



---

**Universidad de Valladolid**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS AGRARIAS DE PALENCIA**

**Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal**

**TESIS DOCTORAL:**

**EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA HUMEDAD DE LA MADERA  
DE *Pinus pinaster* Ait. EN PILAS SECADAS AL AIRE EN LA  
ZONA CENTRO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA**

Presentada por JAVIER GUTIÉRREZ VELAYOS para optar al grado de  
doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:

Dr. Luis Acuña Rello

Dr. Fernando Herráez Garrido

Dr. Modesto Rafael Díez Barra



“Sólo recordamos lo que nunca sucedió.” (*Marina*, Carlos Ruiz Zafón)



# AGRADECIMIENTOS

Desde estas líneas me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible que esta Tesis Doctoral haya llegado a buen puerto.

Echando la vista atrás puedo recordar los “malabares” que tuve que realizar para poder compatibilizar mis labores como becario en la Junta de Castilla y León con la realización del Máster que me permitió acceder a los estudios de posgrado. Mucho tiempo en la carretera, muchas horas de sueño, y sobre todo, muchos sacrificios en los que la principal sacrificada fue, sin ninguna duda otra de mis pasiones, la música.

Han sido cuatro años de trabajo realmente duro, pues no es fácil compatibilizar la realización de una investigación con las clases en la universidad, la música, las relaciones personales... Por ello, estoy sinceramente agradecido a todos aquellos de los que, de una manera u otra, he sentido su apoyo y calor durante este tiempo. Amigos del colegio, amigos del instituto, amigos del conservatorio, amigos de la universidad, amigos de la Escuela de Idiomas, compañeros de promoción, compañeros de la Junta, compañeros de la UCAV, y por supuesto, a otras muchas personas que se han cruzado en mi vida en este tiempo. Los nombres sobran, vosotros lo sabéis. A todos vosotros, muchas, muchas gracias.

Al escribir este pequeño texto no puedo evitar acordarme de aquellos que ya no estáis. Muchas gracias abuelo Aquilino, abuela Teófila, abuelo Luis, tía Charo, tío Ángel, tío Luis y Lasi. Siempre vendréis conmigo.

A mi abuela María, porque su sonrisa y la luz que desprenden sus ojos azules no puede equipararse a nada.

A Maderas Almohalla S.A. en las personas de su propietario Antonio Almohalla y de Julio de la Puente, por su total predisposición y donación de la pila de madera aserrada sobre la que se fundamenta este trabajo.

Agradecer a Luispe su predisposición a la hora de la toma de datos en los trabajos de campo, pues han sido muchas las horas de mediciones con el xilohigrómetro, donde nos ha llovido, nevado, o simplemente tuvimos que aguantar estoicamente bajo la solana mientras movíamos las vigas y volvíamos a rehacer la pila de madera.

Al Dr. Fernando Hérreaez, compañero y codirector de la presente Tesis Doctoral, por su revisión final de la Tesis Doctoral, por sus consejos, asesoramiento y confianza depositada en mí.

Al Dr. Luis Acuña, por su resolución, su paciencia, su dedicación y su inestimada ayuda a la hora de elaborar este trabajo. Sin ti, estoy convencido de que todo se hubiera alargado mucho más en el tiempo.

Y finalmente, a mi hermano, a mi madre y a mi padre, a los que agradeceré la infinita paciencia, apoyo y cariño brindados desde siempre. Y de forma muy especial, a mi padre, fiel compañero de viajes a Palencia al que jamás vi poner una sola mala cara por tener que acompañarme. Todas aquellas charlas sobre la vida pasarán a formar parte ya de nuestro recuerdo. Todos los logros de mi vida son y serán siempre vuestros.









# ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	l

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. LA MADERA DEL PINO RESINERO Y SU EMPLEO</b>	<b>3</b>
<b>2. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA EN EL PROCESO DE SECADO</b>	<b>5</b>
<b>3. IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD DE LA MADERA</b>	<b>8</b>
<b>4. FORMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA POR LA MADERA SECA</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III. OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES</b>	<b>17</b>
<b>1. LA HUMEDAD EN LA MADERA</b>	<b>19</b>
1.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA HUMEDAD EN LA MADERA	20
1.1.1 Por pesadas (método de estufa)	20
1.1.2 Mediante xilohigrómetro	20
1.1.3 Otros métodos de medición de la humedad	22
1.2 HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO (HEH)	23
1.3 HISTÉRESIS	25
1.4 HUMEDAD DE USO	26
1.5 HINCHAZÓN Y MERMA	27
1.6 MOVIMIENTO DEL AGUA EN LA MADERA	31
<b>2. PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA GENERAL DEL SECADO DE LA MADERA</b>	<b>33</b>
2.1 EL SECADO NATURAL AL AIRE DE LA MADERA	37
2.1.1 Duración del secado al aire de la madera	41
2.1.2 Ventajas y desventajas del secado al aire de la madera	43
<b>3. CONSTANTE DE SECADO Y MODELO DE NEWTON</b>	<b>44</b>
<b>4. MODELO DE DESHIDRATACIÓN DE PELEG</b>	<b>46</b>



## ÍNDICE

---

<b>CAPÍTULO V. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>51</b>
<b>1. MATERIAL</b>	<b>53</b>
<b>2. MÉTODOS</b>	<b>53</b>
2.1 TRABAJOS DE CAMPO	54
2.2 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS EN TRABAJOS DE CAMPO	68
2.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE LAS VIGAS	82
2.4 DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LA SECCIÓN DE LAS VIGAS A LOS 12 MESES DE SECADO AL AIRE	86
2.5 DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA PROBETA UBICADA EN EL CENTRO GEOMÉTRICO DE LA PILA	86
2.6 CUANTIFICACIÓN DE LA CURVATURA ALCANZADA POR LAS VIGAS TRAS LOS 12 MESES DE SECADO	86
2.7 ANÁLISIS ECONÓMICO BÁSICO PARA EL COSTE DE LA OPERACIÓN DE SECADO	87
2.8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	90
<b>CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>91</b>
<b>1. RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>91</b>
<b>2. VALORES OBTENIDOS DE HUMEDAD DE LAS VIGAS</b>	<b>92</b>
<b>3. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO PARA LA HUMEDAD DE LAS VIGAS</b>	<b>92</b>
3.1 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR FILAS DE LA PILA DE MADERA ASERRADA	92
3.2 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR COLUMNAS DE LA PILA DE MADERA ASERRADA	96
3.3 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR PUNTO DE MEDICIÓN DE LA MISMA EN LA VIGA	99
3.4 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR ORIENTACIÓN DE LAS VIGAS	102
<b>4. MODELIZACIONES</b>	<b>127</b>
<b>5. CONSTANTE DE SECADO</b>	<b>128</b>
<b>6. MODELOS DE DESHIDRATACIÓN DE PELEG Y DE NEWTON</b>	<b>129</b>
<b>7. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO</b>	<b>133</b>
<b>8. RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES EXPERIMENTADA POR LAS VIGAS</b>	<b>134</b>
<b>9. RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA PROBETA UBICADA EN EL CENTRO GEOMÉTRICO DE LA PILA</b>	<b>135</b>
<b>10. RESULTADOS DE LA CURVATURA EXPERIMENTADA POR LAS VIGAS</b>	<b>135</b>
<b>11. APLICACIÓN SOBRE COSTE Y BENEFICIO DEL SECADO DE LA MADERA AL AIRE, Y CONSECUENCIAS DE UN SECADO INCORRECTO</b>	<b>135</b>



