

**Anejo nº 4
Efectos Sísmicos.**

| Elaborado | Revisado | Aprobado |
|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Ignacio Ruiz García | Guillermo Martínez Ruíz | Francisco Javier Valencia Vera |

| Código | Objeto | Revisión | Fecha |
|-------------------------------------|------------------------|----------|------------|
| TMG6211/PPR0-AYP-CIV-R01-ANE-GE-002 | Creación del documento | C.01.01 | 10/09/2022 |
| TMG6211/PPR0-AYP-CIV-R01-ANE-GE-002 | Atención a comentarios | C.02.01 | 05/10/2022 |
| | | | |

| | |
|--|---|
| 1. Introducción | 4 |
| 2. Análisis sísmico | 4 |
| 2.1. Introducción a la zona de estudio | 4 |
| 2.2. Aceleración sísmica de cálculo | 5 |

Índice de figuras:

| | |
|---|---|
| Imagen 1. Mapa de sismicidad de Granada, IGN. Zona de estudio marcada en rojo. | 4 |
| Imagen 2. Mapa de sismicidad de la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020 (Fuente: Instituto Geográfico Nacional - Red Sísmica Nacional) | 5 |
| Imagen 3. Mapa nacional de aceleraciones sísmicas (NCSE-02) | 6 |

Índice de tablas:

| | |
|--|---|
| Tabla 1. Terremotos de mayor intensidad con registro | 4 |
| Tabla 2. Terremotos de $M \geq 4,0$ de la serie sísmica de Atarfe-Santa Fe (Fuente: IGN, versión actualizada 20.08.2021) | 5 |
| Tabla 3. Aceleración sísmica en los municipios localizados en la zona de estudio. En esta tabla se incluyen también los valores del coeficiente de contribución k. | 6 |
| Tabla 4. Tipología del terreno, de acuerdo coeficiente de amplificación del terreno | 6 |

1. Introducción

El objeto de este anejo es el análisis de los efectos sísmicos en las estructuras del presente proyecto, de acuerdo con lo reflejado en la **Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02) y Puentes (NCSP-07)**, (Real Decreto 637/2007 de 18 de mayo, BOE núm. 132, de 2 de junio de 2007).

2. Análisis sísmico

2.1. Introducción a la zona de estudio

La cuenca de Granada es una de las zonas con mayor sismicidad de la península Ibérica, la importancia de este punto deriva del reciente origen tectónico del sustrato de la zona, que además se trata de una zona tectónicamente activa.

Así, la sismicidad de la ciudad y de toda la zona que la rodea se caracteriza por la ocurrencia de un gran número de terremotos de magnitud $m_b < 5,0$, que presentan una distribución espacial dispersa sin que se observen tendencias espaciales claras. Los mecanismos focales de tipo normal de estos terremotos que ocurren en la corteza terrestre indican un régimen tectónico predominantemente extensivo en dirección ENE-WSW compatible con las principales fallas activas de la zona con acimut en dirección NNW-SSE.

