

MÁSTER EN
TECNOLOGÍAS
AVANZADAS PARA EL
DESARROLLO
AGROFORESTAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Nuevas tecnologías para el análisis resistente de árboles en pie



Universidad de Valladolid

Alberto Martínez Nuevo



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ESPECIE Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR	2
3. EVALUACIÓN ARBÓREA DE CADA ÁRBOL SEGÚN EN-ISO 15567-1	6
3.1 Características generales.....	7
3.2 Observaciones generales del árbol	19
4. ESTADO MECÁNICO	24
4.1 Nivel de riesgo	37
4.2 Defectos o anomalías detectadas	37
4.3 Medidas correctivas recomendadas	42
5. CONCLUSIONES	44

1. INTRODUCCIÓN

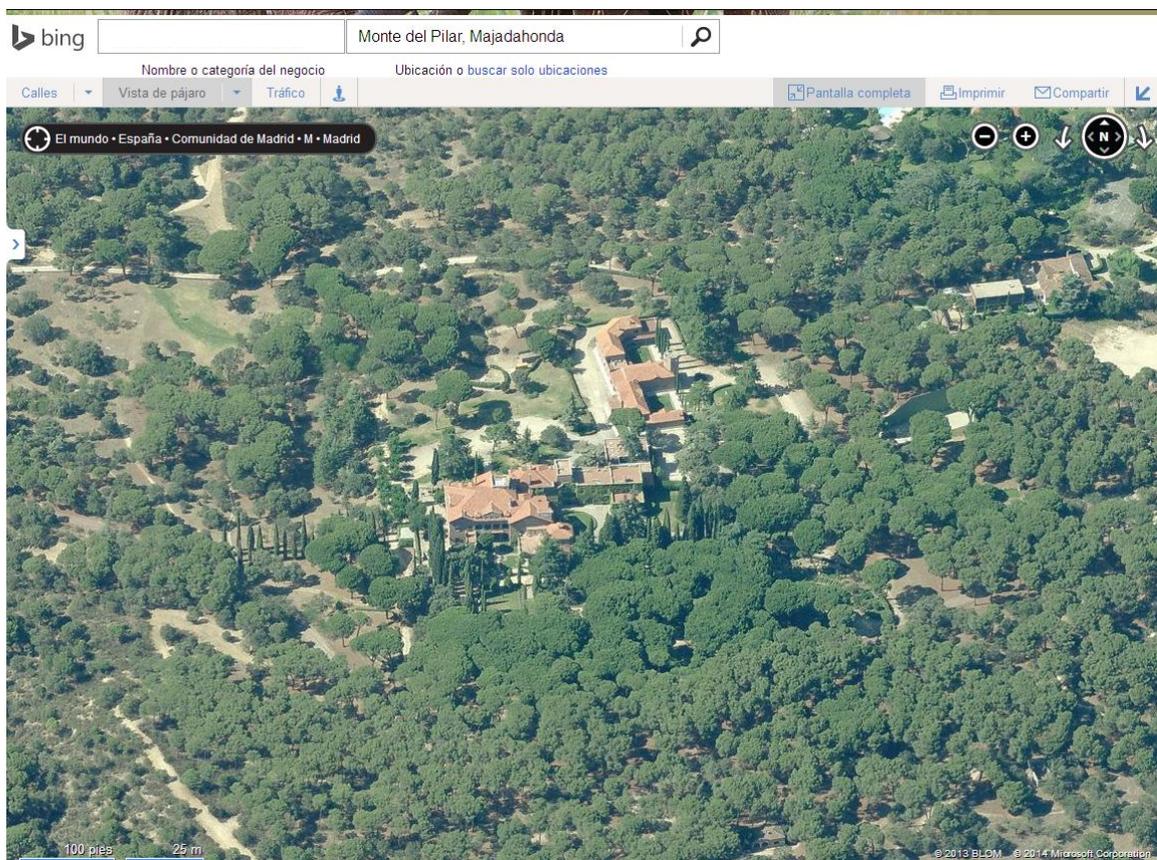
El presente Trabajo Fin de Máster ha sido realizado durante las prácticas en la empresa **igm, ingeniería y gestión medioambiental S.L.** (a partir de ahora **igm**), de abril a mayo de 2014, y constituye parte de un trabajo a cliente de evaluación arborícola previa a la instalación de un recorrido acrobático en altura; conforme norma UNE-EN ISO 15567-1.

Aplicando los conocimientos adquiridos en el máster, y concretamente en la asignatura “Innovación en el Aprovechamiento de la Madera”, ha sido posible emplear una Técnica No Destructiva (NDT) para conocer el estado mecánico interno real en diez árboles mediante la simulación de tres secciones resistentes por pie.

La tecnología aplicada mide con exactitud la velocidad de paso de onda sónica entre dos transductores piezoeléctricos. Y, a través de relaciones matemáticas directas, permite generar la simulación antes citada.

2. ESPECIE Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

El arbolado en cuestión se trata de un conjunto de pies de pino piñonero, *Pinus pinea*, ubicados en las instalaciones de un centro de formación en el Monte del Pilar de Majadahonda (Madrid) inaugurado en 2012.



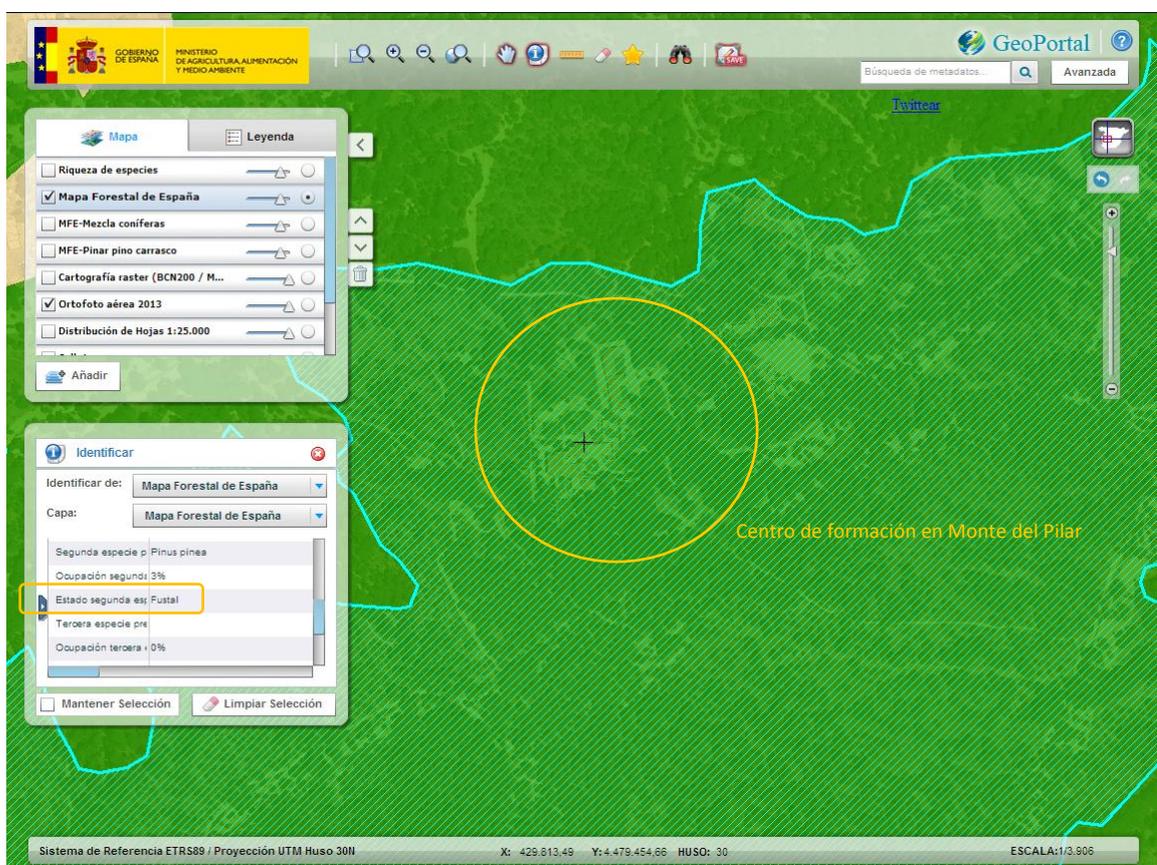
Centro de formación en el Monte del Pilar.

