

#### **4. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE ANDORRA**

Para evaluar la peligrosidad sísmica de una zona hay que conocer previamente la sismicidad de la misma. La sismicidad viene definida por los parámetros que caracterizan los fenómenos sísmicos (López Arroyo y Espinosa, 1977).

Los parámetros que se manejan, comúnmente, en los estudios de peligrosidad sísmica son los de localización y tamaño; los de localización son esenciales para definir las fuentes sismogénicas. Los parámetros que relacionan el tamaño y la destructividad de un terremoto son: magnitud, momento, intensidad, aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo. La magnitud y el momento sísmico están relacionados con la energía liberada en el foco del terremoto, mientras que la intensidad, aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo, lo están con la energía recibida en un punto cualquiera de la superficie.

Para el caso del Principado de Andorra, la información de la sismicidad se ha obtenido en el instituto Cartográfico de Cataluña, ICC; la cual se ha anotado en el apartado 2.2.2. de éste trabajo.

Los cálculos de peligrosidad en el territorio de Andorra, debido a su situación deben basarse en catálogos sísmicos tanto de Francia como de España, revisados conjuntamente a fin de obtener una información de ambos lados de la frontera. Igualmente es necesario tener en cuenta zonas sismotectónicas definidas conjuntamente a ambos lados de la frontera. Una primera evaluación conjunta se ha llevado a cabo por el ICC y la sociedad GEOTER (Secanell et al., 2002), en términos de espectros probabilísticos.

Un objetivo primordial dentro de los estudios de microzonificación sísmica de una región, es la recopilación de la máxima información sísmica y geotécnica del subsuelo no solamente de la zona en estudio sino también aquella que se encuentra en el entorno de la misma.

Desde el punto de vista geotécnico, para caracterizar los efectos de sitio es necesario determinar, con la precisión adecuada, cuáles son los tipos de materiales, la profundidad del basamento rocoso, las características físico mecánicas del suelo, tanto estáticas como dinámicas, como: el módulo de la deformación por cortante y el amortiguamiento que dan idea de la capacidad de disipación de la energía del sistema; el potencial de licuación de algunos suelos; respuesta del suelo ante las cargas sísmicas, entre otros.

Para determinar los diferentes parámetros mecánicos, es indispensable la realización de ensayos sobre muestras alteradas e inalteradas del suelo. En el caso de que no se disponga de una suficiente cantidad de resultados de ensayos dinámicos, se puede recurrir a las correlaciones entre características estáticas y dinámicas de los suelos (Cid, 1996).

La desventaja de las campañas geofísicas y geotécnicas son los altos costos y que en algunos casos son puntuales y no zonales. Ante estos problemas, desde los años 50 se ha venido experimentando con la información suministrada por los microsismos, para caracterizar los depósitos de materiales. Las ventajas de este método frente a los otros consisten en sus reducidos costos y la rapidez en la toma de los datos.

#### **4.1. BASE DE DATOS GEOTÉCNICOS**

En el Centre de Recerca en Ciències de la Terra (CRECIT), dentro del contexto de éste proyecto, se ha diseñado una base de datos geotécnicos que permite la actualización de la información a medida que se realicen nuevos estudios. Esta base ha sido concebida con el objetivo de disponer de una herramienta útil en el proceso de la microzonificación sísmica de Andorra.

La base de datos está conformada por 10 tablas en donde se almacenan los datos de los diferentes informes geotécnicos para poder extraer la información útil para este estudio.

Su estructura es la siguiente: localización, ensayos, sondeos, columnas estratigráficas, posición del nivel freático, descripción de datos geológicos y geotécnicos.

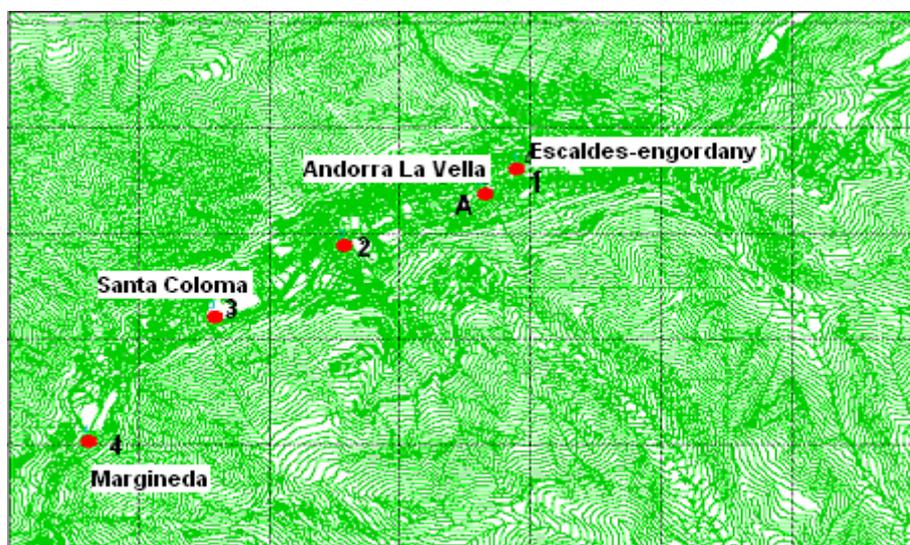
La base de datos permite introducir los datos de estudios realizados, así como también la actualización de los mismos.

La información de los ensayos que se pueden archivar son: Clasificación Unificada de los Suelos (U.S.C.), ensayo de penetración estándar, densidad aparente, densidad seca, humedad, límite líquido, índice de plasticidad, granulometría, resistencia sin drenar, cohesión, fricción, entre otros.

## **4.2. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DINÁMICOS A PARTIR DE PRUEBAS ESTÁTICAS.**

### **4.2.1. Estimación de las columnas de suelo representativas de la zona en estudio**

Con el propósito de obtener las columnas de suelo representativas de la zona en estudio, se ha consultado la base de datos geotécnicos recopilada hasta el presente con 118 sondeos correspondientes a 19 estudios y una profundidad máxima de 31 m siendo la profundidad media de 11 m; también se han tenido en cuenta los datos presentados en Turu (1999) donde se aplican diferentes técnicas tales como: prospección geoelectrica, prospección geomecánica y prospección sísmica, que permiten identificar el basamento rocoso a una profundidad importante del orden de los 100 metros; por encima de este se identifican materiales como limos, arenas, gravas, lutitas y mezclas de estos de origen fluvio-glaciario. En la figura 4.1, se muestran las diferentes estaciones de medida a lo largo de la cubeta en las poblaciones de: Escaldes-Engordany (1030msnm), Andorra la Vella (1015msnm), Santa Coloma (1000msnm) y La Margineda (940msnm) (Turu, 2001).



*Figura 4.1. Estaciones de medida de prospección.*

El proceso seguido para la obtención de las columnas representativas es el siguiente:

- ✓ A partir de la base de datos de los estudios geotécnicos encontrados en el inventario, realizados hasta el presente, se procedió a seleccionar emplazamientos que tienen ensayos relacionados con la obtención de las

propiedades mecánicas estáticas y se encontró que solamente en nueve estudios geotécnicos se ha realizado el ensayo de penetración estándar (Nspt), no encontrándose ningún otro con ensayos relacionados con estas propiedades (Figura 4.2). Como resultados de esta labor se obtuvo la tabla 4.1, donde se indica además la referencia de los estudios, los sondeos, espesores de los estratos y una descripción de los materiales encontrados. Debido a su frecuente uso universal y a la existencia de diferentes correlaciones con las propiedades dinámicas de los materiales, se seleccionó el ensayo Nspt para la obtención de las propiedades dinámicas en los cinco perfiles estratigráficos de interés.

