FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL

INDUSTRIALES ETSII | UPM

# EFECTO DE LOS "ShockOut Padel dampeners" EN LAS VIBRACIONES DE LAS PALAS

Madrid, 26 de Abril 2016

Mª Consuelo Huerta Gómez de Merodio

Dpto: Ingeniería Mecánica - UPM

# Índice

1. **Objetivo del estudio..... - 2 -**
2. **Comportamiento dinámico de la pala ..... - 3 -**
3. **Comparación de la respuesta de la pala..... - 6 -**
4. **Conclusiones..... - 10 -**

# 1. Objetivo del estudio

El objetivo del trabajo que se presenta es evaluar el efecto de los "Padel Dampeners" de la marca "ShockOut Padel", patente número U201400200 de D. Álvaro García Novo, en el nivel de vibración de las palas de pádel. Para ello se recure a medir, con ensayos dinámicos, la respuesta de la misma con y sin dampeners obteniéndose las Funciones de Respuesta en Frecuencia (FRF) denominadas coloquialmente firma de la estructura. A partir de ellas se hace una estimación de la diferencia de respuesta incorporando la ponderación y el análisis en octavas definidos en la norma UNE-EN – ISO 5349 "Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones trasmitidas por la mano" (Abril 2002).

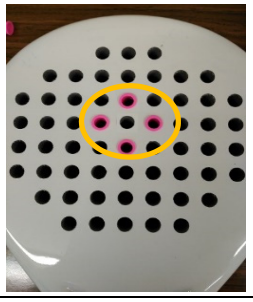
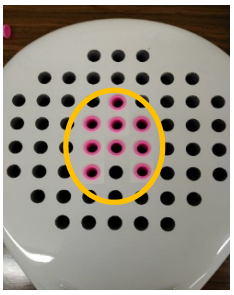
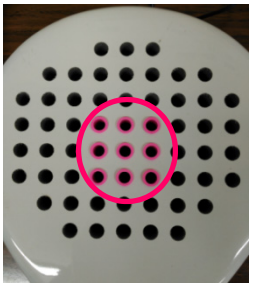
El trabajo se ha realizado en el marco de la "Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial" por profesores y doctorandos que trabajan en el "Grupo de análisis dinámico e impacto humano en vidrio" (GADIHV) dentro del departamento de Ingeniería Mecánica dela Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

# 2. Comportamiento dinámico de la pala

Las medidas realizadas corresponden con la función de transferencia entre el mango y el centro de la pala en dirección perpendicular a la superficie de la misma. Se registran las aceleraciones que aparecen en el centro. Se ha optado por medir la respuesta en condiciones de contorno libre-libre de forma que se puede estudiar el efecto de los "pádel dampeners" independizando al máximo de la persona que la utiliza.

Con el fin de analizar los cambios sobre palas diferentes se han seleccionado dos: una de gama media que se denomina como "**blanda",** y otra de gama alta denominada como "**dura**". Para cada una se han ensayado tres configuraciones: solas (**SD**), con 4 "Dampeners" (**4D**) y con 9 "Dampeners" (**9D**). En la Tabla 2.1 se reflejan los nombres utilizados para cada configuración así como un esquema de la localización de los "dampeners".

**Tabla 2.1 Nomenclatura utilizada para las configuraciones ensayadas en dos palas**

| | Sin | 4 damp. 4D | 9 damp. 9D |
|---|---|---|---|
| Pala blanda | - |  |  |
| Pala dura | - | |  |

La Figura 2.1 refleja el montaje de los ensayos, incluido el acelerómetro utilizado (Bruel & Kjaer - 4517 de 0,6gr 5- 2000Hz) y el martillo instrumentado (Bruel & Kjaer – 8202 0-20.000Hz Fmax= 2000N). El registro y análisis posterior de la señal se realiza con un programa de desarrollo propio (SEDA) con un tiempo de muestreo de 0.5 ms compatible con el filtro anti-aliasing utilizado.