Fuente: <http://www.bing.com/maps/>

El Monte del Pilar forma parte de una masa forestal de bosque mediterráneo con 804 ha de superficie compartida por tres municipios: Madrid, Pozuelo de Alarcón y Majadahonda. Es continuación natural del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares, separado por la autovía A-6 en dos márgenes: El Plantío, donde se encuentran los pies evaluados, y La Florida.

Las 249 ha que comprende en Majadahonda, están constituidas por un bosque mixto de encinar, *Quercus ilex*, y pinos, mezcla principalmente de piñonero (*P. pinea*), resinero (*P. pinaster*) y carrasco (*P. halepensis*); repoblados a inicios del siglo XX.

Al observar el Mapa Forestal de España, que constituye la cartografía básica forestal del Inventario Forestal Nacional (IFN), *P. pinea* figura como segunda especie principal en la zona, junto a la encina, *Q. ilex*.



Fuente: Mapa Forestal de España (MFE50, 2010). MAGRAMA

P. pinea presenta su área de distribución en zonas generalmente más secas que las del área de estudio, con una pluviometría media anual de 500 mm (AEMET, 1960-1996). Pero en las forestaciones llevadas a cabo en los años 30 del siglo pasado ambas fueron plantadas en los mismos terrenos por el alto nivel de estrés hídrico que es capaz de soportar.

De hecho, *P. pinea* como especie heliófila, xerófila y relativamente termófila (Ruiz de la Torre, 1971), está muy bien adaptada a sequías prolongadas como los de la zona, con los 4 meses de duración media del período seco (AEMET, 1960-1996); llegando a tolerar precipitaciones anuales de 250 mm y

períodos secos estivales de 1 a 5 meses. Por tanto, su estación es acorde a las características climáticas de la zona de estudio, la cual está encuadrada dentro de la subdivisión 6.7 de la clasificación de Papadakis:

Clasificación climática de Papadakis	
Nombre	MAJADAHONDA 'MAFRE'
Clave	31930
Tipo de Invierno	av
Tipo de Verano	O
Régimen de Humedad	ME
Régimen Térmico	CO/Cs
Clasificación	Mediterráneo continental

Fuente: Serie de datos meteorológicos 1974-2003. AEMET-MAGRAMA

En cuanto a la topografía, el lugar presenta un relieve suave alomado y los pinos piñoneros que van a emplearse como soporte se encuentran a 718-720 m de altitud.

Mapa | Leyenda

- Relieve
- Mapa Base

Añadir

Identificar

Identificar de: Relieve

Capa: Modelo digital

Campo	Valor
Pixel value	718

Mantener Selección | Limpiar Selección

Sistema de Referencia ETRS89 / Proyección UTM Huso 30N | X: 429.983,47 | Y: 4.479.538,65 | HUSO: 30 | ESCALA: 1:25.000

Fuente: Modelo Digital del Terreno a partir de curvas de nivel de la Base Cartográfica/Topográfica Nacional 1:25.000. IDE-MAGRAMA

Por otro lado, Majadahonda se encuentra en las estribaciones centro-meridionales de la Sierra del Guadarrama y forma parte de la submeseta meridional o Cuenca del Tajo. Y desde el punto de vista geológico, se sitúa en el límite meridional entre el complejo ígneo-metamórfico del Sistema Central y la Cuenca Meso-terciaria del Tajo (ITGE, 1990), concretamente en la Subcuenca del Manzanares (CEH-CEDEX, 2011).

Los suelos de la zona son de escaso grado de evolución, Entisoles; los cuales constituyen el orden más extenso en la Comunidad de Madrid (Rodríguez Rastrero, 2010). En el caso concreto del “Campus Monte del Pilar”, muestra un terreno arenoso y suelto, óptimo para la especie en cuestión. Conviene indicar igualmente que, en las zonas ajardinadas donde están ubicados algunos de los ejemplares éste no presenta compactación significativa.



Pies nº 3, 4, 4a y 4b
Fuente: Visita 16-05-2014

Respecto a la gestión llevada a cabo en las instalaciones indicar que, los pies de *P. pinea* seleccionados son parte de una repoblación con más de 80 años de edad -existen pies centenarios- y en la actualidad presentan un buen estado fitosanitario.

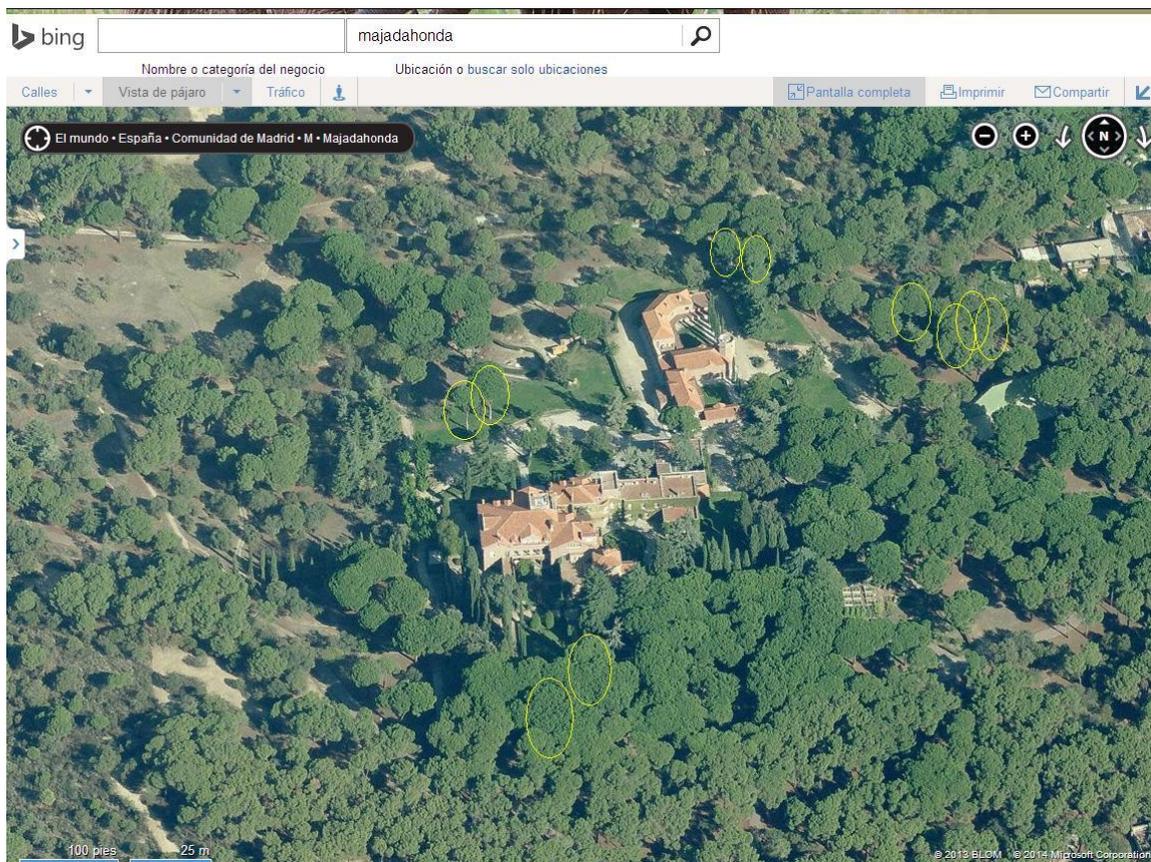
Desde 2012 las instalaciones sufrieron una restauración, que tuvo como consecuencia la remodelación de los edificios pero no de sus jardines. Éstos cuentan con zonas de césped desde los años 90.

El césped requiere una cantidad de agua importante, a diferencia de los pinos, los cuales bajo condiciones de parcial encharcamiento no se adaptan correctamente. Aunque la textura del suelo y el drenaje por lo general son adecuadas, en algunos pies se encuentran bajo la influencia de riegos acorde con las necesidades del césped. Es importante que la empresa mantenedora del recinto programe el riego en su justa medida para evitar encharcamientos y futuros problemas de pudriciones que afecten a los ejemplares evaluados. En la actualidad, por motivos de restricciones de agua, se contempla la supresión de puntos de riego y entre ellos varios muy próximos a dichos pies de piñonero.

Por lo demás, la gestión de las zonas verdes del lugar en cuanto a arbolado es adecuada, se llevan a cabo periódicamente las podas y los tratamientos fitosanitarios pertinentes.

3. EVALUACIÓN ARBÓREA DE CADA ÁRBOL SEGÚN EN-ISO 15567-1

Los árboles a evaluar están dispuestos de la siguiente forma:

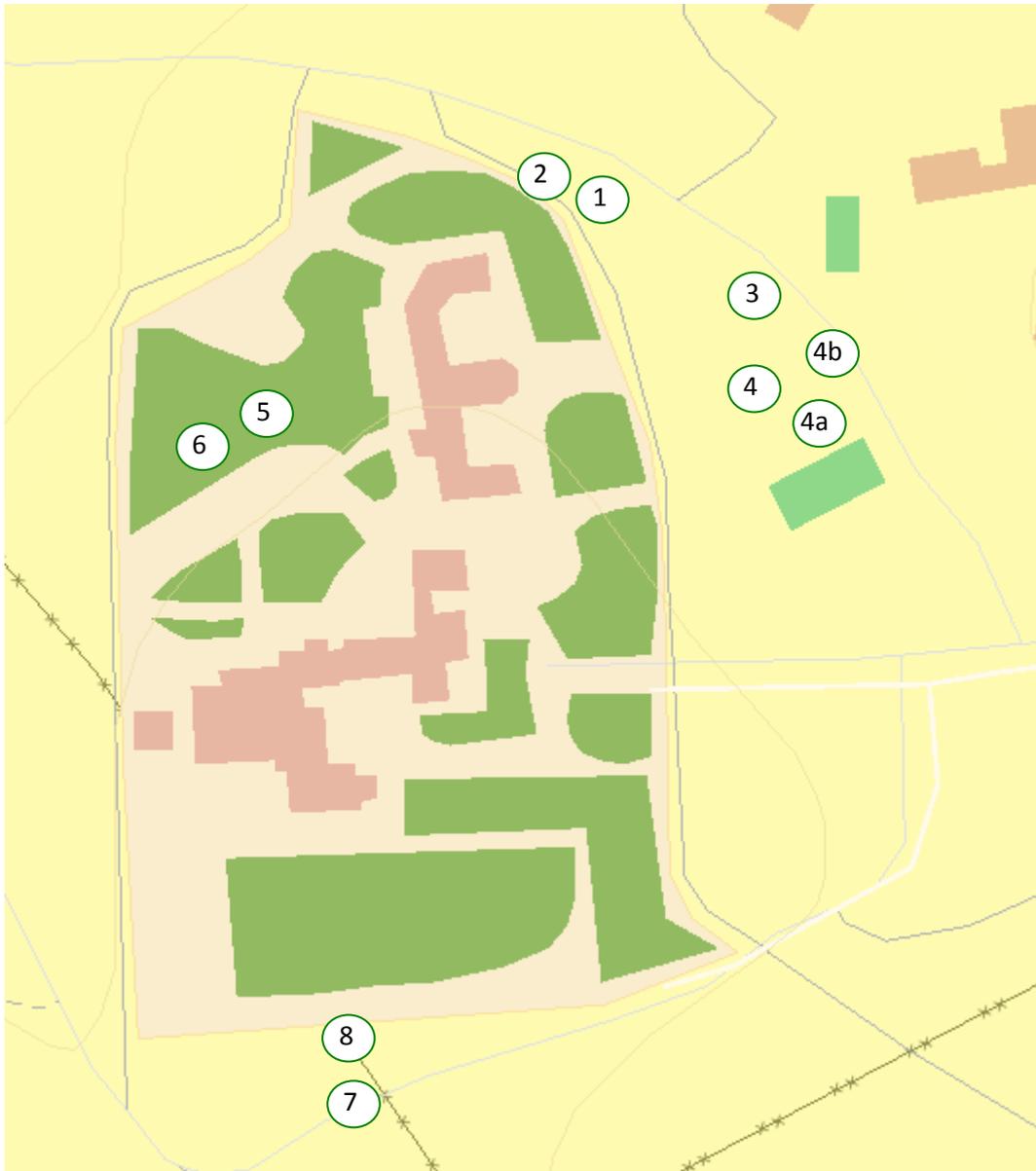


Localización de los árboles individuales a evaluar sobre vista general de la zona.

Fuente: <http://www.bing.com/maps/>

3.1 Características generales

Sobre el plano general quedan ubicados los pies estudiados:



Fuente: Mapa Base SIGMAPA-MAGRAMA

En las páginas siguientes se muestran los árboles seleccionados como posibles soportes para recorridos acrobáticos en altura; sobre las propias fotografías se superpone un esquema de los mismos con líneas **doradas**. Puede observarse también el grado de **inclinación** individual.

Asimismo, para cada pie se indican sus respectivos **diámetro normal** (\varnothing_n , $h_n=1,30$ m), medido con forcípula haciendo la media de dos perpendiculares, y **altura total** (h_t), medida con clinómetro Suunto PM-5.



Pie nº1



Diámetro normal = 70 cm (Forcípula)

Altura total = 17,5 m (Clinómetro Suunto)



Pie nº2 (derecha)



Diámetro normal = 68 cm (Forcípula)

Altura total = 18 m (Clinómetro Suunto)

Pie nº3



Diámetro normal = 57 cm (Forcípula)

Altura total = 17 m (Clinómetro Suunto)



Pie nº4



Diámetro normal = 58 cm (Forcípula)

Altura total = 16,25 m (Clinómetro Suunto)



Pie nº4a



Diámetro normal = 59 cm (Forcípula)

Altura total = 15,75 m (Clinómetro Suunto)

Pie nº4b



Diámetro normal = 52 cm (Forcípula)

Altura total = 15,5 m (Clinómetro Suunto)



Pie nº5 (a la derecha el 6)



Diámetro normal = 74 cm (Forcípula)

Altura total = 20 m (Clinómetro Suunto)

Pie nº 6



Diámetro normal = 72 cm (Forcípula)

Altura total = 18,25 m (Clinómetro Suunto)



Pie nº7



Diámetro normal = 55 cm (Forcípula)

Altura total = 17 m (Clinómetro Suunto)



Pie nº8



Diámetro normal = 53 cm (Forcípula)

Altura total = 18,75 m (Clinómetro Suunto)



A modo de resumen, en la siguiente tabla se indican los valores vistos:

<i>Id. única</i>	<i>Ø_n (cm)</i>	<i>h_t (m)</i>	<i>Inclinación (orientación)</i>
1	70	17,50	No apreciable
2	68	18,00	Moderada
3	57	17,00	No apreciable
4	58	16,25	Ligera
4a	59	15,75	Moderada
4b	52	15,50	Moderada
5	74	20,00	No apreciable
6	72	18,25	No apreciable
7	55	17,00	Ligera
8	53	18,75	Moderada

3.2 Observaciones generales del árbol

En este apartado se evaluarán a fondo los estados fisiológico y mecánico de cada pie, pero antes conviene hacer una breve descripción a grandes rasgos de lo observado en las distintas partes de los árboles durante las visitas.

Raíces

Por lo general, no se aprecia en el terreno sobre el que se asientan los pinos una compactación importante que pueda afectar a su desarrollo radical, esto junto a la textura con elevada componente arenosa antes comentada confieren al suelo un buen drenaje. Lo cual es muy positivo para la especie; *P. pinea* no tolera bien encharcamientos.

A este respecto únicamente el pie nº8, situado en zona ajardinada, está sometido a un importante riego superficial que, de continuar a lo largo del tiempo puede generarle algún tipo de afección.

Próximo al pie nº7 existe también una antigua boca de pozo que no ha repercutido significativamente en el desarrollo del árbol.

Tronco

La curvatura en tronco de los pies es ligera o no apreciable para la mayoría de los pies, manteniendo un porte recto hasta la horquilla; sobre la que se apoyará el circuito.



Fuente: Visita 22-05-14

La mayoría de los pies han sido sometidos a podas. Para una mejor visión en detalle, tanto de los troncos como de las copas, se empleó una plataforma elevadora telescópica 660J.



Fuente: Visita 22-05-2014

Las podas realizadas en los pies están bien cicatrizadas, incluso las de grandes ramas.



Pies nº 4a y 6 respectivamente.

Fuente: Visita 22-05-2014

En el caso del pie nº7 que presenta tres podas próximas a la altura de la ramificación del tronco, están bien cicatrizadas; lo que ha favorecido que no haya mermado la parte viva de la sección.



Fuente: Visita 22-05-2014

En general, los troncos no muestran síntomas de descomposición ni fructificaciones de hongos. Si bien es cierto que, el exceso de humedad podría inducir en el tiempo su aparición en partes bajas de algunos pies situados cerca de puntos de riego.

Las condiciones en la que se encuentran los árboles son adecuadas para un correcto crecimiento, muestra de ello es el vigor que tienen. La calidad de estación del lugar es propicia para la especie, lo que la ha dado la oportunidad de tener buenos crecimientos. De igual modo, la corteza generada tiene un buen grosor, no excesivo, que da idea de la ausencia de incendios forestales en la zona y la adaptabilidad del piñonero al entorno del Monte del Pilar.

En altura, los nudos muertos están bien sellados y sobre las horquillas tampoco existen indicios de pudriciones que puedan debilitar la zona a la hora de someterle a la carga del recorrido proyectado.



*Pies nº 4a y 4b.
Fuente: Visita 22-05-2014*

Por otro lado, se ha detectado en el pie nº2 un nido de ave en un nudo muerto del árbol. No reviste mayor importancia puesto que, con la plataforma se observó en detalle y no ha profundizado en la madera, de igual manera no ha debilitado al árbol de ninguna forma. Resaltamos la importancia de comprobar que está deshabitado antes de iniciar la instalación.



*Nido habitado recientemente en el tronco del pie nº2.
Fuente: Visita 22-05-2014*



Copa

La forma de copa es redondeada, acorde a la pérdida de dominancia apical propia de la especie a la edad de los pies evaluados.



Fuente: Visita 16-05-2014

Debido a la proximidad entre copas, algunos ejemplares presentan una menor densidad foliar; aunque no parece revestir mayor importancia dado su buen vigor antes comentado.



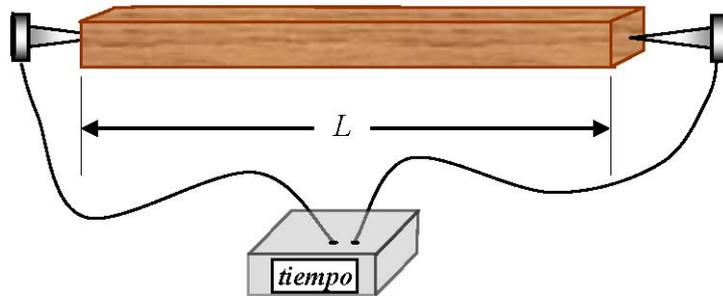
Copas de los pies nº 4 y 4a.

Fuente: Visita 22-05-2014

4. ESTADO MECÁNICO

El método empleado para obtener los datos que indiquen posibles riesgos mecánicos en los árboles es la medición de la velocidad de paso de onda sónica empleando una técnica no destructiva (NDT).

La determinación de las velocidades de paso se realizaron con un equipo Fakkop (Fig.1), que trabaja generando una frecuencia constante mediante un impacto sobre un transductor emisor, el receptor, que se sitúan a una distancia conocida (L), recibe la onda de paso y el equipo registra el tiempo (t) que tarda la onda en llegar de uno al otro, pudiéndose determinar así la velocidad de paso de la onda medida en esa distancia, V_T , ecuación (1)



$$V_T = L/t \quad (1)$$

Se realizaron medidas en 3 secciones diferentes, la primera a unos 30 cm del suelo en la cara sur de cada árbol. La segunda a 1,10 m, hacia la mitad de la altura y la tercera sección, a 1,75 m del suelo. Se ha representado un esquema de la toma de datos:

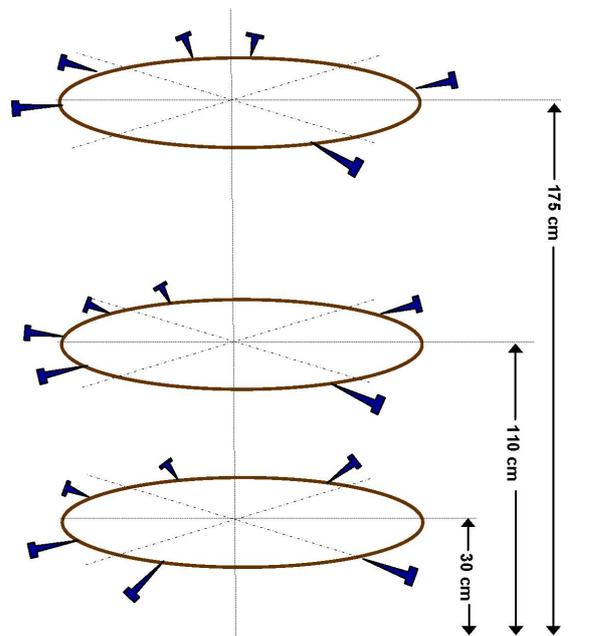


Figura 3.- Esquema de la toma de datos por secciones

Las mediciones de los ensayos (obtenidas para cada pie han quedado recogidas en las tablas de resultados, en la que se presentan, por secciones, las velocidades de paso de la onda sónica. Igualmente, se ha representado una **simulación del estado interno** de las secciones atendiendo a las velocidades determinadas, junto con las tablas antes mencionadas.

Se ha tenido especial cuidado al clavar la punta de los dos transductores en que penetrase como mínimo 1 cm en la madera del tronco para tener una medición válida; *P. pinea* tiene una corteza gruesa, por lo que buscaron los puntos más adecuados para su situación.



*Receptor clavado en la madera del árbol, no en la corteza.
Fuente: Visita 19-05-2014*

La velocidad de la onda depende de factores como la dirección de la medida, debida a la anisotropía de la madera, de la humedad, de las anomalías internas del grado de ataque o pudriciones existentes, etc. En nuestro caso las medidas se tomaron en sentido puramente transversal, siendo el contenido de humedad del árbol en pie una constante para todas las medidas (madera saturada).

Por otro lado, a las velocidades de paso resultantes se las ha asignado un código de colores (a la derecha) acorde al nivel de resistencia mecánica encontrado en la madera y asociado al nivel de riesgo. Existen valores de referencia para diferentes especies arbóreas en el manual del equipo, no obstante y en función de diversos estudios realizados, un buen valor ausente de riesgos mecánicos para *P. pinea* en la península está situado entorno a un valor de 2000 m/s sobre pie vivo (Acuña, 2014).

V_T (m/s)

<500

500-800

800-1100

1100-1400

1400-1700

1700-2000

>2000

Generalmente para la onda sónica, valores de 1000 m/s de velocidad de paso son suficientes para indicar un buen auto-soporte del piñonero. Pero dado el uso que se va a dar en este caso, se pondera el valor apto a 1400 m/s.

Asimismo, se aprovechó la plataforma telescópica para tomar medidas en la madera de los troncos a diferentes alturas y en puntos concretos que pudiesen comprometer la seguridad una vez instalado el recorrido.



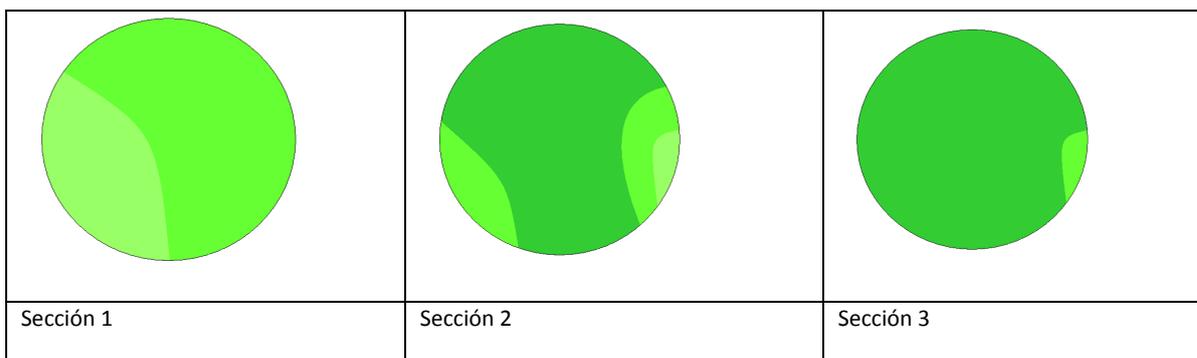
Pie nº1.

Fuente: Visita 22-05-2014

En las páginas siguientes se encuentran las tablas de resultados con las **velocidades de paso determinadas en cada una de las secciones** para cada pie, con las correspondientes figuras que muestran el **esquema del estado interior** de las secciones utilizando las velocidades de paso transversales de onda sónica.



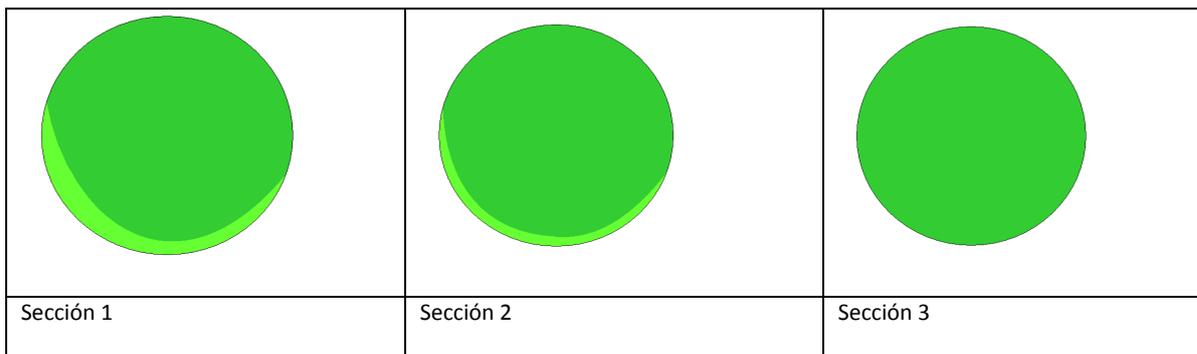
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	65	cm					
1	103	cm	38	0,995	48,299	273	1769,20
2	134	cm	69	1,806	79,492	414	1920,00
3	175	cm	110	2,880	100,356	507	1979,42
4	211	cm	146	3,822	95,417	596	1600,95
5	7	cm	58	1,518	69,677	460	1514,71
Perímetro	240	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	55	cm					
1	92	cm	37	1,047	50,611	310	1632,62
2	119	cm	64	1,811	79,647	406	1961,74
3	165	cm	110	3,113	101,212	472	2144,43
4	191	cm	136	3,849	94,954	474	2003,25
5	2	cm	53	1,500	68,998	403	1712,12
Perímetro	222	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	64	cm					
1	101	cm	37	1,066	51,451	274	1877,77
2	119	cm	55	1,585	72,089	347	2077,49
3	152	cm	88	2,536	96,622	424	2278,83
4	194	cm	130	3,747	96,623	417	2317,09
5	0	cm	64	1,845	80,674	376	2145,57
Perímetro	218	cm					



Pie nº1



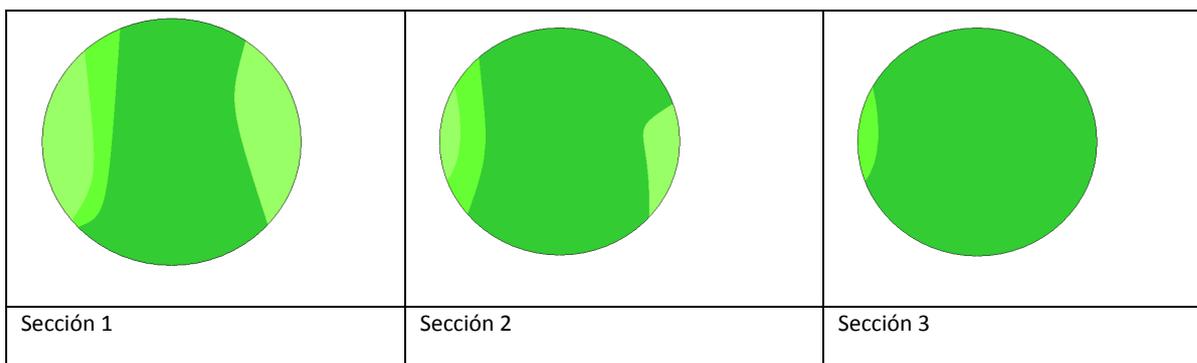
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	60	cm					
1	100	cm	40	1,132	54,286	314	1728,85
2	122	cm	62	1,755	77,847	370	2103,97
3	156	cm	96	2,717	98,951	462	2141,79
4	184	cm	124	3,510	99,515	475	2095,04
5	5	cm	55	1,557	71,067	378	1880,07
Perímetro	222	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	52	cm					
1	95	cm	43	1,305	61,468	345	1781,67
2	116	cm	64	1,943	83,572	387	2159,48
3	155	cm	103	3,126	101,220	434	2332,25
4	182	cm	130	3,946	93,146	415	2244,48
5	10	cm	42	1,275	60,240	328	1836,59
Perímetro	207	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	55	cm					
1	105	cm	50	1,563	71,295	265	2690,37
2	126	cm	71	2,219	90,652	372	2436,88
3	145	cm	90	2,813	99,862	374	2670,12
4	182	cm	127	3,970	92,664	386	2400,61
5	2	cm	53	1,657	74,584	344	2168,15
Perímetro	201	cm					



Pie nº2



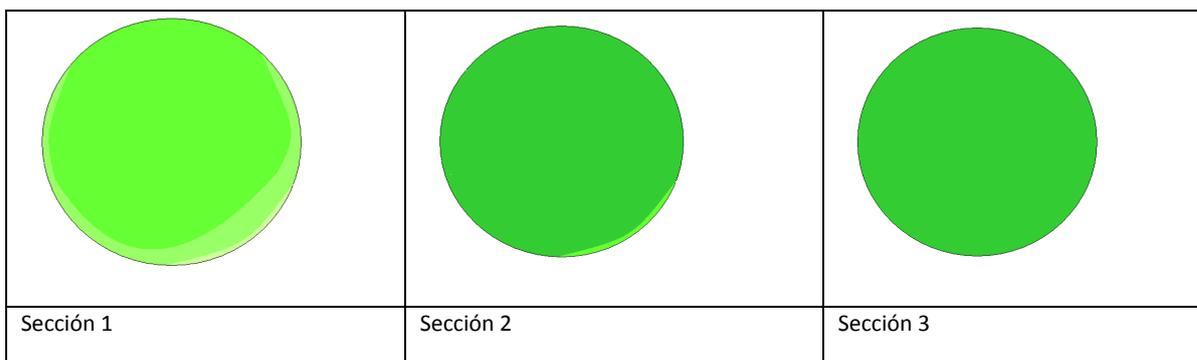
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo µs	Velocidad m/s	
Emisor	54	cm					
1	89	cm	35	1,000	48,511	332	1461,16
2	117	cm	63	1,799	79,267	486	1631,02
3	157	cm	103	2,942	100,717	488	2063,88
4	204	cm	150	4,284	85,154	502	1696,30
5	20	cm	34	0,971	47,237	277	1705,31
Perímetro	220	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo µs	Velocidad m/s	
Emisor	48	cm					
1	93	cm	45	1,450	67,123	348	1928,81
2	109	cm	61	1,966	84,220	402	2095,02
3	145	cm	97	3,125	101,219	442	2290,03
4	183	cm	135	4,350	83,305	432	1928,36
5	21	cm	27	0,870	42,655	255	1672,75
Perímetro	195	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo µs	Velocidad m/s	
Emisor	48	cm					
1	89	cm	41	1,370	64,051	315	2033,37
2	112	cm	64	2,139	88,767	374	2373,45
3	132	cm	84	2,807	99,812	436	2289,28
4	162	cm	114	3,810	95,622	391	2445,58
5	13	cm	35	1,170	55,884	294	1900,81
Perímetro	188	cm					



Pie nº3



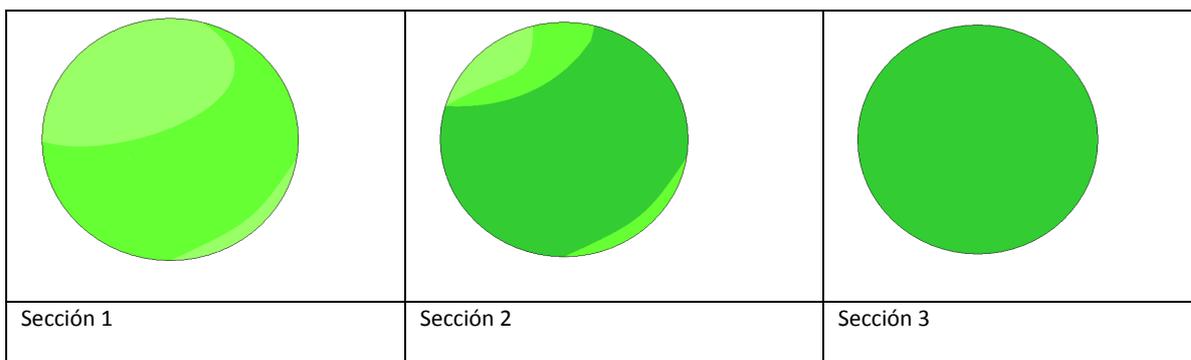
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	60	cm					
1	109	cm	49	1,480	68,259	506	1349,00
2	122	cm	62	1,873	81,530	518	1573,93
3	146	cm	86	2,598	97,505	520	1875,09
4	168	cm	108	3,262	101,038	507	1992,86
5	202	cm	142	4,289	85,004	526	1616,04
Perímetro	208	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	65	cm					
1	99	cm	34	1,136	54,466	288	1891,18
2	127	cm	62	2,072	87,092	403	2161,09
3	159	cm	94	3,142	101,223	421	2404,34
4	177	cm	112	3,743	96,678	417	2318,42
5	10	cm	55	1,838	80,476	356	2260,57
Perímetro	188	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	59	cm					
1	98	cm	39	1,361	63,701	277	2299,68
2	121	cm	62	2,164	89,374	354	2524,69
3	134	cm	75	2,618	97,773	356	2746,44
4	158	cm	99	3,456	99,976	352	2840,24
5	5	cm	54	1,885	81,891	330	2481,53
Perímetro	180	cm					



Pie nº4



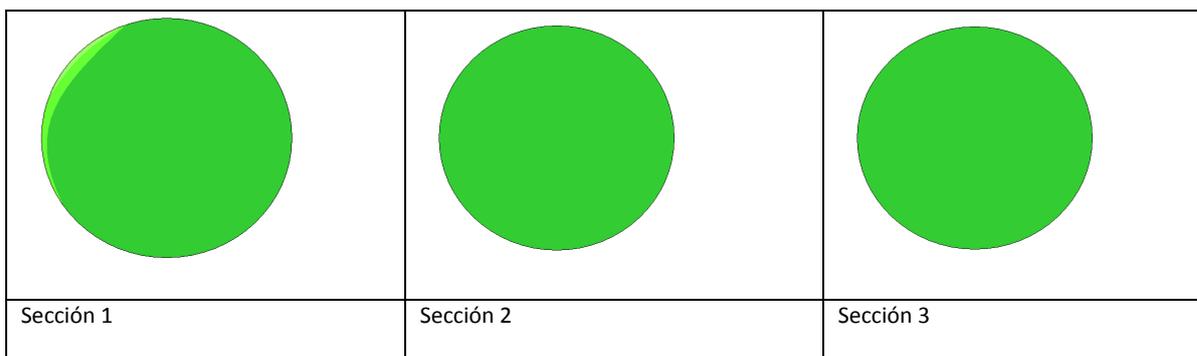
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	35	cm					
1	87	cm	52	1,506	69,206	434	1594,61
2	119	cm	84	2,432	94,921	530	1790,97
3	158	cm	123	3,561	99,001	700	1414,29
4	181	cm	146	4,227	86,668	618	1402,40
5	200	cm	165	4,778	69,207	370	1870,45
Perímetro	217	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	26	cm					
1	79	cm	53	1,717	76,596	387	1979,23
2	117	cm	91	2,947	100,745	454	2219,05
3	141	cm	115	3,725	96,953	502	1931,33
4	160	cm	134	4,340	83,590	493	1695,55
5	187	cm	161	5,214	51,556	285	1808,97
Perímetro	194	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	21	cm					
1	69	cm	48	1,596	72,462	321	2257,37
2	88	cm	67	2,227	90,830	373	2435,12
3	119	cm	98	3,258	101,051	356	2838,52
4	144	cm	123	4,089	90,075	332	2713,12
5	170	cm	149	4,953	62,452	282	2214,61
Perímetro	189	cm					



Pie nº4a



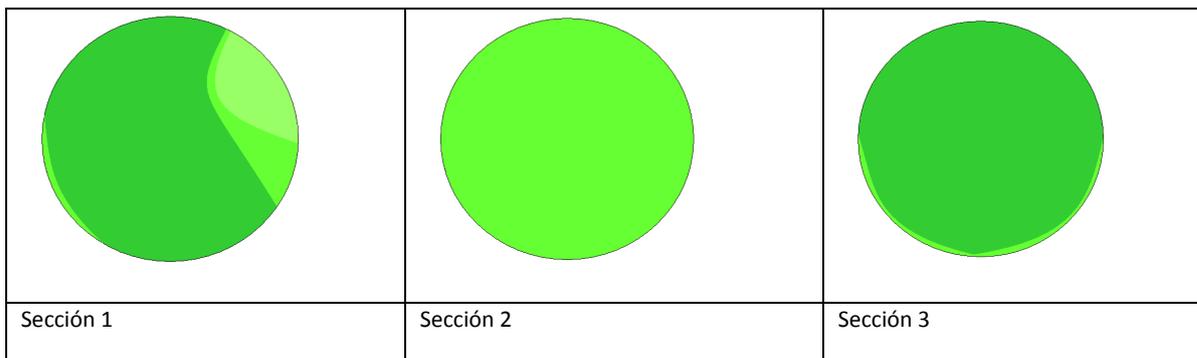
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	52	cm					
1	89	cm	37	1,243	58,945	240	2456,05
2	118	cm	66	2,218	90,611	356	2545,24
3	153	cm	101	3,394	100,420	452	2221,69
4	172	cm	120	4,032	91,356	546	1673,19
5	2	cm	50	1,680	75,374	381	1978,33
Perímetro	187	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	59	cm					
1	89	cm	30	1,142	54,725	226	2421,45
2	109	cm	50	1,904	82,453	295	2795,02
3	140	cm	81	3,084	101,181	426	2375,15
4	155	cm	96	3,656	97,897	421	2325,35
5	12	cm	47	1,790	78,967	363	2175,39
Perímetro	165	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	50	cm					
1	78	cm	28	1,106	53,187	205	2594,47
2	102	cm	52	2,055	86,644	279	3105,52
3	123	cm	73	2,885	100,389	302	3324,13
4	148	cm	98	3,873	94,535	309	3059,40
5	14	cm	36	1,423	66,080	258	2561,24
Perímetro	159	cm					



Pie nº4b



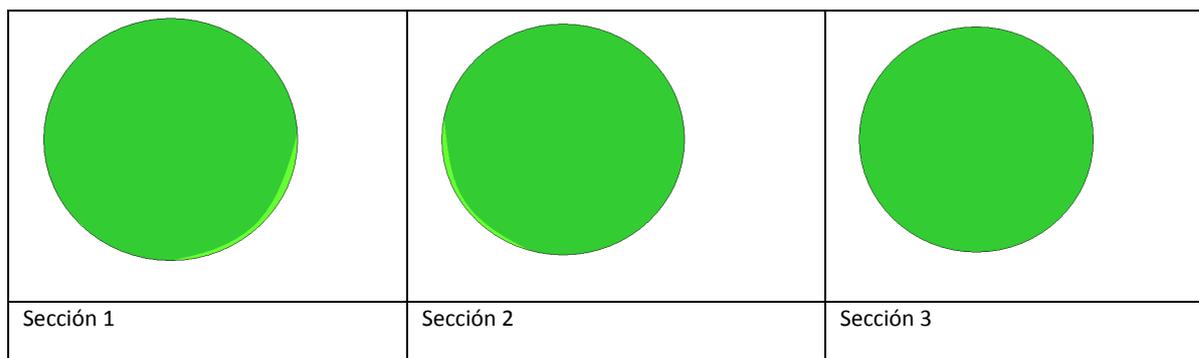
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s	
Emisor	84	cm					
1	134	cm	50	1,242	58,885	333	1768,00
2	160	cm	76	1,887	81,964	524	1564,21
3	184	cm	100	2,483	95,791	474	2020,92
4	221	cm	137	3,402	100,363	464	2163,01
5	10	cm	74	1,838	80,464	424	1897,74
Perímetro	253	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s	
Emisor	68	cm					
1	124	cm	56	1,454	67,274	385	1747,37
2	155	cm	87	2,259	91,521	480	1906,70
3	180	cm	112	2,908	100,532	531	1893,27
4	221	cm	153	3,972	92,614	464	1995,98
5	23	cm	45	1,168	55,826	321	1739,12
Perímetro	242	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s	
Emisor	64	cm					
1	116	cm	52	1,373	64,150	349	1838,11
2	142	cm	78	2,059	86,757	436	1989,83
3	180	cm	116	3,062	101,143	462	2189,25
4	220	cm	156	4,118	89,389	426	2098,32
5	12	cm	52	1,373	64,150	331	1938,07
Perímetro	238	cm					



Pie nº5



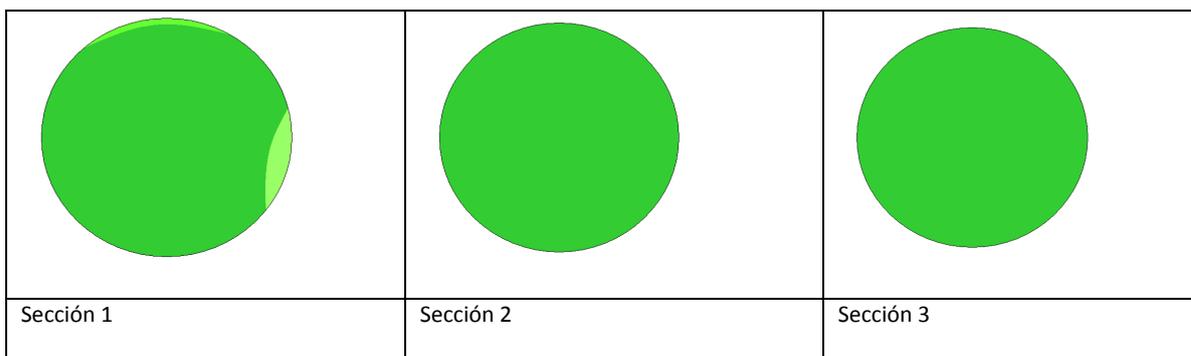
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	63	cm					
1	99	cm	36	0,996	48,371	260	1860,42
2	130	cm	67	1,855	80,975	386	2097,81
3	164	cm	101	2,796	99,712	402	2480,39
4	207	cm	144	3,986	92,338	430	2147,40
5	15	cm	48	1,329	62,404	312	2000,14
Perímetro	227	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	56	cm					
1	104	cm	48	1,409	65,569	302	2171,16
2	135	cm	79	2,319	92,791	378	2454,78
3	154	cm	98	2,877	100,340	386	2599,49
4	191	cm	135	3,964	92,791	387	2397,71
5	8	cm	48	1,409	65,569	352	1862,75
Perímetro	214	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	50	cm					
1	89	cm	39	1,184	56,475	260	2172,13
2	114	cm	64	1,943	83,572	354	2360,79
3	144	cm	94	2,853	100,172	361	2774,85
4	179	cm	129	3,916	93,737	350	2678,19
5	4	cm	46	1,396	65,064	292	2228,23
Perímetro	207	cm					



Pie nº6



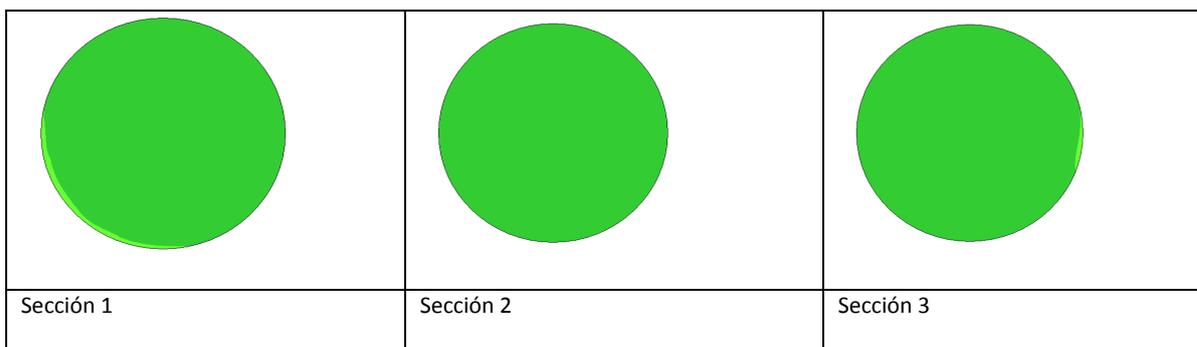
Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s	
Emisor	48	cm					
1	78	cm	30	1,003	48,646	288	1689,08
2	110	cm	62	2,072	87,092	394	2210,45
3	137	cm	89	2,974	100,869	525	1921,32
4	168	cm	120	4,011	91,818	412	2228,60
5	3	cm	45	1,504	69,143	320	2160,73
Perímetro	188	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s	
Emisor	30	cm					
1	69	cm	39	1,433	66,478	273	2435,09
2	104	cm	74	2,719	98,972	405	2443,74
3	116	cm	86	3,160	101,218	409	2474,77
4	150	cm	120	4,409	81,562	316	2581,08
5	163	cm	133	4,887	65,065	276	2357,44
Perímetro	171	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores		Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s	
Emisor	34	cm					
1	72	cm	38	1,430	66,352	270	2457,48
2	97	cm	63	2,370	93,788	306	3064,97
3	117	cm	83	3,123	101,218	322	3143,42
4	140	cm	106	3,988	92,290	315	2929,84
5	160	cm	126	4,741	70,559	283	2493,25
Perímetro	167	cm					



Pie nº7



Sección 1			30 cm del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	32	cm					
1	82	cm	50	1,603	72,713	333	2183,57
2	107	cm	75	2,404	94,421	387	2439,83
3	138	cm	106	3,398	100,392	358	2804,23
4	175	cm	143	4,584	76,015	332	2289,59
5	4	cm	28	0,898	43,919	231	1901,24
Perímetro	196	cm					
Sección 2			1,10 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	31	cm					
1	66	cm	35	1,264	59,792	271	2206,36
2	94	cm	63	2,275	91,867	322	2853,01
3	115	cm	84	3,033	101,074	339	2981,54
4	146	cm	115	4,153	88,561	387	2288,40
5	166	cm	135	4,875	65,531	279	2348,77
Perímetro	174	cm					
Sección 3			1,75 m del suelo				
Situación Transductores			Arco cm	Ángulo radianes	Cuerda cm	Tiempo μs	Velocidad m/s
Emisor	29	cm					
1	61	cm	32	1,162	55,566	280	1984,89
2	89	cm	60	2,179	89,726	303	2961,26
3	115	cm	86	3,123	101,218	312	3244,18
4	140	cm	111	4,031	91,369	342	2671,61
5	164	cm	135	4,903	64,437	231	2789,50
Perímetro	173	cm					



Pie nº8

4.1 Nivel de riesgo

A excepción de un resultado puntual de 1349 m/s en la sección 1 del pie nº4, el resto de velocidades obtenidas para todos los pies es superior a 1400 m/s. Conviene matizar que, los colores verdes más claros en la sección 1 del pie nº4 y de la sección 2 del pie nº5 corresponden a valores en todo caso superiores a 1850 m/s.

Por tanto, en general, el nivel de riesgo es muy bajo en la base de los troncos; parte crítica en la sustentación del árbol y reflejo del comportamiento fisio-mecánico de la madera a lo largo del mismo.

4.2 Defectos o anomalías detectadas

El **pie nº1** presenta un nido aparentemente deshabitado a 6 metros de altura comentado en apartados anteriores, ausente de pudrición alguna. Mirando en detalle con la plataforma se comprobó que no había profundizado tampoco en la madera. Y se realizaron medidas para comprobar el estado interno en esa sección y justo por debajo, marcando el equipo valores de 774 μ s (para un perímetro de 218 cm y emisor-receptor contrapuestos equivalen a unos 1248 m/s).



Medición realizada debajo de otro nido localizado en cicatriz de poda del pie nº2.

Fuente: Visita 22-05-2014

Para el **pie nº2** se actuó de igual forma, realizando mediciones contrapuestas a media altura, entrenudos y en la horquilla. En la fotografía de la página anterior se muestra otro nudo que encontramos en él, no había pasado del tejido cicatrizante y la sección no presentaba anomalías.

Para el **nº3**, debajo y encima del nudo, entrepodas y de la horquilla. El **nº4** en la zona de poda y por debajo de la horquilla. Resultando valores aceptables.

Al llegar al **pie nº 4a**, comprobando la ausencia de pudriciones por encima de la poda y en la horquilla con la telescópica, a 7,1 m de altura, se observó una zona dañada. Al medir por encima de esa sección, de \varnothing 57 cm se registraron 350 μ s longitudinal emisor-receptor contrapuestos; registro equivalente a una velocidad de paso por encima de 2000 m/s.



*Herida cicatrizada encima de la horquilla y sección de poda por debajo en pie nº 4a.
Fuente: Visita 22-05-2014*

En cuanto al **pie nº 4b**, se comprobó midiendo por encima y debajo del nudo sito a 7 metros de altura así como por encima de la horquilla. Al llegar a la ramificación, en la cicatriz debajo de otro nudo más pequeño se encontró otro nido, aparentemente habitado pero vacío cuando se observó si había llegado a la madera; el nido no ha profundizado y el tejido vivo abarca prácticamente toda la sección.

En la horquilla, justo sobre la ramificación se observó una zona en la que, aunque no presenta síntomas de pudrición alguna, a la hora de fijar la instalación sería conveniente no pasar eslingas por la ranura formada. Fuera del tejido cicatrizante, las mediciones confirmaron la ausencia de problemas tanto en esa sección como por encima de la ramificación.



*Nido en pie nº 4b.
Fuente: Visita 22-05-2014*

Posteriormente se realizaron medidas en los pies **nº 5**, a 5,3 metros, y **nº 6**, tanto en la sección de poda como por debajo. Ambos sin presentar valores fuera de lo normal, dentro de lo que supone cicatrizar una poda grande. Parecen árboles centenarios, por la pérdida completa de la dominancia apical observando sus copas, y presentan un aspecto excelente.

Ya en el **pie nº 7**, a 7 metros de altura la cicatrización de las tres podas es buena. Por debajo de las podas (6,60 m) el tronco tiene un diámetro de 46 cm, y encima de las mismas el árbol mantiene \varnothing 33 cm de madera viva. Las mediciones realizadas en estos puntos son aceptables, pero a la hora de estipular las cargas de diseño habrá que tener en cuenta la posible alteración de las propiedades mecánicas del tronco por encima de esta sección.



Herida cicatrizada de podas debajo de la horquilla en pie nº7.

Fuente: Visita 22-05-2014

Por último, el **pie nº 8** a 9,04 metros tiene una herida de poda que aparentemente le ha costado más cicatrizar, probablemente por las condiciones de excesiva humedad en la base y raíces debida por el punto de riego situado a un metro del árbol.

Se midió por debajo de la cicatriz obteniendo un valor equivalente a una velocidad de paso por encima de 1500 m/s, no obstante hay que tenerla en cuenta igualmente para la carga de diseño al estar por debajo de la horquilla; donde se apoyará la tirolina.



*Herida cicatrizada de poda debajo de la horquilla en pie nº8.
Fuente: Visita 22-05-2014*

4.3 Medidas correctivas recomendadas

Principalmente una: el control de los puntos de riego próximos a los pies a emplear como soporte. Los nudos y cicatrices vistos anteriormente están en buenas condiciones no revistiendo mayor importancia, teniendo en cuenta que, el exceso de humedad puede inducir la proliferación de hongos y otros problemas de vigor asociados.

Hacer hincapié especialmente sobre el punto de riego que está junto al pie nº 8, de continuar sometido a él a lo largo del tiempo puede que no sea apto para la función de soporte.



Sistema de riego ubicado junto al pie nº8 (a la izquierda).

Fuente: Visita 16-05-2014

Como se comentó al principio de este bloque, *P. pinea* no tolera suelos encharcados. Al contrario de las comunidades que componen el césped, que casi así lo requieren.

Según nos comentaron en las instalaciones, se iba a eliminar el riego en la zona donde está situado en nº 8 por motivo de restricciones en el Monte del Pilar. De ser así no habría que tomar medidas complementarias.



Charco de agua junto al pie nº8.

Fuente: Visita 16-05-2014

Respecto a los nidos de pájaro carpintero de los pies nº 2 y 4b, convendría confirmar la especie y esperar a que estuviesen deshabitados antes de iniciar la instalación del recorrido.

Por otro lado, también sería recomendable eliminar, mediante podas en altura, las ramas secas en los pies empleados como soporte que las tuviesen, a modo de prevenir su caída espontánea.

Como medida prioritaria, se deberá talar cualquier ejemplar que se encuentre en estado moribundo o próximo a ello. Con esto evitaremos la proliferación de escolítidos (especies perforadoras de madera) y la infección a ejemplares próximos.

5. CONCLUSIONES

A la vista del buen estado fitosanitario y los valores obtenidos con la técnica NDT para el estado mecánico, en la que no se aprecia falta de sección resistente en las bases de los diez árboles, la evaluación final ha resultado favorable.

Los valores de paso de onda sónica, por lo general próximos al óptimo de la especie, a nivel mecánico les hacen **aptos** para la instalación de recorridos acrobáticos en altura sobre ellos. Con matizaciones, siempre y cuando se tenga lo desarrollado en el informe explicando las actuaciones a realizar; p.e. según lo indicado por el cliente, el recorrido a proyectar empleando los pies nº 7 y 8 como soporte no debería tener mayor carga de diseño que la correspondiente a una tirolina -debido a los nudos por debajo de la horquilla y el sistema de riego próximo al segundo- con línea de vida correctamente instalada.

En cuanto al resto de ejemplares, resaltar igualmente el buen estado general de los mismos y el excelente cuidado de las instalaciones del Campus Monte del Pilar.



Fuente: Visita 19-05-2014

Asimismo, para no comprometer la seguridad de los usuarios y siguiendo la norma, una vez en funcionamiento el/los recorrido/s acrobático/s en altura se considera prudente evaluar anualmente el estado de los árboles empleados como soporte. No hay que olvidar que se está utilizando como madera estructural tejido vivo, y como tal puede sufrir alteraciones por diversos factores.



BIBLIOGRAFÍA

- ITGE, 1990. *Mapa Geológico de España -Hoja 558 (18-22) Majadahonda*. Instituto Geológico y Minero de España. M-10379-1991, Madrid.
- Ruiz de la Torre, J. 2006. *Flora Mayor*. Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- IDE, 2014. *GeoPortal: Bases de datos temáticas*. Infraestructura de datos Espaciales (IDE) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). <http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/geoportal/>
- Acuña, L. 2012. *Informe del estado de conservación de P.pinea L. - Antequera*. Tecnología de la Madera, Universidad de Valladolid.
- FAKOPP, 2013. *Microsecond Timer User's Guide*. FAKOPP Enterprise, Hungría.