---

<b>CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES</b>	<b>145</b>
<b>CAPÍTULO VIII. DESARROLLOS FUTUROS</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO 1. ESTADILLO DE TOMA DE DATOS</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO 2. RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD</b>	<b>163</b>
<b>ANEXO 3. EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO 4. PRUEBAS DE NORMALIDAD</b>	<b>179</b>
1. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR FILAS DE LA VARIABLE HUMEDAD	182
2. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR COLUMNAS DE LA VARIABLE HUMEDAD	185
3. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR PUNTO DE MEDICIÓN EN LA VIGA DE LA VARIABLE HUMEDAD	188
4. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR ORIENTACIÓN DE LAS VIGAS	190
4.1 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR FILAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE	190
4.2 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR COLUMNAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE	190
4.3 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR FILAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE	191
4.4 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR COLUMNAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE	191
4.5 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR FILAS, DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS	192
4.6 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR COLUMNAS, DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS	192

---



## ÍNDICE

---

<b>ANEXO 5. TRANSFORMACIONES</b>	<b>193</b>
1. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR FILAS DE LA VARIABLE HUMEDAD TRANSFORMADA	193
2. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR COLUMNAS DE LA VARIABLE HUMEDAD TRANSFORMADA	201
3. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR PUNTO DE MEDICIÓN EN LA VIGA DE LA VARIABLE HUMEDAD TRANSFORMADA	209
4. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR ORIENTACIÓN DE LA VIGA	213
<b>ANEXO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO</b>	<b>217</b>
1. ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS	217
2. ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS	219
3. ANÁLISIS COMPARATIVO POR PUNTO DE MEDICIÓN EN LA VIGA DE LA VARIABLE HUMEDAD	221
4. ANÁLISIS COMPARATIVO POR ORIENTACIÓN	222
4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE	222
4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE	224
4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE	226
4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE	227
4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS	229
4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS	230
<b>ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS</b>	<b>233</b>
<b>ANEXO 8. MODELOS DE SECADO</b>	<b>253</b>
1. MODELOS DE SECADO PARA LA HUMEDAD DE LAS FILAS DE LA PILA	253
2. MODELOS DE SECADO PARA LA HUMEDAD DE LAS COLUMNAS DE LA PILA	254
3. MODELOS DE SECADO POR ORIENTACIÓN	254
4. MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL DE LAS 49 VIGAS	256
4.1 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL DE CADA VIGA	256
4.2 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL SEGÚN LA HUMEDAD MEDIA DE CADA VIGA	261
4.3 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL PARA LA HUMEDAD DE LAS TESTAS DE LAS VIGAS	263
4.4 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL PARA LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS	265



---

<b>ANEXO 9. AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON</b>	<b>267</b>
<hr/>	
<b>ANEXO 10. DATOS CLIMÁTICOS</b>	<b>321</b>
<hr/>	
1. TEMPERATURA MEDIA Y HUMEDAD RELATIVA MEDIA DIARIA	321
2. TEMPERATURA MEDIA Y HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL	334
<hr/>	
<b>ANEXO 11. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO</b>	<b>353</b>
<hr/>	
<b>ANEXO 12. EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL</b>	<b>357</b>
<hr/>	
<b>ANEXO 13. VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS</b>	<b>363</b>
<hr/>	
<b>ANEXO 14. ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS</b>	<b>367</b>
<hr/>	
<b>ANEXO 15. CÉDULAS DE SECADO PARA EL PINO RESINERO</b>	<b>377</b>
<hr/>	
1. MOCAMA	377
2. EISENMANN- KURT STEIMLE	378
3. CTBA	379
4. PRL	379
5. ROBERT HILDEBRAND	380
6. BOLLMANN	380
<hr/>	
<b>ANEXO 16. ANÁLISIS DAFO</b>	<b>381</b>
<hr/>	
1. DEBILIDADES	382
2. AMENAZAS	382
3. FORTALEZAS	382
4. OPORTUNIDADES	382

---



## ÍNDICE

---



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1- Decrecimiento del gradiente de humedad .....	45
Tabla 5.1- Cronograma de actuación para el proyecto de investigación.....	52
Tabla 5.2- Valores de corrección para las principales especies madereras usadas en España .....	64
Tabla 5.3- Calores latentes de vaporización del agua libre en función de la temperatura .....	89
Tabla 6.1- Resumen de los estadísticos por filas de la pila de madera aserrada.....	93
Tabla 6.2- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad.....	95
Tabla 6.3- Resumen de los estadísticos por columnas de la pila de madera aserrada.....	96
Tabla 6.4- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad.....	98
Tabla 6.5- Resumen de los estadísticos por punto de medición de humedad en la viga .....	99
Tabla 6.6- Prueba de Kruskal- Wallis por punto de medición, para la variable humedad.....	101
Tabla 6.7- Resumen de los estadísticos por filas de la humedad de las testas orientadas al este .....	102
Tabla 6.8- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este ..	103
Tabla 6.9- Resumen de los estadísticos por columnas de la humedad de las testas orientadas al este .....	104
Tabla 6.10- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este.....	105
Tabla 6.11- Resumen de los estadísticos por filas de la humedad de las testas orientadas al oeste.....	106
Tabla 6.12- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste .....	107
Tabla 6.13- Resumen de los estadísticos por columnas de la humedad de las testas orientadas al oeste...	108
Tabla 6.14- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste.....	109
Tabla 6.15- Resumen estadístico por filas, de la humedad del centro de las vigas.....	110
Tabla 6.16- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad del centro de las vigas .....	111
Tabla 6.17- Resumen estadístico por columnas, de la humedad del centro de las vigas.....	112
Tabla 6.18- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas .....	113
Tabla 6.19- Análisis de varianza para humedad.....	127
Tabla 6.20- Suma de cuadrados tipo III.....	128
Tabla 6.21- Resumen de los estadísticos de la variable constante de secado.....	128