- ✓ La tabla 4.1 permite informarse de los materiales típicos que conforman la cubeta de la zona en estudio, que se tendrán en cuenta más adelante para su caracterización desde el punto de vista dinámico.

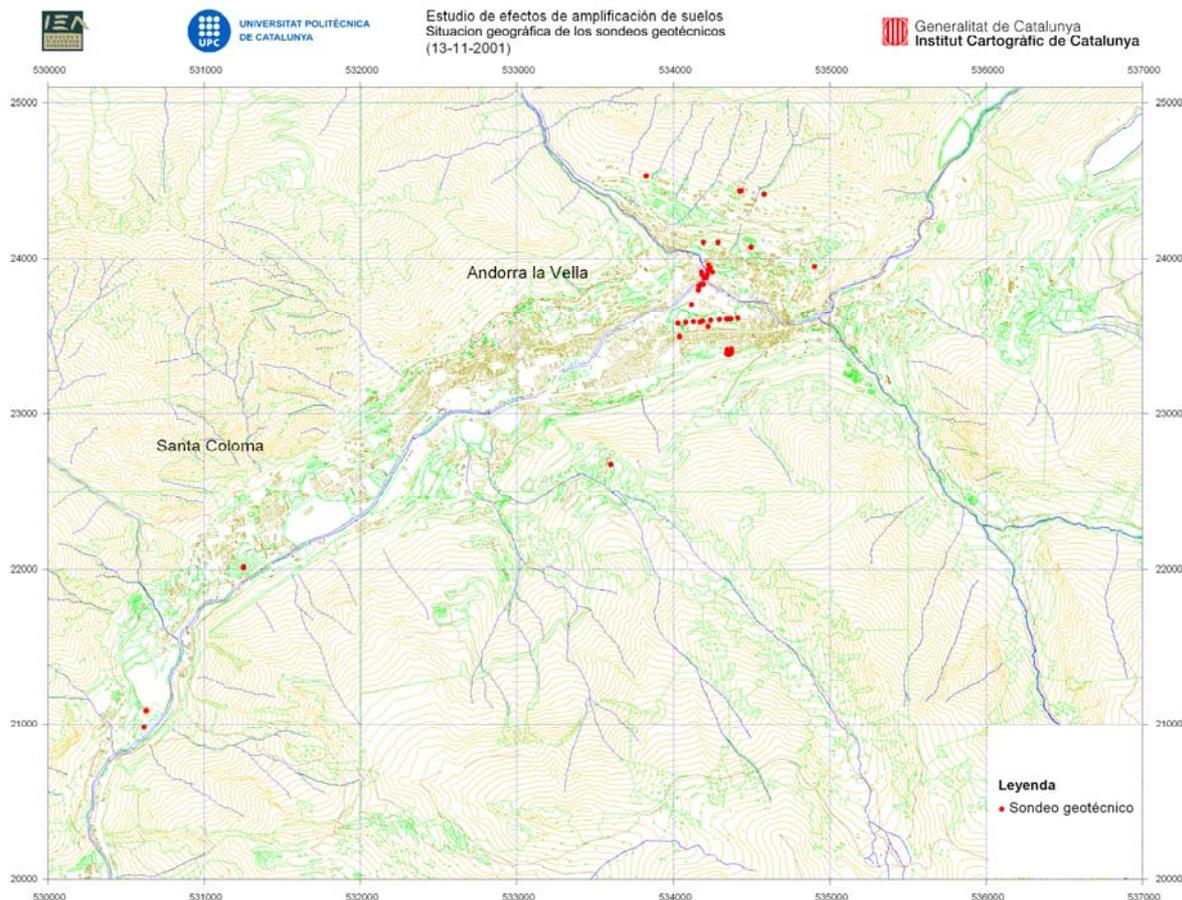


Figura 4.2. Localización de los estudios geotécnicos (J. Fleta, 2002).

Recopilación de la información para la microzonificación sísmica preliminar de Andorra

Referencia Estudio	Sondeo	Nivel	Prof.(m)	Muestra	USCS	Nspt	N30	Descripción
AN/N26/08-00-01	s-1	2	2.0-4.0	SPT-1	NN	17/16/13	29	Gravas con matriz arenosa
AN/N26/08-00-01	s-1	2	2.0-4.0	SPT-2	NN	3/7/R	R	
AN/N26/08-00-01	s-1	3	4.0-5.1	SPT-3	NN	34/R	R	Bolos
AN/N26/08-00-01	s-1	4	5.1-7.0	SPT-4	NN	6/11/9	20	Gravas con matriz arenosa-limosa
AN/N26/08-00-01	s-1	7	8.0-9.5	SPT-5	NN	12/15/22	37	Bolos
AN/N26/08-00-01	s-1	8	9.5-10	SPT-6	NN	NN	NN	Gravas con matriz areno limosa
AN/N26/08-00-02	s-2	3	1.0-4.5	SPT-1	NN	10/13/27	40	Gravas con matriz areno-limosa
AN/N26/08-00-02	s-2	3	1.0-4.5	SPT-2	NN	4/8/7	15	
AN/N26/08-00-02	s-2	4	4.5-5.5	SPT-3	NN	8/9/21	30	Bolos
AN/N26/08-00-02	s-2	5	5.5-6.5	SPT-4	NN	5/7/18	25	Gravas con matriz areno-limosa
AN/N26/08-00-02	s-2	6	6.5-7.0	SPT-5	NN	10/9/14	23	Bolos
AN/N26/08-00-02	s-2	8	9.2-9.5	SPT-6	NN	13/9/8	17	Bolos
AN/N29/08-00-01	s-1	4	3.0-5.0	SPT-1	NN	6/8/9	17	Matriz limo-arenosa con clastos esquistosos y granodioríticos
AN/N29/08-00-01	s-1	5	5.0-5.5	SPT-2	NN	9/5/6	11	Bloques de origen metamórfico
AN/N29/08-00-01	s-1	6	5.5-7.5	SPT-3	NN	7/5/8	13	Matriz limo-arenosa con clastos esquistosos y granodioríticos
AN/N29/08-00-02	s-2	2	1.0-5.5	SPT-1	NN	7/9/8	17	Matriz limo-arenosa con clastos esquistosos y granodioríticos
AN/N29/08-00-02	s-2	2	1.0-5.5	SPT-2	NN	6/2/10	12	
AN/N29/08-00-02	s-2	2	1.0-5.5	SPT-3	NN	6/8/7	15	
AN/N29/08-00-03	s-3	3	5.5-6.0	SPT-1	NN	10/8/10	18	Matriz limo-arenosa con clastos esquistosos y granodioríticos
AN/N29/08-00-03	s-3	3	5.5-6.0	SPT-2	NN	6/6/7	13	
AN/N29/08-00-03	s-3	3	5.5-6.0	SPT-3	NN	7/5/7	12	
AN/N46/11-00-02	s-2	1	0.0-10.0	mostra-1	NN	NN	46	Gravas y bolos con matriz arenosa
AN/N46/11-00-02	s-2	1	0.0-10.0	mostra-2	NN	NN	61	
AN/N46/11-00-02	s-2	1	0.0-10.0	mostra-3	NN	NN	63	
AN/N46/11-00-02	s-2	1	0.0-10.0	mostra-4	NN	NN	72	
AN/N46/11-00-04	s-4	1	0.0-10.0	mostra-1	NN	NN	41	Gravas y bolos con matriz arenosa
AN/N46/11-00-04	s-4	1	0.0-10.0	mostra-2	NN	NN	57	
AN/N46/11-00-04	s-4	1	0.0-10.0	mostra-3	NN	NN	59	
AN/N46/11-00-04	s-4	1	0.0-10.0	mostra-4	NN	NN	74	
AN/N46/11-00-05	s-5	1	0.0-10.0	SPT-1	NN	9/9/8	17	Gravas y bolos con matriz arenosa-lutítica
AN/N46/11-00-05	s-5	1	0.0-10.0	SPT-2	NN	12/10/8	18	
AN/N46/11-00-05	s-5	1	0.0-10.0	SPT-3	NN	6/16/16	32	
AN/N46/11-00-05	s-5	1	0.0-10.0	SPT-4	NN	13/17/14	31	
AN/N46/11-00-05	s-5	1	0.0-10.0	SPT-5	NN	5/20/R	25	
AN/N46/11-00-06	s-6	1	0.0-10.0	SPT-1	NN	6/9/15	24	Gravas y bolos con matriz arenosa
AN/N46/11-00-06	s-6	1	0.0-10.0	SPT-2	NN	3/6/6	12	
AN/N46/11-00-06	s-6	1	0.0-10.0	SPT-3	NN	6/19/17	36	
AN/N46/11-00-06	s-6	1	0.0-10.0	SPT-4	NN	5/14/18	22	
AN/N46/11-00-06	s-6	1	0.0-10.0	SPT-5	NN	12/12/20	32	
AV/N13/04-00-1	s-1	3	1.0-3.2	SPT-1	NN	16/13/14	27	Arenas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-1	s-1	5	3.8-7.0	SPT-2	NN	10/10/21	31	Arenas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-1	s-1	5	3.8-7.0	SPT-3	NN	18/21/19	40	
AV/N13/04-00-1	s-1	5	3.8-7.0	SVA-1	NN	NN	68	
AV/N13/04-00-1	s-1	5	3.8-7.0	SVA-11	NN	NN	65	

