







## Refuerzo Sísmico de la Sede de Nestlé Portugal en Linda-a-Velha, Lisboa, Portugal

Seismic Upgrading of Nestlé Portugal Headquarters in Linda-a-Velha, Lisbon, Portugal

Patricio García, a, Joao Almeida b, Alexis Pinheiro c, David Castro d, Filipe Reis c, Laura Alvarez f

> <sup>a</sup> Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Asociado. Arup <sup>b</sup> Ingeniero Civil. Socio. JSJ c Real Estate & Facilities Project Manager <sup>d</sup> Structural Engineer. Director Asociado. Arup <sup>e</sup> Ingeniero de Estructuras, JSJ f Ingeniera Técnica de Obras Públicas. Arup

#### **RESUMEN**

La sede de Nestlé Portugal en Lisboa ha sido reforzada sísmicamente para adecuarla a los estándares europeos más recientes de edificios. Una importante fase de estudio con colaboración intensa con el equipo de Nestlé, ha permitido minimizar las actuaciones de refuerzo, consiguiente que el edificio no haya cesado su actividad en ningún momento, concentrado las actuaciones en zonas muy concretas y empleando horarios de trabajo nocturnos y de fines de semana. El trabajo venía además muy condicionado por la presencia en el edificio del centro de datos de Nestlé Portugal, lo que además exigía una limitación importante de vibración e impactos.

#### **ABSTRACT**

The Portugal Nestlé Headquarters in Lisbon has been seismically upgraded to meet the most recent European standards. An important study phase, which included an intensive collaboration with the Nestlé team, has made possible that the strengthening has been minimized allowing for the building to continue with its normal operations. Interventions have been limited to very specific areas of the building, with works carried out at night and during weekends. This was also quite influenced by the presence in the building of the Nestlé data centre in Portugal, which also limited significantly the vibrations and the impacts that could occur during construction.

PALABRAS CLAVE: sismo, refuerzo, muro, hormigón, espectro.

KEYWORDS: seismic, retrofit, strengthening, shear walls, concrete, response spectrum.

### 1. Introducción y descripción del edificio

Con la idea de mantener el edificio de su sede central de Portugal dentro de las actualizaciones de las normativas símicas, Nestlé tomó la decisión de realizar una evaluación estructural sísmica de la estructura, y en caso de ser necesario, realizar un refuerzo estructural.

El complejo de la sede de Nestlé Portugal, construido en 1992, está localizado en Linda-a-Velha, cerca de Lisboa. Consta de un edificio principal, un edificio con un comedor y otros edificios de menor entidad (Figura 1 y Figura 2).



Figura 1. Alzado general del edificio principal del complejo.



Figura 2. Vista aerea del complejo.

### Figura 3).

El ala éste cuenta con dos sótanos y cuatro plantas sobre rasante, mientras que el ala oeste tiene un sótano y tres plantas superiores. Ambos edificios tienen una zona reducida de instalaciones sobre cubierta, lo que supone un forjado más, si bien en un área reducida (Fig. 4).

El edificio del comedor tiene una sola altura, y está situado al norte del ala oeste, separado del edificio principal mediante una junta de dilatación.

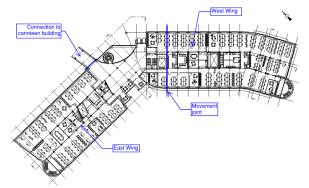
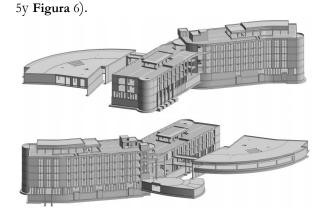


Figura 3. Situación de las juntas de dilatación.

Figura



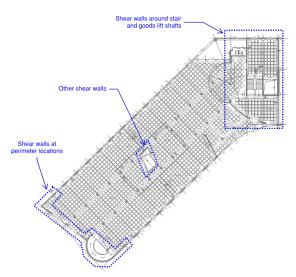


Figura 5. Planta general del ala oeste.

