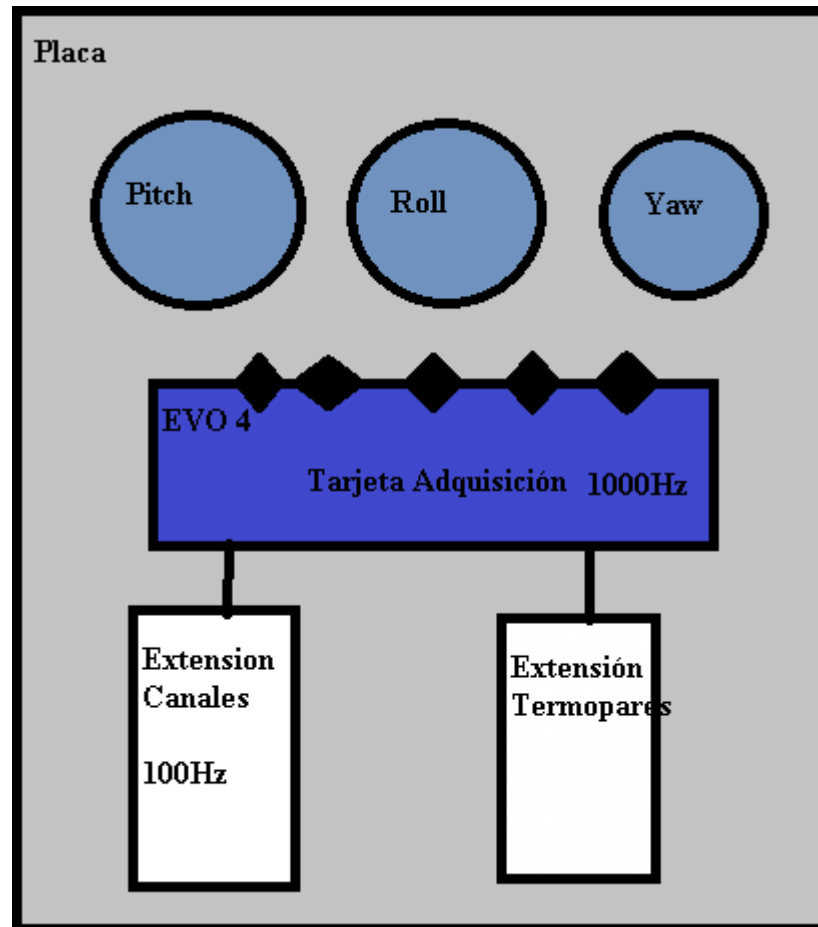


Figura 110. Dibujo placa de componentes.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

5.1.4 Fotos Vehículo

Estas fotos muestran la instalación del equipo de adquisición en un vehículo sobre el cual se estaban realizando mediciones para detectar fallos y conseguir mejoras.

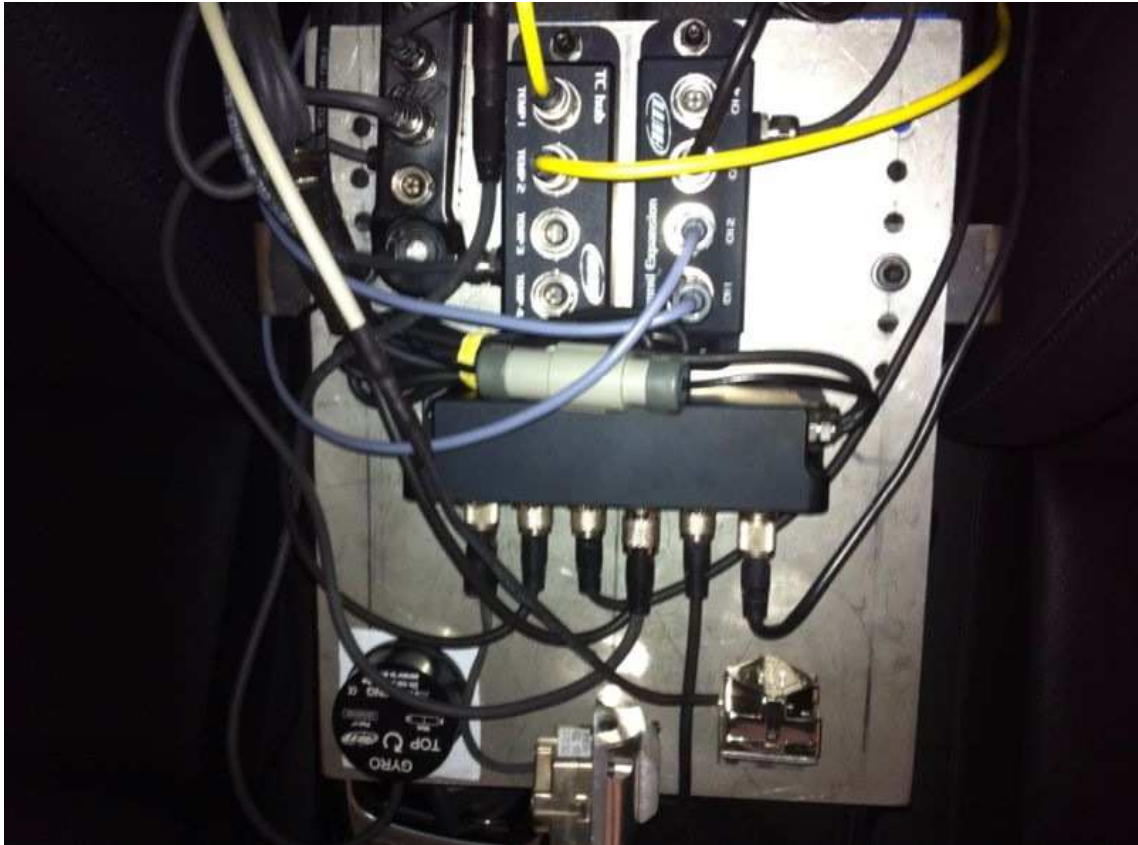


Figura 7. Fotos placa componentes

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales



Figura 112. Fotos equipo del vehículo

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales



KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales



Figura 113. Sensor de hilo instalado



Figura 114. Sensor de hilo instalado

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

5.1.5 Sensaciones

Se tenía conocimiento de que en una carretera se presentaba el defecto que se buscaba y, en efecto, circulando por dicha vía el coche tenía un balanceo excesivo, al cabo de un tiempo, en cierto tramo empezamos a detectar que al pasar ligeros desniveles el vehículo no se estabilizaba rápido, y los ocupantes sentíamos como la masa suspendida del vehículo no amortiguaba bien.

5.1.6 Adquisición de datos Rs2

Una vez realizada la prueba conectamos el portátil para transferir los datos al programa de análisis que acondicionará las señales. Una vez aquí convertimos los datos en potencia a desplazamiento o velocidad mediante una serie de canales matemáticos definidos por el usuario.

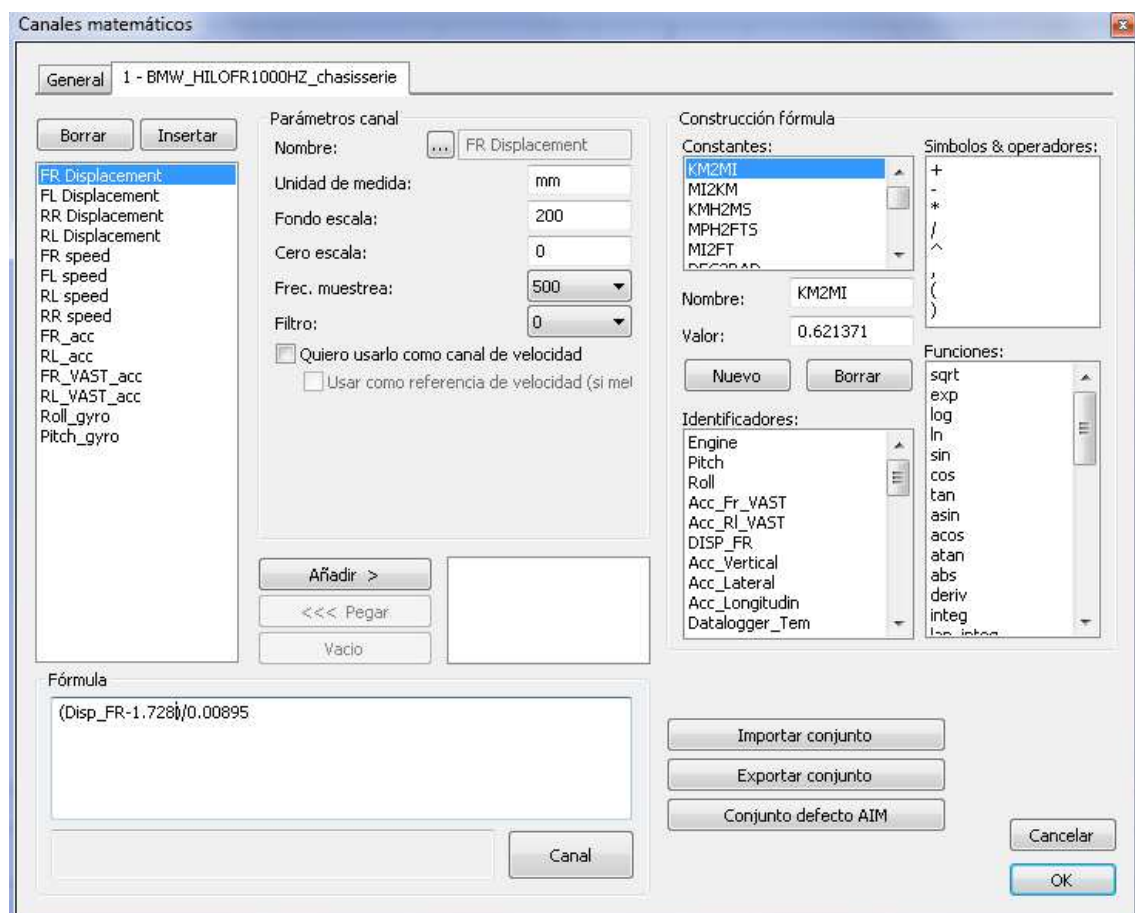


Figura 115. Ventana canales matemáticos de Rs2.

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

A continuación podemos ver representada en el tiempo la señal para los diferentes sensores con los que se haya realizado la prueba

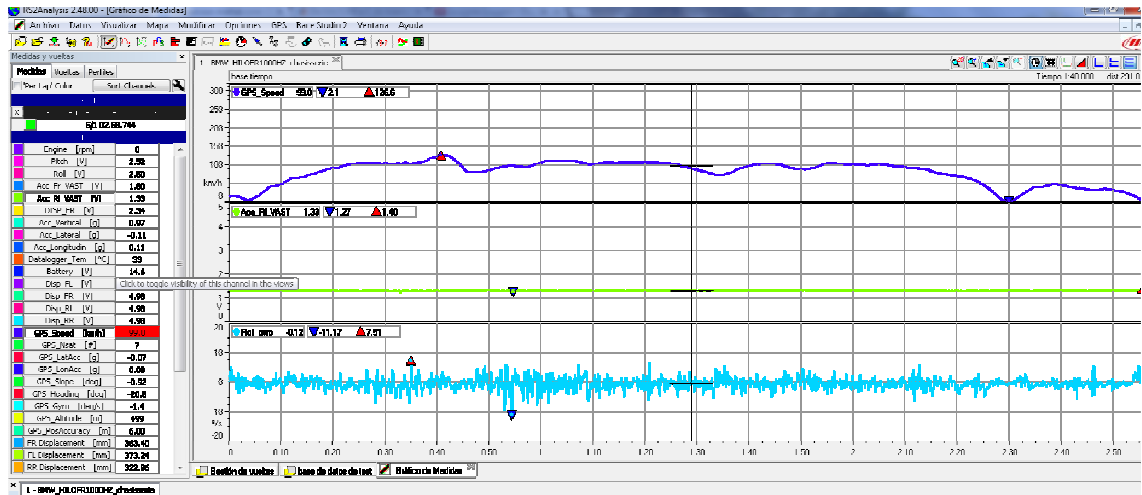


Figura 116. Vista de las pruebas en el dominio temporal Rs2.

Mediante la señal de GPS podemos ver la forma del circuito que has hecho en un circuito o en cada tramo definido según el interés que tengas (en cada parte del circuito podemos analizar el vehículo en alguna faceta) y verlo, además, el programa de análisis te ofrece la posibilidad de exportar los datos para visualizarlos en Google Earth.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Tramo visto por Rs2 Studio:



Figura 117. Vista del tramo para analizar.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Circuito de prueba proporcionado por GoogleEarth:

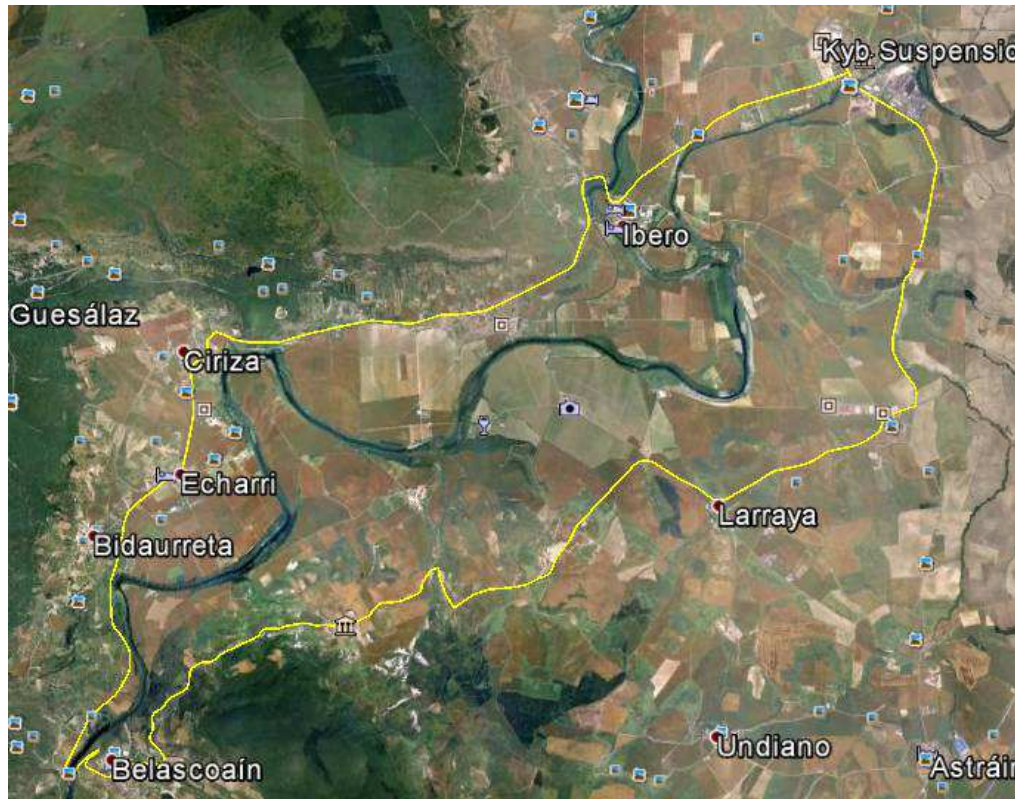


Figura 118. Vista circuito en Google Earth.

5.1.7 Exportación de datos

Una vez acondicionada la señal exportamos los archivos en “.csv” y “.txt” ,para este caso en concreto tenemos varios minutos de prueba, con el “.csv” solo seremos capaces de analizar 65 segundos por la limitación de filas así que lo haremos en “.txt”. En esta prueba se ha conectado los sensores de hilo al Evo 4 para adquirir datos suficientes para ver la velocidad de vástago.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

5.1.8 Ejecución del programa /Análisis de datos (Matlab)

Hilo_main

Utilizamos este programa para visualizar la velocidad y desplazamiento del vástago.

```

Command Window
¿Qué formato se desea procesar? TXT==>1, CSV==>2:1
Introduzca puntos de ventana psd :1024
Introduzca frecuencia de muestreo de la prueba :1000
ANÁLISIS DESPLAZAMIENTO,VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VÁSTAGO
Medias medidas y máximas desplazamiento[mm],velocidad[mm/s], aceleración[mm/s^2] vástago

Datos =

mediaDesp1: 62.0939
mediaDesp2: 69.4722
maxDesp1: 125.7179
maxDesp2: 115.4447
maxVel1: 1.5045e+04
maxVel2: 1.7085e+04
maxAc1: 2.9030e+06
maxAc2: 3.3190e+06
    
```

Figura 119. Salida ventana de comandos.

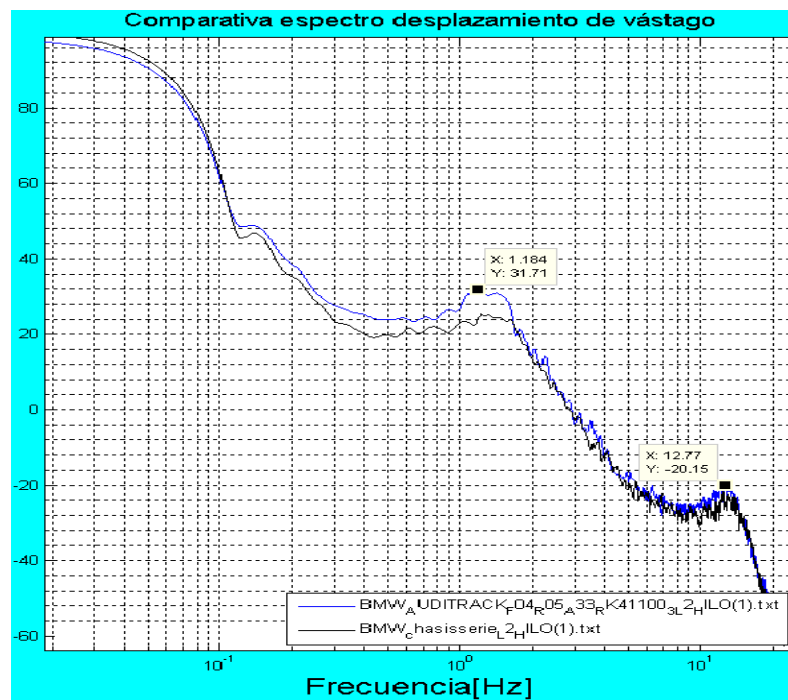


Figura 120. Gráfica comparative desplazamiento de vástago

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

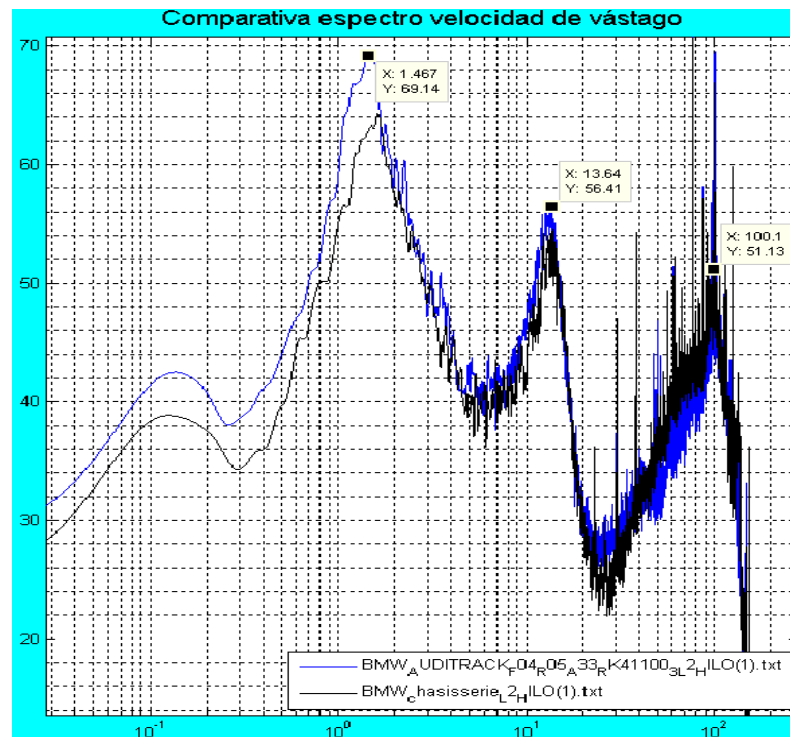


Figura 121. Gráfica comparativa velocidad de vástago

Main

Ejecutamos este programa para comparar la aceleración de pitch y analizar el balanceo y ver como es el confort en el vehículo.

