

Estudio de alternativas al Sistema de Aislamiento de Base del edificio IFMIF-DONES en Escúzar (Granada)

Study of alternatives to the Base Isolation System of the IFMIF-DONES building in Escúzar (Granada)

José Antonio Agudelo Zapata^a, Héctor Bernardo Gutiérrez^b, Manuel Escamilla García-Galán^c, Jorge Maestre Heredia^d y Mario Ruiz López^e

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pontem Engineering Services S.L. Director Técnico. agudelo@pontem.es

^b Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Pontem Engineering Services S.L. Director de Operaciones.
hbernardo@pontem.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pontem Engineering Services S.L. Director General. mescamilla@pontem.es

^d Doctor Ingeniero Industrial. IFMIF-DONES España. Coordinador del sistema
litio de IFMIF-DONES. jorge.maestrtre@ifmif-dones.es

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IFMIF-DONES España. Director Técnico. mario.ruiz@ifmif-dones.es

RESUMEN

En el presente trabajo se recoge el estudio de alternativas de aislamiento sísmico para el edificio principal del complejo IFMIF-DONES. Dentro del mismo se evalúan las ventajas e inconvenientes de los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB) definidos inicialmente, frente a otras alternativas. El objetivo último es mejorar la protección de los equipos sensibles a vibraciones durante sismos operacionales, así como optimizar el desempeño del edificio ante el sismo de diseño. La solución seleccionada como más ventajosa es la combinación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y apoyos elastoméricos convencionales (RB).

ABSTRACT

In this work, the study of seismic isolation alternatives for the main building of the IFMIF-DONES complex is presented. The advantages and disadvantages of the initially defined High Damping Rubber Bearings (HDRB) are evaluated against other alternatives. The ultimate objective is to improve the protection of vibration-sensitive equipment during operational earthquakes, as well as to optimize the building's performance during the design earthquake. The solution selected as the most advantageous is the combination of Lead Rubber Bearings (LRB) and conventional Rubber Bearings (RB).

PALABRAS CLAVE: Sismo, fusión, aislamiento de base, cálculo sísmico, cálculo no lineal.

KEYWORDS: Earthquake, fusion, base isolation, seismic design, Non-linear calculation

1. Introducción. Motivación del estudio.

IFMIF-DONES (International Fusion Materials Irradiation Facility – DEMO Oriented NEutron Source) es una instalación para la irradiación de materiales en el campo de la energía de fusión, siendo esencial para la construcción de DEMO (primer reactor de demostración). En 2017, tras la evaluación técnica de Fusion for Energy (F4E), se determinó que su ubicación sería el Parque Metropolitano Industrial y Tecnológico de Escúzar (Granada).

Dicha zona posee la más alta sismicidad dentro de la Península Ibérica, con una aceleración básica de 0,25g según el mapa de la NCSE-02 [1] y 0,26 según el Anejo Nacional de la EN 1998-1 [2]. Para afrontar esta realidad, el diseño de edificio principal está planteado con aislamiento sísmico de base, siguiendo así el concepto implementado en ITER, y siendo uno de los pocos casos en España que dispondría de tal tecnología en edificación.

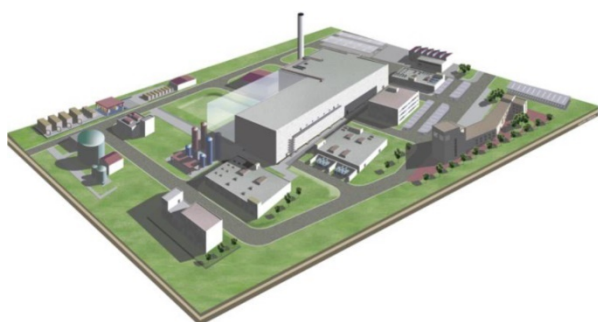


Figura 1. Esquema 3d de las instalaciones IFMIF-DONES.

Además, el edificio a construir plantea desde sus inicios una posible futura ampliación del mismo para albergar nuevas instalaciones, lo cual modificará notablemente la geometría del edificio (Figura 1).

Los objetivos del estudio realizado son los siguientes:

Evaluación de la solución de aislamiento de base inicialmente definida en el proyecto.

- Análisis de alternativas en la configuración del aislamiento de base para el edificio que puedan ofrecer ventajas respecto a la situación inicialmente proyectada.
- Análisis en detalle de la alternativa seleccionada, definiendo mejoras e inconvenientes frente a la solución planteada por el proyecto.

2. Descripción de la estructura y sistema de aislamiento de base inicialmente definido

El edificio principal, que alberga los principales sistemas de la instalación, tiene planta en forma de L (o dos rectángulos de distinto tamaño) denominado DONES. La dimensión mayor es 158,50 m mientras que en el sentido perpendicular son de 37,50 m en la fachada oeste del edificio y 74,75 m en el este. A partir de estas dimensiones se puede obtener que el área total es de unos 9.200 m². En una futura ampliación del edificio, denominada IFMIF, la planta quedaría rectangular de 158,50 x 82,25 m. La estructura consta de 5 forjados de losa maciza de hormigón armado, sobre pilares de hormigón armado, aunque también hay muros de gran grosor que juegan una doble función como blindaje y confinamiento radiológico, propio de este tipo de instalación (Figura 2).

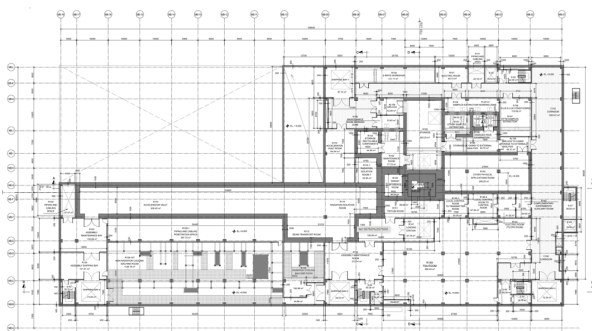


Figura 2. Planta del edificio sin ampliación.

El sistema de aislación planteado en el proyecto, y que es objeto del análisis, consiste en la utilización de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB), situados bajo los pilares del edificio.

Se plantea inicialmente un conjunto de 280 aisladores tipo SI-N 1100/168 del catálogo de la empresa FIP INDUSTRIALE.

Estos aisladores se disponen en conjuntos de 1, 2 o 3 unidades bajo cada pilar, en función de la carga. La distribución original es la indicada en la Figura 3.



Figura 3. Disposición esquemática en planta de los aisladores sísmicos.

Como se puede observar, debido a los estrictos condicionantes de los equipos a albergar, la estructura no puede seguir los patrones de regularidad en planta y alzado recomendados en el diseño sísmico, como tampoco mantiene un único sistema resistente en todas sus plantas. Esto lleva a que la acción sísmica pueda tener importantes efectos en la estructura, por lo que conseguir el máximo aislamiento frente al sismo de diseño es fundamental.

3. Acciones sísmicas

Se utilizan dos tipos de sismo referidos a dos periodos de retorno (1.000 y 10.000 años). Cada uno se define mediante un espectro de peligrosidad uniforme empleado para el cálculo modal-espectral (Figura 4), así como por conjuntos de acelerogramas para un cálculo en el dominio del tiempo.

El sismo de 1.000 años se emplea para evaluar la integridad y buen funcionamiento de equipos sensibles, mientras que el de 1.0000 años se utiliza para evaluar la integridad estructural del edificio y dimensionar el sistema de aislamiento de base.

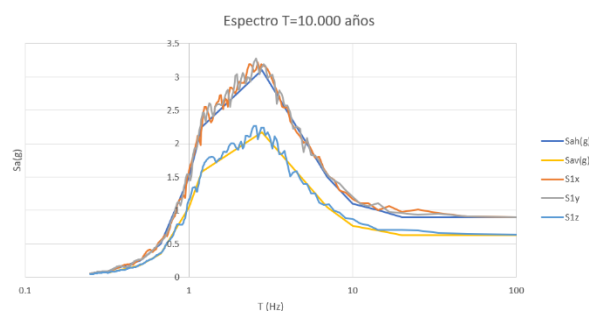


Figura 4. Gráfico de espectros de diseño utilizados y espectro de los acelerogramas utilizados T=10000 años.

Los acelerogramas empleados tienen una duración de 20 segundos y su función de intensidad es sensiblemente trapezoidal (Figura 5).

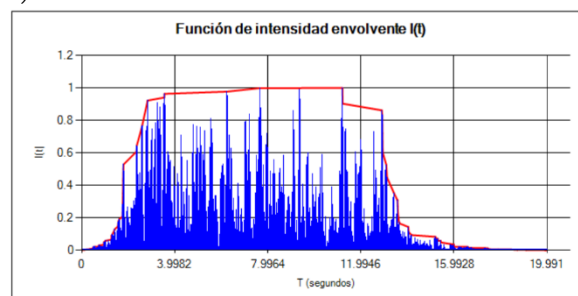


Figura 5. Funciones de intensidad de algunos de los acelerogramas. Se observa la forma trapezoidal.

4. Modelos de cálculo

Se realizaron dos modelos de cálculo del edificio, uno para la situación inicial del edificio, en forma

de “L” denominado DONES y otro modelo para el edificio ampliado denominado IFMIF (Figura 6).

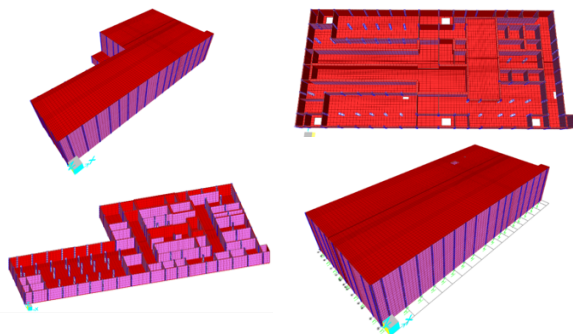


Figura 6. Vistas de los modelos realizados.

Ambos modelos se han realizado con elementos lámina para los forjados y muros perimetrales e interiores, mientras que los pilares han sido modelizados con elementos viga. Los elementos del sistema de aislamiento de base han sido modelizados con elementos link unidimensionales entre nudos. La estructura se ha considerado en régimen elástico, mientras que a los elementos del sistema de aislamiento de base se les ha asignado leyes de comportamiento no lineales o linealizadas según el tipo de cálculo.

5. Análisis del sistema de aislamiento inicial.

Como se ha comentado, la solución inicial planteada para la aislación de la estructura es el uso de 280 aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB), situados bajo los pilares del edificio.

Al tratarse de unos aisladores de goma de alto amortiguamiento se tiene una respuesta altamente no lineal, por lo que se realizó tanto un cálculo no lineal en el dominio del tiempo, como un cálculo modal espectral.

Para representar la no linealidad del material se ha considerado un comportamiento bilineal del aislador siguiendo el esquema de la Figura 7.

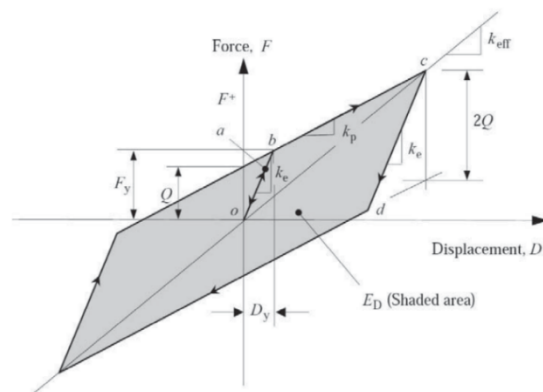


Figura 7. Ley de comportamiento bilineal simplificada de un aislador de goma de alto amortiguamiento HDRB [3].

En el cálculo modal espectral, dado que existe tanto una variación del módulo dinámico de cortante G_{din} como una variación del amortiguamiento viscoso equivalente ξ obtenidos en función de la deformación transversal del aislador, se requiere un proceso iterativo que determine los parámetros equivalentes linealizados a emplear, tanto en la rigidez de los aisladores como en el amortiguamiento a emplear en el espectro del modo principal. Esta hipótesis tiene una carencia de base teórica [6] pero es comúnmente empleada. Las conclusiones del análisis fueron las siguientes:

Se comprobó la cercanía entre el centro de rigidez y de masas del edificio, en combinación cuasi permanente ($G+0,5Q$), obteniendo un radio de torsión natural de la estructura de tan solo 1,25 m, realmente escaso dada la asimetría de la estructura (Figura 8).

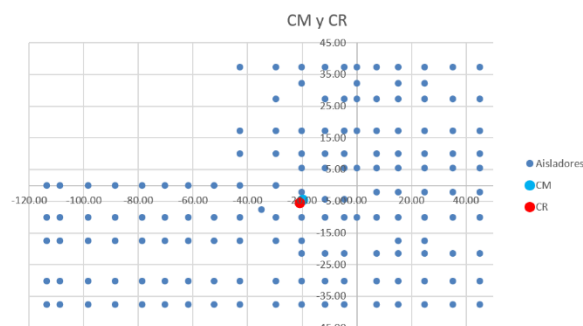


Figura 8. Centro de Masas y de Rigidez en la planta del edificio.

Mientras más reducido se este par, los desplazamientos en los aisladores por efecto de la torsión son menores.

Se calculó la carga por aislador en la combinación cuasi permanente obteniendo una carga media de 7,7 MN y que el 86,8% de los aisladores están en el rango comprendido entre el -20% al 20% de la carga media existiendo sólo un 6,1% con carga superior a ese rango y un 7,1% con carga inferior.

Para confirmar y afinar el cálculo de los desplazamientos de los aisladores, al tener gran importancia su comportamiento no lineal y ante las limitaciones del cálculo modal espectral, se realizó un análisis no lineal de integración en el tiempo con los registros de sismos de 10000 años, obteniendo que el 37,5% de los aisladores superaban los 300 mm de desplazamiento permitidos por el fabricante.

6. Estudio de alternativas

Tras el análisis de los sistemas existentes y aplicables con la normativa europea vigente [1 7], se realizaron varias propuestas de sistemas de aislación aplicables al problema en estudio.

El objeto de este análisis difiere del alcance habitual esperado para el diseño de un sistema de aislamiento de base. Normalmente dicho objetivo es aislar la estructura de la acción sísmica de manera que los esfuerzos derivados sean pequeños. Sin embargo, en el proyecto que nos ocupa, la optimización del sistema no busca tanto la reducción de esfuerzos en el edificio ante el sismo de $T=10000$ años, algo ya conseguido con el diseño inicial, sino la optimización para mejorar su desempeño ante el sismo de $T=1000$ años y/o otros sismos menores más frecuentes (operacionales). En última instancia se trata de que los equipamientos presentes en el edificio se vean sometidos a las menores aceleraciones posibles y obtener los espectros de respuesta de planta que permitan dimensionar, en su caso, las bases de aislamiento individuales de cada uno de ellos.

Aunque se disponía de un modelo de cálculo completo y detallado de la estructura realizado en la anterior fase del trabajo, su uso para el encaje de soluciones se consideró, además de inabordable en términos computacionales, poco práctico.

Es por ello razonable la elaboración de modelos de cálculo simplificados que, recogiendo parcialmente las particularidades de la estructura y el sistema de aislamiento, permitan explorar un alto número de alternativas de una manera suficientemente precisa como para poder compararlas y seleccionar las candidatas más adecuadas para un estudio de detalle. Este abordaje es habitual en problemas de similares [4,5].

A efectos de análisis y comparación de una serie de soluciones alternativas al diseño del aislamiento de base del edificio DONES, se recurrió a la simplificación de usar un oscilador de un grado de libertad correspondiente a la masa del edificio y al sistema de aislamiento propuesto.

Este sistema se ha sometido a una excitación dinámica en forma de aceleraciones correspondientes al registro del acelerograma de periodo de retorno 10.000 años, obteniendo las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos en el centro de masas, así como los espectros de planta en el centro de gravedad (masa del sistema de 1 gdl equivalente).

Los resultados deben tomarse con reservas debido a las simplificaciones introducidas, a saber:

- La triple direccionalidad de los acelerogramas.
- El efecto de la torsión del edificio, derivado de la excentricidad natural y de la impuesta por normativa.
- El efecto del brazo mecánico entre el punto de control (centro de masas) y los puntos de evaluación del espectro.

Con estas limitaciones, se realizaron cálculos no lineales con integración en el tiempo,

de manera que se han obtenido comparativas y extraer algunas conclusiones.

Las soluciones estudiadas junto a las principales conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

6.1 Propuesta 1: Uso de Aisladores Elastoméricos (RB)

Se trata de una solución que aporta un simple aislamiento de las frecuencias sin amortiguar el sistema. Aunque esta solución no presenta especiales ventajas a la solución ya estudiada en el proyecto, su estudio ofrece interés debido a que se trata de un primer punto de partida para poder comparar resultados con otros sistemas más complejos donde además de aislar frecuencias se disipe energía.

Del análisis de esta solución se observó que ofrece una reducción significativa de los valores del espectro de aceleraciones en el centro de masa para periodos bajos, aumentando la energía en el periodo fundamental de la estructura aislada (2,60 s).

6.2 Propuesta 2: uso de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB)

Como se ha comentado anteriormente, estos dispositivos elastoméricos ofrecen un amortiguamiento no despreciable, al contrario que los tradicionales RB.

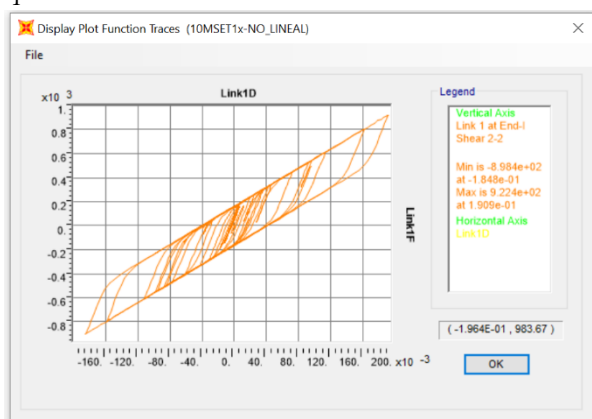


Figura 9. Ciclos de histéresis de un aislador HDRB en el cálculo realizado.

La importante reducción del espectro de aceleraciones en periodos bajos mejora el comportamiento o resistencia de los equipamientos del edificio durante los sismos.

Esta solución consigue también desplazamientos menores respecto de la propuesta de aislamiento RB.

Del análisis realizado con el edificio IFMIF, asumiendo cierta simetría en la parte de la futura ampliación, se desprende que es posible seguir manteniendo el centro de rigidez de la estructura aislada cerca del centro de masas de la misma de manera sencilla.

6.3 Propuesta 3: uso de Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo (LRB)

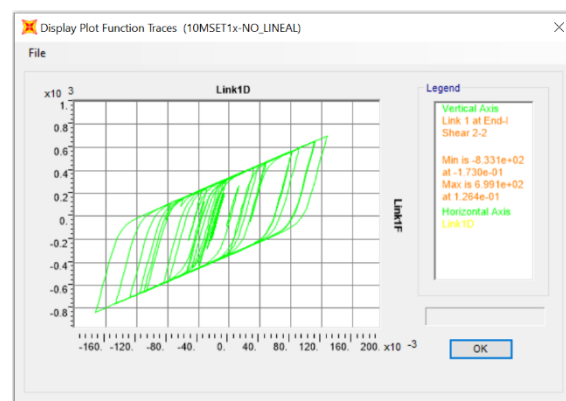


Figura 10. Ciclos de histéresis de un aisladore HDRB en el cálculo realizado.

El uso de LRB disminuye sensiblemente los desplazamientos del edificio respecto a soluciones anteriores y consigue una fracción de amortiguamiento general de hasta el 19% (del orden del doble del conseguido con HDRB).

6.4 Propuesta 4: uso de Péndulos de Fricción

El uso de péndulos de fricción ofrece una amortiguación mayor que las soluciones anteriores. Sin embargo, requieren un mayor mantenimiento y no proporciona capacidad de tracción por lo que puede limitar su uso en algunos puntos de la estructura (periferia en planta).

Aunque este sistema pueda ofrecer un amortiguamiento superior a los anteriores, su

coste es sensiblemente mayor. Por otro lado, es un sistema que exigen un mantenimiento mínimo por lo que supone igualmente un coste adicional.

6.5 Propuesta 5: Uso de Amortiguadores Viscosos (FVD) junto con Aisladores Elastoméricos (RB)

Esta solución se basa en disponer en cada apoyo un o unos aisladores elastómeros convencionales RB y, por otro lado, disponer de amortiguadores viscosos en el perímetro del edificio, conectado un extremo en el forjado inicial y otro extremo con la pared del foso en el queda insertada la estructura (Figura 11).

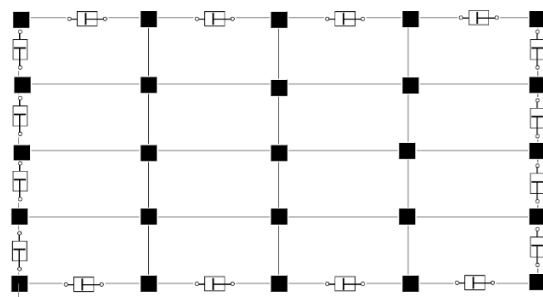


Figura 11. Ejemplo de distribución de aisladores RB bajo pilares y los amortiguadores en el perímetro de la estructura.

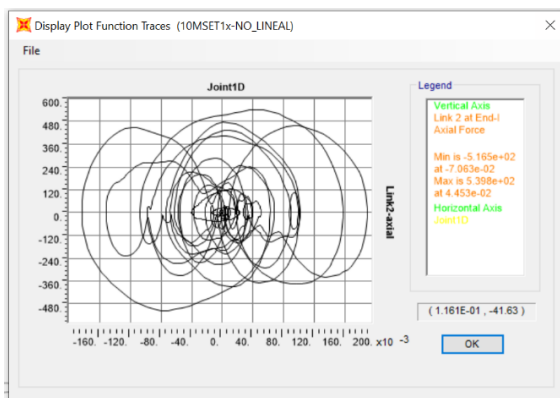


Figura 12. Ciclos de histéresis del amortiguador en el cálculo realizado.

Esta solución puede ofrecer amortiguaciones considerables en función del número de dispositivos dispuestos a disponer. Por otro lado, estudiando convenientemente el valor de exponente que controla la deformación, puede conseguirse mejora en la atenuación del espectro de aceleraciones en el centro de masas para algunas frecuencias en detrimento de otras.

El principal inconveniente de este sistema es su disposición ya que se debe hacer de la manera más simétrica posible para que funcionen bien ante movimientos torsionales (de manera conjunta). Este hecho puede resultar un problema en la fase inicial del edificio, que tienen forma en “L” en planta. Posteriormente, en la fase final, con una forma rectangular, no ofrecería dicho inconveniente.

6.4 Comparación entre propuestas

Para ofrecer una comparativa entre todas las soluciones analizadas se elaboró un gráfico de espectro de aceleraciones.

Como puede apreciarse en la Figura 13, soluciones como aisladores RB y PF ofrecen una reducción del espectro de aceleraciones en el centro de masas del edificio para periodos propios bajos, pero no así para los altos. Por otro lado, el uso de aisladores HDRB y LRB sigue ofreciendo una buena reducción del espectro de aceleraciones en los bajos periodos (no tanto como las soluciones anteriores) pero mejoran el comportamiento en los periodos propios altos del equipamiento dispuesto en el interior del edificio. El uso mixto entre RB y LRB o RB y Amortiguadores viscosos podrían ofrecer soluciones con un buen comportamiento en todo el rango de frecuencias.

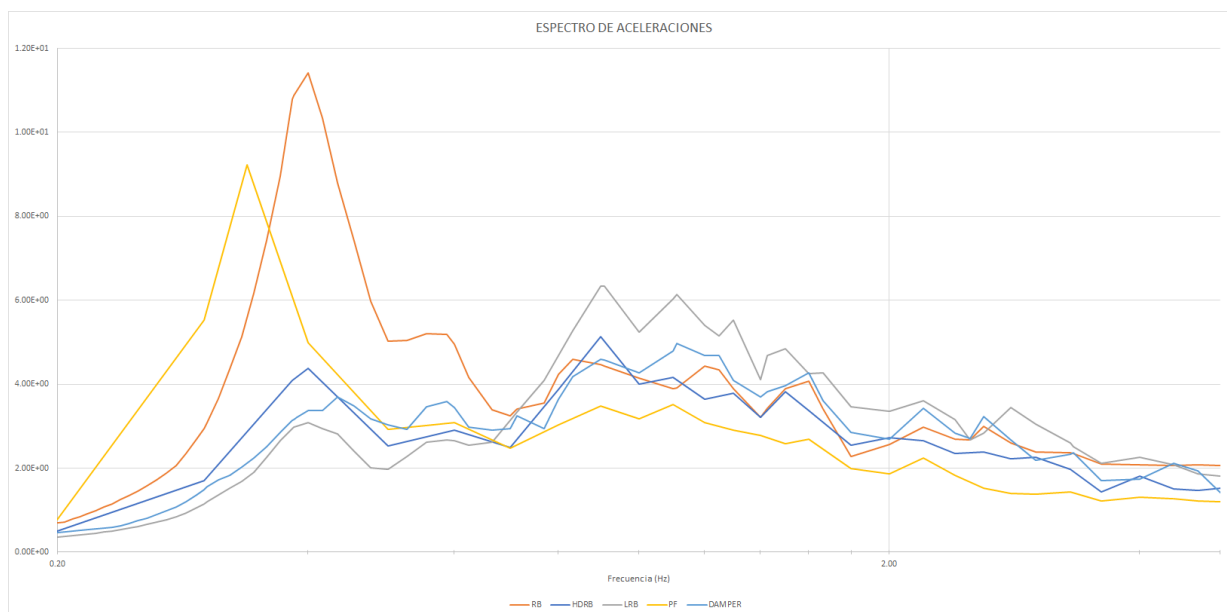


Figura 13. Espectro de aceleraciones de las soluciones propuestas considerando el amortiguamiento inherente de la estructura.

Con base en los resultados y, pese a que era necesaria una revisión de las frecuencias de trabajo de la maquinaria a disponer en el edificio para validar la elección, se recomendó un estudio más detallado y cuantitativo de las siguientes soluciones, por considerar las que mejor se adapta a los condicionantes del proyecto, muchos de ellos distintos de los estructurales:

- Uso de aisladores LRB junto con aisladores RB
- Uso de amortiguadores viscosos junto con aisladores RB aunque esta solución sólo puede ser aplicada de manera sencilla al edificio ampliado DONES.

7. Análisis de la solución elegida (RB+LRB)

Una vez presentadas las posibles soluciones de aislación y las recomendaciones tras su comparación, se demandó el análisis de la solución combinada de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y elastoméricos convencionales (RB) pero sin perder de vista que la configuración de los aisladores permita ampliar la estructura en el futuro sin necesidad

de cambio de los aparatos de apoyo ya dispuestos inicialmente.

7.1. Criterios de diseño para las soluciones propuestas

Los criterios utilizados para dimensionar y optimizar las soluciones a proponer fueron los siguientes:

- Minimización de la excentricidad natural del sistema.
- Limitación de las máximas y mínimas cargas verticales. Se busca que todos los aisladores queden comprimidos por debajo de su carga máxima de trabajo y queden lejos de la descompresión.
- Limitación de los máximos desplazamientos: Se busca que los desplazamientos de los aisladores no superen los máximos permitidos por dichos elementos. Para el cálculo afinado de los desplazamientos se recurrió a tres tipos de cálculo. **Un cálculo NO LINEAL** en el dominio del tiempo, usando los conjuntos de acelerogramas de $T=10.000$, con una ley de comportamiento lineal en los aisladores RB y con la ley bilineal e histéresis para los LRB. Este método es, en principio, más preciso que el

análisis modal espectral, al poder considerar correctamente el comportamiento no lineal de los LRB así como la correcta evaluación el amortiguamiento por histéresis del material sin recurrir a un amortiguamiento viscoso equivalente, pero no permite generar la excentricidad accidental obligatoria por normativa de manera sencilla.

Un cálculo LINEAL en el dominio del tiempo, usando el mismo conjunto de acelerogramas anteriores, admitiendo un comportamiento de material con ley lineal en los aisladores RB y un amortiguamiento viscoso equivalente estimado global para los LRB. Este método requiere iteraciones y tiene limitaciones frente al análisis no lineal efectuado en el apartado anterior, pero permite calibrar la respuesta del método no lineal, sujeto a posibles inestabilidades y/o errores en la integración, así como confirmar el amortiguamiento del sistema. Tampoco permite generar la excentricidad accidental obligatoria por normativa de manera sencilla.

Un cálculo MODAL ESPECTRAL, que parte de la obtención de los modos de vibración en un modelo lineal y la obtención de las respuestas máximas mediante los espectros de proyecto para $T=10.000$, asignando el amortiguamiento tipo a los aisladores LRB en función del desplazamiento máximo esperado. Este cálculo es una simplificación del caso anterior y sólo permite obtener los máximos de los diferentes modos de vibración combinados mediante la técnica CQC. Sin embargo, este método ofrece la ventaja de permitir imponer la excentricidad accidental definida en normativa. Se realizan dos cálculos en este caso, uno sin excentricidad accidental y otro con la excentricidad accidental definida en normativa. El primero tiene el doble objetivo de calibrar los resultados de los cálculos anteriores, así como servir de referencia para, comparado con el segundo, poder determinar un factor de amplificación de los desplazamientos por efecto de la torsión accidental, que se pueda aplicar a los resultados de los cálculos en el dominio del tiempo.

- Que el amortiguamiento global del sistema sea superior al 10% que se obtuvo en el diseño original del sistema de aislamiento (con sistemas HDRB) con el objeto de mejorar el comportamiento en la zona de frecuencias altas.

7.2. Soluciones propuestas

Finalmente se diseñaron dos tipos de soluciones:

- **Una primera solución** asumiendo que el edificio se construya en su totalidad con la planta correspondiente a la implantación IFMIF. Esta solución se compone de un conjunto de 347 aisladores, 171 de los cuales son de tipo RB estándares tipo Ø900(225) y 176 aisladores tipo LRB estándares tipo LRB 0.8 Ø800(358).
- **Una segunda solución** asumiendo la construcción y puesta en servicio del edificio en dos fases. 1 DONES, 2 IFMIF. Se ha buscado no realizar ningún cambio en los aisladores de la fase 1 al pasar a la 3. La primera fase cuenta con un conjunto de 287 aisladores, 138 de los cuales son de tipo RB y 149 aisladores tipo LRB. La segunda fase parte de los aparatos dispuestos en la fase anterior y se añaden hasta contar con un conjunto final de 347 aisladores, 159 de los cuales son de tipo RB y 188 aisladores.

7.3. Resultados

Se comprobó que las distribuciones de aisladores propuestas cumplieran con los criterios de diseño fijados dado que no se superan las reacciones máximas ni en servicio ni en sismo, del mismo modo que los desplazamientos máximos obtenidos de los aisladores, incluso considerando la excentricidad accidental, cumplieran con las limitaciones de dichos elementos.

Por último, se verificó que el amortiguamiento del sistema se situaba en el 16-17%.

Se puede considerar por tanto que las soluciones propuestas son viables y suponen una mejora frente a la solución actual del proyecto, planteada con apoyos elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB).

8. Conclusiones

El análisis realizado ha permitido identificar las ventajas e inconvenientes de las diferentes soluciones de aislamiento sísmico propuestas para el edificio IFMIF-DONES.

Finalmente se ha concluido que una solución de aislación consistente en el uso combinado de aisladores tipo LRB y RB ofrecen las mayores ventajas para el proyecto.

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento al personal de IFMIF-DONES por su confianza y colaboración en este proyecto. Su dedicación y apoyo han sido fundamentales para el éxito de nuestras investigaciones y desarrollos. Apreciamos profundamente su compromiso y esfuerzo, que han sido clave para alcanzar los objetivos propuestos.

Referencias

[1] Subcomisión Permanente de Normas Sismorresistentes, Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02), Ministerio de Fomento, Madrid, 2002.

[2] Eurocódigo 8: Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1-1: Reglas generales. Acciones sísmicas y requisitos generales. UNE-EN 1998-1-1

[3] L. Rico, G. Chio. "Uso de aisladores de base en puentes de concreto simplemente apoyados" *Tecnura*, vol. 16, núm. 34, octubre-diciembre, 2012, pp. 103-124 Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá, Colombia

[4] Asano, H, Hirotani, T, Nakayama, T, Norimono, T, Aikawa, Y, Sato, K, Asakura, S, Jimbo, M, & Umeki, Y. "Development of an Evaluation Method for Seismic Isolation Systems of Nuclear Power Facilities: Part 10 — Evaluation of Seismic Isolator. Design." *Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels and Piping Conference*. Volume 8: Seismic Engineering. Anaheim, California, USA. July 20–24, 2014. V008T08A017. ASME.

[5] Hijikata, K., Takahashi, M., Aoyagi, T., & Mashimo, M. (2011). Behavior of a Base Isolated Building at Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant During the Great East Japan Earthquake. In *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the* (pp. 1-4).

[6] Krawinkler, H. (1995, January). New trends in seismic design methodology. *European Conference On Earthquake Engineering*.

[7] UNE-EN 15129:2019 Dispositivos antisísmicos