Tabla 4.1. Información para obtener las propiedades dinámicas de los materiales de la zona en estudio.

Referencia Estudio	Sondeo	Nivel	Prof.(m)	Muestra	USCS	Nspt	N30	Descripción
AV/N13/04-00-2	s-2	1	0.0-2.4	SPT-1	NN	6/8/9	17	Arenas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-2	s-2	5	4.0-6.0	SPT-2	NN	Rechazo	31	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-2	s-2	6	6.0-6.6	SPT-3	NN	12/18/19	37	Bolos graníticos
AV/N13/04-00-2	s-2	5	4.0-6.0	SVA-2	NN	NN	48	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-2	s-2	7	6.6-7.0	SVA-22	NN	NN	54	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-3	s-3	1	0.0-1.2	SPT-1	NN	14/13/18	31	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-3	s-3	2	1.2-4.2	SPT-2	NN	16/15/24	39	Bolos graníticos de pizarra
AV/N13/04-00-3	s-3	3	4.2-7.0	SPT-3	NN	10/18/19	37	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-3	s-3	2	1.2-4.2	SVA-3	NN	NN	51	Bolos graníticos de pizarra
AV/N13/04-00-3	s-3	3	4.2-7.0	SVA-31	NN	NN	20	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-4	s-4	1	0.0-3.2	SPT-1	NN	8/18/17	35	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-4	s-4	3	3.6-7.0	SPT-2	NN	8/14/16	30	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-4	s-4	3	3.6-7.0	SPT-3	NN	7/11/13	24	
AV/N13/04-00-4	s-4	3	3.6-7.0	SVB-1	NN	NN	44	
AV/N13/04-00-4	s-4	3	3.6-7.0	SVB-2	NN	NN	51	
AV/N13/04-00-6	s-6	2	0.5-7.0	SPT-1	NN	NN	NN	Arenas con limos y gravas de pizarra
AV/N13/04-00-6	s-6	2	0.5-7.0	SPT-2	NN	26/20/24	44	
AV/N13/04-00-6	s-6	2	0.5-7.0	SPT-3	NN	17/16/15	31	
AV/N13/04-00-6	s-6	2	0.5-7.0	SVB-3	NN	14/18/19	37	
AV/N13/04-00-6	s-6	2	0.5-7.0	SVB-31	NN	NN	63	
AV/N13/04-00-6	s-6	2	0.5-7.0		NN	NN	70	
AV/N13/04-00-7	s-7	2	2.3-7.0	SPT-1	NN	16/30/18	48	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-7	s-7	2	2.3-7.0	SPT-2	NN	16/23/20	43	
AV/N13/04-00-7	s-7	2	2.3-7.0	SVB-5	NN	NN	51	
AV/N13/04-00-7	s-7	2	2.3-7.0	SVB-51	NN	NN	37	
AV/N13/04-00-8	s-8	3	3.5-7.0	SPT-1	NN	16/13/18	41	Arenas finas y limos con gravas de pizarra
AV/N13/04-00-8	s-8	3	3.5-7.0	SPT-2	NN	22/30/39	69	
AV/N13/04-00-8	s-8	3	3.5-7.0	SVB-4	NN	NN	42	
AV/N13/04-00-8	s-8	3	3.5-7.0	SVB-41	NN	NN	45	
Es-En/N2/01-00-1	s-1	1	0.0-1.05	assaig-1	NN	3/4/24	28	Gravas de pizarra en matriz arenolíticas
Es-En/N2/01-00-1	s-1	1	0.0-1.05	assaig-2	NN	19/11	30	
Es-En/N2/01-00-1	s-1	1	0.0-1.05	assaig-3	NN	10/15	25	
Es-En/N2/01-00-2	s-2	1	0.0-1.05	assaig-1	NN	5/7/25	32	Gravas de pizarra en matriz arenolíticas
Es-En/N2/01-00-2	s-2	1	0.0-1.05	assaig-2	NN	10/9	19	
Es-En/N2/01-00-2	s-2	1	0.0-1.05	assaig-3	NN	8/30	38	
Es-En/N2/01-00-3	s-3	1	0.0-1.05	assaig-1	NN	7/10/11	21	Gravas de pizarra en matriz arenolíticas
Es-En/N2/01-00-3	s-3	1	0.0-1.05	assaig-2	NN	10/14	24	
Es-En/N2/01-00-3	s-3	1	0.0-1.05	assaig-3	NN	21/29	50	

Tabla 4.1.(Continuación). Información para obtener las propiedades dinámicas de los materiales de la zona en estudio.