Primero vamos a ver que frecuencias en la prueba interfieren más en el confort, como ilustra la siguiente imagen, el confort en el pitch es peor a bajas frecuencias y va aumentando linealmente conforme aumenta la frecuencia.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

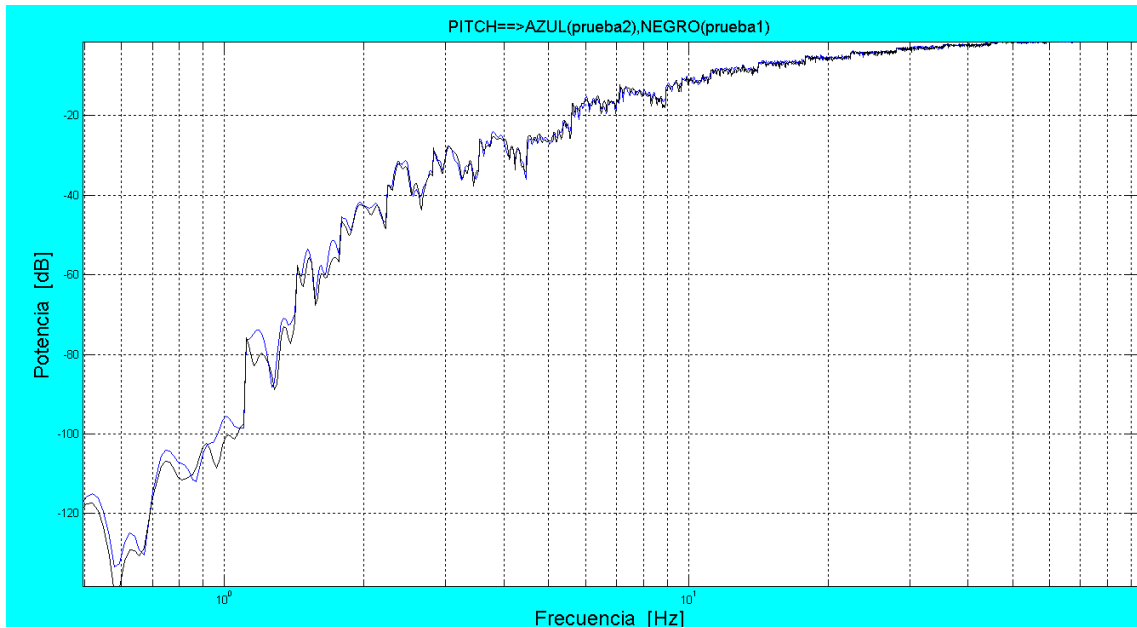


Figura 122. Gráfica comparativa confort pitch.

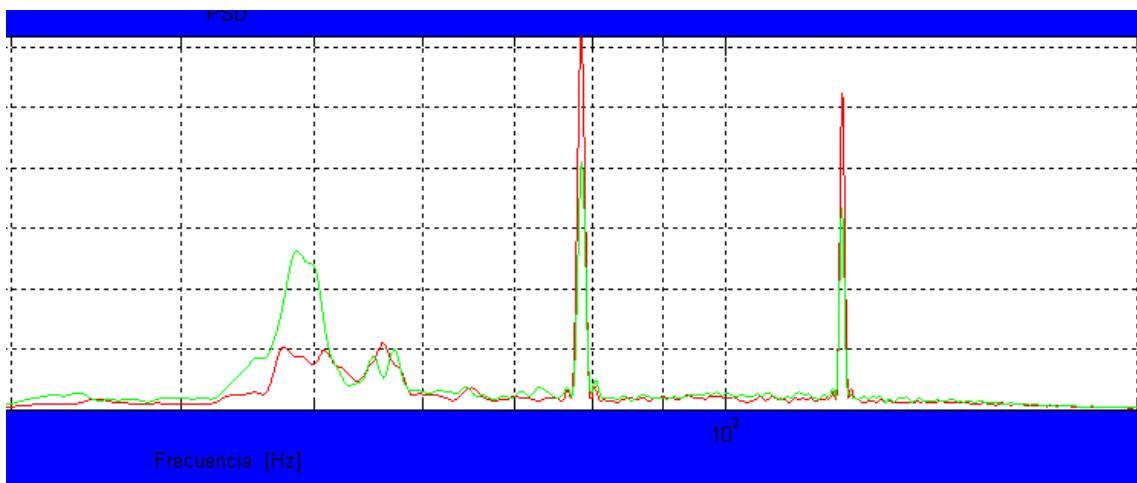


Figura 123. Gráfica comparativa original pitch.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

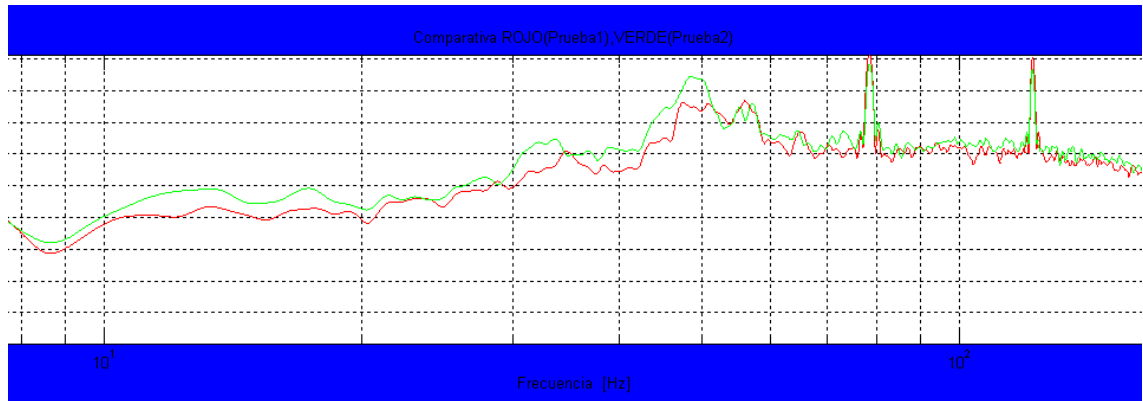


Figura 124. Espectro señal original.

5.1.9 Valoración de resultados

Análisis datos sensor hilo

A primera vista destacan dos picos a 1 y 11 Hz aproximadamente, casualmente son más acusados que en otras pruebas realizadas en otros vehículos. Estas frecuencias se corresponden con la frecuencia de resonancia de la masa suspendida (1Hz) y de la masa no suspendida (11Hz). En esta carretera se excitan dichas frecuencias y se nota como el vehículo, al entrar en resonancia tarda en estabilizarse. También podemos observar que en las dos pruebas hay diferencia en los picos, teniendo en cuenta los cambios que se han hecho, la tarea posterior es seguir aplicando cambios que reduzcan este pico para que manteniendo el comportamiento adecuado del vehículo logremos un mayor confort. Cerca de un herzio tenemos una gran diferencia de velocidad entre las dos pruebas que debe ser estudiada más a fondo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Análisis confort pitch

A priori podemos ver como el confort es peor a bajas frecuencias pero no se encuentran diferencias considerables entre ambos amortiguadores.

Analizando el espectro original podemos observar dos resonancias considerables, estas son más grandes de lo normal, estos fenómenos pueden ser los causantes del balanceo tan excesivo y la tardanza en estabilizar el vehículo en los giros.

5.1.10 Futuro seguimiento

Una vez analizadas las pruebas y teniendo constancia de los puntos más desfavorables el siguiente paso es utilizar el simulador de amortiguadores con las cargas y las situaciones clave vistas en la prueba de carretera. De esta manera podremos ver en gráficas Fuerza-Velocidad como varía el comportamiento del amortiguador y que se podría hacer para atenuar las desconformidades.

La herramienta de Matlab nos servirá para detectar problemas y ver zonas donde estudiar en detalle el comportamiento del amortiguador más en detalle y el simulador para ver como nos afecta a la desviación máxima de las cargas y cuanto se desvía de la zona óptima de trabajo.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

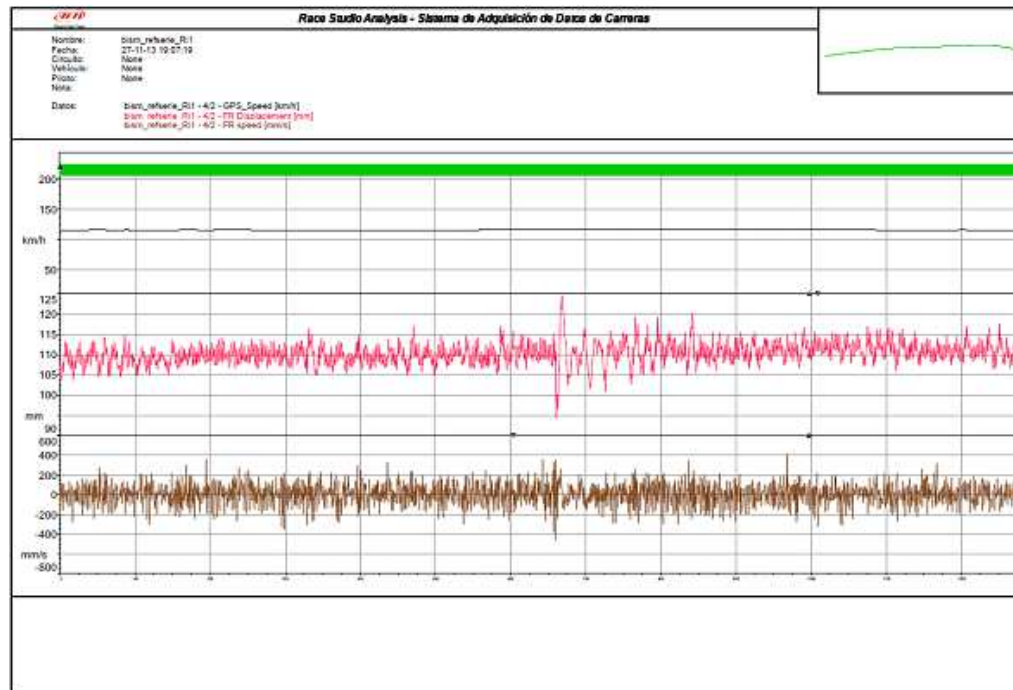


Ilustración 13. Gráficas velocidad en Rs2.

Una vez conseguidas las velocidades que parezcan más interesantes para el estudio del comportamiento del amortiguador acudimos al simulador de la suspensión, este es un software programado por KyB que nos permite simular condiciones de utilización de los amortiguadores para diferentes carreteras y para todos los diferentes componentes del amortiguador.

Para la elección de la velocidad podemos servirnos del Race Studio Analysis o bien mediante los datos obtenidos en Matlab.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

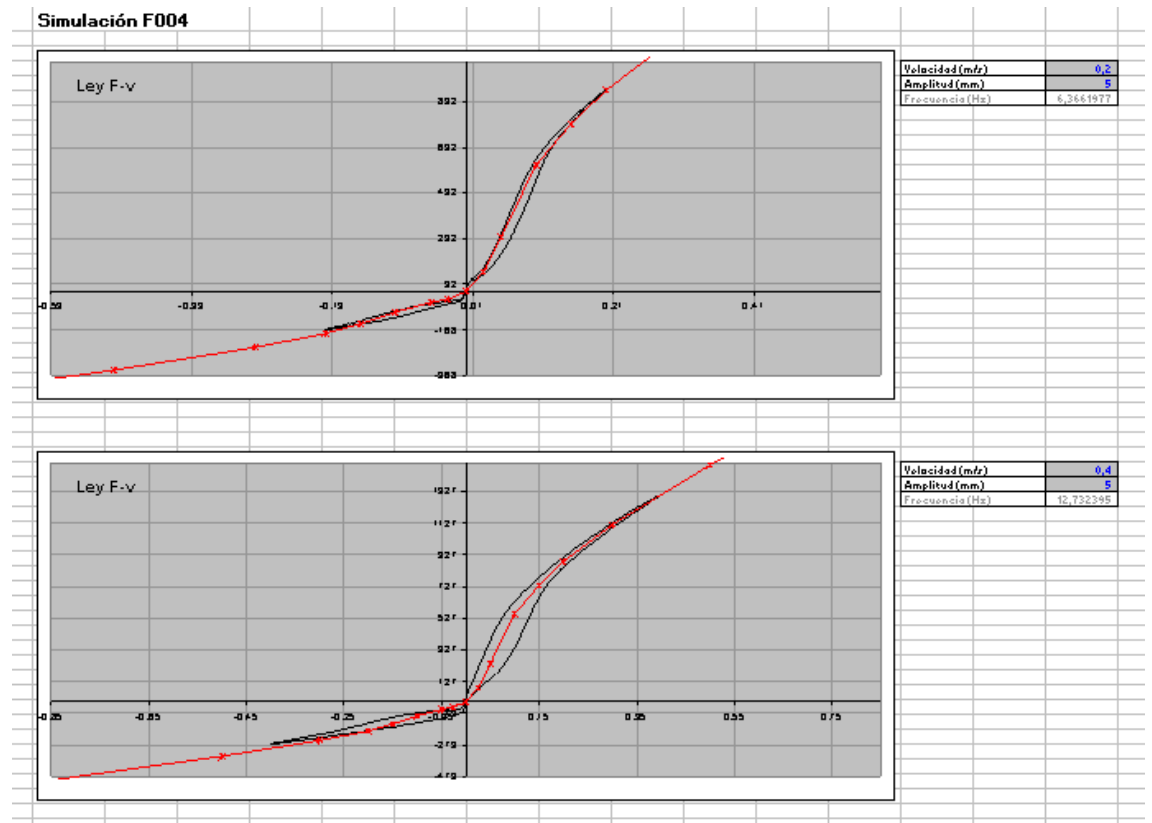


Ilustración 14. Gráficas Fuerza-Velocidad del amortiguador en las condiciones críticas o problemáticas

En la ilustración 14 podemos apreciar la línea roja que son las cargas idólicas a seguir para las distintas velocidades y zonas de trabajo (tracción y compresión) y las líneas negras que nos marcan la zona donde el amortiguador va a funcionar realmente. Podemos observar como con unas condiciones en la gráfica de arriba tenemos poca histéresis y en cambio con el mismo amortiguador en otras condiciones de trabajo como pueden ser otras velocidades o frecuencias se nos presenta una histéresis considerablemente mayor.

Una buena valoración de la simulación nos puede ayudar a detectar que componentes serían necesarios para lograr la mayor exactitud de cargas, es decir, reducir al máximo la histéresis.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

6 Diseño Interfaz

Una vez diseñados los programas y se comprueba que funcionan correctamente surge la idea de poder compilar los programas en Matlab y crear aplicaciones independientes del programa, libres de licencia que puedan ser utilizados por el resto de compañeros involucrados en el estudio.

Matlab dispone de una herramienta para crear un GUI , es un entorno de programación visual para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++.

Ahí se encuentra el icono para iniciar la programación de la interfaz:



Figura 125. Barra herramientas Matlab

Seguidamente se muestra un menú donde podemos elegir alguna plantilla de interfaz, lo más recomendable es empezar una hoja en blanco, para diseñar como más nos convenga nuestra interfaz.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

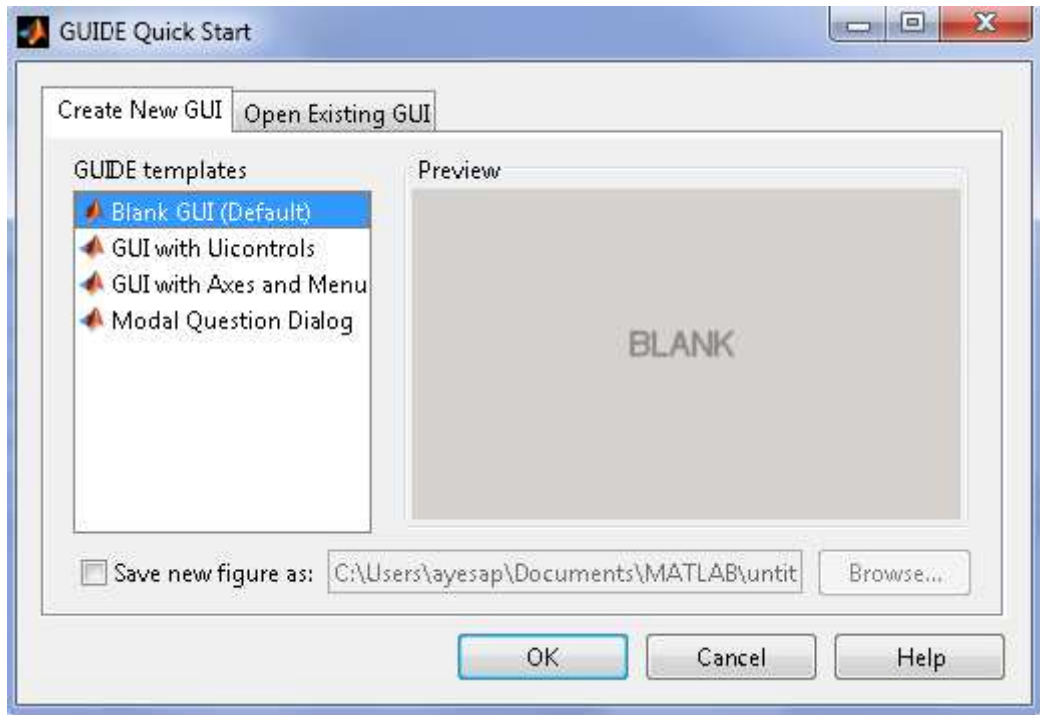


Figura 127. Menú nueva gui

Para comenzar se ha decidido crear un entorno gráfico para el sensor de hilo, donde podamos visualizar los espectros de desplazamiento, velocidad y aceleración.