## ÍNDICE

---

Tabla 6.22- Resumen de los estadísticos de la variable constante de capacidad k2 .....	129
Tabla 6.23- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para el conjunto de las 49 vigas de la pila. ....	130
Tabla 6.24- Información orientativa de poderes caloríficos, densidades y precios para los principales combustibles .....	137
Tabla 6.25- Tipos de interés fijados en España .....	138
Tabla 6.26- Balance de cuentas obtenido con el secado tradicional en cámara .....	139
Tabla 6.27- Balance de cuentas obtenido con el secado combinado .....	142
Tabla 6.28- Problemas por el uso de madera húmeda .....	143
Tabla A1.1- Estadillo de toma de datos con el xilohigrómetro .....	162
Tabla A2.1- Humedad de las 49 vigas objeto de estudio .....	165
Tabla A3.1- Evolución de la humedad media de las vigas .....	170
Tabla A3.2- Evolución de la humedad media de las vigas por filas.....	175
Tabla A4.1- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad.....	182
Tabla A4.2- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad .....	185
Tabla A4.3- Pruebas de normalidad por punto de medición, para la variable humedad .....	188
Tabla A4.4- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este ...	190
Tabla A4.5- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este .....	190
Tabla A4.6- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste .	191
Tabla A4.7- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste.....	191
Tabla A4.8- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad del centro de las vigas .....	192
Tabla A4.9- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas .....	192
Tabla A5.1- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad transformada .....	194
Tabla A5.2- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad transformada.....	202
Tabla A5.3- Pruebas de normalidad por punto de medición, para la variable humedad transformada.....	210
Tabla A5.4- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al este.....	214
Tabla A5.5- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al este.....	214
Tabla A5.6- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al oeste.....	215
Tabla A5.7- Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al oeste.....	215





## ÍNDICE

---

Tabla A5.8- Pruebas de normalidad por filas, para la variable humedad transformada del centro de las vigas .....	216
Tabla A5.9 Pruebas de normalidad por columnas, para la variable humedad transformada del centro de las vigas .....	216
Tabla A6.1- Verificación de la varianza por filas, para la variable humedad .....	217
Tabla A6.2- Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por filas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	218
Tabla A6.3- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por filas.....	219
Tabla A6.4- Verificación de la varianza por columnas, para la variable humedad .....	219
Tabla A6.5- Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por columnas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD .....	220
Tabla A6.6- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por columnas .....	220
Tabla A6.7- Verificación de la varianza por punto de medición, para la variable humedad .....	221
Tabla A6.8- Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por punto de medición. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	222
Tabla A6.9- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por punto de medición .....	222
Tabla A6.10- Verificación de la varianza por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este .....	223
Tabla A6.11- Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD .....	223
Tabla A6.12- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este.....	223
Tabla A6.13- Verificación de la varianza por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este.....	224
Tabla A6.14- Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD .....	225
Tabla A6.15- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este.....	225
Tabla A6.16- Verificación de la varianza por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste .....	226
Tabla A6.17- Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD .....	226
Tabla A6.18- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste .....	226



## ÍNDICE

---

Tabla A6.19- Verificación de la varianza por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste.....	227
Tabla A6.20- Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD .....	228
Tabla A6.21- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste.....	228
Tabla A6.22- Verificación de la varianza por filas, para la variable humedad del centro de las vigas.....	229
Tabla A6.23- Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad del centro de las vigas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD .....	229
Tabla A6.24- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad del centro de las vigas .....	229
Tabla A6.25- Verificación de la varianza por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas..	230
Tabla A6.26- Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	231
Tabla A6.27- Detalle del análisis entre grupos de la Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas.....	231
Tabla A7.1- Pruebas de normalidad de los residuos, individualizadas por vigas.....	233
Tabla A8.1- Modelos para la humedad por filas de las vigas .....	253
Tabla A8.2- Modelos para la humedad por columnas de las vigas.....	254
Tabla A8.3- Modelos por filas para la humedad de las testas orientadas al este de las vigas .....	254
Tabla A8.4- Modelos por columnas para la humedad de las testas orientadas al este de las vigas .....	255
Tabla A8.5- Modelos por filas para la humedad de las testas orientadas al oeste de las vigas .....	255
Tabla A8.6- Modelos por columnas para la humedad de las testas orientadas al oeste de las vigas .....	255
Tabla A8.7- Modelos por filas para la humedad del centro de las vigas.....	256
Tabla A8.8- Modelos por columnas para la humedad del centro de las vigas.....	256
Tabla A8.9- Modelos de secado individual para la humedad de las vigas .....	257
Tabla A8.10- Modelos de secado individual para la humedad media de las vigas .....	261
Tabla A8.11- Modelos para la humedad de las testas orientadas al este (izq.) y para las testas orientadas al oeste (dcha.) de las vigas .....	264
Tabla A8.12- Modelos para la humedad del centro de las vigas .....	265
Tabla A9.1- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C1 .....	269
Tabla A9.2- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C2 .....	270
Tabla A9.3- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C3 .....	271



## ÍNDICE

---

Tabla A9.4- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C4 .....	272
Tabla A9.5- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C5 .....	273
Tabla A9.6- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C6 .....	274
Tabla A9.7- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C7 .....	275
Tabla A9.8- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C1 .....	276
Tabla A9.9- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C2 .....	277
Tabla A9.10- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C3 .....	278
Tabla A9.11- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C4 .....	279
Tabla A9.12- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C5 .....	280
Tabla A9.13- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C6 .....	281
Tabla A9.14- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C7 .....	282
Tabla A9.15- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C1 .....	283
Tabla A9.16- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C2 .....	284
Tabla A9.17- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C3 .....	285
Tabla A9.18- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C4 .....	286
Tabla A9.19- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C5 .....	287
Tabla A9.20- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C6 .....	288
Tabla A9.21- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C7 .....	289
Tabla A9.22- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C1 .....	290

---



## ÍNDICE

---

Tabla A9.23- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C2 .....	291
Tabla A9.24- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C3 .....	292
Tabla A9.25- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C4 .....	293
Tabla A9.26- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C5 .....	294
Tabla A9.27- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C6 .....	295
Tabla A9.28- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C7 .....	296
Tabla A9.29- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C1 .....	297
Tabla A9.30- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C2 .....	298
Tabla A9.31- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C3 .....	299
Tabla A9.32- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C4 .....	300
Tabla A9.33- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C5 .....	301
Tabla A9.34- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C6 .....	302
Tabla A9.35- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C7 .....	303
Tabla A9.36- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C1 .....	304
Tabla A9.37- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C2 .....	305
Tabla A9.38- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C3 .....	306
Tabla A9.39- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C4 .....	307
Tabla A9.40- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C5 .....	308
Tabla A9.41- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C6 .....	309



---

Tabla A9.42- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C7 .....	310
Tabla A9.43- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C1 .....	311
Tabla A9.44- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C2 .....	312
Tabla A9.45- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C3 .....	313
Tabla A9.46- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C4 .....	314
Tabla A9.47- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C5 .....	315
Tabla A9.48- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C6 .....	316
Tabla A9.49- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C7 .....	317
Tabla A9.50- Análisis de varianza para la regresión lineal humedad real-humedad teórica de Peleg .....	318
Tabla A9.51- Análisis de varianza para la regresión lineal humedad real-humedad teórica de Newton .....	319
Tabla A10.1- Temperatura media y humedad relativa media diaria de Ávila capital .....	321
Tabla A10.2- Temperatura media y humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 .....	334
Tabla A11.1- Humedades de Equilibrio Higroscópico mensuales de la madera de Ávila .....	353
Tabla A13.1- Evolución temporal de las secciones de las vigas .....	363
Tabla A14.1- Distancia de las vigas al suelo del parque de maderas tras 12 meses de secado .....	368
Tabla A15.1- Cédula de secado del MOCAMA para la especie <i>Pinus pinaster</i> Ait. ....	378
Tabla A15.2- Cédula de secado de Eisenmann-Kurt Steimle para la especie <i>Pinus pinaster</i> Ait. ....	378
Tabla A15.3- Cédula de secado del CTBA para la especie <i>Pinus pinaster</i> Ait. ....	379
Tabla A15.4- Cédula de secado del PRL para la especie <i>Pinus pinaster</i> Ait. ....	380