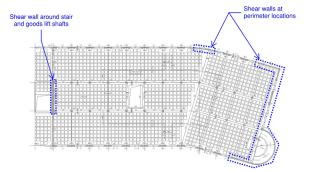


Figura 6. Planta general del ala este.

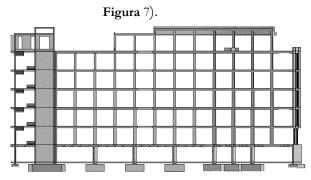


Figura 7. Apeo en ala éste.



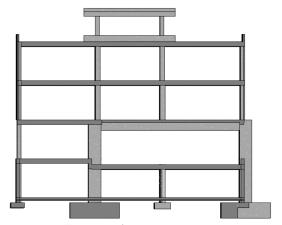


Figura 8. Apeo en ala oeste.

Con la idea de llevar a cabo esta evaluación de manera ordenada se estableció una hoja de ruta que permitiera ir tomando decisiones en coordinación con el equipo de Facilities Management de Nestlé. Esta hoja de ruta consistió en:

- Evaluación factual, basada en revisión de documentación y en una visita a obra.
- Evaluación analítica, basada en modelos analíticos de cálculo.

#### 2.1 Evaluación factual

Se realizó en primer lugar una primera revisión de la documentación de proyecto, planos y memorias lo que permitió conocer de manera precisa la estructura del edificio.

Con este conocimiento previo de la estructura, se realizó una visita detallada al edificio que incluyo el observar todas aquellas zonas en la que la estructura era visible. Adicionalmente se retiraron falsos techos y otros elementos removibles en zonas concretas de especial interés, tales como las vigas de apeo de auditorio o las zonas de junta de dilatación.

Como estudio preliminar, se investigó el número de terremotos que ha resistido el edificio desde el momento de su construcción. Como puede verse en la Figura 9, se comprobó que hubo alrededor de 25 terremotos en la zona cercana del edificio, con uno de ellos de 3.8 de magnitud. En la Figura 10 se muestra la posición del terremoto de M3.8, a 4.2 km de distancia del edificio:



Figura 9. Terremotos registrados en las cercanías desde el momento de la construcción del edificio.



Figura 10. Situación del terremoto de M3.8.

# • Comportamiento del edificio bajo cargas verticales:

En las zonas observadas no se vieron signos aparentes de tensiones excesivas. Se observaron de manera particular las zonas donde eran esperables mayores tensiones, pudiendo comprobarse un comportamiento adecuado de las mismas.

# • Comportamiento del edificio bajo cargas laterales:

- -El edificio había estado sometido a vientos y terremotos de reducida magnitud durante más de 25 años sin que pudieran observarse signos de tensiones excesivas.
- Se comprobó que la junta de dilatación tenía un ancho muy reducido y debía ser estudiada.

### 2.2 Evaluación analítica

Tras esta primera fase que reveló el buen estado aparente de la estructura y su buen comportamiento en sus más de 25 años de funcionamiento, se realizó un estudio analítico mediante dos modelos de elementos finitos, uno para el módulo éste y otro para el módulo oeste.

#### Cargas gravitatorias

Como cargas gravitatorias se tomaron las incluidas en la memoria original del proyecto, optimizando aquellas que podían optimizarse en base a las existentes en el edificio.

#### Cargas sísmicas

Para el empleo de carga sísmicas se realizó una comparativa entre los espectros de la antigua norma portuguesa RSA-83 (pero aún vigente) y el Anejo Nacional del Eurocódigo 8, NP EN 1998-1 (2010). Ambos espectros cuentan con dos curvas, la correspondiente al evento cercano, y la correspondiente al evento lejano (Figura 11).

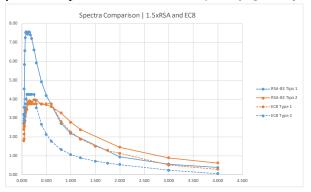


Figura 11. Comparativa de los espectros de la norma RSA-86 y del anejo nacional del Eurocódigo 8

#### Materiales

Para la resistencia del hormigón se decidió emplear una resistencia aumentada debida al endurecimiento, en línea tanto con la antigua normativa portuguesa (pero aún vigente) de hormigón REBAP-83, el Eurocódigo 2 y normativa de referencia internacional de edificios existentes, como la ASCE 41.