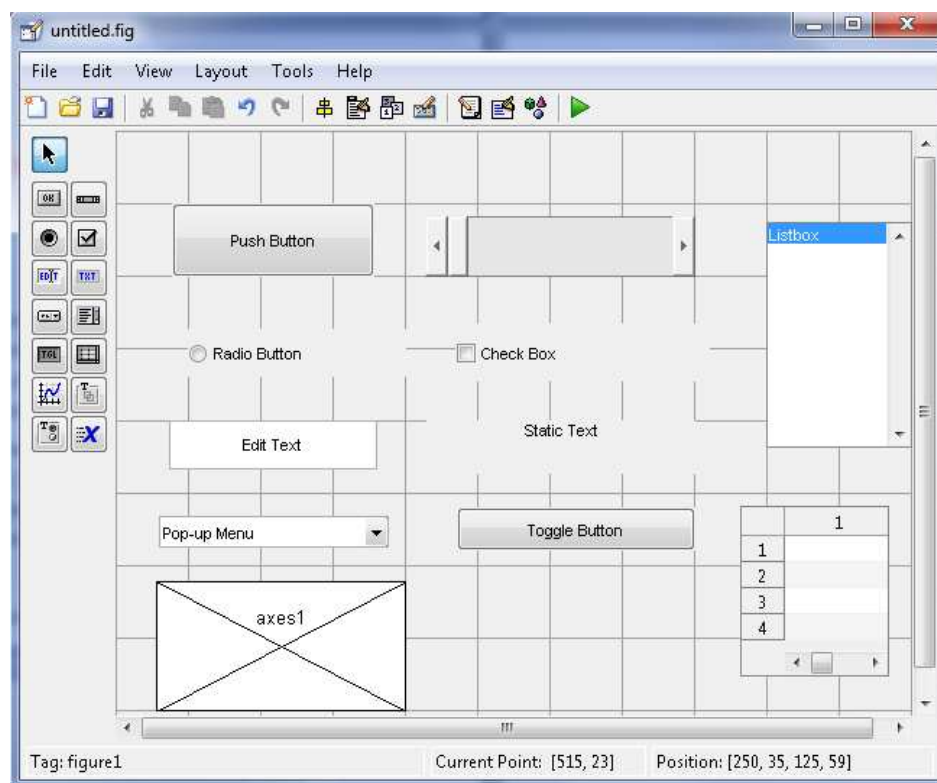


Figura 126. Croquis tipos de comandos

La interfaz nos va creando código conforme introducimos botones, gráficas u otros accesorios, cada dispositivo tiene asociado una llamada “callback”, el lenguaje de programación en este ámbito es ligeramente diferente, se mantiene el normal pero se utilizan dos comandos fundamentales: “set” y “get”

La asignación u obtención de valores de los componentes se realiza mediante las sentencias set y get. Para acceder a valores de una caja de texto utilizaríamos “get”, sin embargo, si lo que queremos es ponerle un valor utilizaríamos “set”

Descripción Hilo

La interfaz crea dos archivos por defecto, el “.fig” (interfaz gráfica) y “.m” donde estará la programación de la GUI. Para la programación se han utilizado programas y funciones que incluía el archivo “hilo.m” (espectrofun, leer, pasobajo), salvando las distancias el programa funciona igual que el hilo.m normal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Salida Gráfica

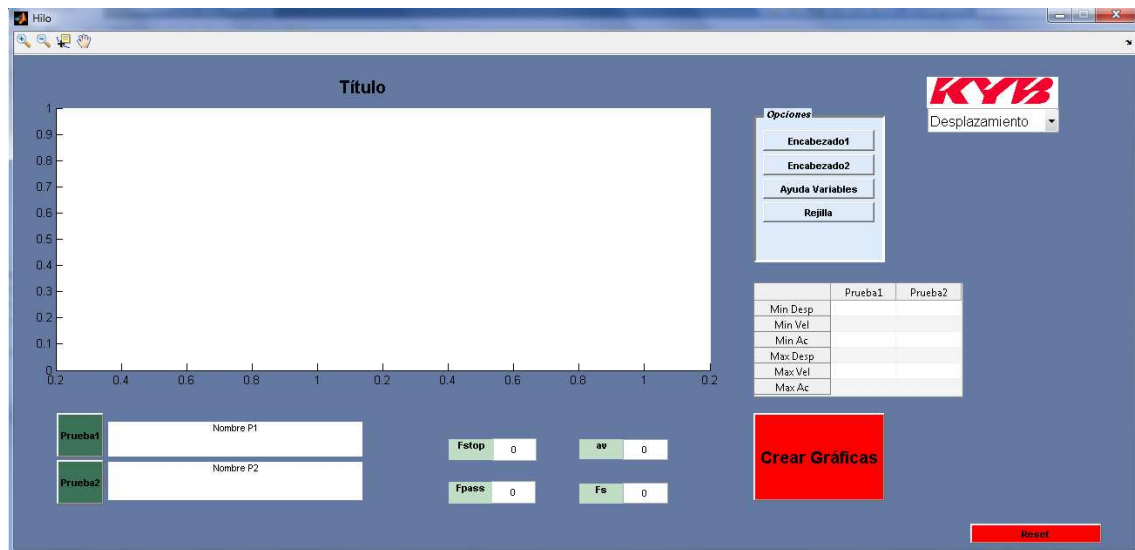


Figura 128. Interfaz Hilo.

Este es el interfaz que se ha diseñado

Variables de entrada:

Prueba1: botón que permite elegir una prueba.

Prueba2: botón que permite elegir una prueba.

Fstop: frecuencia de corte filtro paso-bajo.

Fpass: frecuencia límite de paso.

Av: número de puntos ventana PSD.

Fs: frecuencia de muestreo de la prueba.

Otros:

Encabezado1: botón que muestra el encabezado de la prueba uno donde puede haber comentarios útiles para el análisis.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Encabezado2: botón que muestra el encabezado de la prueba dos donde puede haber comentarios útiles para el análisis.

Ayuda Variables: botón para mostrar un mensaje emergente con ayuda para introducir las variables.

Rejilla: botón para aplicar una rejilla a la gráfica.

Crear Gráficas: botón para ejecutar el programa.

Reset: borra las gráficas y limpia las variables si queremos introducir otras pruebas.

Tabla: muestra los valores máximos y mínimos de desplazamiento, velocidad y a aceleración.

Pop-up: permite elegir entre gráfica de desplazamiento, velocidad u aceleración.

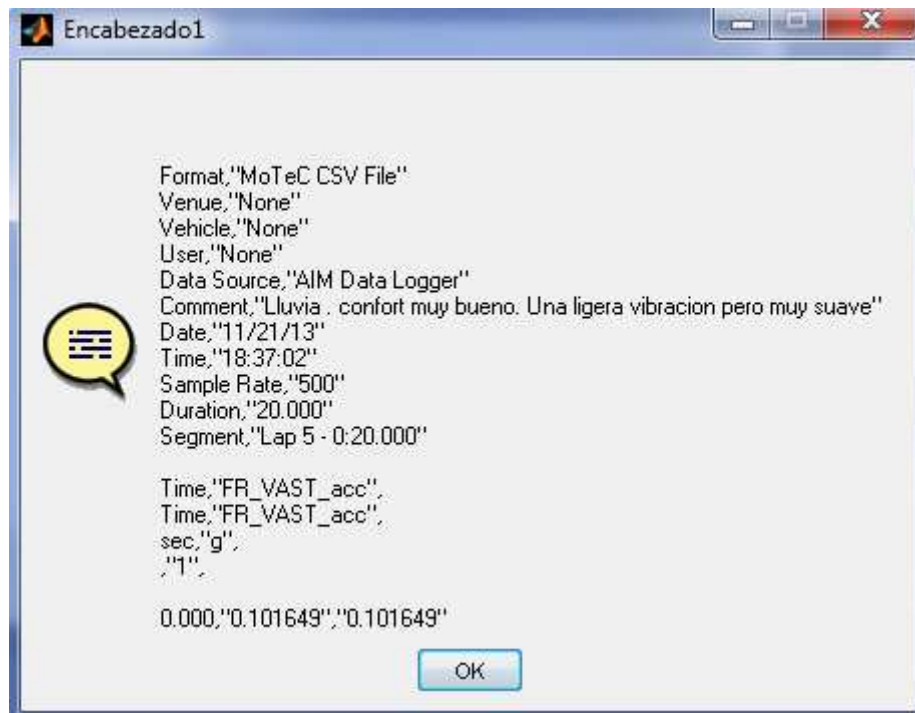
Volver: botón para volver al menú principal.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Ejemplo encabezado:**Figura 129. Encabezado Prueba**

Es interesante porque así podemos conocer información como los comentarios de la prueba, duración, frecuencia de muestreo...

**Figura 130. Ayuda variables**

A la hora de que un usuario que no esté familiarizado con el programa lo utilice es importante que lo haga bien, para ello se ofrece dicha ayuda.

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

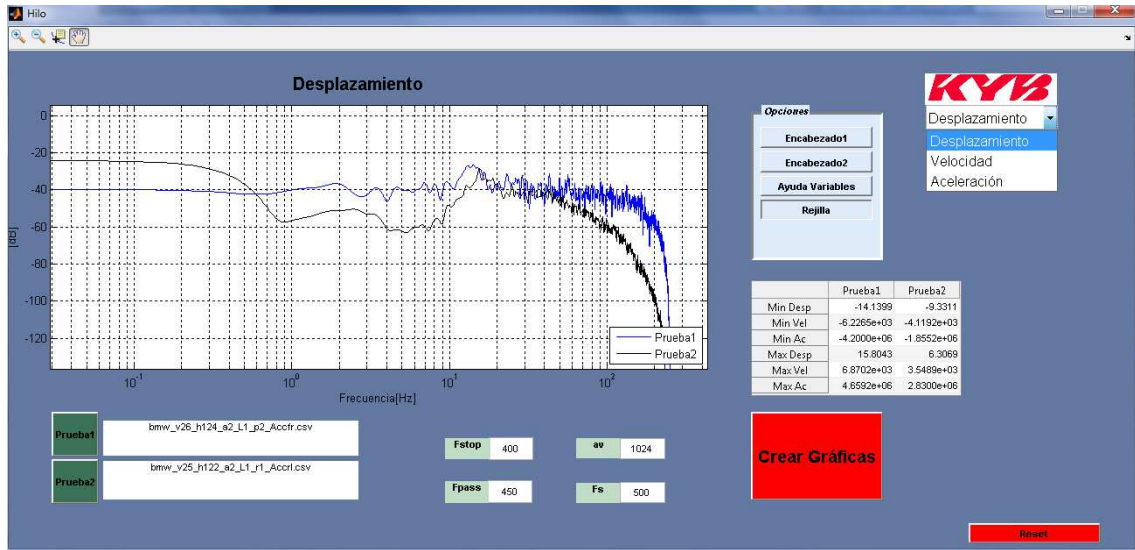


Figura 131. Interfaz Hilo , vista desplazamiento

Disponemos de una pequeña toolbox para manipular las gráficas



Figura 132. Tollbox

Una vez hecha la interfaz gráfica es necesario empaquetar los archivos involucrados y compilarlos para crear una aplicación independiente de Matlab que pueda ser utilizada por cualquiera.

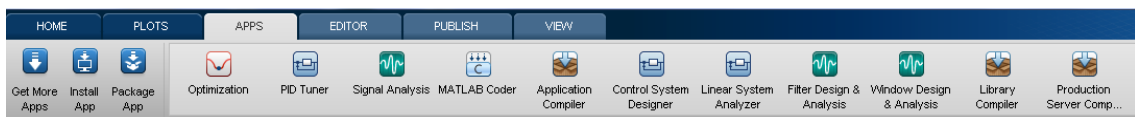


Figura 133. Barra de aplicaciones Matlab

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Dentro de la pestaña de APPS encontramos el compilador de señal así como otras herramientas que pueden resultar útiles a la hora de realizar un ejecutable como pasar el código a C++ con Matlab code.

Una vez compilado mediante “Application Compiles” solo resta instalar el programa en el equipo habiendo previamente instalado el compilador de Matlab (gratuito), este compilador incluye todas las librerías y es capaz de ejecutar los programas compilados con Matlab.



Figura 134. Icono escritorio aplicación

Podemos crear un acceso directo a nuestro programa en el escritorio y ya está listo para ser utilizado.

Programa 3xAceleración

Esta interfaz gráfica muestra el espectro de potencia superpuesto en los tres ejes cartesianos y ofrece la posibilidad también de verlo por separado. Como en el anterior se basa en programas ya existentes descritos previamente.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Salida gráfica

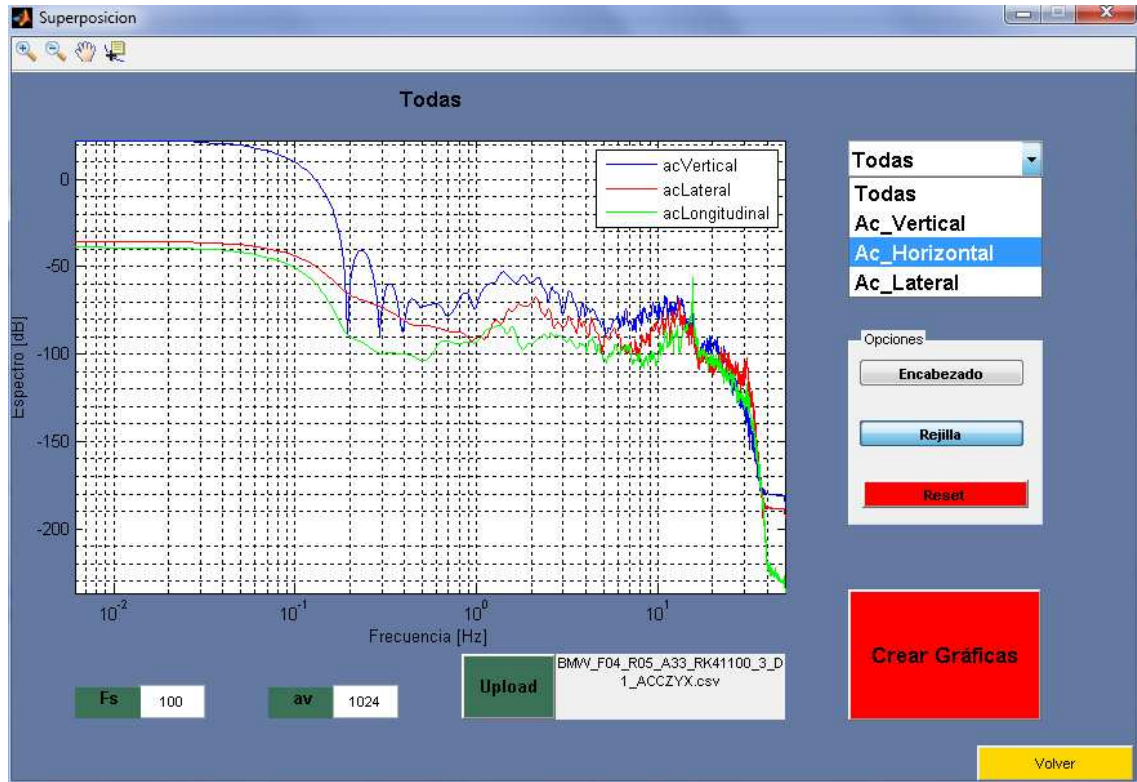


Figura 135. Interfaz Superposición

Salvo la aplicación, tiene las mismas funcionalidades que la anterior interfaz, así que su explicación resultaría redundante.

En esta portada es donde introduciremos el resto de programas con su respectiva interfaz gráfica y los implantaremos en los equipos pertinentes.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

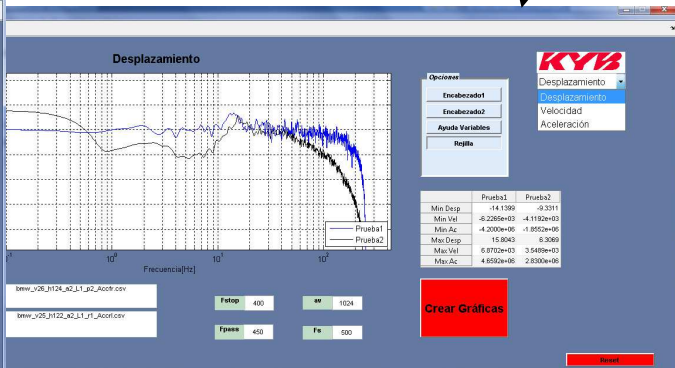
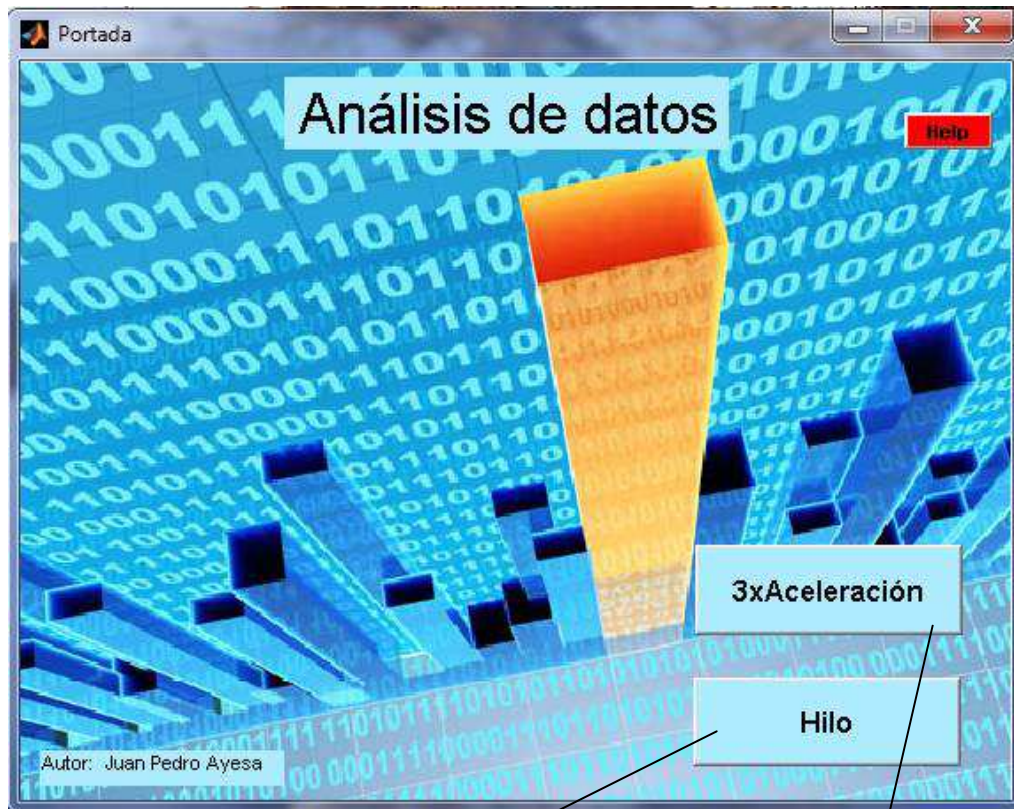


Figura 136. Esquema Interfaz

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

7 Conclusión

En este trabajo se han definido algoritmos potentes que permiten un uso flexible e intuitivo para el usuario y que son útiles para el análisis de confort basándose en la norma ISO2631-1. Además, se han diseñado programas que puedan abarcar varias pruebas y evaluar varias direcciones de propagación de vibración para un cálculo de aceleración global, valor aceleración por bandas, relación con el confort, etc Para ello ha sido necesario familiarizarse con los sistemas de adquisición de datos y de todos los transductores disponibles.

Se ha definido un procedimiento de valoración de resultados y de medición para poder definir un criterio a largo plazo mediante un procedimiento de análisis de los resultados que permitirá tomar decisiones sobre cambio de componentes del amortiguador para mejorar tanto su comportamiento como el confort llegando a un compromiso óptimo.

Además se han solucionado problemas con la adquisición de datos para poder derivar e integrar con precisión. De este modo se abre un nuevo abanico de posibilidades en el estudio de los amortiguadores a partir de los datos recogidos.

También este trabajo el estudiante se ha familiarizado con Octave, Matlab y Race Studio Analysis (programas estrechamente ligados en la adquisición de datos) debido a que ha sido necesario partir de Octave, adaptar a Matlab , desarrollar en este todos los programas y utilizar Race Studio Analysis (RS2) para acondicionar y exportar los datos.