# ÍNDICE

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Distribución del <i>Pinus pinaster</i> Ait. en Europa (izq.) y en España (dcha). .....	1
Figura 1.2- Mapa de vegetación del <i>Pinus pinaster</i> Ait. en Castilla y León.....	2
Figura 1.3- Aspecto microscópico tridimensional de la madera de coníferas. ....	6
Figura 1.4- Distintas formas de presentación del agua en la madera. ....	8
Figura 4.1- Ábaco de Kollman. ....	24
Figura 4.2- Histéresis de la madera.....	25
Figura 4.3- Contracción según la forma de la sección y su procedencia en el tronco.....	28
Figura 4.4- Defectos clásicos de la madera cuyo origen es la hinchazón y la merma. ....	29
Figura 4.5- Contracción de la madera en función de la dirección y del contenido en humedad. ....	30
Figura 4.6- Principio de capilaridad del agua. ....	31
Figura 4.7- Esquema del movimiento del agua líquida y del vapor de agua dentro de la madera. ....	33
Figura 4.8- Apilado y enrastrelado de madera para secado al aire libre.....	38
Figura 4.9- Apilado y enrastrelado correctos de la madera aserrada.....	40
Figura 4.10- Apilado vertical (arriba izq.) apilado en tijera (arriba centro), apilado de canto (arriba dcha.), apilado en espiga (abajo izq.) y apilado en ondas (abajo dcha.). ....	41
Figura 4.11- Distribución del contenido de humedad a diferentes tiempos durante el secado al aire de una pieza de madera de frondosas.....	42
Figura 4.12- Reducción paulatina del gradiente .....	44
Figura 4.13- Curva de humectación característica de Peleg.....	47
Figura 5.1- Aserradero de Ávila donde se ha realizado el estudio.....	55
Figura 5.2- Marcado de las zonas de las vigas donde se realizaban las mediciones. ....	58
Figura 5.3- Codificación de las probetas. ....	59
Figura 5.4- Probetas del estudio. ....	59
Figura 5.5- Medición del grueso de la viga con un calibre.....	66
Figura 5.6- Xilohigrómetro empleado en el estudio. ....	60
Figura 5.7- Botones correctores de la medición. ....	61
Figura 5.8- Diferentes caras de la probeta.....	62



## ÍNDICE

---

Figura 5.9- Disposición correcta de los electrodos en la probeta según las indicaciones del fabricante.....	63
Figura 5.10- Sondas del xilohigrómetro clavadas en la madera para realizar la medición.....	64
Figura 5.11- Apilado y desapilado de las 49 vigas.....	67
Figura 5.12- Esquema de la pila de 7x7 vigas.....	68
Figura 5.13- Esquema general de un Diagrama de cajas y bigotes.....	73
Figura 5.14- Esquema de la variación del contenido en humedad de las vigas.....	74
Figura 5.15- Curva típica del secado, cambio de m con respecto a t. ....	78
Figura 5.16- Cambio de masa como fracción través de tiempo, cuando $m_0=1$ . ....	79
Figura 5.17- Curva típica de la ecuación $abt/(1+bt)$ .....	79
Figura 5.18- Incremento rápido al comienzo del fenómeno de secado, hasta que se convierte en constante. .....	80
Figura 5.19- Ábaco de Keylwerth. ....	83
Figura 6.1- Gráfico de medias por filas de la pila de madera aserrada, con intervalos de confianza al 95%. ....	93
Figura 6.2- Diagrama de cajas y bigotes por filas de la pila de madera aserrada.....	94
Figura 6.3- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad. ....	96
Figura 6.4- Gráfico de medias por columnas de la pila de madera aserrada, con intervalos de confianza al 95%. ....	97
Figura 6.5- Diagrama de cajas y bigotes por columnas de la pila de madera aserrada. ....	97
Figura 6.6- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad.....	99
Figura 6.7- Gráfico de medias por puntos de medición de la humedad, con intervalos de confianza al 95%. .....	100
Figura 6.8- Diagrama de cajas y bigotes por punto de medición de la humedad en la viga. ....	100
Figura 6.9- Gráfico del modelo ajustado por punto de medición, para la variable humedad. ....	101
Figura 6.10- Diagrama de cajas y bigotes por filas de las testas orientadas al este .....	102
Figura 6.11- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. .....	103
Figura 6.12- Diagrama de cajas y bigotes por columnas de las testas orientadas al este.....	104
Figura 6.13- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. ....	105
Figura 6.14- Diagrama de cajas y bigotes por filas de las testas orientadas al oeste. ....	106
Figura 6.15- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. ....	107
Figura 6.16- Diagrama de cajas y bigotes por columnas de las testas orientadas al oeste. ....	108





---

Figura 6.17- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. ....	109
Figura 6.18- Diagrama de cajas y bigotes por filas, de la humedad del centro de las vigas. ....	110
Figura 6.19- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad del centro de las vigas. ....	111
Figura 6.20- Diagrama de cajas y bigotes por columnas, de la humedad del centro de las vigas. ....	112
Figura 6.21- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas. ....	113
Figura 6.22- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al este de las 49 vigas. ....	115
Figura 6.23- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al este por filas. ....	118
Figura 6.24- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al oeste. ....	119
Figura 6.25- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al oeste por filas. ....	122
Figura 6.26- Evolución del contenido de humedad del centro de las vigas. ....	123
Figura 6.27- Evolución del contenido de humedad del centro de las vigas por filas. ....	126
Figura 6.28- Diagrama de cajas y bigotes de la variable constante de secado. ....	129
Figura 6.29- Diagrama de cajas y bigotes de la variable constante de capacidad k2. ....	130
Figura 6.30- Gráfico de evolución de la Pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg y de Newton para el conjunto de las 49 vigas de la pila. ....	132
Figura 6.31- Gráfico de valores observados-predichos para los modelos teóricos de Peleg y Newton. ....	132
Figura A3.1- Evolución de la humedad media de las vigas. ....	173
Figura A3.2- Evolución de la humedad media de las vigas por filas ....	177
Figura A4.1- Distribución Normal o de Gauss. ....	179
Figura A4.2- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable humedad. ....	183
Figura A4.3- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable humedad. ....	183
Figura A4.4- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable humedad. ....	183
Figura A4.5- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable humedad. ....	184
Figura A4.6- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable humedad. ....	184
Figura A4.7- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable humedad. ....	184
Figura A4.8- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable humedad. ....	185