Recopilación de la información para la microzonificación sísmica preliminar de Andorra

Referencia Estudio	Sondeo	Nivel	Prof.(m)	Muestra	USCS:	Nspt	N <sub>30</sub>	Descripción
Es-En/N2/01-00-4	s-4	1	0.0-1.05	assaig-1	NNN	7/9/11	20	Gravas de pizarra en matriz arenolíticas
Es-En/N2/01-00-4	s-4	1	0.0-1.05	assaig-2	NNN	10/15	25	
Es-En/N2/01-00-4	s-4	1	0.0-1.05	assaig-3	NNN	18/22	40	
ES-EN/N31/09-00-01	s-1	1	0.0-12.0	SPT-1	NNN	3/7/9	16	Relleno material sedimentario: material lutítico y clastos
ES-EN/N31/09-00-01	s-1	1	0.0-12.0	SPT-2	NNN	7/13/16	29	
ES-EN/N31/09-00-02	s-2	1	0.0-7.0	SPT-1	NNN	2/5/8	13	Relleno material sedimentario: material lutítico y clastos
ES-EN/N52/12-00-01	s-1	1	0.0-11.40	SPT-1	NNN	15/25/20	45	Arenas y limos con gravas de esquistos
ES-EN/N52/12-00-01	s-1	1	0.0-11.40	SPT-2	NNN	13/24/23	47	
ES-EN/N52/12-00-01	s-1	1	0.0-11.40	SPT-3	NNN	17/28/24	52	
ES-EN/N52/12-00-01	s-1	1	0.0-11.40	SPT-4	NNN	16/31/25	57	
ES-EN/N52/12-00-01	s-1	1	0.0-11.40	SPT-5	NNN	R	<b>57</b>	
ES-EN/N52/12-00-02	s-2	1	0.0-8.0	SPT-1	NNN	16/22/27	39	Arenas y limos con gravas de esquistos
ES-EN/N52/12-00-02	s-2	1	0.0-8.0	SPT-2	NNN	18/22/30	52	
ES-EN/N52/12-00-02	s-2	1	0.0-8.0	SPT-3	NNN	7/15/33	48	
ES-EN/N52/12-00-02	s-2	2	8.0-15.0	SPT-4	NNN	R	<b>48</b>	Esquistos
ES-EN/N52/12-00-03	s-3	1	0.0-10.4	SPT-1	NNN	18/23/28	51	Arenas y limos con gravas de esquistos
ES-EN/N52/12-00-03	s-3	1	0.0-10.4	SPT-2	NNN	19/21/25	46	
ES-EN/N52/12-00-03	s-3	1	0.0-10.4	SPT-3	NNN	16/25/31	56	
ES-EN/N52/12-00-03	s-3	1	0.0-10.4	SPT-4	NNN	23/30/41	71	
ES-EN/N52/12-00-03	s-3	1	0.0-10.4	SPT-5	NNN	R	<b>71</b>	
ES-EN/N52/12-00-04	s-4	1	0.0-9.9	SPT-1	NNN	8/9/7	16	Arenas y limos con gravas de esquistos
ES-EN/N52/12-00-04	s-4	1	0.0-9.9	SPT-2	NNN	15/21/26	47	
ES-EN/N52/12-00-04	s-4	1	0.0-9.9	SPT-3	NNN	21/24/27	51	
ES-EN/N52/12-00-04	s-4	1	0.0-9.9	SPT-4	NNN	24/27/31	58	
ES-EN/N52/12-00-04	s-4	2	9.0-12.0	SPT-5	NNN	R	<b>58</b>	Esquistos
ES-EN/N69/05-01-02	s-ET2	9	6.5-7.5	mostra-1	NNN	0	<b>30</b>	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-02	s-ET2	11	8.3-9.3	mostra-2	NNN	1	<b>41</b>	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-08	s-PT1	10	8.0-9.8	SPT-1	NNN	15/R	R	Bolos
ES-EN/N69/05-01-08	s-PT1	11	9.8-10.50	SPT-2	NNN	15/22/R	<b>37</b>	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-09	s-PT2	11	8.5-9.5	SPT-1	NNN	17/19/25	44	Arenas con gravas
ES-EN/N69/05-01-09	s-PT2	13	11.5-12.45	SPT-2	NNN	18/22/R	<b>40</b>	Arenas con gravas
ES-EN/N69/05-01-10	s-PT3	9	7.2-9.0	SPT-1	NNN	23/30/36	66	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-10	s-PT3	11	9.2-11.0	SPT-2	NNN	21/30/25	55	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-10	s-PT3	12	11.0-11.6	SPT-3	NNN	R	<b>55</b>	Bolos
ES-EN/N69/05-01-12	s-PT5	7	6.2-8.0	SPT-1	NNN	R	R	Gravas
ES-EN/N69/05-01-12	s-PT5	9	9.9-10.5	SPT-2	NNN	20/15/R	<b>35</b>	Gravas
ES-EN/N69/05-01-12	s-PT5	11	11-12.45	SPT-3	NNN	23/28/31	59	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-13	s-PT6	9	7.5-8.5	SPT-1	NNN	22/23/27	50	Gravas
ES-EN/N69/05-01-13	s-PT6	11	10.4-11.0	SPT-2	NNN	21/17/R	<b>38</b>	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-13	s-PT6	13	11.6-12.45	SPT-3	NNN	25/27/31	58	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-14	s-PT7	10	7.3-8.0	SPT-1	NNN	23/28/30	58	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-14	s-PT7	12	8.6-9.5	SPT-2	NNN	20/19/32	41	Gravas con matriz
ES-EN/N69/05-01-14	s-PT7	16	11.4-12.45	SPT-3	NNN	15/22/R	<b>37</b>	Gravas con matriz

Tabla 4.1.(continuación) Información para obtener las propiedades dinámicas de los materiales de la zona en estudio.

- ✓ Se asocian a cada perfil del estudio de Turu (1999) los estudios geotécnicos con ensayos Nspt. Como resultado de esta selección se han identificado 5 perfiles de interés para este estudio denominados así:

- PERFIL 1:** La Margineda (940 msnm).
- PERFIL 2:** La Margineda-Santa Coloma (975 msnm).
- PERFIL 3:** Santa Coloma (1000 msnm).
- PERFIL 4:** Andorra La Vella (1015 msnm).
- PERFIL 5:** Escaldes-Engordany (1030 msnm)

La ubicación de los perfiles se observa en el esquema que se muestra en la figura 4.3.

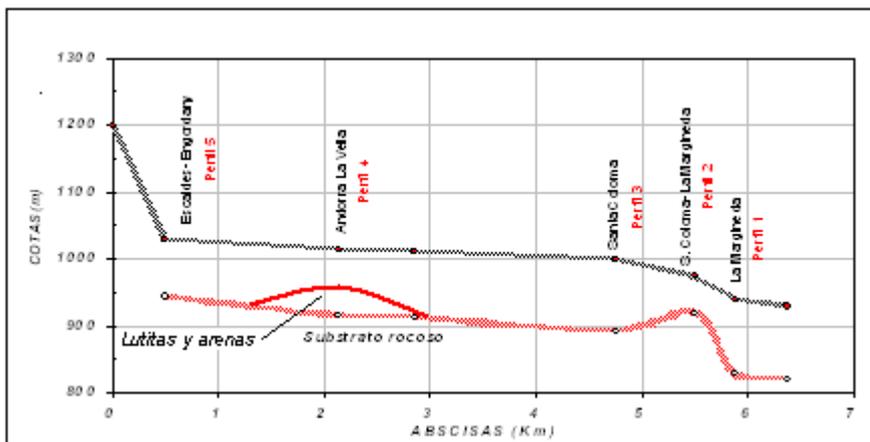


Figura 4.3. Esquema con la ubicación de los perfiles estratigráficos de la zona en estudio.

#### 4.2.2. Estimación de los parámetros dinámicos de los suelos en la zona de estudio

Para obtener una columna estratigráfica representativa para cada perfil con sus propiedades dinámicas, se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se realizó una revisión bibliográfica referente a la obtención de parámetros dinámicos como la velocidad de ondas de corte o máximo esfuerzo cortante de los suelos a partir de correlaciones con el ensayo de penetración estándar, teniendo en cuenta que los materiales predominantes en la zona son: limos, arcillo-limosos, areno-limosos, arenas aluviales, gravas aluviales y mezclas de estos. Como resultado se obtuvo las gráficas que se muestran en la figura 4.4.
- ✓ Se calculó el promedio horizontal de los espesores de los diferentes estratos de los sondeos de cada estudio geotécnico de interés. A cada estrato obtenido se le asoció un valor de penetración estándar. No se tuvo presente aquellos estratos menores a un metro de espesor.

- ✓ Los pocos datos faltantes, que se indican sobresaltados en la tabla 4.1, se completaron teniendo en cuenta el criterio de caracterizar los materiales en cuanto a su descripción y se les asoció, para un mismo estudio geotécnico, la correspondiente penetración estándar.

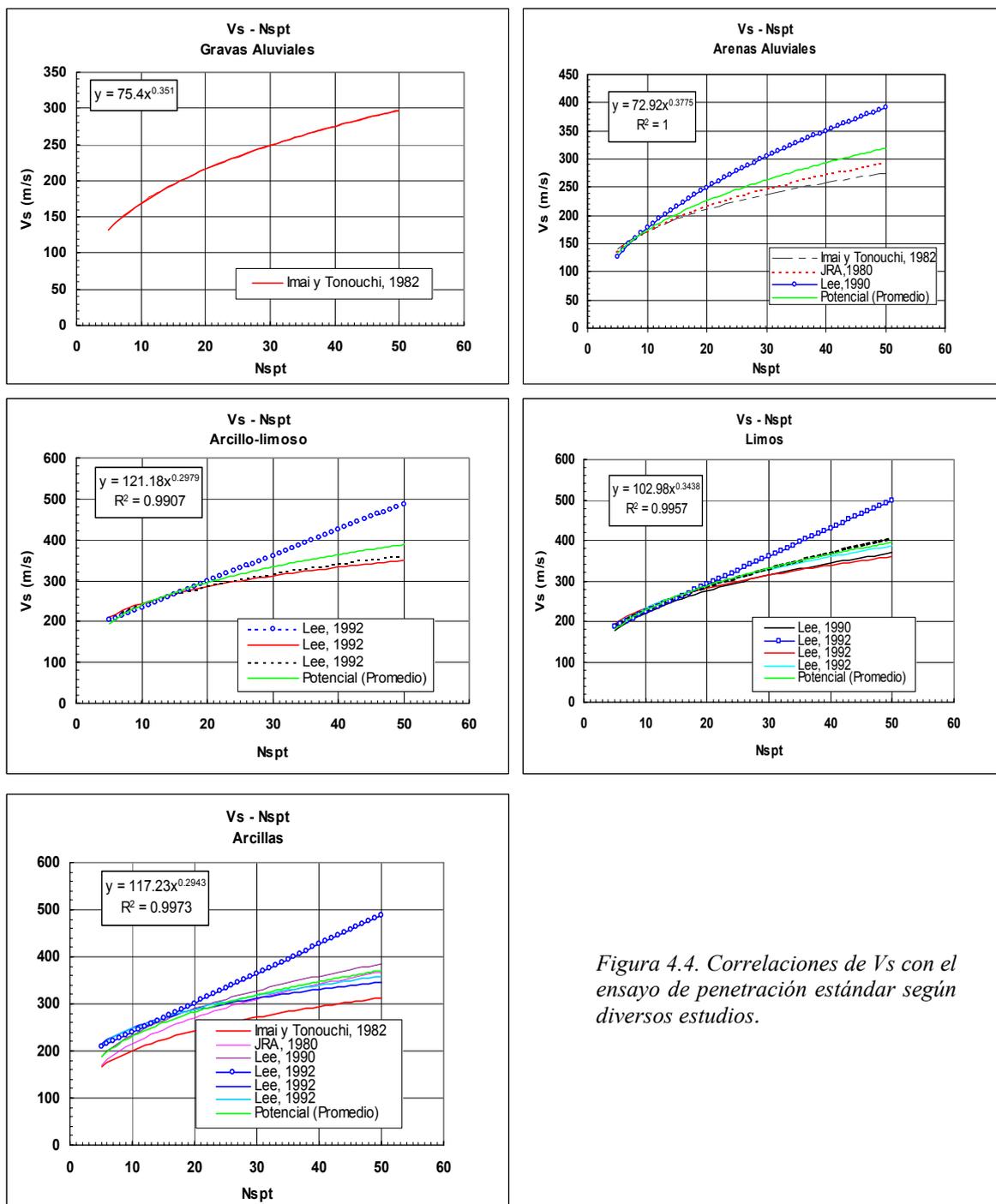


Figura 4.4. Correlaciones de  $V_s$  con el ensayo de penetración estándar según diversos estudios.

- ✓ Una vez obtenido el valor de  $N_{spt}$ , se procedió a usar las diferentes gráficas de la figura 4.4 o su correspondiente ecuación de correlación para cada material y así obtener la velocidad de ondas de corte.
- ✓ Para la obtención del  $G_{m\acute{a}x}$ , se procedió a adoptar un valor de la densidad para cada material según la tabla 4.2.

	LIMOS	GRAVAS	LIMO+ARCILLA	LIMO+ARENA	ARENA	GRAVA+ARENA	PIZARRAS
$\gamma$ ( $t/m^3$ )	1.75	2.10	1.70	1.80	1.90	2.00	2.40
$\gamma$ ( $KN/m^3$ )	17.15	20.58	16.66	17.64	18.62	19.6	24.99

Tabla 4.2. Estimación de los valores de densidad para los diferentes materiales de la zona en estudio. Fuente: Rodríguez J., Serra J., Oteo C. Curso Aplicado de Cimentaciones. CEDEX. Madrid.

- ✓ Se obtuvo el módulo de corte dinámico máximo,  $G_{m\acute{a}x}$ , con la expresión:

$$G_{m\acute{a}x} = v_s^2 \cdot \rho \quad (4.1)$$

- ✓ Para el caso del perfil 4, Andorra La Vella, las propiedades dinámicas de los materiales se obtuvieron a partir de los resultados de la aplicación de las técnicas de prospección (Turu, 1999). En la tabla 4.3 se muestran estas propiedades.

PROFUNDIDAD (m)	COMPOSICIÓN E INTERPRETACIÓN	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0 – 2	Gravas y arenas, rellenos y aluvial	433	188
2 – 5	Gravas y arenas, morrena subglaciar	877	516
5 – 11	Gravas y arenas, fluvio-glaciar	877	516
11 – 14	Gravas y arenas, morrena subglaciar	1850	470
14 – 16	Arenas finas, fluvio-glaciar	1850	470
16 – 25	Lutitas, morrena subglaciar de acreción	3150	1500
25 – 30	Gravas y arenas, aluvial	3150	1500
>30	Lutitas y arenas, deltaico-lacustre	?	?
>80	Pizarras	?	?

Tabla 4.3. Propiedades dinámicas de los materiales investigados en Andorra la Vella. (Turu, 1999).

- ✓ Como resultado de éste proceso se obtuvo las propiedades dinámicas para los cinco perfiles del sector en análisis. Estos se muestran en las tablas 4.4A a 4.4E y figuras 4.5A a 4.5E.

Recopilación de la información para la microzonificación sísmica preliminar de Andorra

Profundidad (m)	Nspt	Vs (m/s)	Gmáx (KN/m2)	P. Unitario (KN/m3)
0	14	255.14	113918.73	17.15
4	14	255.14	113918.73	17.15
4	29	245.85	126928.67	20.58
64	29	245.85	126928.67	20.58
64	14	255.14	113918.73	17.15
110	14	255.14	113918.73	17.15
110	45	2000.00	10200000.00	24.99
120	45	2000.00	10200000.00	24.99

Tabla 4.4A. Parámetros dinámicos calculados a partir del ensayo de penetración estándar, Nspt para el perfil 1.