Se han recogido algunos de los aspectos en una prueba práctica en vehículo donde podemos constatar la utilidad de la herramienta en su campo de aplicación, aplicar algunos de los programas diseñados y ver su funcionamiento. Se ha tratado con los medios disponibles de ceñirse al máximo a la norma ISO2631-1.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Finalmente, se ha comenzado a integrar todos los programas en una interfaz de usuario para poder ser utilizada por todos los miembros del equipo sin necesidad de licencia que nos proporcione la flexibilidad conseguida en la programación previa de una forma más amable y visual, siendo esta una interfaz abierta a las futuras complementaciones y mejoras. De esta forma se han creado aplicaciones y manejado las herramientas de Matlab relacionadas con la interfaz gráfica y conocido otras opciones como la conversión de código a C++ u otros lenguajes de programación.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

8 Anexos

8.1 Ficha técnica transductores

8.1.1 Giróscopo AIM

SENSOR DOCUMENTATION		22/09/2005	ANGULAR SPEED	GYROSCOPE
Notes: Gyroscope technical documentation, dimensions and pinout. – Version 1.01				

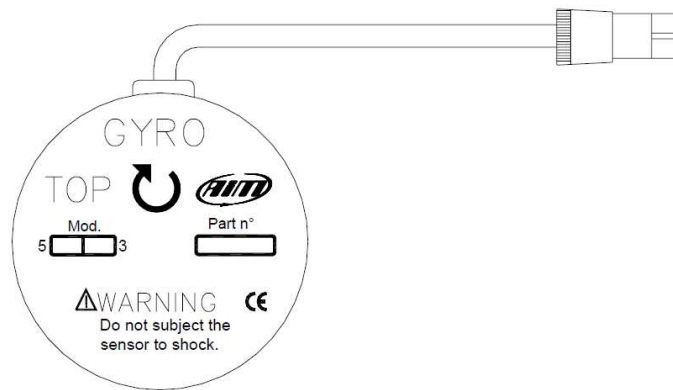


Figure 1: Gyroscope

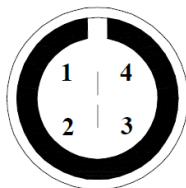
Dimensions in millimetres [inches]

Connector details

Pin	Function	Pin	Function
1	Gyro output	3	V Battery
2	GND	4	N.C.

Specifications

Electrical characteristics	Value
Gyro measure range	± 90 °/sec
Gyro linearity	5% of full scale
Mechanical characteristics	Value
Operating temperature range	From -40° to $+85^{\circ}$ C
Weight	60 g with cable
Housing	Anodised aluminium
Cable length	400 mm



Male binder connector pinout; external view

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

8.1.2 Acelerómetro Dyrtran



SPECIFICATION

MODEL 3010D GENERAL PURPOSE LIVM ACCELEROMETER

SPECIFICATION	VALUE	UNITS
PHYSICAL		
WEIGHT	19	GRAMS
SIZE (HEX x HEIGHT) MODEL	.50 x 1.1	INCHES
MOUNTING PROVISION	10-32, UNF-2B TAPPED HOLE AT BOTTOM	
CONNECTOR, COAXIAL, TOP MOUNTED	10-32, UNF-2A	
CASE /CONNECTOR MATERIAL	316L STAINLESS STEEL	
PERFORMANCE		
SENSITIVITY, $\pm 2\%$ [1]	10.0	mV/G
RANGE F.S. FOR ± 5 VOLTS OUT	± 500	G's
FREQUENCY RESPONSE, $\pm 5\%$	1 to 5000	Hz
FREQUENCY RESPONSE, $\pm 3\text{db}$.66 to 10,000	Hz
MOUNTED RESONANT FREQUENCY, NOM.	30	KHz
EQUIVALENT ELECTRICAL NOISE (RESOLUTION)	.007	G, RMS
AMPLITUDE NON-LINEARITY [2]	± 2.0	% F.S., MAX.
TRANSVERSE SENSITIVITY, MAX.	5	PERCENT
STRAIN SENSITIVITY	.004	G's PER MICROSTRAIN @ 250 μm
ENVIRONMENTAL		
MAXIMUM VIBRATION	± 1000	G's
MAXIMUM SHOCK	3000	G's, PEAK
TEMPERATURE RANGE	-60 TO +250	$^{\circ}\text{F}$
THERMAL COEFFICIENT OF SENSITIVITY	.03	%/ $^{\circ}\text{F}$
SEAL	WELDED/GLASS TO METAL	HERMETIC
ELECTRICAL		
EXCITATION (COMPLIANCE) VOLTAGE RANGE	+18 to +30	VDC
EXCITATION CURRENT RANGE [3]	2 to 20	mA
OUTPUT IMPEDANCE, NOM.	100	OHMS
OUTPUT BIAS VOLTAGE, ± 0.5 VOLTS	10.0	VDC
DISCHARGE TIME CONSTANT, MIN.	.5	SEC.
OUTPUT SIGNAL POLARITY FOR ACCELERATION TOWARD TOP	POSITIVE GOING	

SUPPLIED ACCESSORIES:

[1] MODEL 6200 BERYLLIUM COPPER MOUNTING STUD.

[2] A CALIBRATION CERTIFICATE TRACEABLE TO NIST IS SUPPLIED WITH EACH INSTRUMENT.

NOTES:

[1] MEASURED @ 100 Hz, 1 G, RMS.

[2] ZERO BASED BEST STRAIGHT LINE METHOD

[3] FROM CONSTANT-CURRENT TYPE LIVM POWER UNIT ONLY.

8.1.3 Potenciómetro hilo

Signal conditioner 10V and 10V5 Voltage output 	Excitation voltage	18 ... 27 V DC non stabilized
	Excitation current	20 mA max.
	Output voltage	10V: 0 ... 10 V DC; 10V5: 0.5 ... 10 V DC
	Output current	2 mA max.
	Output load	> 5 kΩ
	Stability (temperature)	$\pm 50 \times 10^{-6}$ / °C f.s.
	Protection	Reverse polarity, short circuit
	Output noise	0.5 mV _{RMS}
	Operating temperature	-20 ... +85 °C
	EMC	According EN 61326:2006

Output signals



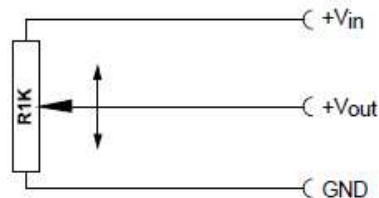
Signal wiring	Signal name	10V	Cable color	Connector pin no.
	R1K	10V		
	+Vin	Excitation +	White	1
	GND	Excitation GND	Brown	2
	+Vout	Signal +	Green	3
		Signal GND	Yellow	4

POSIWIRE® R1K and 10V Analog Output



Voltage divider R1K Potentiometer 	Excitation voltage	32 V DC max. at 1 kΩ (max. power 1 W)
	Potentiometer impedance	1 kΩ ±10 %
	Thermal coefficient	$\pm 25 \times 10^{-6}$ / °C f.s.
	Sensitivity	Depends on the measuring range, individual sensitivity of the sensor is specified on the label
	Voltage divider utilization range	Approx. 3 % ... 97 %
	Operating temperature	-20 ... +85 °C

Output signals



Note: The Potentiometer must be connected as a voltage divider. The input impedance of the following processing circuit should be 10 MΩ min.

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

8.1.4 Acelerómetro capacitivo

Model 7290A Variable capacitance accelerometer

Features

- DC response
- 2 to 150 g full scale
- Motion, low frequency, tilt
- 10K g shock survivability



Description

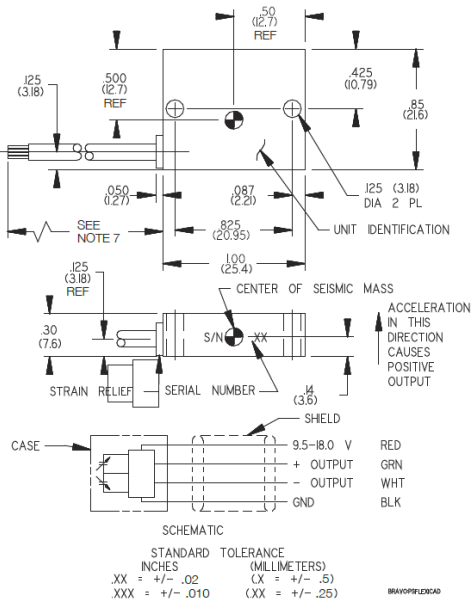
The Endevco® model 7290A Microtron® accelerometer family utilizes unique variable capacitance microsensors. The accelerometers are designed for measurement of relatively low level accelerations in aerospace and automotive environments. Typical applications require measurement of whole body motion immediately after the accelerometer is subjected to a shock motion, and in the presence of severe vibrational inputs.

Gas damping and internal overrange stops enable the anisotropically-etched silicon microsensors to withstand high shock and acceleration loads.

The model 7290A can operate from 9.5 V to 18.0 V and provide a high level, low impedance output. The ± 2 volt differential output is dc coupled at a dc bias of approximately 3.6 V. Frequency response is controlled by the near-critically damped sensors. The use of gas damping results in very small thermally-induced changes of frequency response.

Endevco three-channel systems, model 136 or 436 are recommended as signal conditioner and power supply.

U.S. Patents 4,574,327, 4,609,968 and 4,999,735



KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Specifications

All values are typical at +75°F (+24°C) and 15 Vdc excitation unless otherwise stated. Calibration data, traceable to the National Institute of Standards, (NIST), is supplied.

Dynamic characteristics	Units	7290A-2	-10	-30	-50	-100	-150
Range [1]	g	±2	±10	±30	±50	±100	±150
Sensitivity	mV/g	1000 ±50	200 ±10	66 ±4	40 ±2	20 ±1	13.2 ±0.66
Frequency response (± 5%) [2]	Hz	0 to 15	0 to 500	0 to 800	0 to 1000	0 to 1000	0 to 1000
Mounted resonance frequency	Hz	1300	3000	5500	6000	6000	6000
Non-linearity and hysteresis	% FSO typ (max)	±0.20 (±0.50)	±0.20 (±0.50)	±0.20 (±0.50)	±0.20 (±0.50)	±1 (±2)	±1 (±2)
Transverse sensitivity [3]	% (max)	2	2	2	2	2	2
Zero measurand output	mV	±50	±50	±50	±50	±50	±50
Damping ratio		4.0	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
Damping ratio change							
From -65°F to +250°F [-55°C to +121°C]	%/°C	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08	+0.08
Thermal zero shift (max)							
From 32°F to 122°F [0°C to 50°C]	% FSO [4]	±1.0	±1.0	±1.0	±1.0	±1.0	±1.0
From -13°F to +167°F [-25°C to +75°C]	% FSO	±2.0	±2.0	±2.0	±2.0	±2.0	±2.0
Thermal sensitivity shift (max)							
From 32°F to 122°F [0°C to +50°C]	%	±2.0	±2.0	±2.0	±2.0	±2.0	±2.0
From -13°F to +167°F [-25°C to +75°C]	%	±3.0	±3.0	±3.0	±3.0	±3.0	±3.0
Thermal transient error per ISA RP 37.2	Equiv. g/°C	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Overrange (determined by electrical clipping or mechanical stops, whichever is smaller.)							
Electrical clipping	g	-3.5/+3.8	-18/+19	-53/+57	-87/+95	-175/+190	-265/+288
Mechanical stops, typical	g	±4	±30	±90	±90	±150	±300
Recovery time	µs	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Threshold (resolution) [5]	Equiv. g's	0.0005	0.0025	0.0075	0.013	0.013	0.013
Base strain sensitivity, max	Equiv. g's	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Magnetic susceptibility (@ 100 gauss, 60 Hz)	Equiv. g's	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Warm-up time (to within 1%)	ms	1	1	1	1	1	1

Electrical characteristics

Excitation voltage	9.5 to 18.0 Vdc
Current drain	8.5 mA typ, 10 mA max
Output impedance/load	500 ohms max/10K ohms resistance minimum, 0.1 µF capacitance maximum
Residual noise	100 µV rms typ, 0.5 to 100 Hz 500 µV rms typ, 0.5 Hz to 10 kHz

Physical characteristics

Case material	Anodized aluminum alloy
Electrical connections	Integral cable, four conductor No. 28 AWG, Teflon® insulated leads, braided shield, Hyperflex™ jacket
Mounting/torque	Two holes for 4-40 or M3 mounting screws / 6 lbf-in (0.68 Nm)
Weight	12 grams without cable (cable weighs 9 grams/meter)

Environmental characteristics

Acceleration limits (in any direction)	
Static	20 000 g
Vibration	100 g sinusoidal 20 - 2000 Hz / 40 g rms random 20 - 2000 Hz
Shock	5000 g (150 µS haversine pulse) for -2 and -10; 10 000 g (80 µS haversine pulse) for -30, -50, -100 and -150
Zero shift	0.1% FSO typical at 5000 g
Temperature	
Operating	-65°F to +250°F [-55°C to +121°C]
Storage	-100°F to +300°F [-73°C to +150°C]
Humidity/altitude	Unaffected. Unit is epoxy sealed.
ESD sensitivity	Unit meets Class 2 requirements of MIL-STD-883, Method 3015

8.2 Código Fuente

A continuación se encuentran algunos de los códigos programados para el trabajo que pueden resultar de utilidad para la comprensión del funcionamiento de ellos y para analizarlos en detalle.

8.2.1 Código Main

```
%%
% INTRODUCIR ARCHIVOS EN EL FORMATO DESEADO
clc ,clear all ,formato=input('¿En que formato ha introducido las pruebas?, 1==>txt , 2==>CSV :
');
if formato==1
% DATOS EN FORMATO
TXT%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Introducir datos de ACVertical Wk, P1
id=fopen('bism_v25_h122_a2_L1_v1_80_Accv.txt','r');
%Introducir datos de ACVertical Wk, P2
id2=fopen('bism_v26_h124_a2_L1_v1_50_Accv.txt','r');
%Introducir datos de ACLateral Wd, P1
id3=fopen('bism_v25_h122_a2_L1_v1_80_Accl.txt','r');
%Introducir datos de ACLateral Wd, P2
id4=fopen('bism_v26_h124_a2_L1_v1_80_Accl.txt','r');
%Introducir datos de ACFrontal Wd, P1
id5=fopen('.txt','r');
%Introducir datos de ACFrontal Wd, P2
id6=fopen('.txt','r');
%Introducir datos de ACFrontal Wc, P1
id13=fopen('.txt','r');
%Introducir datos de ACFrontal Wc, P2
id14=fopen('.txt','r');
%Introducir datos de ACVertical Wd, P1
id15=fopen('.txt','r');
%Introducir datos de ACVertical Wd, P2
id16=fopen('.txt','r');
%Introducir datos de Aceleración rotacionalY We, P1
id7=fopen('bism_v25_h122_a2_L1_v1_80_Gpitch.txt','r');
%Introducir datos de Aceleración rotacionalY We, P2
id8=fopen('bism_v26_h124_a2_L1_v1_80_Gpitch.txt','r');
%Introducir datos de Aceleración rotacionalX We, P1
id9=fopen('bism_v25_h122_a2_L1_v1_80_Groll.txt','r');
%Introducir datos de Aceleración rotacionalX We, P2
id10=fopen('bism_v26_h124_a2_L1_v1_80_Groll.txt','r');
%Introducir datos de Aceleración rotacionalZ We, P1
id11=fopen('.txt');
%Introducir datos de Aceleración rotacionalZ We, P2
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
id12=fopen('.txt');
```

```
%%%%%%%%%%%%%DATOS FORMATO
XLS,CSV%%%%%%%%%%%%%
else
% Introducir datos , P1
[~,id]=xlsread('bism_v25_h122_a2_L1_80_Accv.csv');
% Introducir datos , P2
[~,id2]=xlsread('bism_v26_h124_a2_L1_80_Accv.csv');
end
```

```
%% NO
MODIFICAR%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%
if formato==1
MAIN2;
else
CSVread
end
%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%
```

8.2.2 Código Main2

```
%PROGRAMA PRINCIPAL PARA EVALUAR EL CONFORT MEDIANTE EL ANÁLISIS DE
VIBRACIONES EN EL ASIENTO Y RESPALDO MEDIANTE LAS PONDERACIONES WK WD
WE WC
```

```
clc %Para limpiar la ventana de comandos cada vez que ejecuto el programa
```

```
%datos para la fft
av=1024;
wz=hanning(av);
```

```
LugarConfort=input('Inserte donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 ,
Ambos==>3:');
```

```
while LugarConfort~=1 && LugarConfort~=2 && LugarConfort~=3
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('Inserte donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 ,
Ambos==>3:');
clc
end
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if LugarConfort==1
TipoEvaluacion=input('Inserte que se desea evaluar: Aceleración lineal==>1 ,Aceleración
rotacional==>2 ,Las dos==>3 :');
```

```
while TipoEvaluacion~=1 && TipoEvaluacion~=2 && TipoEvaluacion~=3
disp(' El tipo de Evaluación elegida no se corresponde con ninguna de los propuestas')
TipoEvaluacion=input('Inserte que desea evaluar: Aceleración lineal==>1 , Aceleración
rotacional==>2 , Las dos==>3 :')
clc
end
```

```
if TipoEvaluacion==1
;%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
disp('ANÁLISIS ACELERACIÓN LINEAL EN EL ASIENTO')
ACC3;
```

%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (PONDERARADAS,)

```
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S?
Si==>1 , No==>2 :');
```

```
while Complemento~=1 && Complemento~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y R.M.S? Si==>1 ,
No==>2');
clc
end
```

```
if Complemento==1 ;
```

```
field1 = 'awkz'; value1 = awkz;
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
field3 = 'awdx'; value3 = awdx;
field4 = 'awk2z'; value4 = awk2z;
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;
field6 = 'awd2x'; value6 = awd2x;
AceleracionesPonderadas=
struct(field1,value1,field2,value2,field3,value3,field4,value4,field5,value5,field6,value6)
```

```
if sum(ab9)~=0
disp('awkz_max==>')
[awkz_max]=MTVV(ab9);
end
```

```
if sum(ab10)~=0
disp('awk2z_max==>')
[awk2z_max]=MTVV(ab10);
end
```

```
disp(' ')
if sum(ab7)~=0
disp('awdy_max==>')
[awdy_max]=MTVV(ab7);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
end
if sum(ab8)~=0
disp('awd2y_max==>')
[awd2y_max]=MTVV(ab8);
end
if sum(ab3)~=0
disp('awdx_max==>')
[awdx_max]=MTVV(ab3);
end
if sum(ab4)~=0
disp('awd2x_max==>')
[awd2x_max]=MTVV(ab4);
end
disp(' ')
```

```
AV_AC % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA RESULTANTE
GraficosACC %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA: accv accl accfr
end
```

```
%valores por bandas
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
clc
end
disp(' ')
if banda==1 ;
vector=1:1:19;
if sum(ab9)~=0
disp('Aceleración vertical asiento')
[vector',ab9,ab10]
end
if sum(ab7)~=0
disp('Aceleración lateral asiento')
[vector',ab7,ab8]
end
if sum(ab3)~=0
disp('Aceleración frontal asiento')
[vector',ab3,ab4]
end
end
%SALIDA RESULTADOS:
Graficas_Acelerometros;

else if TipoEvaluacion==2;
%%%%%%%%%%%%%%
disp('ANÁLISIS ACELERACIÓN ROTACIONAL EN EL ASIENTO')
disp(' ')
Gyro_PRINCIPAL;
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (SIN PONDERAR, EN FUNCION DELTIEMPO...)
```

```
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S? Si==>1 , No==>2 :');
```

```
while Complemento~=1 && Complemento~=2
```

```
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
```

```
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas originales? Si==>1 , No==>2');
```

```
clc
```

```
end
```

```
if Complemento==1 ;
```

```
field1 = 'awey'; value1 = away;
```

```
field2 = 'awex'; value2 = awex;
```

```
field3 = 'awez'; value3 = awez;
```

```
field4 = 'awe2y'; value4 = awe2y;
```

```
field5 = 'awe2x'; value5 = awe2x;
```

```
field6 = 'awe2z'; value6 = awe2z;
```

```
AceleracionesPonderadas=
```

```
struct(field1,value1,field2,value2,field3,value3,field4,value4,field5,value5,field6,value6)
```

```
if sum(ab11)~=0
```

```
disp('awex_max==>')
```

```
[awex_max]=MTVV(ab11);
```

```
end
```

```
if sum(ab12)~=0
```

```
disp('awe2x_max==>')
```

```
[awe2x_max]=MTVV(ab12);
```

```
end
```

```
if sum(ab13)~=0
```

```
disp('awey_max==>')
```

```
[awey_max]=MTVV(ab13);
```

```
end
```

```
if sum(ab14)~=0
```

```
disp('awe2y_max==>')
```

```
[awe2y_max]=MTVV(ab14);
```

```
end
```

```
if sum(ab15)~=0
```

```
disp('awez_max==>')
```

```
[awez_max]=MTVV(ab15);
```

```
end
```

```
if sum(ab16)~=0
```

```
disp('awe2z_max==>')
```

```
[awe2z_max]=MTVV(ab16);
```

```
end
```

```
disp('')
```

```
AV_G % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA RESULTANTE
```

```
GraficosG %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA: PITCH Y ROLL Y
```

```
YAW
```

```
end
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

%SALIDA RESULTADOS:

```
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,  
No==>2 :');  
while banda~=1 && banda~=2  
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')  
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,  
No==>2 :');  
clc  
end  
if banda==1 ;  
vector=1:1:19;  
  
if sum(ab13)~=0  
disp('Aceleración pitch asiento')  
[vector',ab13,ab14]  
end  
if asum(ab11)~=0  
disp('Aceleración roll asiento')  
[vector',ab11,ab12]  
end  
if sum(ab15)~=0  
disp('Aceleración yaw asiento')  
[vector',ab15,ab16]  
end  
end  
disp('')  
Graficas_Gyro;  
  
else if  
TipoEvaluacion==3;%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%  
disp('ANÁLISIS AMBAS ACELERACIONES PARA EL ASIENTO')  
disp('')  
ACC3;  
Gyro_PRINCIPAL;  
  
%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (SIN PONDERAR, EN FUNCION DEL  
TIEMPO...)  
disp('')  
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S?  
Si==>1 , No==>2 :');  
  
while Complemento~=1 && Complemento~=2  
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')  
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES EFICACES?  
Si==>1 , No==>2');  
clc  
end  
  
if Complemento==1 ;  
field1 = 'awkz'; value1 = awkz;  
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
field3 = 'awdx'; value3 = awdx;  
field4 = 'awk2z'; value4 = awk2z;  
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;  
field6 = 'awd2x'; value6 = awd2x;  
field7 = 'awey'; value7 = awey;  
field8 = 'awex'; value8 = awex;  
field9 = 'awez'; value9 = awez;  
field10 = 'awe2y'; value10 = awe2y;  
field11 = 'awe2x'; value11 = awe2x;  
field12 = 'awe2z'; value12 = awe2z;
```

```
if sum(ab9)~=0  
disp('awkz_max==>')  
[awkz_max]=MTVV(ab9);  
end  
if sum(ab10)~=0  
disp('awk2z_max==>')  
[awk2z_max]=MTVV(ab10);  
end  
disp(' ')  
if sum(ab7)~=0  
disp('awdy_max==>')  
[awdy_max]=MTVV(ab7);  
end  
if sum(ab8)~=0  
disp('awd2y_max==>')  
[awd2y_max]=MTVV(ab8);  
end  
if sum(ab3)~=0  
disp('awdx_max==>')  
[awdx_max]=MTVV(ab3);  
end  
if sum(ab4)~=0  
disp('awd2x_max==>')  
[awd2x_max]=MTVV(ab4);  
end  
if sum(ab11)~=0  
disp('awex_max==>')  
[awex_max]=MTVV(ab11);  
end  
if sum(ab12)~=0  
disp('awe2x_max==>')  
[awe2x_max]=MTVV(ab12);  
end  
if sum(ab13)~=0  
disp('awey_max==>')  
[awey_max]=MTVV(ab13);  
end  
if sum(ab14)~=0  
disp('awe2y_max==>')  
[awe2y_max]=MTVV(ab14);  
end  
if sum(ab15)~=0
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
disp('awez_max==>')
[awez_max]=MTVV(ab15);
end
if sum(ab16)~=0
disp('awe2z_max==>')
[awe2z_max]=MTVV(ab16);
end
disp(' ')
AceleracionesPonderadas=
struct(field1,value1,field2,value2,field3,value3,field4,value4,field5,value5,field6,value6,field7,value7,field8,value8,field9,value9,field10,value10,field11,value11,field12,value12)
```

AV_ACyG % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA
RESULTANTE
GraficosACyGbis %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA :ACCV ACCL
ACCFR PITCH Y ROLL

end

%SALIDA RESULTADOS:

```
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,  
No==>2 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,  
No==>2 :');
clc
end
if banda==1 ;
vector=1:1:19;
if sum(ab9)~=0
disp('Aceleración vertical asiento')
[vector',ab9,ab10]
end
if sum(ab7)~=0
disp('Aceleración lateral asiento')
[vector',ab7,ab8]
end
if sum(ab3)~=0
disp('Aceleración frontal asiento')
[vector',ab3,ab4]
end
if sum(ab13)~=0
disp('Aceleración pitch asiento')
[vector',ab13,ab14]
end
if asum(ab11)~=0
disp('Aceleración roll asiento')
[vector',ab11,ab12]
end
if sum(ab15)~=0
disp('Aceleración yaw asiento')
[vector',ab15,ab16]
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
end
end
Graficas_Acelerometros;
Graficas_Gyro;
end
end
end

else if LugarConfort==2; %RESPALDO
disp('ANÁLISIS ACELERACION LINEAL EN EL RESPALDO')
ACC4;

%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (SIN PONDERAR, EN FUNCION
DELTIEMPO...)
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S?
Si==>1 , No==>2 :');

while Complemento~=1 && Complemento~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas originales? Si==>1 , No==>2');
clc
end

if Complemento==1 ;

field15 = 'awdz'; value15 = awdz;
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
field13 = 'awcx'; value13 = awcx;
field16 = 'awd2z'; value16 = awd2z;
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;
field14 = 'awc2x'; value14 = awc2x;
AceleracionesPonderadas=
struct(field15,value15,field2,value2,field13,value13,field16,value16,field5,value5,field14,value14
)
disp(' ')
if sum(ab1)~=0
disp('awcx_max==>')
[awcx_max]=MTVV(ab1);
end
if sum(ab2)~=0
disp('awc2x_max==>')
[awc2x_max]=MTVV(ab2);
end
if sum(ab7)~=0
disp('awdy_max==>')
[awdy_max]=MTVV(ab7);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
end
if sum(ab8)~=0
disp('awd2y_max==>')
[awd2y_max]=MTVV(ab8);
end
if sum(ab5)~=0
disp('awdz_max==>')
[awdz_max]=MTVV(ab5);
end
if sum(ab6)~=0
disp('awd2z_max==>')
[awk2z_max]=MTVV(ab6);
end
AV_AA % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA RESULTANTE
Graficos_AccA %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA: accl accfr
end

%SALIDA RESULTADOS:
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
clc
end
if banda==1 ;
vector=1:1:19;
if sum(ab5)~=0
disp('Aceleración vertical respaldo')
[vector',ab5,ab6]
end
if sum(ab7)~=0
disp('Aceleración lateral respaldo')
[vector',ab7,ab8]
end
if sum(ab1)~=0
disp('Aceleración frontal respaldo')
[vector',ab1,ab2]
end
end
Graficas_Acelerometros2;

else if LugarConfort==3 % RESPALDO Y ASIENTO

%RESPALDO
ACC4;

%ASIENTO
ACC3BIS;
Gyro_PRINCIPAL;
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (SIN PONDERAR, EN FUNCION DELTIEMPO...)

```
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S?  
Si==>1 , No==>2 :');
```

```
while Complemento~=1 && Complemento~=2
```

```
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
```

```
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES EFICACES?  
Si==>1 , No==>2');
```

```
clc
```

```
end
```

```
if Complemento==1 ;
```

```
disp('ANÁLISIS ACELERACION EN EL RESPALDO')
```

```
disp(' ')
```

```
if sum(ab1)~=0
```

```
disp('awcx_max==>')
```

```
[awcx_max]=MTVV(ab1);
```

```
end
```

```
if sum(ab2)~=0
```

```
disp('awc2x_max==>')
```

```
[awc2x_max]=MTVV(ab2);
```

```
end
```

```
if sum(ab7)~=0
```

```
disp('awdy_max==>')
```

```
[awdy_max]=MTVV(ab7);
```

```
end
```

```
if sum(ab8)~=0
```

```
disp('awd2y_max==>')
```

```
[awd2y_max]=MTVV(ab8);
```

```
end
```

```
if sum(ab5)~=0
```

```
disp('awdz_max==>')
```

```
[awdz_max]=MTVV(ab5);
```

```
end
```

```
if sum(ab6)~=0
```

```
disp('awd2z_max==>')
```

```
[awd2z_max]=MTVV(ab6);
```

```
end
```

```
disp(' ');
```

```
field15 = 'awdz'; value15 = awdz;
```

```
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
```

```
field13 = 'awcx'; value13 = awcx;
```

```
field16 = 'awd2z'; value16 = awd2z;
```

```
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;
```

```
field14 = 'awc2x'; value14 = awc2x;
```

```
AceleracionesPonderadas=
```

```
struct(field15,value15,field2,value2,field13,value13,field16,value16,field5,value5,field14,value14
```

```
)
```

```
AV_AA % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA RESULTANTE
```

```
disp('ANÁLISIS ACELERACIONES LINEAL Y ROTACIONAL PARA EL ASIENTO')
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if sum(ab9)~=0
disp('awkz_max==>')
[awkz_max]=MTVV(ab9);
end
if sum(ab10)~=0
disp('awk2z_max==>')
[awk2z_max]=MTVV(ab10);
end
disp(' ')
if sum(ab7)~=0
disp('awdy_max==>')
[awdy_max]=MTVV(ab7);
end
if sum(ab8)~=0
disp('awd2y_max==>')
[awd2y_max]=MTVV(ab8);
end
if sum(ab3)~=0
disp('awdx_max==>')
[awdx_max]=MTVV(ab3);
end
if sum(ab4)~=0
disp('awd2x_max==>')
[awd2x_max]=MTVV(ab4);
end
if sum(ab11)~=0
disp('awex_max==>')
[awex_max]=MTVV(ab11);
end
if sum(ab12)~=0
disp('awe2x_max==>')
[awe2x_max]=MTVV(ab12);
end
if sum(ab13)~=0
disp('awey_max==>')
[awey_max]=MTVV(ab13);
end
if sum(ab14)~=0
disp('awe2y_max==>')
[awe2y_max]=MTVV(ab14);
end
if sum(ab15)~=0
disp('awez_max==>')
[awez_max]=MTVV(ab15);
end
if sum(ab16)~=0
disp('awe2z_max==>')
[awe2z_max]=MTVV(ab16);
end
disp(' ')

field1 = 'awkz'; value1 = awkz;
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
field3 = 'awdx'; value3 = awdx;
field4 = 'awk2z'; value4 = awk2z;
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;
field6 = 'awd2x'; value6 = awd2x;
field7 = 'awey'; value7 = awey;
field8 = 'awex'; value8 = awex;
field9 = 'awez'; value9 = awez;
field10 = 'awe2y'; value10 = awe2y;
field11 = 'awe2x'; value11 = awe2x;
field12 = 'awe2z'; value12 = awe2z;
```

AceleracionesPonderadas=

```
struct(field1,value1,field2,value2,field3,value3,field4,value4,field5,value5,field6,value6,field7,value7,field8,value8,field9,value9,field10,value10,field11,value11,field12,value12)
```

AV_ACyG % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA
RESULTANTE

GraficosACyGbis %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA :ACCV ACCL
ACCFR PITCH Y ROLL

Graficos_AccA %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA: accl accfr
end

%SALIDA RESULTADOS:

```
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,  
No==>2 :');  
while banda~=1 && banda~=2  
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')  
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,  
No==>2 :');  
clc  
end  
if banda==1 ;  
vector=1:1:19;  
if sum(ab9)~=0  
disp('Aceleración vertical asiento')  
[vector',ab9,ab10]  
end  
if sum(ab7)~=0  
disp('Aceleración lateral asiento')  
[vector',ab7,ab8]  
end  
if sum(ab3)~=0  
disp('Aceleración frontal asiento')  
[vector',ab3,ab4]  
end  
if sum(ab13)~=0  
disp('Aceleración pitch asiento')  
[vector',ab13,ab14]  
end  
if sum(ab11)~=0  
disp('Aceleración roll asiento')  
[vector',ab11,ab12]
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales


```
end
if sum(ab15)~=0
disp('Aceleración yaw asiento')
[vector',ab15,ab16]
end
if sum(ab5)~=0
disp('Aceleración vertical respaldo')
[vector',ab5,ab6]
end
if sum(ab7)~=0
disp('Aceleración lateral respaldo')
[vector',ab7,ab8]
end
if sum(ab1)~=0
else
disp('Aceleración frontal respaldo')
[vector',ab1,ab2]
end
end
Graficas_Acelerometros;
Graficas_Acelerometros2;
Graficas_Gyro;
```

```
end
end
end
```

```
disp('')
```

8.2.3 Código confort asiento

```
LugarConfort=input('Inserte donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 ,  
Ambos==>3:');
```

```
while LugarConfort~=1 && LugarConfort~=2 && LugarConfort~=3
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('Inserte donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 ,  
Ambos==>3:');
clc
end
```

```
if LugarConfort==1
TipoEvaluacion=input('Inserte que se desea evaluar: Aceleración lineal==>1 ,Aceleración  
rotacional==>2 ,Las dos==>3 :');
```

```
while TipoEvaluacion~=1 && TipoEvaluacion~=2 && TipoEvaluacion~=3
disp(' El tipo de Evaluación elegida no se corresponde con ninguna de los propuestas')
TipoEvaluacion=input('Inserte que desea evaluar: Aceleración lineal==>1 , Aceleración  
rotacional==>2 , Las dos==>3 :')
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
clc  
end
```

```
if TipoEvaluacion==1
```

```
;%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%
```

```
disp('ANÁLISIS ACELERACIÓN LINEAL EN EL ASIENTO')  
ACC3;
```

```
%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (PONDERARADAS,)
```

```
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S?  
Si==>1 , No==>2 :');
```

```
while Complemento~=1 && Complemento~=2
```

```
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
```

```
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y R.M.S? Si==>1 ,  
No==>2');
```

```
clc
```

```
end
```

```
if Complemento==1 ;
```

```
field1 = 'awkz'; value1 = awkz;
```

```
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
```

```
field3 = 'awdx'; value3 = awdx;
```

```
field4 = 'awk2z'; value4 = awk2z;
```

```
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;
```

```
field6 = 'awd2x'; value6 = awd2x;
```

```
AceleracionesPonderadas=
```

```
struct(field1,value1,field2,value2,field3,value3,field4,value4,field5,value5,field6,value6)
```

```
if sum(ab9)~=0
```

```
disp('awkz_max==>')
```

```
[awkz_max]=MTVV(ab9);
```

```
end
```

```
if sum(ab10)~=0
```

```
disp('awk2z_max==>')
```

```
[awk2z_max]=MTVV(ab10);
```

```
end
```

```
disp('')
```

```
if sum(ab7)~=0
```

```
disp('awdy_max==>')
```

```
[awdy_max]=MTVV(ab7);
```

```
end
```

```
if sum(ab8)~=0
```

```
disp('awd2y_max==>')
```

```
[awd2y_max]=MTVV(ab8);
```

```
end
```

```
if sum(ab3)~=0
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
disp('awdx_max==>')
[awdx_max]=MTVV(ab3);
end
if sum(ab4)~=0
disp('awd2x_max==>')
[awd2x_max]=MTVV(ab4);
end
disp('')
```

```
AV_AC % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA RESULTANTE
GraficosACC %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA: accv accl accfr
end
```

```
%valores por bandas
```

```
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
clc
end
disp('')
if banda==1 ;
vector=1:1:19;
if sum(ab9)~=0
disp('Aceleración vertical asiento')
[vector',ab9,ab10]
end
if sum(ab7)~=0
disp('Aceleración lateral asiento')
[vector',ab7,ab8]
end
if sum(ab3)~=0
disp('Aceleración frontal asiento')
[vector',ab3,ab4]
end
end
end
%SALIDA RESULTADOS:
Graficas_Acelerometros;
```

8.2.4 Código ACC3

```
LugarConfort=input('Inserte donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 ,
Ambos==>3:');
```

```
while LugarConfort~=1 && LugarConfort~=2 && LugarConfort~=3
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('Inserte donde quiere evaluar el confort: Asiento==>1 , Respaldo==>2 ,
Ambos==>3:');
clc
end

if LugarConfort==1
TipoEvaluacion=input('Inserte que se desea evaluar: Aceleración lineal==>1 ,Aceleración
rotacional==>2 ,Las dos==>3 :');

while TipoEvaluacion~=1 && TipoEvaluacion~=2 && TipoEvaluacion~=3
disp(' El tipo de Evaluación elegida no se corresponde con ninguna de los propuestas')
TipoEvaluacion=input('Inserte que desea evaluar: Aceleración lineal==>1 , Aceleración
rotacional==>2 , Las dos==>3 :')
clc
end

if TipoEvaluacion==1
;%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%

disp('ANÁLISIS ACELERACIÓN LINEAL EN EL ASIENTO')
ACC3;

%POSIBILIDAD DE VISUALIZAR + GRAFICAS (PONDERARADAS,)
Complemento=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y VALORES R.M.S?
Si==>1 , No==>2 :');

while Complemento~=1 && Complemento~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar las gráficas PONDERADAS Y R.M.S? Si==>1 ,
No==>2');
clc
end

if Complemento==1 ;

field1 = 'awkz'; value1 = awkz;
field2 = 'awdy'; value2 = awdy;
field3 = 'awdx'; value3 = awdx;
field4 = 'awk2z'; value4 = awk2z;
field5 = 'awd2y'; value5 = awd2y;
field6 = 'awd2x'; value6 = awd2x;
AceleracionesPonderadas=
struct(field1,value1,field2,value2,field3,value3,field4,value4,field5,value5,field6,value6)

if sum(ab9)~=0
disp('awkz_max==>')
[awkz_max]=MTVV(ab9);
end
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if sum(ab10)~=0
disp('awk2z_max==>')
[awk2z_max]=MTVV(ab10);
end
disp(' ')
if sum(ab7)~=0
disp('awdy_max==>')
[awdy_max]=MTVV(ab7);
end
if sum(ab8)~=0
disp('awd2y_max==>')
[awd2y_max]=MTVV(ab8);
end
if sum(ab3)~=0
disp('awdx_max==>')
[awdx_max]=MTVV(ab3);
end
if sum(ab4)~=0
disp('awd2x_max==>')
[awd2x_max]=MTVV(ab4);
end
disp(' ')
```

```
AV_AC % VALORES DE LA ACELERACION PONDERADA EN FRECUENCIA RESULTANTE
GraficosACC %COMPARATIVAS DE ESPECTROS PONDERADOS PARA: accv accl accfr
end
```

```
%valores por bandas
```

```
banda=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
LugarConfort=input('¿Quiere visualizar los valores de aceleración eficaz por bandas? Si==>1 ,
No==>2 :');
clc
end
disp(' ')
if banda==1 ;
vector=1:1:19;
if sum(ab9)~=0
disp('Aceleración vertical asiento')
[vector',ab9,ab10]
end
if sum(ab7)~=0
disp('Aceleración lateral asiento')
[vector',ab7,ab8]
end
if sum(ab3)~=0
disp('Aceleración frontal asiento')
[vector',ab3,ab4]
end
end
end
```

```
%SALIDA RESULTADOS:
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

Graficas_Acelerometros;