## ÍNDICE

---

Figura A4.9- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable humedad.....	186
Figura A4.10- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable humedad.....	186
Figura A4.11- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable humedad.....	186
Figura A4.12- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable humedad.....	187
Figura A4.13- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable humedad.....	187
Figura A4.14- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable humedad.....	187
Figura A4.15- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable humedad.....	188
Figura A4.16- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable humedad. ....	189
Figura A4.17- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable humedad. ....	189
Figura A4.18- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable humedad.....	189
Figura A5.1- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable log(humedad). ....	194
Figura A5.2- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable log(humedad). ....	195
Figura A5.3- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable log(humedad). ....	195
Figura A5.4- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable log(humedad). ....	195
Figura A5.5- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable log(humedad). ....	196
Figura A5.6- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable log(humedad). ....	196
Figura A5.7- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable log(humedad). ....	196
Figura A5.8- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable 1/(humedad). ....	197



---

Figura A5.9- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable 1/(humedad). .....	197
Figura A5.10- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable 1/(humedad). .....	197
Figura A5.11- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable 1/(humedad). .....	198
Figura A5.12- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable 1/(humedad). .....	198
Figura A5.13- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable 1/(humedad). .....	198
Figura A5.14- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable 1/(humedad). .....	199
Figura A5.15- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable raíz(humedad). .....	199
Figura A5.16- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable raíz(humedad). .....	199
Figura A5.17- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable raíz(humedad). .....	200
Figura A5.18- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable raíz(humedad). .....	200
Figura A5.19- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable raíz(humedad). .....	200
Figura A5.20: Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable raíz(humedad). .....	201
Figura A5.21: Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable raíz(humedad). .....	201
Figura A5.22- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable log(humedad). .....	202
Figura A5.23- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable log(humedad). .....	203
Figura A5.24- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable log(humedad). .....	203
Figura A5.25- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable log(humedad). .....	203
Figura A5.26- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable log(humedad). .....	204

---



## ÍNDICE

---

Figura A5.27- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable log(humedad). .....	204
Figura A5.28- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable log(humedad). .....	204
Figura A5.29- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable 1/(humedad). .....	205
Figura A5.30- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable 1/(humedad). .....	205
Figura A5.31- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable 1/(humedad). .....	205
Figura A5.32- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable 1/(humedad). .....	206
Figura A5.33- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable 1/(humedad). .....	206
Figura A5.34- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable 1/(humedad). .....	206
Figura A5.35- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable 1/(humedad). .....	207
Figura A5.36- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable raíz(humedad). .....	207
Figura A5.37- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable raíz(humedad). .....	207
Figura A5.38- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable raíz(humedad). .....	208
Figura A5.39- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable raíz(humedad). .....	208
Figura A5.40- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable raíz(humedad). .....	208
Figura A5.41- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable raíz(humedad). .....	209
Figura A5.42- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable raíz(humedad). .....	209
Figura A5.43- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable log(humedad). .....	210
Figura A5.44- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable log(humedad). .....	211



---

Figura A5.45- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable log(humedad). .....	211
Figura A5.46- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable 1/(humedad). .....	211
Figura A5.47- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable 1/(humedad). .....	212
Figura A5.48- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable 1/(humedad). .....	212
Figura A5.49- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable raíz(humedad). .....	212
Figura A5.50- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable raíz(humedad). .....	213
Figura A5.51- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable raíz(humedad). .....	213
Figura A7.1- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C1. ....	235
Figura A7.2- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C2. ....	235
Figura A7.3- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C3. ....	235
Figura A7.4- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C4. ....	236
Figura A7.5- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C5. ....	236
Figura A7.6- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C6. ....	236
Figura A7.7- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C7. ....	237
Figura A7.8- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C1. ....	237
Figura A7.9- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C2. ....	237
Figura A7.10- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C3. ....	238
Figura A7.11- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C4. ....	238
Figura A7.12- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C5. ....	238
Figura A7.13- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C6. ....	239
Figura A7.14- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C7. ....	239
Figura A7.15- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C1. ....	239
Figura A7.16- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C2. ....	240
Figura A7.17- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C3. ....	240
Figura A7.18- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C4. ....	240
Figura A7.19- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C5. ....	241
Figura A7.20- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C6. ....	241



## ÍNDICE

---

Figura A7.21- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C7. ....	241
Figura A7.22- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C1. ....	242
Figura A7.23- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C2. ....	242
Figura A7.24- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C3. ....	242
Figura A7.25- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C4. ....	243
Figura A7.26- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C5. ....	243
Figura A7.27- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C6. ....	243
Figura A7.28- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C7. ....	244
Figura A7.29- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C1. ....	244
Figura A7.30- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C2. ....	244
Figura A7.31- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C3. ....	245
Figura A7.32- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C4. ....	245
Figura A7.33- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C5. ....	245
Figura A7.34- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C6. ....	246
Figura A7.35- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C7. ....	246
Figura A7.36- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C1. ....	246
Figura A7.37- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C2. ....	247
Figura A7.38- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C3. ....	247
Figura A7.39- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C4. ....	247
Figura A7.40- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C5. ....	248
Figura A7.41- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C6. ....	248
Figura A7.42- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C7. ....	248
Figura A7.43- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C1. ....	249
Figura A7.44- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C2. ....	249
Figura A7.45- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C3. ....	249
Figura A7.46- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C4. ....	250
Figura A7.47- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C5. ....	250
Figura A7.48- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C6. ....	250
Figura A7.49- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y Gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C7. ....	251
Figura A8.1- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 1. .....	258
Figura A8.2- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 2. .....	258



---

Figura A8.3- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 3. ....	259
Figura A8.4- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 4. ....	259
Figura A8.5- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 5. ....	260
Figura A8.6- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 6. ....	260
Figura A8.7- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 7. ....	261
Figura A9.1- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C1. ....	269
Figura A9.2- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C2. ....	270
Figura A9.3- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C3. ....	271
Figura A9.4- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C4. ....	272
Figura A9.5- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C5. ....	273
Figura A9.6- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C6. ....	274
Figura A9.7- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C7. ....	275
Figura A9.8- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C1. ....	276
Figura A9.9- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C2. ....	277
Figura A9.10- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C3. ....	278
Figura A9.11- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C4. ....	279
Figura A9.12- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C5. ....	280
Figura A9.13- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C6. ....	281
Figura A9.14- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C7. ....	282



## ÍNDICE

---

Figura A9.15- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C1. ....	283
Figura A9.16- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C2. ....	284
Figura A9.17- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C3. ....	285
Figura A9.18- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C4. ....	286
Figura A9.19- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C5. ....	287
Figura A9.20- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C6. ....	288
Figura A9.21- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C7. ....	289
Figura A9.22- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C1. ....	290
Figura A9.23- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C2. ....	291
Figura A9.24- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C3. ....	292
Figura A9.25- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C4. ....	293
Figura A9.26- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C5. ....	294
Figura A9.27- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C6. ....	295
Figura A9.28- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C7. ....	296
Figura A9.29- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C1. ....	297
Figura A9.30- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C2. ....	298
Figura A9.31- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C3. ....	299
Figura A9.32- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C4. ....	300