Tabla 1. Resultados del análisis de carga.

Zona	Resistencia a 28 dias (MPa)	Resistencia tras endurecimiento (MPa)
Cimentación	16.0	26.8
Resto de elementos	20.o	29.2

Empleándose un aumento equivalente de módulo de elasticidad.

• Comportamiento de los modelos analíticos Se realizó un análisis modal espectral en el que las rigideces de los elementos fueron reducidas inicialmente en base a los valores recomendados por la normativa ASCE 41. Los modos principales del análisis modal se muestran en las figuras y tablas siguientes:

	Ala oeste	Ala éste
Masa sísmica	99.232 kN	87.270 kN
1er periodo-T1	0.59 sec	1.03 sec
2º periodo - T2	0.46 sec	0.79 sec
3er periodo - T3	0.36 sec	0.54 sec
T1	T2	Т3
T1	T2	Т3

Figura 12. Modos principales de vibración del módulo éste y el módulo oeste.

#### • Resultados obtenidos

Se obtuvo un resultado satisfactorio para los pilares, vigas, forjados y cimentaciones de ambos módulos.

Se comprobó que un número relevante de muros de hormigón (pantallas) no cumplían con los requerimientos normativos, principalmente en las plantas inferiores. Estos muros se muestran en **Figura** 13.

EAST WING - SHEAR WALLS NOT MEETING RSA REQUIREMENTS

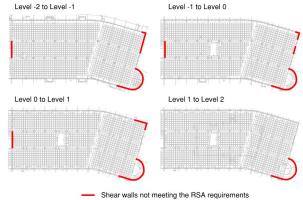


Figura 13. Muros que dieron resultado negativo en las comprobaciones realizadas.

Adicionalmente, se comprobó que la junta de dilatación entre los dos módulos era de un tamaño insuficiente. Igualmente, la unión mediante junta de media madera entre el módulo éste y la pasarela de acceso a la cantina no resultaba adecuada.

#### • Posibles soluciones de refuerzo

Se apuntaba como solución, el refuerzo de los muros de hormigón armado mediante regruesado de los mismos.

La junta entre módulos se podría por un lado ensanchar, lo que planteaba una actuación adicional en las fachadas, o bien su eliminación, uniendo estructuralmente ambos módulos lo que aparentemente presentaba importantes ventajas, como se verá en el apartado siguiente de refuerzo estructural.

Respecto a la junta a media madera con la pasarela de acceso a la cantina, se proponía independizar ambas estructuras, ampliando el tamaño de la junta y colocando pilares adicionales que sujetaran la losa en el el lado de la pasarela.

#### 3. Refuerzo Estructural

La fase de refuerzo estructural se dividió esencialmente en cuatro etapas:

- Inspecciones, catas y ensayos.
- Soluciones de refuerzo.
- Análisis.
- Cimentaciones.

### 3.1 Inspecciones, catas y ensayos

Al inicio de la fase de diseño se realizaron inspecciones con apertura de catas para caracterizar las armaduras existentes (ubicación de la armadura, medición de diámetros, posicionamiento de huecos y definición de recubrimientos). Adicionalmente se tomaron testigos y se realización de ensayos para definir la resistencia del hormigón. Estos ensayos fueron de gran importancia para clarificar las armaduras existentes en algunos elementos estructurales para los que la información del proyecto original no era clara, y sirvieron también para validar la resistencia a compresión del hormigón.

Tras la fase de evaluación sísmica (donde se decidió utilizar el espectro de la norma RSA-83), se decidió incorporar el espectro de respuesta del Eurocódigo 8 parte 1-3 NP EN 1998-3, siguiendo las disposiciones del anexo nacional portugués. Para el caso de este edificio, y según lo indicado en esa normativa debe verificarse el estado límite de "daño severo" (SD), en el cual se permite un período de retorno de 308 años de acuerdo con la norma.

# 3.2 Soluciones de refuerzo - diseño estructural de la intervención propuesta

La evaluación estructural realizada, así como las soluciones de refuerzo propuestas, tienen en cuenta esencialmente los siguientes aspectos principales:

estructural es en general interesante realizar, en la medida de lo posible, intervenciones de refuerzo localizadas - preferiblemente interviniendo en un número reducido de elementos, incluso si es necesario hacerlo con soluciones de refuerzo más robustas. Se definieron 10 áreas de intervención para el refuerzo estructural - Áreas de Intervención ("IZ") (Figura 14 y Figura 15).



Figura 14. Localización de zonas de refuerzo en el ala éste.

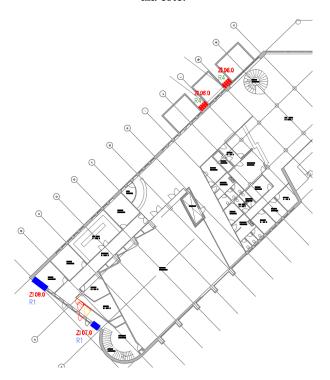


Figura 15. Localización de las zonas de refuerzo en el ala oeste.

- El aspecto anterior es aún más relevante si desea mantener el edificio en perfecto estado de funcionamiento.
- El comportamiento estructural del edificio para las acciones horizontales, y en particular para la acción sísmica, se mejora considerablemente con la eliminación de la junta central existente entre los actuales bloques, éste y oeste (Figura 16); este hecho se debe, esencialmente:
  - a la dificultad, casi imposibilidad de controlar convenientemente la situación de golpeo sísmico entre los dos bloques independientes actuales (esta situación se incluye actualmente en las verificaciones de colapso en NP EN1998-1);

 a la posibilidad, de poder reforzar convenientemente los muros (pantallas) principales situadas en el contorno del edificio. sin que esto produzca el introducir efectos de torsión indeseables;





Figura 16. Eliminación de la junta central.









Figura 17. Refuerzo de muros (pantallas) (ZI 05).

 Como se ha mencionado anteriormente, la rigidez y resistencia del edificio, para las acciones horizontales, están sustancialmente influenciadas por sus principales muros (pantallas); sin embargo, estos elementos presentan importantes reducciones de en sus dimensiones en alzado, como consecuencia de la introducción de huecos (ventanas y puertas) que sólo existen en las plantas 0 y 1. Debido a todas estas razones (mejora de las condiciones de regularidad del edificio, supresión de las discontinuidades de rigidez y resistencia en elevación en la zona inferior, más solicitadas), también se considera muy importante que el refuerzo de estos elementos incluya la restitución de su continuidad vertical, rellenando así estos huecos de puertas y ventanas (Figura 19).



Figura 18. Refuerzo de de muros (pantallas) (ZI 02).



Figura 19. Cierre de ventanas/puertas (ZI 02, ZI 07).

# 3.3 Análisis estructural de la estructura reforzada

Con la eliminación de la junta central, el comportamiento dinámico del edificio mejora. Los principales modos de análisis modal se muestran en la siguiente tabla, con los períodos de los tres primeros modos de la estructura sin juntas situándose en valores intermedios entre los obtenidos estudiando por separado las alas éste y oeste.

	Ala oeste	Ala éste	Modelo Conjunto (eliminación de junta)
Periodo 1º -T1	0.59 sec	1.03 sec	0.73 sec
Periodo 2º - T2	0.46 sec	0.79 sec	0.58 sec
Periodo 3º - T3	0.36 sec	0.54 sec	0.49 sec

Al introducir los refuerzos estructurales en el modelo analítico - cierre de tramos de muros discontinuos y refuerzo estructural de algunos muros (asignación de coeficientes de rigidez), el comportamiento global del edificio resulta más rígido y, por tanto, con un mayor valor de frecuencia (menor periodo).

Modelo Conjunto (eliminacion de junta)

	refuerzo estructural total	
Periodo 1º -T1	0.63 sec	
Periodo 2º - T2	0.52 sec	
Periodo 3º - T3	0.43 sec	

En general, el comportamiento dinámico del edificio mejoró, al introducir los refuerzos estructurales en puntos muy específicos del edificio. Por otro lado, un aspecto menos positivo de la conexión de los dos bloques (éste y oeste), fue la necesidad de reforzar, aportando mayor robustez, el cuerpo estructural situado sobre la cubierta del ala éste, destinado a la sala de máquinas. Este espacio ocupa aproximadamente 1/4 del área de la planta de la cubierta del ala éste (Figura 20).



Figura 20. Refuerzo estructural (ZI 09 e ZI 10).

La necesidad de refuerzo de este cuerpo superior, viene dada por la reducción abrupta de la rigidez en esta zona, al no haber continuidad de ningún muro, que quedan interrumpidos en cubierta, subiendo solo pilares; unida al aumento de los efectos de la acción sísmica en comparación con la situación del edificio aislado (es decir, la reducción del 1er modo de 1,03 seg. a 0,63 seg., como en los siguientes modos). La realización de este refuerzo era aún más compleja que el de otras áreas debido a las grandes limitaciones existentes - grandes máquinas de climatización, importantes conductos y tuberías, correas de cables eléctricos, etc... (Figura 21).







Figura 21. Refuerzo de estructura (ZI 09 e ZI 10)

### 3.4 Cimentaciones

Las cimentaciones (zapatas aisladas de pilares y zapatas continuas de los muros de contención) se comprobaron con el modelo de cálculo reforzado y se confirmó que presentaban dimensiones y refuerzos adecuados en relación con el valor de las tensiones admisibles del suelo de cimentación. Este hecho se debió a que, en el proyecto inicial, las tensiones de seguridad se consideraron menores, entre 2,0 y 2,5 veces, que

los valores ahora estimados sobre la base del Estudio Geológico y Geotécnico existente y empleando los criterios dispuestos en la normativa ASCE 41.

# 4. Coordinación de Trabajos con el Funcionamiento del Edificio

Antes del inicio de los trabajos se definió como principio fundamental el priorizar la seguridad de los empleados de Nestlé y de los trabajadores de la obra.

Este principio fue recordado diariamente en todos las actuaciones. La obra fue muy compleja debido a los importantes condicionantes existentes, principalmente la necesidad de mantener en total funcionamiento el edificio ya que es el centro de la operaciones de Nestlé en Portugal y no era posible un escenario en el que cesara sus actividades.

Por otro lado, parte de las intervenciones estaban localizadas en la cercanía de rutas de evacuación del edificio, que no podían verse afectadas. Adicionalmente, algunos de los refuerzos realizados interferian con puestos de trabajo de los empleados de Nestlé que debía ser recolocados, algo que tenía que ser planificado cuidadosamente.

Con estos condicionantes, los trabajos se dividieron en 10 fases, durante 5 meses, con 8 cambios de posición de los departamentos de Nestlé (en total casi 80 empleados impactados). Además, con objeto de minimizar las molestias sobre los empleados, fue necesario realizar los trabajos durante la noche, entre las 20:30h y las 5:00h, dado que el edificio se mantiene abierto para los empleados entre las 6:00h y las 20h.

La planificación de los trabajos fue fundamental para conducir las obras de la forma más correcta siempre alineada con todas los agentes involucrados en el proyecto.

Para mantener el edificio en funcionamiento fueron necesarios muchos trabajos de preparación y ventilación de la obra, diarimente, para garantir un asilamiento perfecto de cada tajo de obra evitando que llegara polvo a los puestos de trabajo. Además, el esfuerzo de limpieza diaria del edificio fue enorme para garantizar una correcta calidad del aire dentro del edificio, pues el polvo podía llegar a todos los rincones del edificio.

El impacto de la obra en la operación del edificio requirió reuniones diarias entre el project manager, la dirección de obra y el contratista, con el objetivo de definir medidas de mitigación del impacto de la obra y con la idea de conseguir la mejor planificación de los trabajos.

Los resultados fueron magníficos: cero accidentes; se cumplió el objetivo de presupuesto; y se acortó en 1 mes el plazo de obra; sin impactos en el funcionamiento del edificio.

Se ha logrado este resultado final debido a una perfecta coordinación y simbiosis entre el Nestlé, proyectista, project manager, dirección de obra y contratista.

#### 5. Conclusiones

La constante actualización de normativa y mapas sísmicos plantea un importante reto para los edificios existentes debido a que éstos fueron diseñados con la normativa aplicable a la época en que fueron construidos. Éste es el caso del Edificio de la Sede de Nestlé Portugal en Lindaa-Velha, Lisboa, Portugal, que ha sido reforzado para adecuarlo al Eurocódigo 8 parte 3, normativa de referencia a nivel europeo para la evaluación sísmica de edificios existentes, ya aprobada para su utilización en Portugal (NP EN1998-3). A estos retos normativos, hubo que añadir la dificultad de realizar los trabajos manteniendo el edificio abierto, con una interferencia mínima con las operaciones habituales que realizan sus empleados. Esta necesidad venía muy condicionada por la presencia en el edificio del centro de datos de Nestlé Portugal, del que dependen dos fábricas, dos centros de distribución y más de veinte boutiques Nespresso, lo que además exigía una limitación importante de vibración e impactos. Tras una extensa fase de estudio, se pudieron minimizar significativamente las actuaciones, limitándolas en su mayor parte al regruesado de pocas zonas de muros de hormigón en los extremos del edificio y al cerrado de alguna ventana y puerta en estas mismas zonas, todo ello derivado de la eliminación de la junta de dilatación central del edificio, que permitió el trabajo solidario y conjunto de toda la estructura. Estos trabajos se han ido faseado, realizando una parte importante de las actuaciones en horario nocturno y en fines de semana, limitando así, la interferencia con las actividades del edificio. El proyecto es fruto de una colaboración fructífera entre dos empresas de ingeniería, JSJ, en Lisboa, y Arup, desde su oficina de Madrid, así como con la muy estrecha participación del equipo técnico de Nestlé, lo que ha permitido buscar soluciones que fueran estructuralmente adecuadas y pudieran además acomodarse a las condiciones operaciones del edificio.

#### Agradecimientos

Se agradece espacialmente el inestimable apoyo del equipo de Nestlé tanto a nivel de alta dirección con de su equipo de Facilities Mangement, colaborando activamente en la elección de soluciones y colando siempre en primer plano la seguridad de sus trabajadores. En particular se agradece el apoyo incondicional de Miguel Serra, y la capacidad para solucionar problemas de Vitor Reis.

Se agradece a Patricia Tomé de Source8 por las excelentes habilidades de gestión de todo el proceso. También agradecer a la empresa constructora HTecnic y a su Director de Construcción Pedro Borges por la excelente calidad en la ejecución de la obra de refuerzo estructural.

Al equipo de Arup ingeniería involucrado, Jose Antonio del Rosario, Jose de la Peña, Jose Sierra, Carlos Merino, Javier Gonzalez, Daniel Verdugo, Estrella Morato, Alessandro Marasca y Timurhan Timur.

#### Referencias

- [1] Eurocode 0 Basis of Structural Design EN 1990:2002.
- [2] Eurocódigo 2 Design of Concrete Structures
  Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings EN 1992-1-1:2004.
- [3] Eurocódigo 8 Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings EN 1998-1:2004.
- [4] Anejo Nacional Portugués Eurocódigo 8 NP EN 1998-1 NA - 2010.
- [5] Eurocode 8 Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1-3: Assessment and Retrofitting of Buildings EN 1998-3:2005.
- [6] Nacional Portugués Eurocódigo 8 NP EN 1998-3 NA 2017.
- [7] RSA-83 Regulamento de Seguranca e Accoes
- [8] REBAP 83 Regulamento de Estruturas de Betao Armado e Pre-Esforçado
- [9] ASCE 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit t of Existing Buildings (American Society of Civil Engineers).