8.2.5 Código buscar

```
function buscar(fd)
parada=fscanf(fd,'%c',1);
while parada~=""
parada=fscanf(fd,'%c',1);
end
variable1=fscanf(fd,'%c',1);
if variable1=='0'
variable2=fscanf(fd,'%c',1);
if variable2=='.'
variable3=fscanf(fd,'%c',1);
if variable3=='0'
variable4=fscanf(fd,'%c',1);
if variable4=='0'
variable5=fscanf(fd,'%c',1);
if variable5=='0'
variable6=fscanf(fd,'%c',1);
if variable6=="||"|| variable6=="|"
else
buscar(fd)
end
else
buscar(fd)
end
end
else
buscar(fd)
end
end
else
buscar(fd)
end
end
else
buscar(fd)
end
end
else
buscar(fd)
end
end
```

8.2.6 Código espectrowk

%CALCULAMOS EL ESPECTRO DE LA PRIMERA PRUEBA:

```
%Fs = 100;           % Sampling frequency
T = 1/Fs;           % Sample time
L = length(m1);     % Length of signal
t = m1(:,1);        % Time vector
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
x=m1(:,2);           %vector de datos

NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of x

espc=fft(x);
f = 0:T:(T*length(espc))-0.01;           %vector frecuencia

%CALCULAMOS EL ESPECTRO DE LA SEGUNDA PRUEBA:

%Fs = 100;           % Sampling frequency
T = 1/Fs;           % Sample time
L = length(m2);     % Length of signal
t = m2(:,1);        % Time vector
x2=m2(:,2);         % Vector datos aceleración

NFFT88=2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of x

espc2=fft(x2);
f2=0:T:(T*length(espc2))-0.01;
```

8.2.7 Código ponderacionwk

%programa para la ponderación en frecuencia W_k de la prueba 2, es decir, vibración vertical del asiento.

```
espc2db=10*log10(espc2);
n=length(2*abs(espc2db(1:NFFT/2+1)));
m4=ones(length(espc2db),1);
m5=f2';
```

%vamos a aplicar la ponderacion W_k para la segunda prueba

```
for i=1:n           % voy aplicando un factor de multiplicación para la imagen
de cada frecuencia según la ponderación
    if (m5(i)<1.1)
        m4(i)=abs(espc2db(i))*0.482;
    elseif (m5(i)>=1.11 && m5(i)<1.43)
        m4(i)=abs(espc2db(i))*0.484;
    elseif (m5(i)>=1.43 && m5(i)<1.78)
        m4(i)=abs(espc2db(i))*0.494;
    elseif (m5(i)>=1.78 && m5(i)<2.23)
        m4(i)=abs(espc2db(i))*0.531;
    elseif (m5(i)>=2.23 && m5(i)<2.81)
        m4(i)=abs(espc2db(i))*0.631;
    elseif (m5(i)>=2.81 && m5(i)<3.53)
        m4(i)=abs(espc2db(i))*0.804;
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
elseif( m5(i)>=3.53 && m5(i)<4.48)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.967;
elseif( m5(i)>=4.48 && m5(i)<5.60)
m4(i)=abs(espc2db(i))*1.039;
elseif( m5(i)>=5.60 && m5(i)<7.1)
m4(i)=abs(espc2db(i))*1.054;
elseif( m5(i)>=7.1 && m5(i)<8.94)
m4(i)=abs(espc2db(i))*1.036;
elseif( m5(i)>=8.94 && m5(i)<11.17)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.988;
elseif( m5(i)>=11.17 && m5(i)<14.13)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.902;
else if( m5(i)>=14.13 && m5(i)<17.88)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.768;
elseif( m5(i)>=17.88 && m5(i)<22.35)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.636;
elseif( m5(i)>=22.35 && m5(i)<28.04)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.513;
elseif( m5(i)>=28.04 && m5(i)<35.45)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.405;
elseif( m5(i)>=35.45 && m5(i)<44.99)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.314;
elseif( m5(i)>=44.99 && m5(i)<59.09)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.246;
elseif( m5(i)>=59.09 && m5(i)<70.45)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.186;
elseif( m5(i)>=70.45 && m5(i)<89.67)
m4(i)=abs(espc2db(i))*0.132;
elseif m5(i)>=89.67
m4(i)=0;
end
end
end

%ponderación de la primera prueba
espcdb=10*log10(espc);
n=length(2*abs(espc2db(1:NFFT/2+1)));
m6=ones(length(espcdb),1);
m7=f';

%vamos a aplicar la ponderacion Wk para la segunda prueba

for i=1:n % voy aplicando un factor de multiplicación para la im4agen
de cada frecuencia según la ponderación
if (m7(i)<1.1)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.482;
elseif (m7(i)>=1.11 && m7(i)<1.43)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.484;
elseif (m7(i)>=1.43 && m7(i)<1.78)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.494;
elseif (m7(i)>=1.78 && m7(i)<2.23)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.531;
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*


```
elseif ( m7(i)>=2.23 && m7(i)<2.81)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.631;
elseif ( m7(i)>=2.81 && m7(i)<3.53)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.804;
elseif ( m7(i)>=3.53 && m7(i)<4.48)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.967;
elseif ( m7(i)>=4.48 && m7(i)<5.60)
m6(i)=abs(espcdb(i))*1.039;
elseif ( m7(i)>=5.60 && m7(i)<7.1)
m6(i)=abs(espcdb(i))*1.054;
elseif ( m7(i)>=7.1 && m7(i)<8.94)
m6(i)=abs(espcdb(i))*1.036;
elseif ( m7(i)>=8.94 && m7(i)<11.17)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.988;
elseif ( m7(i)>=11.17 && m7(i)<14.13)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.902;
else if ( m7(i)>=14.13 && m7(i)<17.88)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.768;
elseif ( m7(i)>=17.88 && m7(i)<22.35)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.636;
elseif ( m7(i)>=22.35 && m7(i)<28.04)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.513;
elseif ( m7(i)>=28.04 && m7(i)<35.45)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.405;
elseif ( m7(i)>=35.45 && m7(i)<44.99)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.314;
elseif ( m7(i)>=44.99 && m7(i)<59.09)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.246;
elseif ( m7(i)>=59.09 && m7(i)<70.45)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.186;
elseif ( m7(i)>=70.45 && m7(i)<89.67)
m6(i)=abs(espcdb(i))*0.132;
elseif m7(i)>=89.67
m6(i)=0;
end
end
end
```

Código Awk

%programa para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado así como para el total para la ponderación wk

%ANÁLISIS RMS PARA LA PRUEBA1

```
m8=f;
u1=0;
u2=0;
u3=0;
u4=0;
u5=0;
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
u6=0;
u7=0;
u8=0;
u9=0;
u10=0;
u11=0;
u12=0;
u13=0;
u14=0;
u15=0;
u16=0;
u17=0;
u18=0;
u19=0;
ab=zeros(19,1);
mpond=ones(length(esp),1);
ab18=0;
ab19=0;
n=length(f);
for i=1:n
    if (m8(i)<1.1)
        mpond(i)=0;

        elseif (m8(i)>=1.11 && m8(i)<1.43)
            mpond(i)=sqrt(abs(esp(i))*0.494);
            u1=u1+1;
            j=1;
            ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u1^2));
            elseif (m8(i)>=1.43 && m8(i)<1.78)
                u2=u2+1;
                j=2;
                mpond(i)=sqrt(abs(esp(i))*0.494);
                ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u2^2));

            elseif (m8(i)>=1.78 && m8(i)<2.23)
                mpond(i)=sqrt(abs(esp(i))*0.531);
                u3=u3+1;
                j=3;
                ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u3^2));

            elseif (m8(i)>=2.23 && m8(i)<2.81)
                u4=u4+1;
                j=4;
                mpond(i)=sqrt(abs(esp(i))*0.631);
                ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u4^2));

            elseif (m8(i)>=2.81 && m8(i)<3.53)
                u5=u5+1;
                j=5;
                mpond(i)=sqrt(abs(esp(i))*0.804);
                ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u5^2));
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
elseif( m8(i)>=3.53 && m8(i)<4.48)
u6=u6+1;
j=6;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.967);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u6^2));

elseif( m8(i)>=4.48 && m8(i)<5.60)
u7=u7+1;
j=7;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*1.039);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u7^2));
elseif( m8(i)>=5.60 && m8(i)<7.1)
u8=u8+1;
j=8;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*1.054);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u8^2));
elseif( m8(i)>=7.1 && m8(i)<8.94)
u9=u9+1;
j=9;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*1.036);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u9^2));

elseif( m8(i)>=8.94 && m8(i)<11.17)
u10=u10+1;
j=10;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.988);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u10^2));

elseif( m8(i)>=11.17 && m8(i)<14.13)
u11=u11+1;
j=11;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.902);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u11^2));

else if( m8(i)>=14.13 && m8(i)<17.88)
u12=u12+1;
j=12;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.768);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u12^2));

elseif( m8(i)>=17.88 && m8(i)<22.35)
u13=u13+1;
j=13;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.636);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u13^2));

elseif( m8(i)>=22.35 && m8(i)<28.04)
u14=u14+1;
j=14;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.513);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u14^2));
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
elseif( m8(i)>=28.04 && m8(i)<35.45)
u15=u15+1;
j=15;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.405);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u15^2));

elseif( m8(i)>=35.45 && m8(i)<44.99)
u16=u16+1;
j=16;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.314);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u16^2));

elseif( m8(i)>=44.99 && m8(i)<59.09)
u17=u17+1;
j=17;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.246);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u17^2));

elseif( m8(i)>=59.09 && m8(i)<70.45)
u18=u18+1;
j=18;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.186);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u18^2));

elseif( m8(i)>=70.45 && m8(i)<89.67)
u19=u19+1;
j=19;
mpond(i)=sqrt(abs(espc(i))*0.132);
ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u19^2));

elseif m8(i)>=89.6
mpond(i)=0;
end
end

end

rms=sqrt(sum(ab.^2));
disp('awkz_max==>')
[awkz_max]=MTVV(ab);

%Q1=max(mpond)/rms

%ANÁLISIS RMS PARA LA PRUEBA 2
m7=f2;
u1=0;
u2=0;
u3=0;
u4=0;
u5=0;
u6=0;
u7=0;
u8=0;
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
u9=0;
u10=0;
u11=0;
u12=0;
u13=0;
u14=0;
u15=0;
u16=0;
u17=0;
u18=0;
u19=0;
ab=zeros(19,1);
mpond2=ones(length(esp2),1);
ab18=0;
ab19=0;
n=length(f2);
for i=1:n
    if (m7(i)<1.1)
        mpond2(i)=0;

        elseif (m7(i)>=1.11 && m7(i)<1.43)
            mpond2(i)=sqrt(abs(esp2(i))*0.494);
            u1=u1+1;
            j=1;
            ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u1^2));
            elseif (m7(i)>=1.43 && m7(i)<1.78)
                u2=u2+1;
                j=2;
                mpond2(i)=sqrt(abs(esp2(i))*0.494);
                ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u2^2));

            elseif (m7(i)>=1.78 && m7(i)<2.23)
                mpond2(i)=sqrt(abs(esp2(i))*0.531);
                u3=u3+1;
                j=3;
                ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u3^2));

            elseif (m7(i)>=2.23 && m7(i)<2.81)
                u4=u4+1;
                j=4;
                mpond2(i)=sqrt(abs(esp2(i))*0.631);
                ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u4^2));

            elseif (m7(i)>=2.81 && m7(i)<3.53)
                u5=u5+1;
                j=5;
                mpond2(i)=sqrt(abs(esp2(i))*0.804);
                ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u5^2));

            elseif (m7(i)>=3.53 && m7(i)<4.48)
                u6=u6+1;
                j=6;
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.967);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u6^2));

elseif( m7(i)>=4.48 && m7(i)<5.60)
u7=u7+1;
j=7;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*1.039);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u7^2));
elseif( m7(i)>=5.60 && m7(i)<7.1)
u8=u8+1;
j=8;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*1.054);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u8^2));
elseif( m7(i)>=7.1 && m7(i)<8.94)
u9=u9+1;
j=9;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*1.036);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u9^2));

elseif( m7(i)>=8.94 && m7(i)<11.17)
u10=u10+1;
j=10;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.988);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u10^2));

elseif( m7(i)>=11.17 && m7(i)<14.13)
u11=u11+1;
j=11;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.902);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u11^2));

else if( m7(i)>=14.13 && m7(i)<17.88)
u12=u12+1;
j=12;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.768);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u12^2));

elseif( m7(i)>=17.88 && m7(i)<22.35)
u13=u13+1;
j=13;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.636);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u13^2));

elseif( m7(i)>=22.35 && m7(i)<28.04)
u14=u14+1;
j=14;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.513);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u14^2));

elseif( m7(i)>=28.04 && m7(i)<35.45)
u15=u15+1;
j=15;
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.405);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u15^2));

elseif( m7(i)>=35.45 && m7(i)<44.99)
u16=u16+1;
j=16;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.314);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u16^2));

elseif( m7(i)>=44.99 && m7(i)<59.09)
u17=u17+1;
j=17;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.246);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u17^2));

elseif( m7(i)>=59.09 && m7(i)<70.45)
u18=u18+1;
j=18;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.186);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u18^2));

elseif( m7(i)>=70.45 && m7(i)<89.67)
u19=u19+1;
j=19;
mpond2(i)=sqrt(abs(espc2(i))*0.132);
ab(j)=sqrt((mpond2(i-1)+mpond2(i)^2)/(u19^2));

elseif m7(i)>=89.6
mpond2(i)=0;
end
end

rms2=sqrt(sum(ab.^2));
disp('awk2z_max==>')
[awk2z_max]=MTVV(ab);

awkz=rms;
awk2z=rms2;
```

8.2.8 Código MTVV

```
function [salida]=MTVV(ab) % vector con los rms por bandas de 1/3
salida=max(ab);
if salida==ab(1)
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,11-1,43]Hz , valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(2)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,43-1,78]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(3)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [1,78-2,23]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(4)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [2,23-2,81]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(5)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [2,81-3,53]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(6)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [3,53-4,48]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(7)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [4,48-5,60]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(8)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [5,60-7,1]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(9)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [7,1-8,94]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(10)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [8,94-11,17]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(11)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [11,17-14,13]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(12)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [14,13-17,88]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if
salida==ab(13)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [17,88-22,35]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(14)
fprintf('El
máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [22,35-28,08]Hz, valor:%s
[m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(15)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [28,08-35,45]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(16)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [35,45-44,99]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(17)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [44,99-59,09]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(18)
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [59,09-70,45]Hz,
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
else if salida==ab(19)
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales


```
fprintf('El máximo valor de aceleración ponderada se haya en la banda: [70,45-89,67]Hz,  
valor:%s [m/s^2]\n',salida);
```

```
end (x19)
```

8.2.9 Código AV_ACyG

```
av=sqrt(1^2*awdx^2 + 1^2*awdy^2 + 1^2*awkz^2+0.63^2*awex+0.4^2*awey);
```

```
av2=sqrt(1^2*awd2x^2+1^2*awd2y^2+1^2*awk2z^2+0.63^2*awe2x+0.4^2*awe2y);
```

```
if av<0.315
```

```
fprintf('El nivel de confort para el primer reglaje es: Aceptable, av=%s [m/s^2]\n', av');
```

```
else if av>=0.315 && av<0.5
```

```
fprintf('El nivel de confort para primer reglajees: Ligeramente molesto, av=%s [m/s^2]\n', av');
```

```
else if av>=0.5 && av<0.8
```

```
fprintf('El nivel de confort para primer reglaje es: Un poco incómodo, av=%s [m/s^2]\n', av');
```

```
else if av>=0.8 && av<1.6
```

```
fprintf('El nivel de confort para primer reglaje es: Incómodo, av=%s [m/s^2]\n', av');
```

```
else if av>=1.6 && av<2.5
```

```
fprintf('El nivel de confort para primer reglaje es: Muy incómodo, av=%s [m/s^2]\n', av');
```

```
else if av>=2.5
```

```
fprintf('El nivel de confort para primer reglaje es: Extremadamente incómodo, av=%s  
[m/s^2]\n', av);
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
if av2<0.315
```

```
fprintf('El nivel de confort para el segundo reglaje es: Aceptable, av2=%s [m/s^2]\n', av2');
```

```
else if av2>=0.315 && av2<0.5
```

```
fprintf('El nivel de confort para el segundo reglaje es: Ligeramente molesto, av2=%s  
[m/s^2]\n', av2');
```

```
else if av2>=0.5 && av2<0.8
```

```
fprintf('El nivel de confort para el segundo reglaje es: Un poco incómodo, av2=%s [m/s^2]\n',  
av2');
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
else if av2>=0.8 && av2<1.6
fprintf('El nivel de confort para el segundo reglaje es: Incómodo, av2=%s [m/s^2]\n', av2');

else if av2>=1.6 && av2<2.5
fprintf('El nivel de confort para el segundo reglaje es: Muy incómodo, av2=%s [m/s^2]\n',
av2');

else if av2>=2.5
fprintf('El nivel de confort para el segundo reglaje es: Extremadamente incómodo, av2=%s
[m/s^2]\n', av2');

end
end
end
end
end
end
```

```
disp(' ');
DiferenciaAV=av-av2;
DiferenciaAv=av2-av;
if av>av2
fprintf('La aceleración cuadrática media total ponderada en frecuencia de la prueba 1 es
MAYOR que la de la prueba2, Diferencia=%s\n',DiferenciaAV);

elseif av<av2
fprintf('La aceleración cuadrática media total ponderada en frecuencia de la prueba 1 es
MENOR que la de la prueba2, Diferencia=%s\n',DiferenciaAv);

end
```

8.2.10 Código Gráficos AccA

```
if id15~=-1 && id3~=-1 && id13~=-1
figure('Name','Comparativas Ponderadas Vibración en el
respaldo','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(3,1,1);

semilogx(m55, m54,'b');
hold on
semilogx(m53, m52,'black');
title('(Wc)ACCFR==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','F
ontSize',12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
ylabel('Potencia [dB]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

subplot(3,1,2);

semilogx(m23, m22, 'b');
hold on
semilogx(m21, m20, 'black');
title('(Wd)ACCL==>AZUL(prueba2),NEGRO(pruebal)', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

subplot(3,1,3);

semilogx(m61, m60, 'b');
hold on
semilogx(m58, m57, 'black');
title('(Wd)ACCV==>AZUL(prueba2),NEGRO(pruebal)', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

else if id15===-1 && id3~=-1 && id13~=-1

    figure('Name', 'Comparativas Ponderadas Vibración en el
respaldo', 'NumberTitle', 'off', 'Color', 'cyan')
clf

subplot(2,1,1);

semilogx(m55, m54, 'b');
hold on
semilogx(m53, m52, 'black');
title('(Wc)ACCFR==>AZUL(prueba2),NEGRO(pruebal)', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
subplot(2,1,2);

semilogx(m23, m22,'b');
hold on
semilogx(m21, m20,'black');
title('(Wd)ACCL==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]','FontName','Arial','FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

else if id15~-=-1 && id3~-=-1 && id13===-1
    figure('Name','Comparativas Ponderadas Vibración en el respaldo','NumberTitle','off','Color','cyan')
    clf

subplot(2,1,1);

semilogx(m61, m60,'b');
hold on
semilogx(m58, m57,'black');
title('(Wd)ACCV==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]','FontName','Arial','FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

subplot(2,1,2);

semilogx(m23, m22,'b');
hold on
semilogx(m21, m20,'black');
title('(Wd)ACCL==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]','FontName','Arial','FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

else if id15===-1 && id3===-1 && id13~-=-1
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
figure('Name','Comparativas Ponderadas Vibración en el
respaldo','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf
subplot(2,1,1);

semilogx(m61, m60,'b');
hold on
semilogx(m58, m57,'black');
title('(Wd)ACCV==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','Fo
ntSize',12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Potencia [dB]','FontName','Arial','FontSize',18);
axis tight
grid on
hold off

subplot(2,1,2);

semilogx(m55, m54,'b');
hold on
semilogx(m53, m52,'black');
title('(Wc)ACCFR==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','F
ontSize',12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Potencia [dB]','FontName','Arial','FontSize',18);
axis tight
grid on
hold off

if id15~-=-1 && id3===-1 && id13===-1
figure('Name','Comparativas Ponderadas Vibración en el
respaldo','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf
subplot(1,1,1);
semilogx(m61, m60,'b');
hold on
semilogx(m58, m57,'black');
title('(Wd)ACCV==>AZUL(prueba2),NEGRO(prueba1)','FontName','Arial','Fo
ntSize',12);
xlabel('Frecuencia [Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Potencia [dB]','FontName','Arial','FontSize',18);
axis tight
grid on
hold off

if id15===-1 && id3~-=-1 && id13===-1
figure('Name','Comparativas Ponderadas Vibración en el
respaldo','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf
subplot(1,1,1);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
semilogx(m23, m22, 'b');
hold on
semilogx(m21, m20, 'black');
title('(Wd)ACCL=>AZUL(prueba2),NEGRO(pruebal)', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 12);
xlabel('Frecuencia [Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
ylabel('Potencia [dB]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
axis tight
grid on
hold off

if id15==-1 && id3==-1 && id13~-1
    figure('Name', 'Comparativas Ponderadas Vibración en el respaldo', 'NumberTitle', 'off', 'Color', 'cyan')
    clf

    subplot(1,1,1);

    semilogx(m55, m54, 'b');
    hold on
    semilogx(m53, m52, 'black');
    title('(Wc)ACCFR=>AZUL(prueba2),NEGRO(pruebal)', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 12);
    xlabel('Frecuencia [Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
    ylabel('Potencia [dB]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
    axis tight
    grid on
    hold off

    else if id15==-1 && id3==-1 && id13==-1
        disp('No se han introducido datos para crear ninguna gráfica');
    end
end
end
end
end
end
end
```