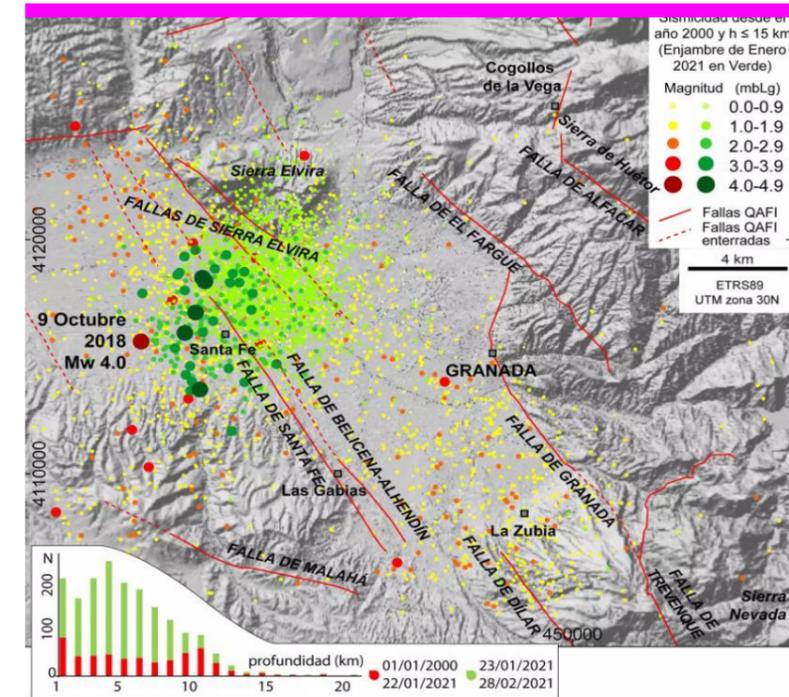


Imagen 1. Mapa de sismicidad de Granada, IGN. Zona de estudio marcada en rojo.

La gran importancia de los terremotos para las obras lineales radica en que provocan cargas dinámicas que inducen deformaciones cíclicas, provocando una disminución de la resistencia del material hasta en un 50% en suelos sensitivos y en la mayoría de los casos, la disminución de resistencia puede llegar a un 20% durante el terremoto (Makdisi et al, 1978).

Los terremotos de mayor intensidad registrados en la zona se resumen a continuación:

| Magnitud | Fecha | Intensidad máxima | Zona |
|----------|-----------------|-------------------|--------------------|
| 6,5 | julio 1431 | IX - X | Atarfe - Granada |
| - | 4 julio 1526 | VII - VIII | Granada |
| 5,9 | 27 octubre 1806 | VIII - IX | Santa Fé - Granada |
| 4,9 | 31 mayo 1911 | VII - VIII | Santa Fé - Granada |
| 5,0 | 19 abril 1956 | VIII | Albolote - Granada |

Tabla 1. Terremotos de mayor intensidad con registro

En cuanto a la actividad sísmica reciente, en diciembre de 2020 se registraron una serie de terremotos superficiales al oeste de la ciudad de Granada, en el entorno de las localidades de Atarfe, Pinos Puente y Santa Fe. Fueron terremotos superficiales, con una profundidad menor de 10 km, de magnitudes mayoritariamente menores de 2,5.

El día 2 de diciembre la Red Sísmica Nacional registró un terremoto de magnitud 3,6 e intensidad máxima de IV-V en Atarfe y Santa Fe, que fue ampliamente sentido en numerosas localidades cercanas al epicentro, pero sin causar ningún daño.

La serie se reactivó posteriormente a finales de enero de 2021, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) registró seis terremotos con magnitud superior a 4. Cinco de ellos entre el 23 y 28 de enero de 2021 y el último y de mayor magnitud el 12 de agosto de 2021 con epicentro en la localidad de Cijuela.

En el intervalo 01/12/2020 - 18/08/2021 el Instituto Geográfico Nacional ha localizado más de 3000 terremotos con magnitudes entre 0.2 y 4.5. Todos terremotos son de mecanismo normal con componente de desgarre.

A continuación, se muestra un listado de los terremotos con magnitud $M_w \geq 4.0$:

| Magnitud | Fecha | Intensidad máxima |
|----------|------------|-------------------|
| 4,5 | 12/08/2021 | V |
| 4,4 | 23/01/2021 | V-VI |
| 4,4 | 26/01/2021 | V-VI |
| 4,4 | 28/01/2021 | V |
| 4,2 | 26/01/2021 | IV-V |
| 4,1 | 26/01/2021 | IV-V |

Tabla 2. Terremotos de $M \geq 4,0$ de la serie sísmica de Atarfe-Santa Fe (Fuente: IGN, versión actualizada 20.08.2021)

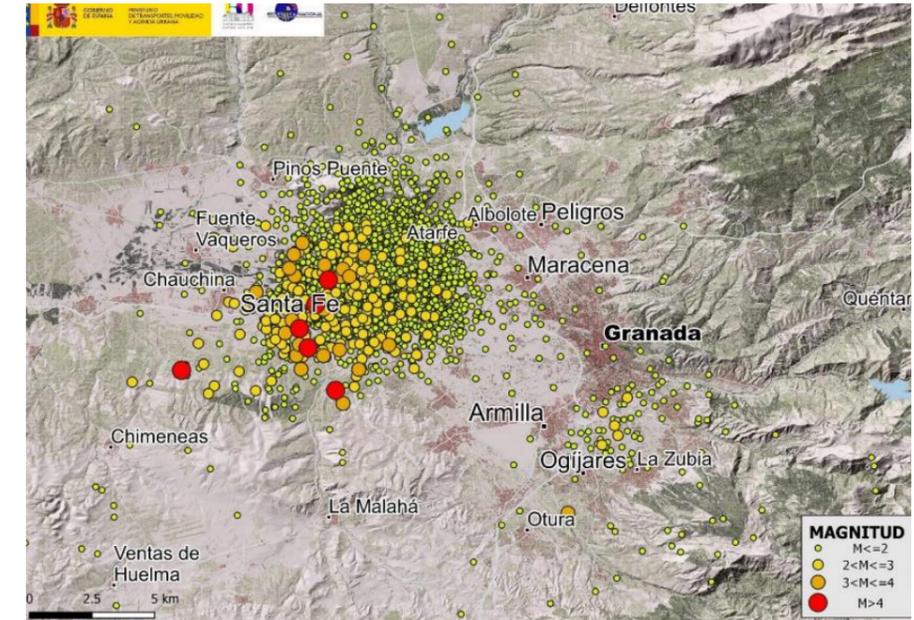


Imagen 2. Mapa de sismicidad de la zona epicentral desde el 1 de diciembre de 2020 (Fuente: Instituto Geográfico Nacional - Red Sísmica Nacional)

2.2. Aceleración sísmica de cálculo

El análisis de las acciones sísmicas a tener en cuenta dentro del área de estudio se llevará a cabo de acuerdo con las consideraciones indicadas en la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02), de aplicación para todo el territorio nacional. De acuerdo con la Norma nos encontramos en el grupo 3 "**Construcciones de especial importancia**", por tratarse de infraestructuras básicas y principales vías de comunicación de población.

Esta norma define una zonificación del territorio nacional según el grado de peligrosidad sísmica, expresado en relación con el valor de la gravedad, g , la aceleración sísmica básica, a_b (valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años) y el coeficiente de contribución K , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

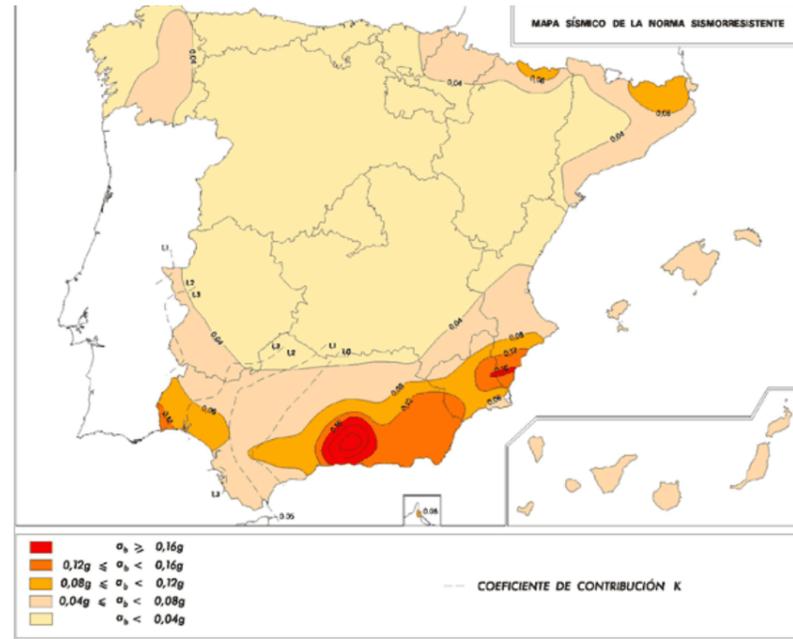


Imagen 3. Mapa nacional de aceleraciones sísmicas (NCSE-02)

El valor de la aceleración sísmica básica expresada en relación con el valor de la gravedad en los municipios de la zona objeto de estudio es:

| Municipio | ab/g | Coef. de contribución (k) |
|-------------------|------|---------------------------|
| Ogíjares | 0.24 | 1,0 |
| Las Gabias | 0.24 | 1,0 |
| Armillá | 0.24 | 1,0 |
| Alhendín | 0.24 | 1,0 |
| Churriana de Vega | 0.24 | 1,0 |

Tabla 3. Aceleración sísmica en los municipios localizados en la zona de estudio. En esta tabla se incluyen también los valores del coeficiente de contribución k.

La zona se encuentra definida por valores de ab/g de intensidad moderada.

- $a_c = S \rho a_b$, donde:
 - ab: aceleración sísmica básica
 - ρ : coeficiente adimensional de riesgo:

- Construcciones de normal importancia: $\rho = 1.0$
- Construcciones de especial importancia: $\rho = 1.3$
- S: coeficiente de amplificación del terreno.
 - Para $\rho a_b \leq 0,1g$, $S = C/1,25$
 - Para $0,1g < \rho a_b < 0,4g$, $S = C/1,25 + 3,33 [(\rho a_b / g) - 0,1](1 - C / 1,25)$
 - Para $0,4g \leq \rho a_b$, $S = 1,0$

En la fórmula anterior, C es el coeficiente de terreno: $C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30}$

| Clasificación | Tipo de Material | V. de Propagación | Coef. C |
|------------------|---|-----------------------------------|---------|
| Terreno Tipo I | Roca compacta Suelo cementado Suelo granular muy denso | $V_s > 750$ m/s | 1,0 |
| Terreno Tipo II | Roca muy fracturada Suelo cohesivo duro Suelo granular | $750 \text{ m/s} > V_s > 400$ m/s | 1,3 |
| Terreno Tipo III | Suelo cohesivo firme a muy firme Suelo granular compacidad media | $400 \text{ m/s} > V_s > 200$ m/s | 1,6 |
| Terreno Tipo IV | Suelo granular suelto Suelo cohesivo blando | $V_s < 200$ m/s | 2,0 |

Tabla 4. Tipología del terreno, de acuerdo coeficiente de amplificación del terreno

A lo largo de la zona de estudio se suceden diferentes tipos de terrenos con diferentes grados de compacidad – cohesión, habiéndose optado por establecer un perfil de terreno único para toda el área donde se reflejen de manera apropiada las características de la zona, siempre del lado de la seguridad. Así, definimos el siguiente perfil del terreno:

- De 0,0 a 4 m de profundidad: Rellenos antrópicos y limos. Terreno tipo IV $\Rightarrow C = 2,0$
- De 4 a 35 m de profundidad: Gravas con lentes arcillosas. Terreno tipo III $\Rightarrow C = 1,3$

Por tanto,

$$C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30}$$

$$C=1.37$$

$$\rho = 1,30$$

$$a_b = 0,24$$

$$S = C/1,25 + 3,33 [(\rho a_b/g) - 0,1](1-C / 1,25) = 1,03$$

$$\Rightarrow a_c = S \rho a_b = 1,03*1,30*0,24g$$

$$\mathbf{a_c = 0.321 g}$$

Del lado de la seguridad, se tendrá en cuenta el efecto de las acciones sísmicas sometidas a las aceleraciones de cálculo más conservadoras, obtenidas en cada caso según la Instrucción más desfavorable.