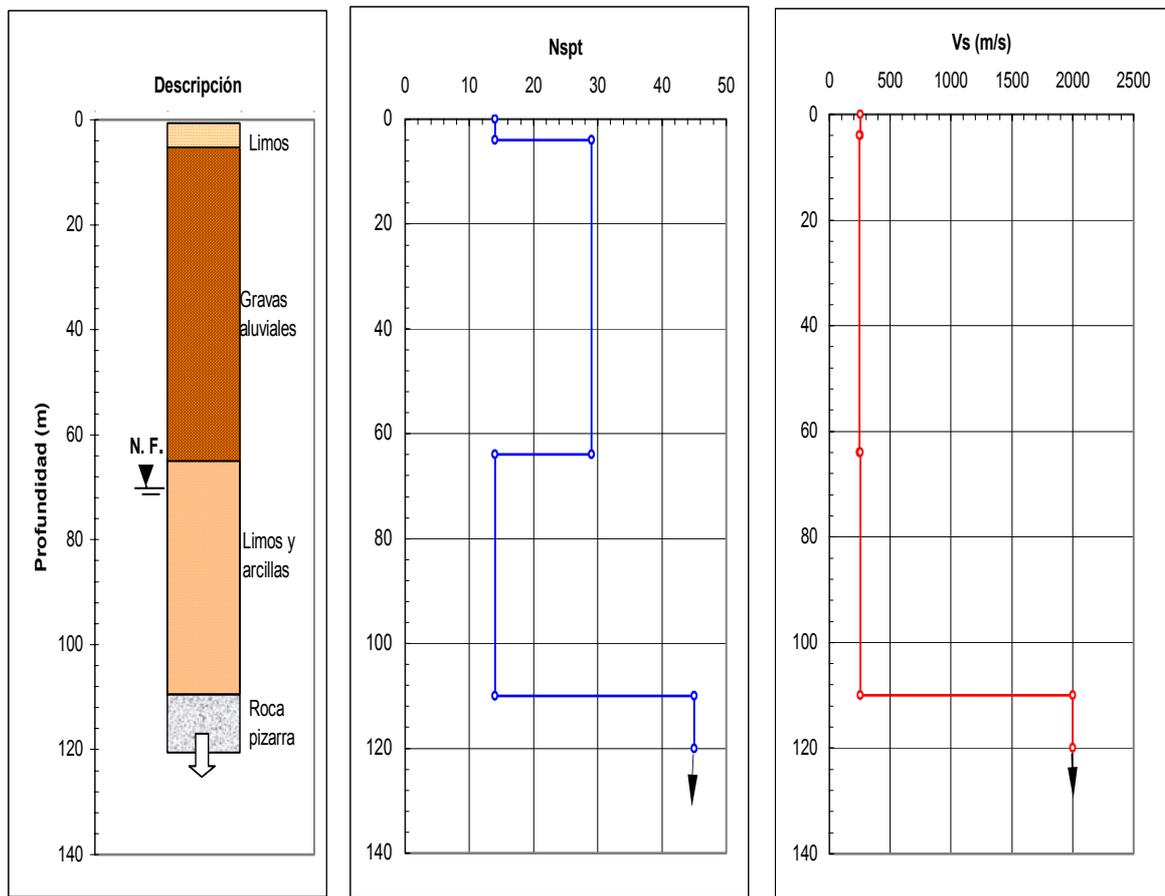


Figura 4.5A. Estratigrafía y parámetros dinámicos del perfil 1.

Profundidad (m)	Nspt	Vs (m/s)	$G_{\text{máx}}$ (KN/m <sup>2</sup> )	P. Unitario (KN/m <sup>3</sup> )
0	14	255.14	113918.73	17.15
2	14	255.14	113918.73	17.15
2	35	262.63	144846.49	20.58
6	35	262.63	144846.49	20.58
6	14	255.14	113918.73	17.15
8	14	255.14	113918.73	17.15
8	35	262.63	144846.49	20.58
12	35	262.63	144846.49	20.58
12	14	266.00	120285.20	16.66
55	14	266.00	120285.20	16.66
55	45	2000.00	10200000.00	24.99
70	45	2000.00	10200000.00	24.99

Tabla 4.4B. Parámetros dinámicos calculados a partir del ensayo de penetración estándar, Nspt para el perfil 2.

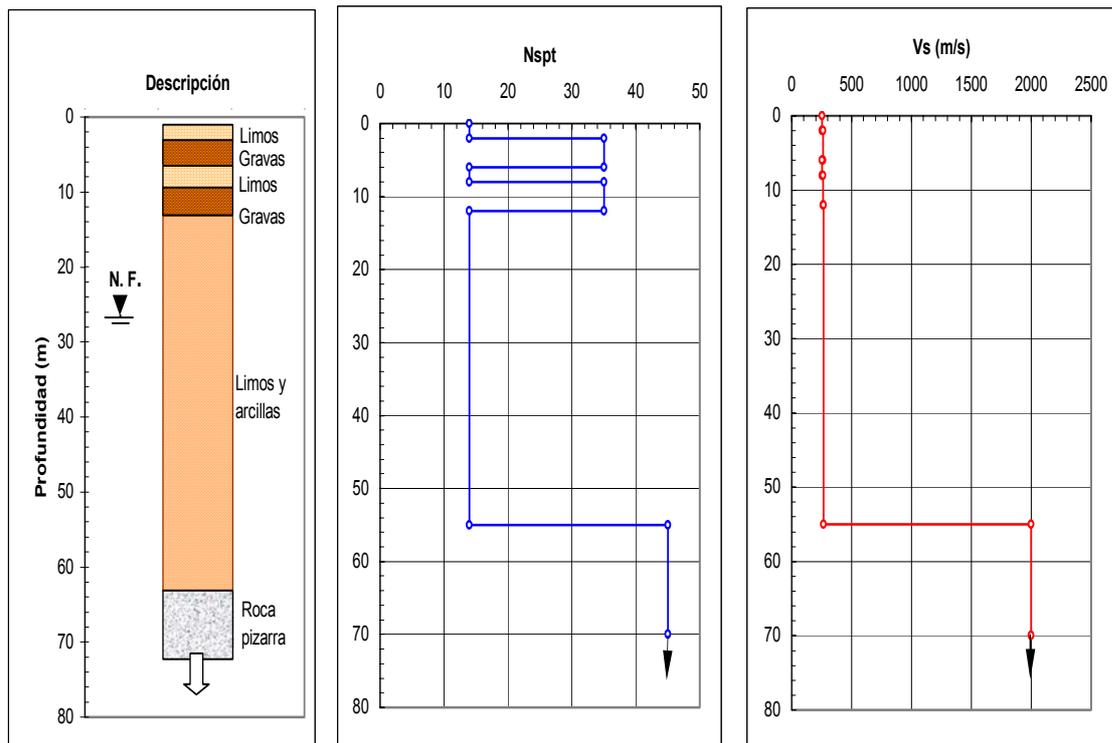


Figura 4.5B. Estratigrafía y parámetros dinámicos del perfil 2.

Profundidad (m)	Nspt	Vs (m/s)	G <sub>máx</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	P. Unitario (KN/m <sup>3</sup> )
0	14	255.14	113918.73	17.15
2	14	255.14	113918.73	17.15
2	35	262.63	144846.49	20.58
6	35	262.63	144846.49	20.58
6	14	255.14	113918.73	17.15
8	14	255.14	113918.73	17.15
8	35	262.63	144846.49	20.58
12	35	262.63	144846.49	20.58
12	14	266.00	120285.20	16.66
107	14	266.00	120285.20	16.66
107	45	2000.00	10200000.00	24.99
120	45	2000.00	10200000.00	24.99

Tabla 4.4C. Parámetros dinámicos calculados a partir del ensayo de penetración estándar, Nspt para el perfil 3.