Código CSVread

```
av=input('Introduce los puntos por ventana:');
Fs=input('Introduce la frecuencia de muestreo[Hz]:');

[m1]=leer(id);
[m2]=leer(id2);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```

tipo=input('¿Qué tipo de aceleración es? , lineal==>1 , Rotacional==>2 : ');
if tipo==1
m1=[m1(:,1), m1(:,2)*9.81];
m2=[m2(:,1), m2(:,2)*9.81];
else if tipo==2
diferencia=diff(m1(:,2));
derivada=(diferencia/(1/Fs));
m1=[m1(1:length(m1)-1,1),derivada*(pi/180)]; % matriz aceleracion rotacional en funcion del
tiempo reglaje1
diferencia=diff(m2(:,2));
derivada=(diferencia/(1/Fs));
m2=[m2(1:length(m2)-1,1),derivada*(pi/180)]; % matriz aceleracion rotacional en funcion del
tiempo reglaje2

    end
end

Pond=input('¿Quiere visualizar las gráficas ponderadas? , si==>1 , no==>2 : ');
%%%%%%%%%%%%%%
if Pond==1

tipo=input('¿Qué ponderación se desea aplicar? wk=>1,wd=>2,we=>3 :');
if tipo==1
wk=[0.482,0.484,0.494,0.531,0.631,0.804,0.967,1.039,1.054,1.036,0.988,0.902,0.768,0.636,0.5
13,0.405,0.314,0.246,0.186,0.132];
w=wk;
[espc,f,espcdb,NFFT88]=espectrofun(m1,Fs,av);
[espc2,f2,espc2db,NFFT]=espectrofun(m2,Fs,av);
[rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f,espc,espc2); %aceleración eficaz por bandas y rms
ponderacionwk;
figure('Name','Comparativa ponderada Wk','NumberTitle','off','Color','blue')
clf
semilogx(m7,m6,'b'); % primera prueba
hold on
semilogx(m5,m4,'k'); % segunda prueba
axis tight
grid on
hold off
f2=f;
else if tipo==2
wd=[1.011,1.008,0.968,0.890,0.776,0.642,0.512,0.409,0.323,0.253,0.212,0.161,0.125,0.1,0.080
,0.632,0.494,0.388,0.0295,0.0211];
w=wd;
[espc,f3,espc3db,NFFT2]=espectrofun(m1,Fs,av);
[espc2,f4,espc4db,NFFT3]=espectrofun(m2,Fs,av);
[rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f3,espc,espc2);
ponderacionwd;
figure('Name','Comparativa ponderada Wd','NumberTitle','off','Color','blue')
clf

```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
semilogx(m21,m20,'b');
hold on
semilogx(m23,m22,'k');
axis tight
grid on
hold off
f=f3;f=f4;
else if tipo==3
we=[0.880,0.772,0.632,0.512,0.409,0.323,0.253,0.202,0.160,0.125,0.1,0.0801,0.0625,0.05,0.039
9,0.0316,0.0247,0.0194,0.0148,0.0105];
w=we;
[espc37,f37,espc37db,NFFT37]=espectrofun(m1,Fs,av);
[espc38,f38,espc38db,NFFT38]=espectrofun(m2,Fs,av);
[rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f37,espc37,espc38);
ponderacionwex;
figure('Name','Comparativa ponderada We','NumberTitle','off','Color','blue')
clf
semilogx(m40,m39,'b');
hold on
semilogx(m42,m41,'k');
axis tight
grid on
hold off
f=f37;f=f38;
end
end
end
end

%%%%%%%%%acXbandas%%%%%%%%%

banda=input('¿Desea visualizar las aceleraciones eficaces por bandas ponderadas y valores
rms? , Si==>1 , No==>2 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
banda=input('¿Desea visualizar las aceleraciones eficaces por bandas ponderadas y valores
rms? , Si==>1 , No==>2 :');
end
ponde=input('¿Que ponderación desea aplicar? , Wk==>1 , Wd==>2 , We==>3 :');
while banda~=1 && banda~=2
disp('La opción escogida no se corresponde con ninguna de las propuestas, vuelva intentarlo')
banda=input('¿Desea visualizar las aceleraciones eficaces por bandas ponderadas y valores
rms? , Si==>1 , No==>2 :');
end

disp(' ')
if banda==1;
vector=linspace(1,19,19);
end
if banda==1 && ponde==1;

wk=[0.482,0.484,0.494,0.531,0.631,0.804,0.967,1.039,1.054,1.036,0.988,0.902,0.768,0.636,0.5
13,0.405,0.314,0.246,0.186,0.132];
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*


```

w=wk;
if Ponde==2
[espc,f,espcdb,NFFT88]=espectrofun(m1,Fs,av);
[espc2,f2,espc2db,NFFT]=espectrofun(m2,Fs,av);
[rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f,espc,espc2);
end
    if sum(ab1)~=0
    disp('Numero de banda | Aceleración eficaz P1 |Aceleración eficaz P2')
    [vector',ab1,ab2]
    end
    fprintf('rms primera prueba :%1.4f [m/s^2]\n',rms);
    fprintf('rms segunda prueba :%1.4f [m/s^2]\n',rms2);

else if banda==1 && ponde==2;

wd=[1.011,1.008,0.968,0.890,0.776,0.642,0.512,0.409,0.323,0.253,0.212,0.161,0.125,0.1,0.080
,0.632,0.494,0.388,0.0295,0.0211];
w=wd;
if Ponde==2
[espc,f3,espc3db,NFFT2]=espectrofun(m1,Fs,av);
[espc2,f4,espc4db,NFFT3]=espectrofun(m2,Fs,av);
[rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f3,espc,espc2);
end
    if sum(ab1)~=0
    disp('Numero de banda | Aceleración eficaz P1 |Aceleración eficaz P2')
    [vector',ab1,ab2]
    end
    fprintf('rms primera prueba :%1.4f [m/s^2]\n',rms);
    fprintf('rms segunda prueba :%1.4f [m/s^2]\n',rms2);

else if banda==1 && ponde==3;

we=[0.880,0.772,0.632,0.512,0.409,0.323,0.253,0.202,0.160,0.125,0.1,0.0801,0.0625,0.05,0.039
9,0.0316,0.0247,0.0194,0.0148,0.0105];
w=we;
if Ponde==2
[espc37,f37,espc37db,NFFT37]=espectrofun(m1,Fs,av);
[espc38,f38,espc38db,NFFT38]=espectrofun(m2,Fs,av);
[rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f37,espc37,espc38);
end
    if sum(ab1)~=0
    disp('Numero de banda | Aceleración eficaz P1 |Aceleración eficaz P2')
    [vector',ab1,ab2]
    end
    fprintf('rms primera prueba :%1.4f [m/s^2]\n',rms);
    fprintf('rms segunda prueba :%1.4f [m/s^2]\n',rms2);
    end
end

%%%%%%%%%%%%%% graficas
originales%%%%%%%%%%%%%%
[espc,f,espcdb]=espectrofun(m1,Fs,av);

```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
[espc2,f,espc2db]=espectrofun(m2,Fs,av);
figure('Name','','NumberTitle','off','Color','blue')
clf
subplot(2,2,1);
plot(m1(:,1),m1(:,2),'r');
hold on
plot(m2(:,1),m2(:,2),'g');
xlabel('Tiempo[s]');
title('Comparativa ROJO(Prueba1),VERDE(Prueba2)');
grid on
hold off

subplot(2,2,2);
semilogx(f,espc,'r');
hold on
semilogx(f,espc2,'g');
axis tight
title('PSD');
xlabel('Frecuencia[Hz]');
ylabel('PSD');
title('Comparativa ROJO(Prueba1),VERDE(Prueba2)');
grid on
hold off

subplot(2,2,[3,4]);
semilogx(f,espcdb,'r');
hold on
semilogx(f,espc2db,'g');
title('PSD')
axis tight
xlabel('Frecuencia[Hz]');
ylabel('Potencia[espcdb]');
title('Comparativa ROJO(Prueba1),VERDE(Prueba2)');
grid on
hold off

disp('FIN DE RESULTADOS')
```

8.2.11 Código Leer

```
function [m]=leer(archivo)
```

```
A=char(archivo);
```

```
c1='';
c2='';
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
for i=24:length(A)
B(i-23,:)=strrep(A(i,:),c1,c2);
end

m=str2num(B);
end
```

8.2.12 Código Espectrofun

```
function [espectro,frecuencia,espcdb,NFFT]=espectrofun(dato,Fs,av)

wz=hanning(av);
L = length(dato);           % Length of signal
NFFT= 2^nextpow2(L);       % Next power of 2 from length of x
[espectro,frecuencia]=pwelch(dato(:,2),wz,0,NFFT,Fs,'psd');
espcdb=mag2db(espectro);
end
```

8.2.13 Código Awgeneral

%función para calcular la media de aceleraciones en cada banda de octava del espectro ponderado

[%http://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square](http://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square)

```
function [rms,rms2,ab1,ab2]=awgeneral(w,f,espc,espc2)
```

%ANÁLISIS RMS PARA LA PRUEBA1

```
m8=f;
u1=0;u2=0;u3=0;u4=0;u5=0;u6=0;u7=0;u8=0;u9=0;u10=0;u11=0;u12=0;u13=0;u14=0;u15=0;u16=0;u17=0;u18=0;u19=0;
ab=zeros(19,1);
mpond=ones(length(espc),1);
ab(18)=0;
ab(19)=0;
n=length(f);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
for i=1:n
    if (m8(i)<1.1)
        mpond(i)=0;

        elseif (m8(i)>=1.11 && m8(i)<1.43)
            mpond(i)=sqrt(esp(i)*w(1));
            u1=u1+1;
            j=1;
            ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u1^2));

            elseif (m8(i)>=1.43 && m8(i)<1.78)
                u2=u2+1;
                j=2;
                mpond(i)=sqrt( esp(i)*w(2));
                ab(j)=sqrt((mpond(i-1)+mpond(i)^2)/(u2^2));

                elseif (m8(i)>=1.78 && m8(i)<2.23)
                    mpond(i)=sqrt( esp(i)*w(3));
                    u3=u3+1;
                    j=3;
                    [...]
                end
            end
        end
    ab1=ab;
    rms=sqrt(sum(ab1.^2));

%ANÁLISIS RMS PARA LA PRUEBA 2
m7=f;
u1=0;u2=0;u3=0;u4=0;u5=0;u6=0;u7=0;u8=0;u9=0;u10=0;u11=0;u12=0;u13=0;u14=0;u15=0;u16=0;u17=0;u18=0;u19=0;
ab=zeros(19,1);
mpond2=ones(length(esp2),1);
ab(18)=0;
ab(19)=0;
n=length(f);
for i=1:n
    if (m7(i)<1.1)
        [...]
    end
end
ab2=ab;
rms2=sqrt(sum(ab2.^2));
end
```

8.2.14 Código FiltroINT

```
% diseño de filtro butter paso alto
% filtrado señal aceleración para obtener velocidad
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
clc
clear all
```

```
%Introducir datos de ACVertical Wk, P1
```

```
id=fopen('bmw_refserie_L1_v1_d_Accfr.txt','r');
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
buscar(id) %llamamos a la funcion buscar
```

```
fscanf(id,'%s',1);
```

```
a=fread(id);
```

```
fclose(id);
```

```
A=char(a);
```

```
c1='\"';
```

```
c2='\"';
```

```
A=A';
```

```
B=strrep(A,c1,c2);
```

```
m=str2num(B); %Matriz que contiene los datos pero repetida la columna de aceleración
```

```
m1=[m(1:length(m),1) m(1:length(m),2)]; %Estoy metiendo datos en g
```

```
subplot(3,1,1)
```

```
plot(m1(:,1),m1(:,2));
```

```
Fs = 500; % Sampling frequency
```

```
T = 1/Fs; % Sample time
```

```
L = length(m1); % Length of signal
```

```
t = (0:L-1)*T; % Time vector
```

```
%definimos características de filtros
```

```
Fs=500; % frecuencia de muestreo
```

```
Flimite=0.5; % frecuencia límite pasabanda
```

```
Fstop=2; % frecuencia limite stop banda
```

```
Rp=1; % atenuación maxima en pasabanda
```

```
Rs=40; %atenuacion maxima en stopbanda
```

```
%N=length(m1); % puntos filtro
```

```
%normalizamos las frecuencias
```

```
Fsd=1;
```

```
Ws=Flimite/Fs;
```

```
Wp=Fstop/Fs;
```

```
%[n,Wn] = buttord(Wp,Ws,Rp,Rs)
```

```
[n,Wn]=buttord(Wp, Ws, Rp, Rs);
```

```
%[B,A]=butter(N,Wn); % definimos los polos y ceros de la ft
```

```
%[z,p] = butter(n,Wn,'high') % It returns the zeros and poles in length n column vectors z and p,  
and the gain in the scalar k.
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
[z,p] = butter(n,Wn,'high');
[H,W]=freqz(z,p,[]); % respuestas de amplitud del filtro
%N : puntos
%H : respuesta en frecuencia

subplot(3,1,3)
plot(W./pi,abs(H)); %Vemos el filtro
%W : Vector frecuencia rad/muestra
%Use filter in the form y = filter(d,x) to filter an input signal, x, with a digitalFilter, d, and obtain
output data, y.

filt=filter(z,p,m1(:,2));
subplot(3,1,2)
plot(m1(:,1),filt,'r')
hold on
plot(m1(:,1),m1(:,2),'b')

% calculamos integral
figure(5)
clf

Q =cumtrapz(m1(:,1),m1(:,2)*9.81,1); %integral trapezoidal por intervalos
Q2 =cumtrapz(m1(:,1),filt*9.81,1);

figure(5)
plot(m1(:,1),Q,'b')
hold on
plot(m1(:,1),Q2,'r')
grid on
figure(6)
plot(m1(:,1),Q2,'r')
grid on

maximo=max(Q2);
minimo=min(Q2);
fprintf('El máximo valor de velocidad es: %1.3f [m/s]\n',maximo);
fprintf('El mínimo valor de velocidad es: %1.3f [m/s]\n',minimo);

% comprobamos que sin filtrar la velocidad máxima es ilógica.
maximasinfilt=max(Q)
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

8.2.15 Código Hilo_main

```
%% PROGRAMA POTENCIÓMETRO DE HILO
% sE PUEDEN INTRODUCIR ARCHIVOS EN TXT O EN CSV
clear all
clc,formato=input('¿Qué formato se desea procesar? TXT==>1, CSV==>2:');
if formato==1
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %Formato TXT

    %Introducir los datos del sensor de hilo 1
    h=fopen('Hilo TM autopista.txt','rt');
    %Introducir los datos del sensor de hilo 2
    h2=fopen('hilo trh autopista.txt','rt');

else

    %Formato CSV

    %Introducir los datos del sensor de hilo 1
    [~,h]=xlsread('Hilo TM autopista.csv');
    %Introducir los datos del sensor de hilo 2
    [~,h2]=xlsread('hilo trh autopista.csv');

end
hilo;
```

8.2.16 Código Hilo

```
%%%%%%%%PROGRAMA SENSOR DE HILO(VELOCIDAD DE
VÁSTAGO) %%%%%%%%%%
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
%%
av=input('Introduzca puntos de ventana psd :');
% av=1024;
Fs=input('Introduzca frecuencia de muestreo de la prueba :');
% Fs=1000;

disp('ANÁLISIS DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VÁSTAGO')
mediaDesp1=0;
mediaDesp2=0;
mediaVel1=0;
mediaVel2=0;
maxDesp1=0;
maxDesp2=0;
maxVel1=0;
maxVel2=0;
maxAc1=0;
maxAc2=0;
Fstop=200;
Flimite=399;
Rp=1;
Rs=40;

if formato==1
h=fopen(prueba1,'rt');
h2=fopen(prueba2,'rt');
%datos prueba1
if h~-1
buscar(h) %llamamos a la funcion buscar
fscanf(h,'%s',1);
a=fread(h);
fclose(h);
A=char(a);
c1='';
c2='';
A=A';
B=strrep(A,c1,c2);
m=str2num(B); %matriz tiempo-voltios
mh=[m(:,1),(m(:,2))]; %matriz tiempo-desplazamiento
U=downsample(mh(:,2),1);
U2=downsample(mh(:,1),1);
[Ufil]=pasobajo(mh(:,2),Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);

Ydiff=diff(Ufil);% diferencia discreta para representacion (reduccion
de muestreo)
Y=(Ydiff/(1/Fs));

[Yfil]=pasobajo(Y,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
YYdiff=diff(Yfil); % aceleracion
YY=(YYdiff/(1/Fs));
mhv=[U2(1:length(U2)-1),Y]; % matriz tiempo-velocidad
mha=[U2(1:length(U2)-2),YY]; % matriz tiempo-velocidad
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales


```
mediaDespl=mean(mh(:,2));
maxDespl=max(mh(:,2));
maxVel1=max(Y);
maxAc1=max(YY);

[espc,f,espcdb,NFFT]=espectrofun(mhv,Fs,av);
[espcd,fd,espcdbd,NFFT]=espectrofun(mh,Fs,av);
[espcfa,fa,espcdba,NFFT]=espectrofun(mha,Fs,av);
else

mh=0;
Y=0;

end
%datos prueba2
if h2~-=-1

buscar(h2) %llamamos a la funcion buscar
fscanf(h2,'%s',1);
a=fread(h2);
fclose(h2);
A=char(a);
c1='';
c2='';
A=A';
B=strrep(A,c1,c2);
m=str2num(B); % Matriz que contiene los datos pero repetida la columna
de aceleración
mh2=[m(:,1), m(:,2)];
U3=downsample(mh2(:,2),1);
U4=downsample(mh2(:,1),1);
[U3fil]=pasobajo(mh2(:,2),Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);

Y2diff=diff(U3fil);
Y2=(Y2diff/(1/Fs));
[Y2fil]=pasobajo(Y2,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);