---

Figura A9.33- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C5. ....	301
Figura A9.34- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C6. ....	302
Figura A9.35- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C7. ....	303
Figura A9.36- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C1. ....	304
Figura A9.37- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C2. ....	305
Figura A9.38- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C3. ....	306
Figura A9.39- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C4. ....	307
Figura A9.40- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C5. ....	308
Figura A9.41- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C6. ....	309
Figura A9.42- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C7. ....	310
Figura A9.43- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C1. ....	311
Figura A9.44- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C2. ....	312
Figura A9.45- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C3. ....	313
Figura A9.46- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C4. ....	314
Figura A9.47- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C5. ....	315
Figura A9.48- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C6. ....	316
Figura A9.49- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C7. ....	317
Figura A9.50- Gráfico del modelo ajustado humedad real-humedad teórica de Peleg. ....	318
Figura A9.51- Gráfico del modelo ajustado humedad real-humedad teórica de Newton. ....	319

---



## ÍNDICE

---

Figura A11.1- Evolución de las Humedades de Equilibrio Higroscópico mensuales de la madera de Ávila..	354
Figura A12.1- Evolución de la humedad de la viga central de la pila.....	359
Figura A13.1- Evolución del grosor de las vigas .....	364
Figura A13.2- Evolución de la anchura de las vigas. ....	365
Figura A14.1- Evolución de la curvatura de las testas orientadas al este.....	369
Figura A14.2- Evolución de la curvatura de las testas orientadas al oeste.....	371
Figura A14.3- Evolución de la curvatura del centro de las vigas.....	373



## RESUMEN

La presente Memoria de Tesis Doctoral versa sobre el análisis del secado al aire u oreado natural de la madera aserrada de *Pinus pinaster* Ait. que se procesa en el centro de la Península Ibérica, fundamental para determinar si ésta es apta o no para otros usos distintos a los actuales (construcción, desintegración y en general los usos menos nobles); siendo este contenido el factor limitante para considerar su uso en determinadas industrias de segunda transformación, ya que la madera puede presentar buenas cualidades mecánicas pero no cumplir con los requerimientos de humedad mínima exigibles por una industria, por lo que ésta vetaría su uso en la misma.

Para lograr alcanzar los objetivos impuestos en el presente estudio, se han tomado datos de humedades de 49 vigas desde su fabricación y durante los 12 primeros meses de secado al aire haciendo uso del Método de resistencia eléctrica mediante el empleo de un xilohigrómetro de resistencia y de acuerdo a la correspondiente normativa UNE que establece el protocolo de medición. En esta investigación se han diferenciado tres humedades en función del lugar de la viga donde se realizara la medición de este parámetro, obteniéndose de esta manera datos de humedades correspondientes a las testas orientadas al Este, a las testas orientadas al Oeste y al centro de las vigas.

El resultado ha sido la obtención de un considerable volumen de datos con los que ha sido posible realizar un exhaustivo estudio para comprobar si existen diferencias en la Pérdida de agua entre las filas que componen la pila de madera aserrada, entre las columnas, entre los tres puntos de medición, y dentro de cada uno de estos tres puntos de medición, también entre filas y entre columnas.

Además, se ha procedido a la construcción de modelos logarítmicos teóricos de secado basados en los datos experimentales obtenidos durante los trabajos de campo. Asimismo, se estableció como uno de los objetivos principales de la investigación, conocer si el secado natural se ajustaba al modelo empírico de deshidratación propuesto por Peleg, consiguiéndose un resultado positivo.

Finalmente se expone un conjunto de desarrollos futuros que podrían iniciarse teniendo como fundamento la presente investigación. Estas líneas de actuación están pensadas bajo un propósito común: el apoyo a la subsistencia de la pequeña industria del aserrado de la provincia de Ávila.

**Palabras clave:** Secado, Madera, Aserradero, Peleg, Xilohigrómetro, *Pinus pinaster* Ait.



## ÍNDICE

---

# ABSTRACT

This work is about the accurate knowledge of air drying of *Pinus pinaster* Ait. sawnwood; in particular, pieces processed at the center of the Iberian Peninsula. This knowledge is essential to determine if this sawnwood is suitable or not for other uses than the current (construction, decay and generally less noble uses). The water content is the limiting factor to consider their use in certain secondary processing industries, as wood can exhibit good mechanical properties but does not meet the minimum humidity requirements demanded by industry, which means it can not be used by them.

In order to reach the objectives set in the present study, humidity data have been taken of 49 beams during 12 months of air drying since their manufacture, using the method of electrical resistance through the use of a resistance xilohigrometer according to the relevant UNE regulations which establishes the measurement protocol. This research has identified three humidities depending on the location of the beam where the measurement took place. Thus data were obtained from heads facing East, heads facing West and the center of the beams.

The result was a considerable amount of data, obtaining at the end an exhaustive study to prove if there are differences in water loss among the ranks in the stack of lumber, among the columns, and finally among the three measurements points set. Differences among ranks and columns were studied also within each of these three measurement points.

Furthermore, theoretical logarithmic models based on drying experimental data obtained during field work, were determined. One of the main goals established in this research was to determine if the natural drying of sawnwood meets dehydration empirical model proposed by Peleg, obtaining a positive result at the end.

Finally a set of future developments that could start taking this research as the foundation, are exposed. These action lines are designed under a common purpose: to support the subsistence of the small sawmilling industry in the province of Ávila.

**Keywords:** Drying, Wood, Sawmill, Peleg, Xilohigrometer, *Pinus pinaster* Ait.



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN





## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El hombre ha venido empleando desde antiguo la madera como elemento constructivo en viviendas o elaboración de mobiliario. Pero para poder trabajar la madera de forma adecuada y obtener un óptimo resultado, se hace trascendental conocer y manejar las características y propiedades de la madera relacionadas con su estructura anatómica, así como la forma de corte y el proceso de secado (CITEmadera, 2009).

El *Pinus pinaster* Ait. (pino resinero, pino negral, pino rubial, pino rodeno, pino de las Landas, pino gallego, pino marítimo, pinastre o pina) es una conífera cuya distribución alcanza con amplitud la cuenca del Mediterráneo occidental (Europa del Sur y África) y la costa Atlántica en Portugal, España y Francia. Su localización en las islas únicamente se ciñe a Córcega y, de forma muy limitada, al norte de Cerdeña. Existe una población marginal cerca de la costa tunecina, en la isla de Pantelleria.

Dos son los factores que han afectado a la distribución natural actual del pino resinero, provocando un alto grado de fragmentación: la discontinuidad y la altitud de las sierras (que causan el aislamiento de poblaciones incluso cercanas entre sí) y el impacto humano.

Hoy en día, y debido a la repoblación forestal, la especie se encuentra ampliamente distribuida en numerosos países (tanto dentro como fuera de su área natural). La diferenciación entre rodales autóctonos y no autóctonos es, en muchos casos, discutida (Aliá & Martín, 2009).

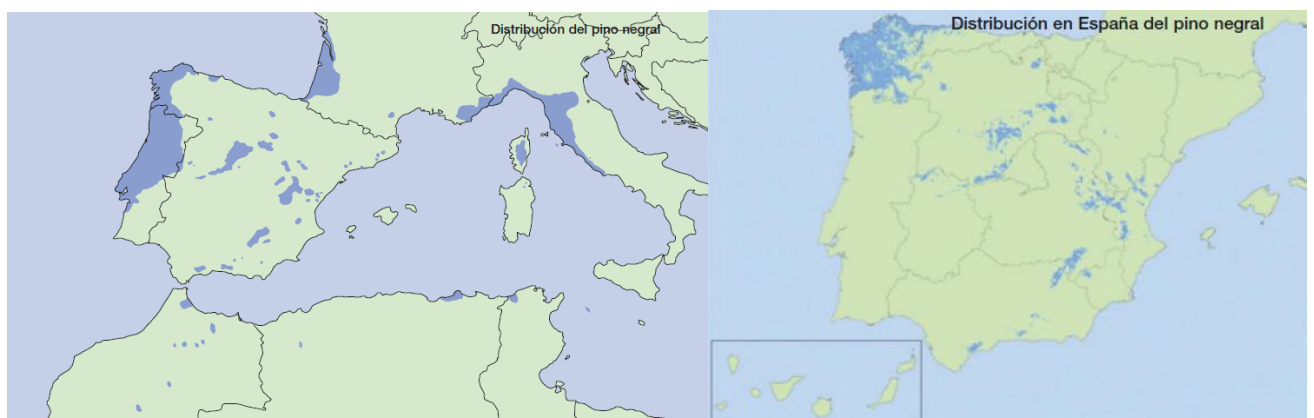


Figura 1.1- Distribución del *Pinus pinaster* Ait. en Europa (izq.) y en España (dcha). Fuente: Guía técnica para la conservación genética y utilización del Pino negral. Foresta

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En España destacan las poblaciones de Galicia procedentes de repoblación, y las masas de gran productividad que se extienden en Soria, Burgos, Valladolid, Segovia, Ávila y Madrid, donde vive sobre terrenos silíceos (Ruiz de la Torre, 2006), habitando sobre un fitoclima nemoromediterráneo genuino VI(IV), aunque matizado por el gradiente altitudinal y longitudinal, lo que hace que coexistan otros fitoclimas en transición con el anterior como es el mediterráneo genuino IV, en las partes bajas, y oroborealoides subnemoral VIII(VI), en altura (Acuña Rello, 2005).

Presente en todas las provincias de Castilla y León, constituye la tercera especie arbórea en extensión superficial de esta Comunidad, siendo esencialmente relevante en las provincias de Segovia (95.000 ha), Ávila (55.000 ha) y Soria (43.000 ha). Además, son las que mayor porcentaje aportan en cuanto a masas monoespecíficas (a ese respecto, Castilla y León cuenta, según el IFN 3, con un total de 412.713 ha, lo que supone el 4'4% de la superficie total de esta región) o aquellas otras en las que éste sea la especie principal (Oria de Rueda & Díez, 2003).

En cuanto a porte y productividad, la Sierra de Gredos goza de una de las mejores representaciones de la especie. La conexión con la representación portuguesa de la especie se hace a través de las masas del Tiétar, junto con los de la Sierra de Gata. La procedencia Sierra de Gredos posee similitudes con las atlánticas (Gandullo & Nicolás, 1967). Las masas de esta región poseen una completa descripción fenotípica (Sierra de Grado et al., 1990; Sierra de Grado, 1993; Sierra de Grado & Aliá Miranda, 1993), concluyendo en que esta procedencia goza de una buena calidad de fuste y crecimiento.

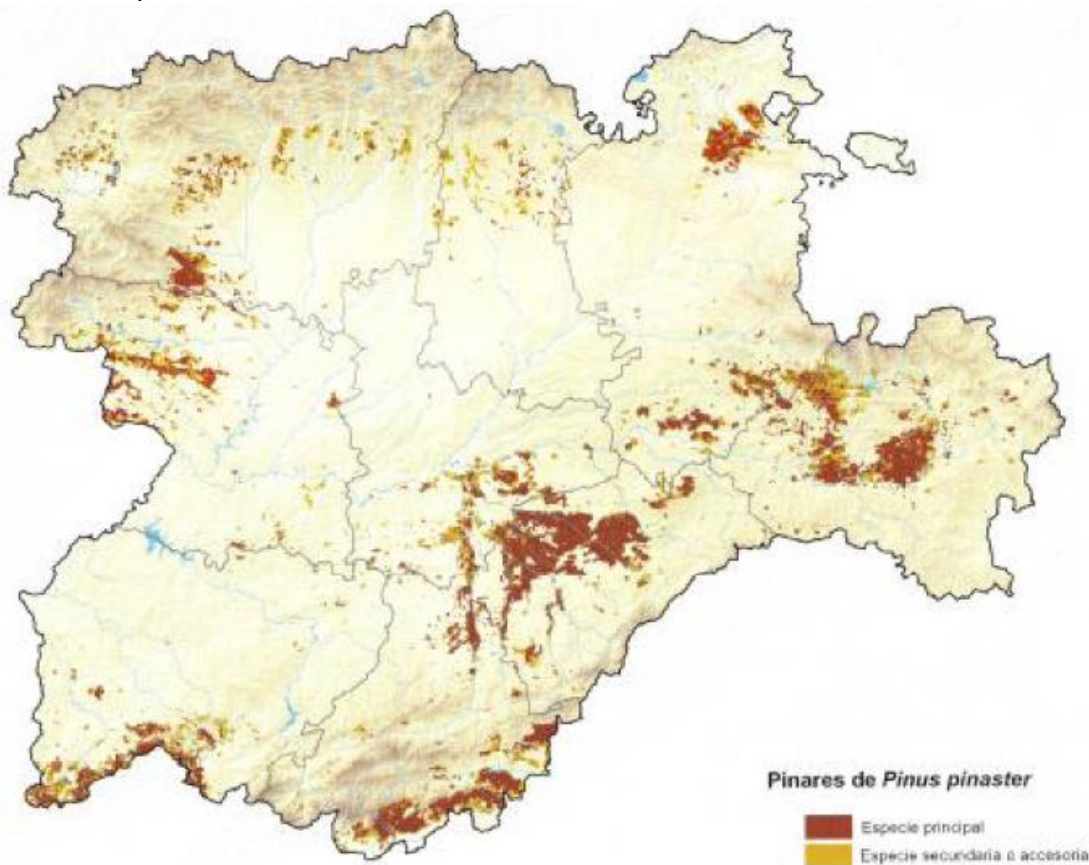


Figura 1.2- Mapa de Vegetación del *Pinus pinaster* Ait. en Castilla y León. Fuente: Síntesis del Mapa de Vegetación de Cyl





## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

---

Queda reflejado por tanto que esta especie puebla mayoritariamente el centro peninsular, hecho este por el que la presente investigación se enmarca en dicha región, y concretamente en la provincia de Ávila, donde el *Pinus pinaster* Ait. ocupa las vertientes meridionales, por la cuenca más termófila del Valle del río Tiétar (Arenas de San Pedro, Guisando, Pedro Bernardo, etc) y del Valle de Iruelas (El Tiemblo, Piedralaves, Sotillo de La Adrada, etc), buscando las solanas en donde trepa hasta los 1.600 m en que alcanza al *Pinus sylvestris* y se pone en contacto con las exiguas manifestaciones de *Pinus nigra* del sector. Baja luego por el norte hacia la comarca pinariega de llanura de Valladolid, Ávila y Segovia, estando representado con profusión en La Moraña abulense (Comarca de Arévalo) y en la Tierra de Pinares vallisoletana y segoviana.