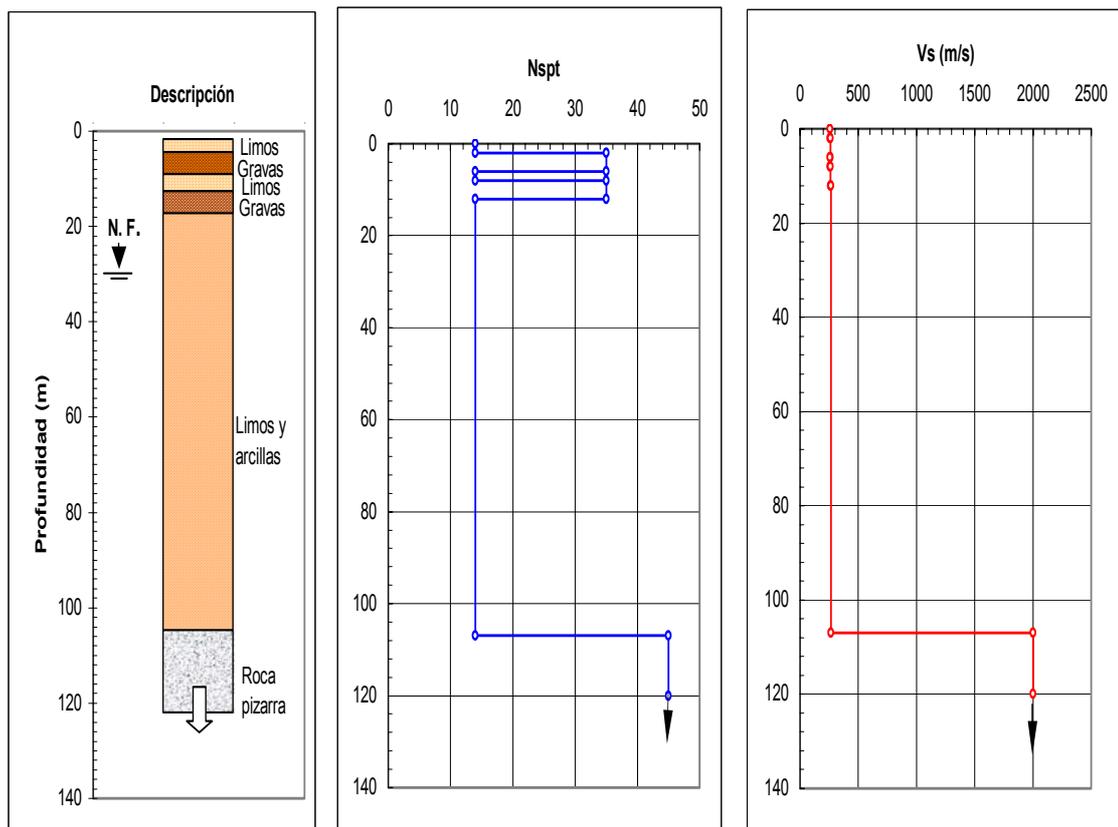


Figura 4.5C. Estratigrafía y parámetros dinámicos del perfil 3.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	G <sub>máx</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	P. Unitario (KN/m <sup>3</sup> )
0	188.00	61852.00	17.15
2	188.00	61852.00	17.15
2	516.00	532512.00	19.60
5	516.00	532512.00	19.60
5	516.00	532512.00	19.60
11	516.00	532512.00	19.60
11	470.00	441800.00	19.60
14	470.00	441800.00	19.60
14	470.00	397620.00	17.64
16	470.00	397620.00	17.64
16	1500.00	4725000.00	20.58
25	1500.00	4725000.00	20.58
25	1500.00	4500000.00	19.60
30	1500.00	4500000.00	19.60
30	1700.00	6069000.00	20.58
100	1700.00	6069000.00	20.58
100	2000.00	10200000.00	24.99
120	2000.00	10200000.00	24.99

Tabla 4.4D. Parámetros dinámicos calculados a partir del ensayo de penetración estándar, N<sub>spt</sub> para el perfil 4.

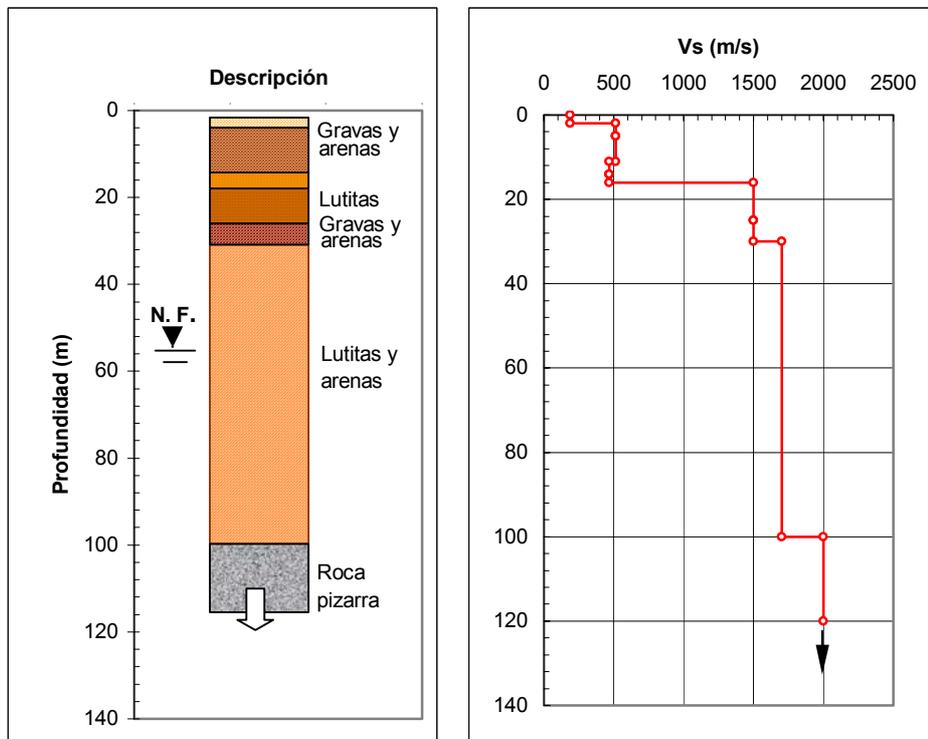


Figura 4.5D. Estratigrafía y parámetros dinámicos del perfil 4.

Profundidad (m)	Nspt	Vs (m/s)	G <sub>máx</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	P. Unitario (KN/m <sup>3</sup> )
0	37	285.00	154327.50	18.62
7	37	285.00	154327.50	18.62
7	14	255.14	113918.73	17.15
11	14	255.14	113918.73	17.15
11	37	255.14	123683.20	18.62
26	37	255.14	123683.20	18.62
26	14	266.00	127360.80	17.64
86	14	266.00	127360.80	17.64
86	45	2000.00	10200000.00	24.99
100	45	2000.00	10200000.00	24.99

Tabla 4.4E. Parámetros dinámicos calculados a partir del ensayo de penetración estándar, Nspt para el perfil 5.

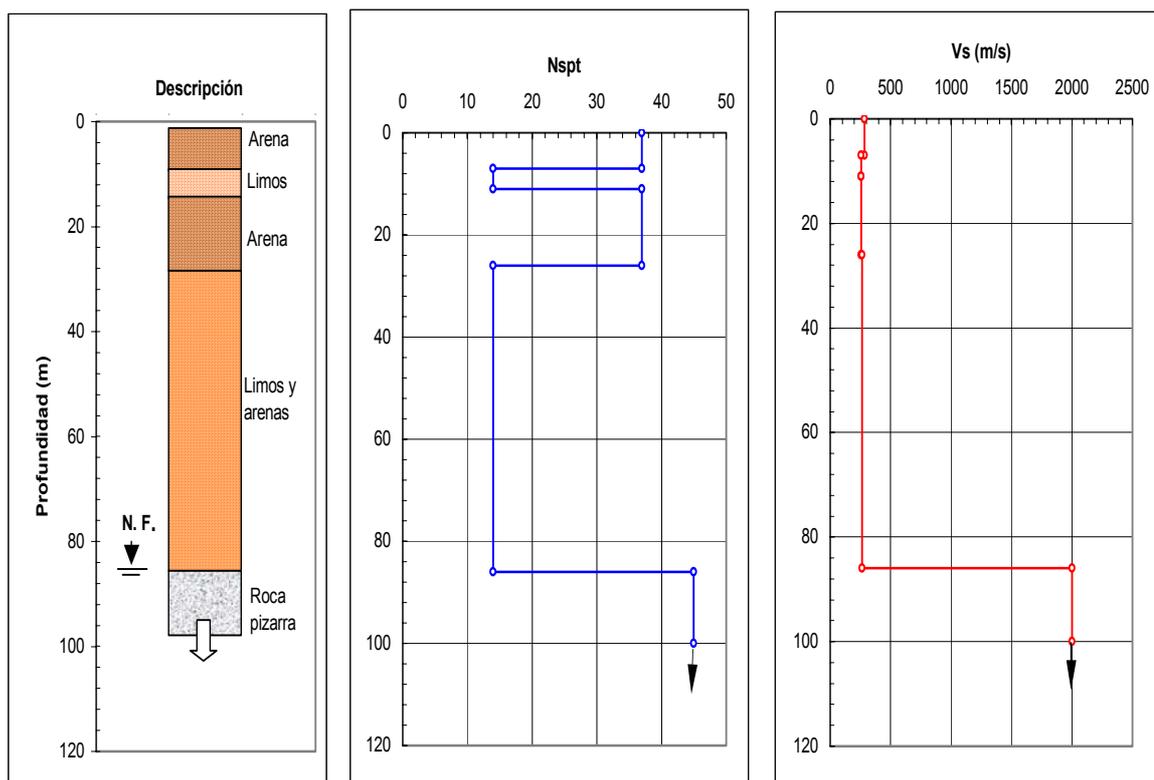


Figura 4.5E. Estratigrafía y parámetros dinámicos del perfil 5.

En los perfiles 1, 2, 3 y 5 el substrato rocoso aparece a más de 50 m, resultando para todos ellos desde el punto de vista de las propiedades dinámicas una sola capa con velocidades entorno a los 250 m/s sobre un semiespacio rocoso caracterizado por velocidades entorno a los 2000 m/s. Solo en el perfil 4 a la altura de Andorra La Vella aparece una capa intermedia rocosa, formada por lutitas y arenas en lugar de los limos y

arcillas presentes en los demás perfiles, con lo cual este perfil aparece formado por una capa de grava y arena de unos 20 m con velocidades próximas a 500 m/s reposando otra capa de lutitas y arenas de unos 80 m de velocidad de 1500 m/s antes de llegar al substrato propiamente dicho con una velocidad de 2000 m/s.

### 4.3. MAPA DE PENDIENTES

En la figura 4.6. se muestra el mapa de pendientes con diferentes intervalos elaborado por el ICC (J. Fleta, 2002) a partir del modelo digital de elevación del terreno a escala 1:50000, que servirá de apoyo para el estudio de los posibles efectos topográficos en la zona de laderas.

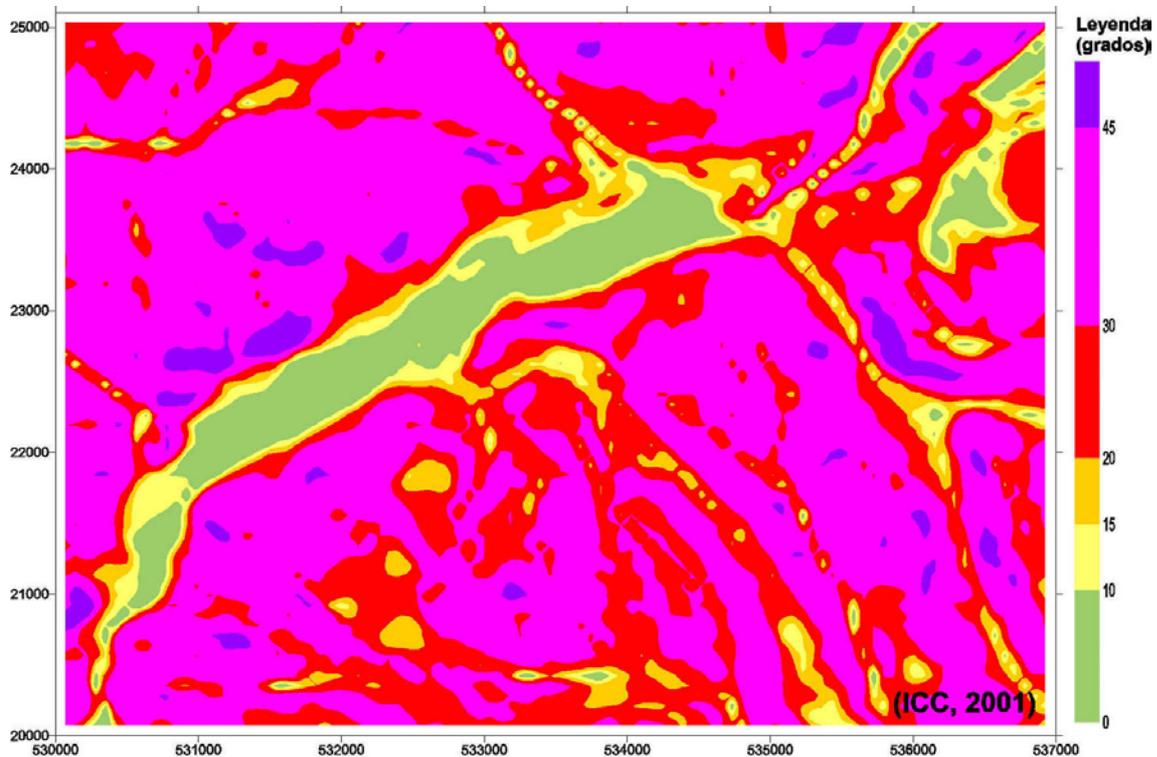


Figura 4.6. Mapa de pendientes de la zona en estudio. (ICC, J. Fleta, 2002).

En el mapa se observa:

1. Aparece una zona de rellenos en la cuenca del río Valira con pendientes alrededor de  $0^\circ$ .
2. Rápidamente las zonas adyacentes a la cubeta tienen pendientes bastante pronunciadas y así las laderas de la margen derecha presentan valores entre  $20^\circ$  y  $45^\circ$  y las laderas de la margen izquierda con la existencia creciente de

urbanizaciones, presenta pendientes entre 15° y 45° mostrando una altimetría un poco más suave que la margen derecha.