YY2diff=diff(Y2fil);
YY2=(YY2diff/(1/Fs));
mhv2=[U4(1:length(U4)-1),Y2]; % matriz tiempo , velocidad
mha2=[U4(1:length(U4)-2),YY2]; % matriz tiempo , velocidad

mediaDesp2=mean(mh2(:,2));
maxDesp2=max(mh2(:,2));
maxVel2=max(Y2);
maxAc2=max(YY2);

[espc2,f2,espc2db,NFFT2]=espectrofun(mhv2,Fs,av);
[espc2d,fd2,espc2dbd,NFFT2]=espectrofun(mh2,Fs,av);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
[espc2a,fa2,espc2dba,NFFT2]=espectrofun(mha2,Fs,av);
else
mh2=0;
Y2=0;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%desplazamiento

if h~=-1 && h2~=-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo AZUL(P1) ,
NEGRO(P2)_Desplazamiento ','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U2,Ufil,'b');
hold on
plot(U4,U3fil,'black');

title('Comparativa desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Desplazamiento[mm]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid on
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fd,espcd,'b'),
% hold on
% semilogx(fd2,espc2d,'black');
%
% title('Comparativa desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize',18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fd,espcdbd,'b','linewidth',1.2);
hold on
semilogx(fd2,espc2dbd,'black','linewidth',1.2);
title('Comparativa espectro desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
end

if h2==-1 && h~-=-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo AZUL(P1) ,
NEGRO(P2)_Desplazamiento','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)

plot(U2,Ufil,'b');
title('Desplazamiento de vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('Desplazamiento[mm]','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fd,espcd,'b');
% title('Desplazamiento de vástago','FontName','Arial','FontSize',
14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize', 18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fd,espcdbd,'b','linewidth',1.2);
title('Espectro desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

if h2~-=-1 && h===-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo AZUL(P1) ,
NEGRO(P2)_Desplazamiento','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U4,U3fil,'k');
title('Desplazamiento de vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize', 18);
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
ylabel('Desplazamiento[mm]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
legend(prueba1, prueba2, 'Location', 'SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fd2, espc2d, 'black');
%
% title('Comparativa desplazamiento de
vástago', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
% ylabel('PSD', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fd2, espc2dbd, 'black', 'linewidth', 1.2);

title('Espectro desplazamiento de
vástago', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 14);
xlabel('Frecuencia[Hz]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
ylabel('dB', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
legend(prueba1, prueba2, 'Location', 'SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end
%%%%%%%%%%%%%%VELOCIDAD
if h~-=-1 && h2~-=-1

figure('Name', 'Potenciómetro de hilo
AZUL(P1), NEGRO(P2)_Velocidad', 'NumberTitle', 'off', 'Color', 'cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U2(1:length(U2)-1), Y, 'b');
hold on
plot(U4(1:length(U4)-1), Y2, 'black');

title('Comparativa Velocidad de
vástago', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 14);
xlabel('Tiempo', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
ylabel('Velocidad[mm/s]', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 18);
legend(prueba1, prueba2, 'Location', 'SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(f, espc, 'b'),
% hold on
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
% semilogx(f2,espc2,'black');
%
% title('Comparativa velocidad de
vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize', 18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(f,espcdb,'b','linewidth',1.2);
hold on
semilogx(f2,espc2db,'black','linewidth',1.2);

title('Comparativa espectro velocidad de
vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

if h2==-1 && h~-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Velocidad','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)

plot(U2(1:length(U2)-1),Y,'b');
title('Velocidad de vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('Velocidad[mm/s]','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(f,espc,'b');
% title('velocidad de vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize', 18);
% axis tight
% grid on
% hold off
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
subplot(1,2,2)
semilogx(f,espcdb,'b','linewidth',1.2);
title('Espectro velocidad de vástago','FontName','Arial','FontSize',
14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

if h2~=-1 && h==-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Velocidad','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U4(1:length(U4)-1),Y2,'k');
title('Velocidad de vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('Velocidad[mm/s]','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(f2,espc2,'black');
%
% title('Comparativa velocidad de
vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize', 18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(f2,espc2db,'black','linewidth',1.2);

title('Espectro velocidad de vástago','FontName','Arial','FontSize',
14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

%%%%%%%%acc
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if h~-=-1 && h2~-=-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Aceleracion','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U2(1:length(U2)-2),YY,'b');
hold on
plot(U4(1:length(U4)-2),YY2,'black');

title('Comparativa aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Aceleración[mm/s^2]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fa,espca,'b'),
% hold on
% semilogx(fa2,espc2a,'black');
%
% title('Comparativa aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize',18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fa,espcdba,'b','linewidth',1.2);
hold on
semilogx(fa2,espc2dba,'black','linewidth',1.2);

title('Comparativa espectro aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

if h2===-1 && h~-=-1
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Aceleracion','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)

plot(U2(1:length(U2)-2),YY,'b');
title('Aceleración de vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Aceleración[mm/s^2]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fa,espc,'b');
% title('Aceleración de vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize',18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fa,espcdba,'b','linewidth',1.5);
title('Espectro aceleración de vástago','FontName','Arial','FontSize',
14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

if h2~-=-1 && h===-1

figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Aceleracion','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U4(1:length(U4)-2),YY2,'k');
title('Aceleración de vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Aceleración[mm/s^2]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off

% subplot(2,2,2)
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales


```
% semilogx(f2a,espc2a,'black');
%
% title('Comparativa aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize', 14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize', 18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(f2a,espc2dba,'black','linewidth',1.5);

title('Espectro aceleración de vástago','FontName','Arial','FontSize',
14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize', 18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize', 18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid minor
hold off
end

if h==-1 && h2==-1
disp(' ')
disp('IMPOSIBLE HACER LOS CÁLCULOS, REVISE LOS NOMBRES DE LOS
ARCHIVOS')
disp(' ')
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

if h~-1 || h2~-1
field1 = 'mediaDesp1'; value1 = mediaDesp1;
field2 = 'mediaDesp2'; value2 = mediaDesp2;
field5 = 'maxDesp1'; value5 = maxDesp1;
field6 = 'maxDesp2'; value6 = maxDesp2;
field7 = 'maxVel1'; value7 = maxVel1;
field8 = 'maxVel2'; value8= maxVel2;
field9 = 'maxAc1'; value9 = maxAc1;
field10 = 'maxAc2'; value10= maxAc2;

disp('Medias medidas y máximas despplazamiento[mm],velocidad[mm/s],
aceleración[mm/s^2] vástago ')
Datos=
struct(field1,value1,field2,value2,field5,value5,field6,value6,field7,
value7,field8,value8,field9,value9,field10,value10)
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if formato==2;
[~,h]=xlsread(prueba1);
[~,h2]=xlsread(prueba2);
[m]=leer(h);
disp('Encabezado P1')
h(1:19)
mh=[m(:,1), (m(:,2))]; %matriz tiempo-desplazamiento
U=downsample(mh(:,2));
U2=downsample(mh(:,1));

[Ufil]=pasobajo(mh(:,2),Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
Ydiff=diff(Ufil);% diferencia discreta para representacion (reduccion
de muestreo)
Y=(Ydiff/(1/Fs));

[Yfil]=pasobajo(Y,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
YYdiff=diff(Yfil); % aceleracion
YY=(YYdiff/(1/Fs));

mhv=[U2(1:length(U2)-1),Y]; % matriz tiempo-velocidad
mha=[U2(1:length(U2)-2),YY]; % matriz tiempo-velocidad

mediaDespl=mean(mh(:,2));
maxDespl=max(mh(:,2));
maxVell=max(Y);
maxAcl=max(YY);

[espc,f,espcdb,NFFT]=espectrofun(mhv,Fs,av);
[espcd,fd,espcdbd,NFFT]=espectrofun(mh,Fs,av);
[espcfa,fa,espcdba,NFFT]=espectrofun(mha,Fs,av);

%datos prueba2

[m]=leer(h2);
disp('Encabezado P2')
h2(1:19)

mh2=[m(:,1), m(:,2)];
U3=downsample(mh2(:,2),r);
U4=downsample(mh2(:,1),r);

[U3fil]=pasobajo(mh2(:,2),Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
Y2diff=diff(U3fil);
Y2=(Y2diff/(1/Fs));

[Y2fil]=pasobajo(Y2,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
YY2diff=diff(Y2fil);
YY2=(YY2diff/(1/Fs));

mhv2=[U4(1:length(U4)-1),Y2]; % matriz tiempo , velocidad
mha2=[U4(1:length(U4)-2),YY2]; % matriz tiempo , aceleración
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

```
mediaDesp2=mean(mh2(:,2));
maxDesp2=max(mh2(:,2));
maxVel2=max(Y2);
maxAc2=max(YY2);

[espc2,f2,espc2db,NFFT2]=espectrofun(mhv2,Fs,av);
[espc2d,fd2,espc2dbd,NFFT2]=espectrofun(mh2,Fs,av);
[espc2a,fa2,espc2dba,NFFT2]=espectrofun(mha2,Fs,av);

%%%%%%%%%%%%%GRAFICAS%%%%%%%%%%%%%

figure('Name','Potenciómetro de hilo AZUL(P1) ,
NEGRO(P2)_Desplazamiento ','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf

subplot(1,2,1)
plot(U2,Ufil,'b');
hold on
plot(U4,U3fil,'black');

title('Comparativa desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Desplazamiento[mm]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid on
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fd,espcd,'b'),
% hold on
% semilogx(fd2,espc2d,'black');
%
% title('Comparativa desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize',18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fd,espcdbd,'b');
hold on
semilogx(fd2,espc2dbd,'black');
title('Comparativa espectro desplazamiento de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
grid on
hold off
```

```
figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Velocidad','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf
```

```
subplot(1,2,1)
plot(U2(1:length(U2)-1),Y,'b');
hold on
plot(U4(1:length(U4)-1),Y2,'black');
title('Comparativa Velocidad de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Velocidad[mm/s]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid on
hold off
```

```
% subplot(2,2,2)
% semilogx(f,espc,'b'),
% hold on
% semilogx(f2,espc2,'black');
%
% title('Comparativa velocidad de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize',18);
% axis tight
% grid on
% hold off
```

```
subplot(1,2,2)
semilogx(f,espcdb,'b');
hold on
semilogx(f2,espc2db,'black');
title('Comparativa espectro velocidad de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid on
hold off
```

```
figure('Name','Potenciómetro de hilo
AZUL(P1),NEGRO(P2)_Aceleracion','NumberTitle','off','Color','cyan')
clf
```

```
subplot(1,2,1)
plot(U2(1:length(U2)-2),YY,'b');
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
hold on
plot(U4(1:length(U4)-2),YY2,'black');
title('Comparativa aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Tiempo','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('Aceleración[mm/s^2]','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid on
hold off

% subplot(2,2,2)
% semilogx(fa,espc,'b'),
% hold on
% semilogx(fa2,espc2a,'black');
%
% title('Comparativa aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
% xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
% ylabel('PSD','FontName','Arial','FontSize',18);
% axis tight
% grid on
% hold off

subplot(1,2,2)
semilogx(fa,espcdba,'b');
hold on
semilogx(fa2,espc2dba,'black');
title('Comparativa espectro aceleración de
vástago','FontName','Arial','FontSize',14);
xlabel('Frecuencia[Hz]','FontName','Arial','FontSize',18);
ylabel('dB','FontName','Arial','FontSize',18);
legend(prueba1,prueba2,'Location','SouthEast');
axis tight
grid on
hold off

field1 = 'mediaDesp1'; value1 = mediaDesp1;
field2 = 'mediaDesp2'; value2 = mediaDesp2;
field5 = 'maxDesp1'; value5 = maxDesp1;
field6 = 'maxDesp2'; value6 = maxDesp2;
field7 = 'maxVell1'; value7 = maxVell1;
field8 = 'maxVel2'; value8 = maxVel2;
field9 = 'maxAc1'; value9 = maxAc1;
field10 = 'maxAc2'; value10 = maxAc2;

disp('Medias medidas y máximas desplazamiento[mm],velocidad[mm/s],
aceleración[mm/s^2] vástago ')
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
Datos=
struct(field1,value1,field2,value2,field5,value5,field6,value6,field7,
value7,field8,value8,field9,value9,field10,value10)

end

disp(' ');
disp('Fin de Resultados');
```

8.2.17 Código pasobajo

```
function [filtrada]=pasobajo(vector,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs)
Ws=Flimite/Fs;
Wp=Fstop/Fs;
[n,Wn]=buttord(Wp, Ws, Rp, Rs);
[z,p] = butter(n,Wn,'low');
filtrada=filter(z,p,vector);
end
```

8.2.18 Código Hilo (GUI)

```
function varargout = Hilo(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @Hilo_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn',  @Hilo_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn',  [], ...
    'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function Hilo_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
a=imread('fondo.jpg');
axes(handles.axes6);
image(a)
axis off
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Hilo_OutputFcn(hObject, eventdata, handles) varargout{1} =
handles.output;

function prueba1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global P1
[filename,pathname] = uigetfile('*.csv','Select the MATLAB code file');
fullpathname=strcat(pathname, filename);
[~,P1]=xlsread(fullpathname);
set(handles.textP1,'String',filename);

function prueba1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function prueba2_Callback(hObject, eventdata, handles)

global P2
[filename2,pathname2] = uigetfile('*.csv','Select the MATLAB code file');
fullpathname2=strcat(pathname2, filename2);
[~,P2]=xlsread(fullpathname2);
set(handles.textP2,'String',filename2);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function prueba2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in comandocrear.
function comandocrear_Callback(hObject, eventdata, handles)
global P1
global P2
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
h = msgbox('Las Pruebas se están evaluando','Aviso','Warn');
global av Fs Fstop Flimite Rp Rs

av=str2num(get(handles.av,'String'));
Fs=str2num(get(handles.Fs,'String'));
Fstop=str2num(get(handles.Fstop,'String'));% lo introducimos en la gui
Flimite=str2num(get(handles.Fpass,'String'));% lo introducimos en la gui
Rp=1;
Rs=40;

global m
[m]=leer(P1);

mh=[m(:,1),m(:,2)]; %matriz tiempo-desplazamiento
global U U2
U=mh(:,2);
U2=mh(:,1);
global Ufil
[Ufil]=pasobajo(U,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
Ydiff=diff(Ufil);% diferencia discreta para representacion (reduccion de muestreo)
Y=(Ydiff/(1/Fs));
global Yfil
[Yfil]=pasobajo(Y,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
YYdiff=diff(Yfil); % aceleracion
YY=(YYdiff/(1/Fs));

mhv=[U2(1:length(U2)-1),Y]; % matriz tiempo-velocidad
mha=[U2(1:length(U2)-2),YY]; % matriz tiempo-aceleración

global espc f espcdb NFFT espcd espca fd fa espcdbd espcdba
[espc,f,espcdb,NFFT]=espectrofun(mhv,Fs,av);
[espcd,fd,espcdbd,NFFT]=espectrofun(mh,Fs,av);
[espca,fa,espcdba,NFFT]=espectrofun(mha,Fs,av);

%datos prueba2

[m]=leer(P2);
mh2=[m(:,1), m(:,2)]; %matriz tiempo-desplazamiento
U3=mh2(:,2);
U4=mh2(:,1);
global U3fil
[U3fil]=pasobajo(mh2(:,2),Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
Y2diff=diff(U3fil);
Y2=(Y2diff/(1/Fs));
global Y2fil
[Y2fil]=pasobajo(Y2,Fs,Fstop,Flimite,Rp,Rs);
YY2diff=diff(Y2fil);
YY2=(YY2diff/(1/Fs));

mhv2=[U4(1:length(U4)-1),Y2]; % matriz tiempo , velocidad
mha2=[U4(1:length(U4)-2),YY2]; % matriz tiempo , aceleración
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*


```
global espc2 f2 espc2db NFFT2 espc2d espc2a fd2 fa2 espc2dbd espc2dba
[espc2,f2,espc2db,NFFT2]=espectrofun(mhv2,Fs,av);
[espc2d,fd2,espc2dbd,NFFT2]=espectrofun(mh2,Fs,av);
[espc2a,fa2,espc2dba,NFFT2]=espectrofun(mha2,Fs,av);
```

```
minDesp1=min(mh(:,2));
maxDesp1=max(mh(:,2));
minVel1=min(Y);
maxVel1=max(Y);
minAc1=min(YY);
maxAc1=max(YY);
minDesp2=min(mh2(:,2));
maxDesp2=max(mh2(:,2));
maxVel2=max(Y2);
maxAc2=max(YY2);
minVel2=min(Y2);
minAc2=min(YY2);
A=[minDesp1 minVel1, minAc1 maxDesp1 maxVel1 maxAc1];
B=[minDesp2 minVel2, minAc2 maxDesp2 maxVel2 maxAc2];
datos=[A' B'];
set(handles.uitable1,'data',datos);
```

```
function Fstop_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function Fstop_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function Fpass_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function Fpass_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
% --- Executes on button press in checkbox1.
```

```
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global P1
encabezado=get(hObject,'Value');
if encabezado==1
    h = msgbox(P1(1:18),'Encabezado1','Help');
end
```

```
% --- Executes on button press in checkbox2.
```

```
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
global P2
encabezado=get(hObject,'Value');
if encabezado==1
    h = msgbox(P2(1:18), 'Encabezado2','Help');
end

% --- Executes on button press in checkbox3.
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
encabezado=get(hObject,'Value');
if encabezado==1
    helpdlg('Fs=Frecuencia de Muestreo de la prueba.           Wstop=frecuencia
de corte.           Wpass:frecuencia de paso.
av=puntos ventana PSD.','Variables')
end

% --- Executes on button press in checkbox4.
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox4
encabezado=get(hObject,'Value');
if encabezado==1
    axes(handles.g1);
    grid on

else if encabezado==0
    axes(handles.g1);
    grid off

    end
end

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global f espcdb fd fa espcdbd espcdba f2 espc2db fd2 fa2 espc2dbd espc2dba g1

contenido=get(hObject,'String');
a=get(hObject,'value');
set(handles.text19,'String',contenido(a));

switch a
    case 1
        axes(handles.g1);
        semilogx(fd,espcdbd,'b');
        xlabel('Frecuencia[Hz]');
        ylabel('[dB]');
        hold on
        axes(handles.g1);
        semilogx(fd2,espc2dbd,'black');
        axis 'tight'
        xlabel('Frecuencia[Hz]');
        ylabel('[dB]');
```

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales

```
legend('Prueba1','Prueba2','Location','SouthEast');
hold off
    case 2
        axes(handles.g1);
        semilogx(f,espcdb,'b');
        xlabel('Frecuencia[Hz]');
        ylabel('[dB]');
        hold on
        axes(handles.g1);
        semilogx(f2,espc2db,'black');
        axis 'tight'
        legend('Prueba1','Prueba2','Location','SouthEast');
        hold off
            case 3
                axes(handles.g1);
                semilogx(fa,espcdba,'b');
                axis 'tight'
                xlabel('Frecuencia[Hz]');
                ylabel('[dB]');
                hold on
                axes(handles.g1);
                semilogx(fa2,espc2dba,'black');
                axis 'tight'
                legend('Prueba1','Prueba2','Location','SouthEast');
                hold off
                end
                % --- Executes during object creation, after setting all properties.
                function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
                if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
                    set(hObject,'BackgroundColor','white');
                end
                % --- Executes on button press in togglebutton2.
                function togglebutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
                global g1
                cla(g1,'reset');
```

KyB*Departamento Puesta a Punto planta Kybse***UPNA***Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales*

9 Bibliografía

- I. www.Wikipedia.com
- II. Manual del amortiguador KyB
- III. www.mathworks.com
- IV. Manual Octave
- V. Manual Matlab
- VI. Cursos/ Seminarios Matlab online
- VII. Introducción al análisis de vibraciones, Glen White
- VIII. Manual Rs2 Studio
- IX. Manual GUI
- X. Norma ISO 2361-1

KyB

Departamento Puesta a Punto planta Kybse

UPNA

Departamento Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales