

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

7.1. CONCLUSIONES

- ✓ En primer lugar se ha realizado una descripción geográfica, geológica y sísmica de la zona de estudio que comprende los núcleos urbanos de Andorra La Vella, Escaldes-Engordany, Santa Coloma y la Margineda, con el propósito de aportar elementos para la microzonificación en esta zona poco estudiada. Fundamentalmente se tratan dos aspectos: por un lado lo referente a tratamiento de posibles efectos de amplificación debido a los depósitos de sedimentos de la cubeta y por otro la peligrosidad de deslizamientos activados por terremotos.
- ✓ Se ha realizado una descripción de los diferentes factores que intervienen en el movimiento del suelo. En particular se ha descrito el fenómeno relacionado con los efectos locales. Para ello se ha realizado una síntesis bibliográfica de los estudios que han puesto de manifiesto estos efectos tanto los relacionados con los rellenos sedimentarios como los debidos a efectos topográficos y su toma en consideración en normativas actuales como es el caso de la Norma Sismorresistente Francesa. Además se presenta una síntesis, ilustrada por las referencias bibliográficas correspondientes relativas a los métodos más usados para estimar los efectos locales en función de los datos disponibles.
- ✓ Se ha realizado un inventario de los datos existentes así como una descripción del subsuelo del valle en su parte más urbanizada. Se ha considerado la nueva base de datos recopilada recientemente por el CRECIT a partir de los estudios de geotecnia realizados para la obra civil pública y privada. La base de datos ha sido elaborada e informatizada en parte importante para la realización de la microzonificación sísmica de Andorra.
- ✓ La mayor parte del valle parece estar formado por una capa de arcilla y limos caracterizada por una velocidad de ondas de cizalla entorno a 250 m/s llegando en su parte central a profundidades de alrededor de 100 m donde aparece el

substrato rocoso formado por pizarras con velocidad de ondas de cizalla estimada en 2000 m/s.

- ✓ Igualmente se ha realizado un mapa de pendientes de las laderas vecinas a las zonas densamente urbanizadas. Los valores de estas pendientes varían desde 0° grados en el fondo de valle hasta 45° en las partes más altas del relieve.
- ✓ Se ha llevado a cabo una comparación de medidas de ruido sísmico tanto en la parte más urbanizada correspondiente a la zona de la cubeta como en las laderas adyacentes. Las medidas de ruido sísmico en el valle fueron realizadas de noche para aminorar el ruido humano, se midieron con un acelerógrafo K2 y resultaron sólo representativas un número de ellas por estar el nivel de ruido de las restantes muy cerca de la resolución del aparato.
- ✓ Las medidas en las laderas se realizaron con un sismógrafo Lennartz de 5 segundos y una estación PDAS con alta amplificación. En este caso la mayoría de medidas fueron aprovechables dando lugar a la obtención de frecuencias predominantes con dependencia de la pendiente.
- ✓ Como resultado de la aplicación del método experimental de Nakamura y la simulación numérica unidimensional con el programa ProShake, se puede concluir que los depósitos cuaternarios de origen glacial de la cubeta de la zona de estudio amplifican los efectos sísmicos locales.
- ✓ En el análisis de los datos obtenidos en la campaña de medidas de ruido ambiental en Andorra se ha observado que en el NE del valle, donde se sitúan la mayoría de los sondeos geotécnicos disponibles, se obtienen en promedio frecuencias predominantes entre 5 y 10 Hz; estos valores indican un espesor de sedimentos no muy grande en esta zona. En la zona de transición entre el valle y la ladera no se observa amplificación.
- ✓ En uno de los emplazamientos se ha podido comprobar la frecuencia predominante experimental con una estimación básica teniendo en cuenta la forma del perfil topográfico dando en ambos casos valores entre 6 y 8 Hz.
- ✓ A partir del análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del método lineal equivalente a los 5 perfiles estratigráficos caracterizados se obtiene:

Una frecuencia predominante entre 0.5Hz y 1 Hz y una amplitud pico entre 6 y 9 sobre la parte central de casi la totalidad de la cubeta.

Una frecuencia predominante entre 4.5 y 6.0 Hz y una amplitud pico cercano a 4 que corresponde a la zona de Andorra La Vella.

- ✓ Usando las señales sísmicas adoptadas a un movimiento asociado a un sismo para un período de retorno de 475 años ($a=0.1g$) se obtiene una aceleración de 0.32g en Andorra La Vella, lo que significa un aumento de alrededor de 3 veces. La frecuencia fundamental de este perfil tiene en promedio un valor de 5.5 Hz.