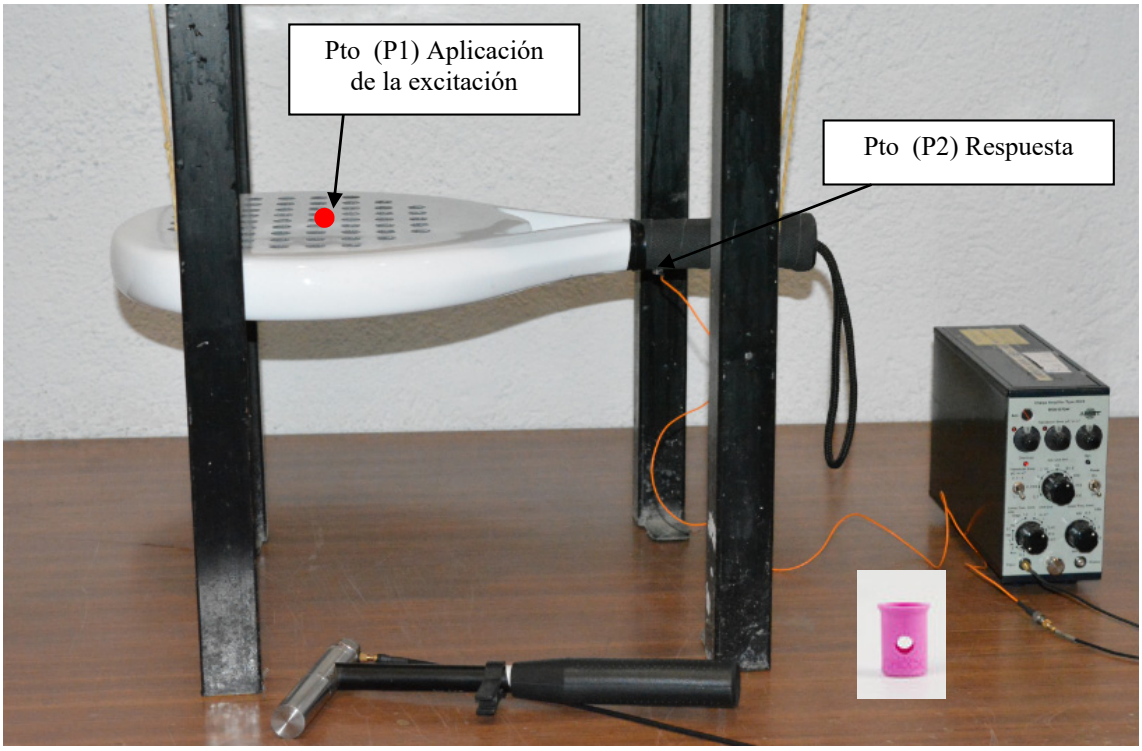
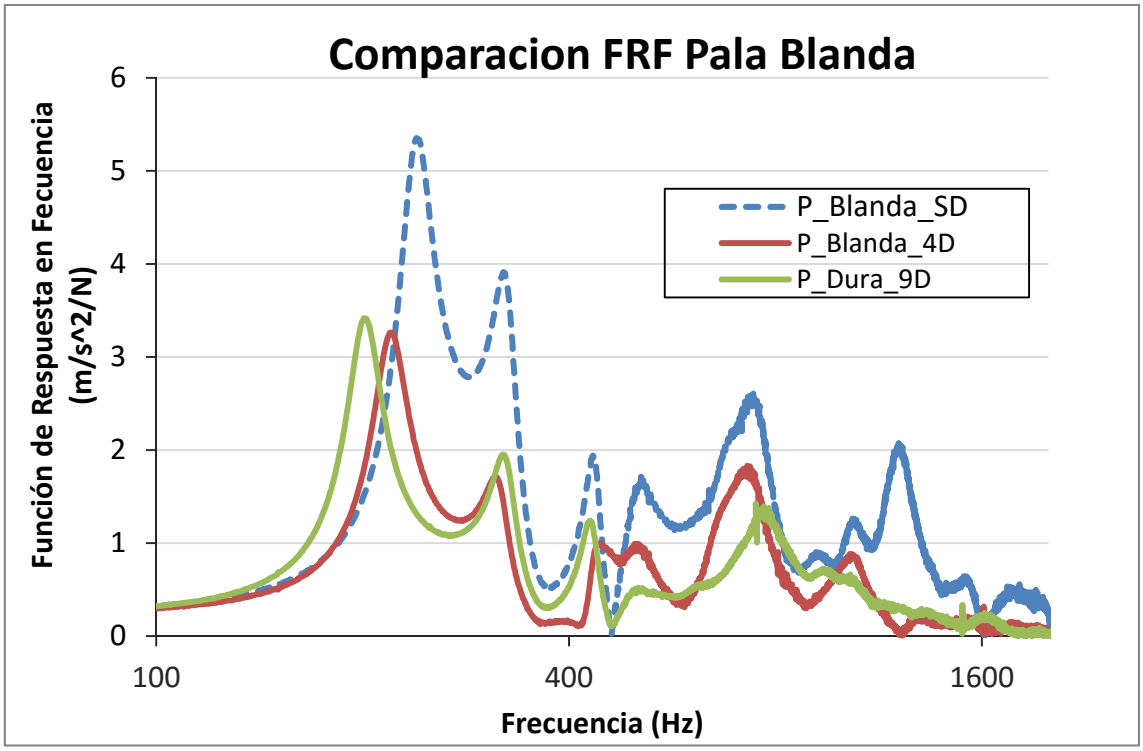



**Figura 2.1 Montaje de la pala en condiciones libre-libre y localización del acelerómetro y punto de aplicación de la excitación con el martillo**

En Figura 2.2 se reflejan las Funciones de Respuesta en Frecuencia entre el punto del centro de la placa (P1) y el del mango (P2) para cada pala en las tres configuraciones: sola, con 4 y con 9 "Dampeners". El eje horizontal corresponde con la frecuencia de la vibración, y el vertical con la relación entre aceleración y fuerza. Para ambas palas se observa que el comportamiento por debajo de 100 Hz no es significativo: no hay amplificaciones importantes por no existir frecuencias de resonancia. También se observa, en ambos casos, que la incorporación de los "Dampeners" reduce el valor de la FRF, es decir el nivel de respuesta de la pala. La comparación entre las gráficas de ambas

palas muestra que existen diferencias en el comportamiento dinámico apareciendo amplificaciones importantes para frecuencias superiores a 1000Hz.



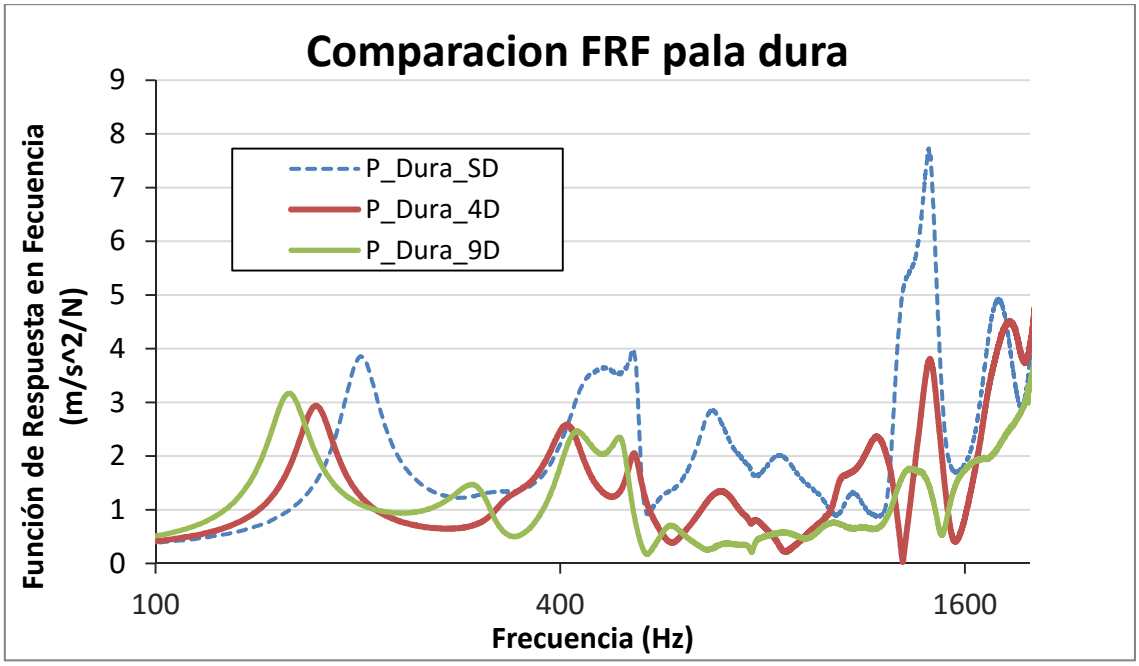




**Figura 2.2 Función de Respuesta en Frecuencia de las palas solas y con 2 configuraciones de "Dampeners"**

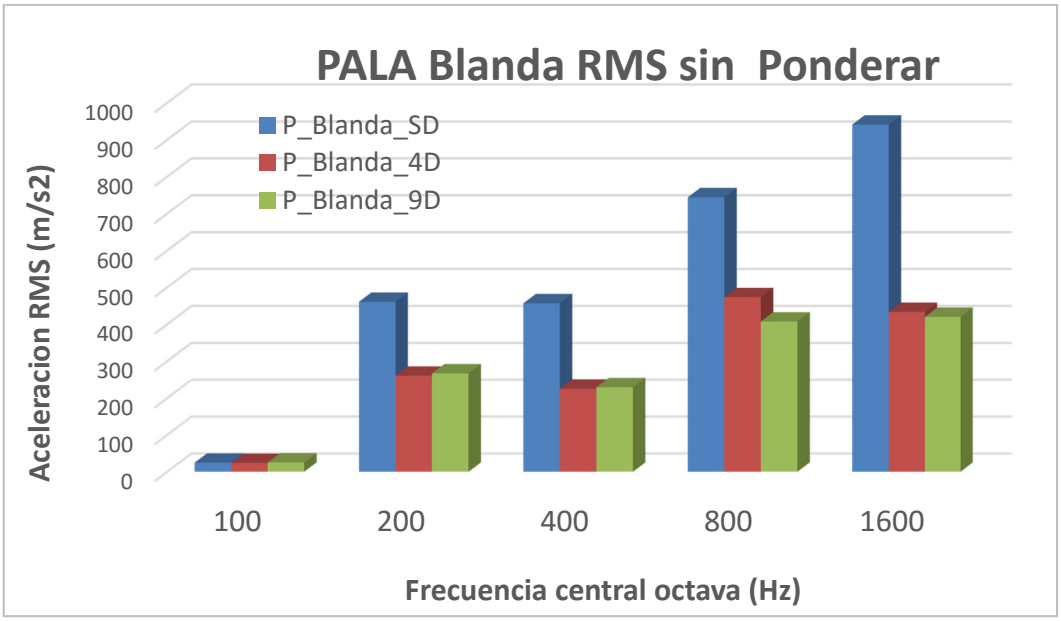
# 3. Comparación de la respuesta de la pala

Con el fin de estimar las diferencias en la respuesta de las palas con y sin "Dampeners", se obtienen, a partir de las Funciones de Respuesta en Frecuencia, la densidad espectral (Power Spectral Density – PSD) de la aceleración en el mango de la pala cuando se aplica una carga de referencia (con PSD de 1 $N^2$/Hz constante) en el centro de la misma. A partir de ella, para poder comparar las distintas configuraciones, se obtiene el valor RMS de la aceleración por octava con frecuencia centrales definidas en la norma UNE-EN –ISO 5349. Además, para tener en cuenta el carácter fisiológico de cada rango de frecuencias sobre la mano, se utiliza la ponderación definida en dicha norma. En la Tabla 3.1 se recoge el rango de frecuencias considerado en cada octava entre 100Hz y 2000Hz y los coeficientes de ponderación asociados a la frecuencia central. Las frecuencias bajas no se analizan por no existir frecuencias de resonancia en dicho rango y por lo tanto no ser significativo en cuanto a la comparación.

**Tabla 3.1 Definición de las octavas y coeficientes de ponderación según norma UNE-EN –ISO 5349**

| f central (Hz) | f inicial (Hz) | f final (Hz) | Coef. Ponderación |
|---|---|---|---|
| **100** | 71 | 141 | 0.1622 |
| **200** | 141 | 283 | 0.0853 |
| **400** | 283 | 566 | 0.0411 |
| **800** | 566 | 1131 | 0.0167 |
| **1600** | 1131 | 2263 | 0.0053 |

Las resultados calculados por octavas se corresponden con los valores RMS obtenidos a) de la Densidad Espectral (PSD) sin ponderar (ver Figura 3.1) y b) la densidad espectral ponderada (ver Figura 3.2) y se han obtenidos para las dos palas analizadas en las tres configuraciones. Se observa que en ambas palas la el nivel de aceleración RMS es claramente inferior cuando se incluyen los "dampeners".



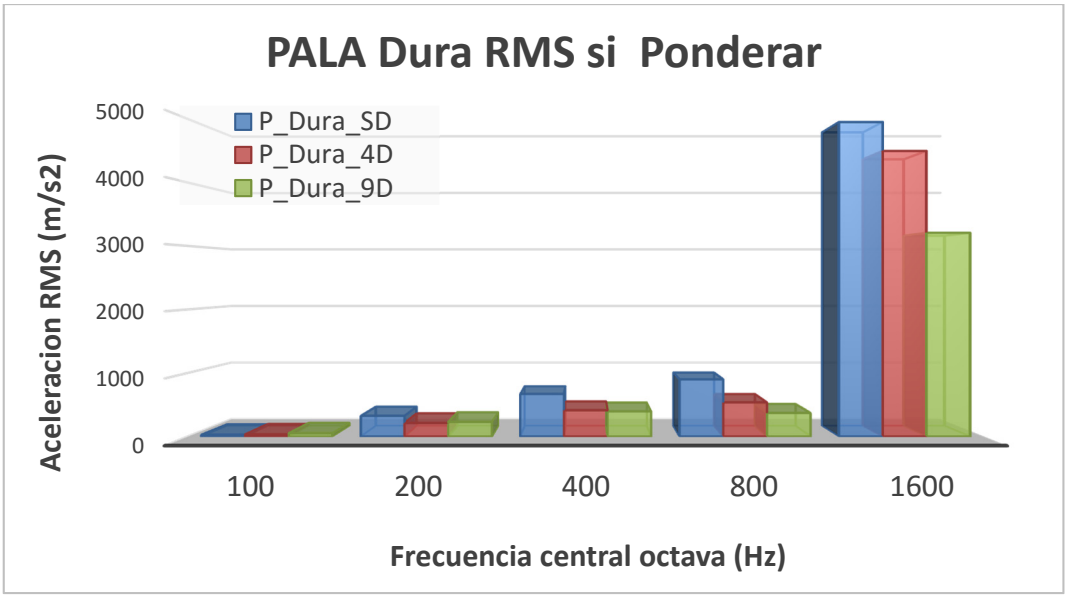
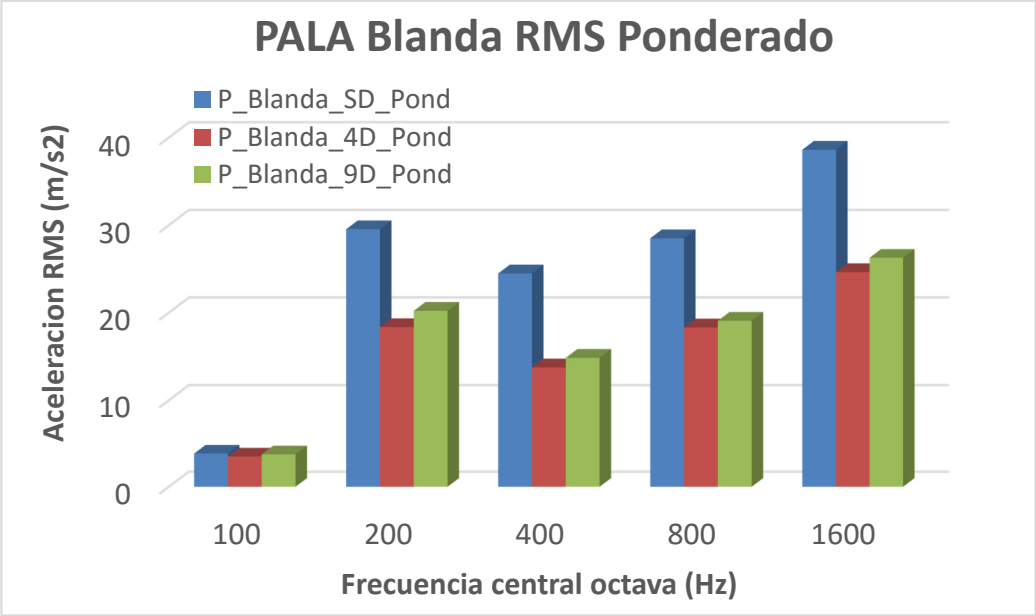




**Figura 3.1 Aceleraciones RMS en el mango. Fuerza en el centro de la pala de 1 $N^2/Hz$**



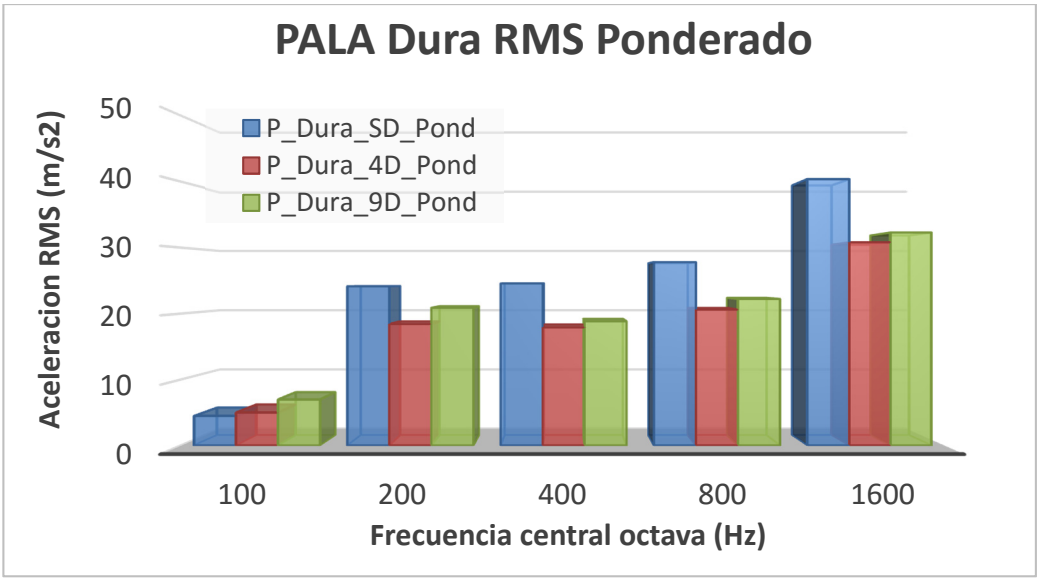




**Figura 3.2 Aceleraciones RMS PONDERADAS en el mango. Fuerza en el centro de la pala de 1 $N^2$/Hz**

En la Tabla 3.2 se presenta la diferencia de respuesta, aceleración RMS, respecto a la pala sola cuando se añaden 4 y 9 Dampeners respectivamente. Se puede observar que en las octavas que presentan valores apreciables de aceleración aparecen reducciones significativas tanto si se miran los valores directos como los ponderados. Las diferencias entre 4 y 9 Dampeners no se deben analizar en profundidad ya que la disposición de los

mismos, especialmente en el caso de 9, se eligió intentando añadir el máximo posible de masa en el centro de la pala para analizar si el aumento de masa es o no el origen de los cambios. Con 9 dampeners (más del doble de masa añadida que con 4) los cambios respecto a la configuración de 4 no son muy significativos y son claramente inferiores a los registrados entre la pala sola y con 4 dampeners. Por lo tanto el efecto de añadir masa no es el responsable de la reducción de la vibración.

**Tabla 3.2 Porcentaje de variación de las aceleraciones RMS calculadas para las dos palas**

| PALA BLANDA | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **F central (Hz)** | 4D | 9D | 4D_Pond | 9D_Pond |
| **200** | -43% | -42% | -38% | -32% |
| **400** | -51% | -50% | -44% | -39% |
| **800** | -36% | -45% | -36% | -33% |
| **1600** | -54% | -55% | -36% | -32% |
| **PALA DURA** | | | | |
| **F central (Hz)** | 4D | 9D | 4D_Pond | 9D_Pond |
| **200** | -34% | -29% | -24% | -14% |
| **400** | -38% | -41% | -27% | -23% |
| **800** | -40% | -59% | -26% | -20% |
| **1600** | -9% | -35% | -24% | -20% |

Por último, se recoge en la Tabla 3.3 los valores totales de aceleración RMS para todos los casos, calculados en un rango de frecuencias entre 70 y 2250 Hz y la variación respecto a la pala sola. En este caso, el valor RMS de la fuerza aplicada en el centro de la pala se correspondería aproximadamente con 47N (PSD de la fuerza: $1N^2/Hz$ entre 70 y 2250 HZ)

**Tabla 3.3 Aceleraciones TOTALES RMS entre 70 y 2250 Hz para fuerza en el centro de la pala de $1N^2/Hz$ (47N RMS)**

| RMS TOTAL ($m/s^2$) | SIN ponderar | | | PONDERADO | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **SOLA** | **4D** | **9D** | **SOLA** | **4D_Pond** | **9D_Pond** |
| **Pala Blanda** | 2628 | 1417 | 1350 | 125 | 79 | 84 |
| | | -46% | -49% | | -37% | -33% |
| **Pala Dura** | 6875 | 5696 | 4258 | 121 | 93 | 101 |
| | | -17% | -38% | | -24% | -17% |

# 4. Conclusiones

Se han ensayado dos palas de pádel, registrando su comportamiento dinámico en condiciones independientes de la persona que la utiliza, y se ha realizado un estudio comparativo del nivel de vibración que aparece cuando se incorporan los "Padel Dampeners" de la marca "ShockOut Padel". Para ello se han utilizado las Funciones de Respuesta en Frecuencias (FRF) obtenidas en los ensayos y que se pueden considerar como la firma para el comportamiento dinámico (Vibraciones) de las palas.

Una de las palas ensayadas es de gama media y la otra es de gama alta y presentan niveles de vibraciones diferentes para distintos rangos de frecuencia. Se consideran un buen ejemplo de las vibraciones que aparecen en todas las palas de pádel ya que, al fin y al cabo, todas ellas son sólidos deformables.

Una comparación de las FRF muestra un nivel de reducción apreciable en el nivel de respuesta de la pala cuando se incorporan los "Dampeners".

Para concretar el nivel de aceleración se ha optado por calcular los valores RMS definidos por la Norma UNE-EN –ISO 5349: "Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones trasmitidas por la mano" (Abril 2002). Se ha considerado una excitación aleatoria de $1N^2/Hz$ y se han calculado los valores para las octavas definidas en dicha norma. Además, y como análisis adicional para considerar la influencia de la frecuencia, se han calculado los valores con los coeficientes de ponderación de la Norma.

Los niveles de respuesta obtenidos en este estudio no se deben tomar como valores definitivos y aplicables a cualquier tipo de pala aunque si es de esperar que el efecto de reducción aparezca en la mayor parte de los casos.

Las diversas comparaciones realizadas muestran que cuando se incorporan los "dampeners" en ambas palas se reduce el nivel de aceleración en la empuñadura, y por lo tanto los efectos nocivos de dichas vibraciones. Los valores obtenidos de reducción son una aproximación, que como se ha visto depende de la respuesta específica de la pala.

En las distintas aproximaciones realizadas para establecer las diferencias (RMS ponderado, por octavas, en la banda completa), entre las palas solas y con dampeners de la marca "ShockOut Padel", se ha comprobado una disminución de las vibraciones. Como valores representativos se puede decir que, cuando se incorporan 9 Dampeners, se disminuye el nivel de vibración (aceleración RMS entre 70 y 2250 Hz) en un 49% en la pala de gama media y un 38% en la de gama alta

Por último, y aunque el porcentaje de reducción en la pala de gama alta o pala dura es inferior al de la pala de gama media, se debe tener en cuenta que la sensibilidad a las vibraciones depende en gran medida del jugador. Además, para una optimización de la localización de los dampeners sería necesario un estudio detallado.