- ✓ Observando las señales temporales superficiales de los cinco perfiles estratigráficos, se puede apreciar que se presenta un incremento importante de la duración de la señal con respecto a la duración del registro en roca.
- ✓ Se realizó una revisión histórica de los deslizamientos activados por terremotos tomando lo estudiado por Keefer (1984), para regiones con mayor actividad sísmica, siendo las condiciones geológicas locales y los parámetros sísmicos determinantes en su clasificación.
- ✓ Los deslizamientos más frecuentes según Keefer (1984) que se producen durante un terremoto son la caída de bloques, ruptura de deslizamientos en suelos y deslizamientos en roca.
- ✓ Se hace una breve descripción de los métodos con los que se puede evaluar la aceleración crítica para determinar desplazamientos inducidos por terremotos.
- ✓ Se realiza una descripción del modelo de los desplazamientos de Newmark y posteriormente se aplica a acelerogramas de España y Grecia con los que obtiene ábacos de Intensidad de Arias, desplazamientos y aceleración crítica, los cuales se aplican finalmente a la zona en estudio.
- ✓ Se describe una metodología obtenida a partir del sismo de Northridge, California, 1994 que puede ser aplicada a una región determinada, en planes de ordenamiento territorial, planes de emergencia y podría ser un documento orientativo para proponer normas preliminares de sismorresistencia. De todas maneras, es necesario tener en cuenta las limitaciones que tiene un valor promedio de desplazamiento permanente del suelo, inducido por un terremoto, para ser aplicado al complejo movimiento de una masa.
- ✓ Para la zona en estudio se realiza una descripción geotécnica de los deslizamientos más frecuentes. Los parámetros de resistencia (cohesión y fricción) para las distintas litologías se han obtenido como resultado de una revisión bibliográfica . Se han estudiado las aceleraciones críticas y finalmente se ha calculado el desplazamiento según Newmark (1965).
- ✓ Teniendo en cuenta los resultados de la aplicación de las diferentes técnicas de cálculo de los desplazamientos, se puede concluir que la aceleración crítica que puede exceder la resistencia al corte de los materiales es de 0.01 g para una aceleración de aproximadamente 0.1g y da lugar a desplazamientos de taludes en un rango entre 1 y 15 cm. Con estos valores y para pendientes de 40° y superiores se ha obtenido una probabilidad de ocurrencia de deslizamientos comprendida entre el 0.8 y 13% de la superficie total.

7.2. RECOMENDACIONES

Al ser éste trabajo el primero sobre la microzonificación realizado en la zona de estudio y teniendo en cuenta que la información geotécnica actualmente disponible es escasa, los resultados obtenidos deben considerarse como una primera aproximación de gran interés y utilidad, pero que deben ser completados en los próximos años. En particular, la campaña de mediciones de ruido sísmico, realizada por primera vez, presentó dificultades, entre otras causas, debido al desconocimiento del nivel de ruido en la zona. Es, por tanto, necesario complementar esta información realizando en el futuro más campañas usando una instrumentación mejor adaptada al entorno específico. Por lo tanto se recomienda:

- ✓ Continuar el presente estudio mediante la realización de medidas de ruido sísmico complementarias, instalación de acelerógrafos en roca y suelo en los cuales puedan registrarse sismos reales de magnitud débil a moderada. De ésta forma se podrán comparar las funciones de transferencia simuladas en este estudio con las estimadas con sismos reales.
- ✓ Realizar trabajos de prospección geofísica, sondeos y ensayos de laboratorio con el propósito de caracterizar experimentalmente las propiedades dinámicas de los materiales y llegar a un conocimiento de la conformación del suelo en profundidad.
- ✓ Elaborar propuestas de normas de construcción sismorresistente teniendo como base los resultados que se obtengan en otros estudios mediante el cálculo de espectros normativos.
- ✓ Aprovechar la información digital de elevaciones del terreno que se dispone, con lo cual aunada a una campaña de geofísica y estudios geotécnicos, se podrá lograr una microzonificación sísmica mas detallada.
- ✓ Tener presente que los movimientos de ladera son de los posibles procesos inducidos más graves asociados a los terremotos y que la comprensión de éste fenómeno no muestra muchos avances de acuerdo a la literatura disponible. En Andorra, el desarrollo urbano tiende hacia las zonas de laderas por lo que se recomienda aplicar sistemáticamente las metodologías propuestas a la zona de estudio con los nuevos datos que se obtengan en el futuro.