### 1. LA MADERA DEL PINO RESINERO Y SU EMPLEO

La FAO entiende por industria de primera transformación, a aquella que partiendo del rollo obtiene un producto de valor comercial pero que para su uso necesita una nueva transformación, por no ser él directamente consumible.

Por otro lado, se conoce como industria de segunda transformación de la madera, a aquélla que partiendo de materia semielaborada desarrolla productos listos para su uso. Entre las industrias de segunda transformación se incluyen la industria del mueble, la de carpintería, la de embalajes y palés, la de traviesas, postes y apeas y la de madera laminada.

El aprovechamiento de una especie maderera como materia prima de cualquier proceso industrial, depende entre otros factores de las propiedades físicas de la madera (Ananias, 2010). Pues bien, desde la antigüedad, esta conífera ha gozado por sus propiedades, de aprovechamiento tanto maderero, como de su leña y su característica miera y resina.

Se trata de una madera con menor resistencia y elasticidad que la de *Pinus nigra* A. por lo que es menos apreciada, y se destina básicamente a vigas, tablones, traviesas, cajas de embalajes, etc (López González, 1988). Tanto en la sierra como en la desintegración, las características diferenciales de esta madera debidas a su mayor proporción de resina, y por tanto, mayor densidad, originan problemas operativos tanto por embotamiento de los elementos de corte, como en los procesos de clasificación y en el acabado de los tableros (Pinillos Herrero et al., 2009).

Esta madera por tanto, se caracteriza por presentar cuantiosos canales resiníferos (que son visibles a simple vista) lo que explica su alto grado de impregnación en resina, provocando el característico color rojizo del duramen. También puede que presente numerosos nudos, que en ocasiones pueden llegar a ser de dimensiones considerables, lo que constituye un hándicap para su secado (Herráez et. al; 2011).

La madera del pino resinero es una madera semidura de albura blanca amarillenta (Cigalat Figueroa & Soler Burillo, 2003; Peraza Sánchez, 2004) y de duramen de tonalidad que puede considerarse pardo-ocre-rojizo (Cigalat Figueroa & Soler Burillo, 2003) o variante del amarillo anaranjado al rojo asalmonado (Peraza Sánchez, 2004). Su madera de albura se diferencia



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

---

fácilmente de la de duramen, estando en ambas zonas los anillos de crecimiento muy visibles, pues presentan un fuerte contraste entre la madera de primavera y la de verano.

Los valores de densidad que se le atribuyen a la madera de *Pinus pinaster*, Ait. oscilan entre los 430 kg/m<sup>3</sup> (Prades et al., 1996; Remacha Gete, 1986), 500 kg/m<sup>3</sup> (Riesco Muñoz & Díaz González, 2007) y 540 kg/m<sup>3</sup> (Cigalat Figueroa & Soler Burillo, 2003); pasando por 530 kg/m<sup>3</sup>, el valor más ampliamente aceptado (Vignote Peña & Martínez Rojas, 2006; Peraza Sánchez, 2004; Fernández- Golfín Seco & Conde García, 2007; Fernández- Golfín Seco & Álvarez Noves, 1998). En cualquier caso, se trata de una madera que queda englobada dentro de las especies semiligeras, aunque bien es verdad que existen otras escalas que la incluyen en la categoría de semipesadas (Fernández- Golfín Seco & Álvarez Noves, 1998).

En cuanto a la fibra de la madera del pino negral comentar que se caracteriza por su rectitud, y que su grano varía de medio a basto o grueso.

Frente a la acción de hongos de pudrición, esta madera está catalogada como medianamente o poco durable; siendo su albura muy sensible al ataque de hongos de azulado (cromógenos) y atractiva y apetecible tanto para anóbidos y cerambícidos, como para termitas (Herráez et. al; 2011).

Sin embargo, a pesar de estas características que se acaban de mencionar, el aprovechamiento maderero de esta conífera ha sido una práctica tradicional en muchas regiones españolas. Un ejemplo de la importancia histórica de su aprovechamiento maderero lo constituye la comarca segoviana de Cantalejo donde se fabricaban trillos muy afamados que se distribuían por toda Castilla. Armazones de los retablos, bancos de las iglesias, puertas de casas, tarimas y un sinfín de muebles y construcciones han sido fabricados desde siempre con madera de esta conífera.

Sin embargo, donde realmente ha destacado la madera de *Pinus pinaster* Ait. ha sido en la construcción, lo que, sumado a la dependencia de la población rural por los pinares y la preocupación por la conservación de los recursos forestales ya en el siglo XVI, se antoja como la característica más firme de muchas comarcas de montaña españolas (Alejano & Martínez, 1999). En estas comarcas forestales, la presencia de los pinares y su aprovechamiento generó en el pasado numerosos oficios: pineros, aserradores, hacheros, peladores, leñadores, pegueros, carreteros, etc (Idáñez, 1995).



## **2. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA EN EL PROCESO DE SECADO**

Entre la cantidad de agua que posee el árbol antes de ser apeado, y la que finalmente deberá contener la madera para su óptima puesta en servicio, existen diferencias significativas. Es por ello, que la eliminación del agua “sobrante” es un requisito indispensable antes de proceder a la fabricación con la misma de los productos finales (mobiliario, estructuras, suelos, elementos de carpintería, etc). Este hecho se justifica en base a:

- Que los cambios dimensionales de la madera en servicio sean los mínimos posibles.
- Evitar la aparición de deformaciones (abarquillado, alabeo, curvados) en la madera durante su proceso de secado.
- Facilitar la mecanización de las piezas de madera.
- Reducir el peso en el transporte de la madera.

El proceso de secado de la madera consistirá en extraer el agua que ésta presenta en exceso, para reducir la humedad de la misma hasta que alcance un valor compatible con el uso que para ella se ha previsto.

Este fenómeno puede llevarse a cabo mediante el desarrollo de las siguientes acciones:

- Aplicar el calor necesario para inducir la evaporación del agua.
- Provocar un desplazamiento de la humedad desde el interior de la pieza hasta la superficie.
- Arrastrar el vapor de agua resultante de la evaporación, de la superficie de la pieza de madera.

De estas tres acciones, la segunda es la más compleja puesto que es la que en mayor medida condiciona el proceso de secado, estando completamente influenciada por la estructura anatómica de la madera.

Al presentar las diferentes especies de madera sustanciales diferencias anatómicas, el flujo de agua por su interior también se produce de manera notablemente distinta.

Se hace necesario distinguir, dentro del flujo de agua que se pone en movimiento en el interior de la madera como consecuencia de su secado, entre el flujo de agua libre, el de la difusión del vapor de agua y el del agua ligada; ya que en el caso de que para secar la madera se haga uso de temperaturas por encima de la de ebullición del agua, se ha de considerar el flujo de masa de agua líquida y vapor de agua impulsado por una sobrepresión interior que se genera por la ebullición interna del agua libre (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007).

Con respecto al primer flujo al que se ha hecho referencia, las punteaduras de paso (comunicaciones microscópicas ente células adyacentes) y, más concretamente el tamaño y el número de los poros de sus membranas (que a modo de tela que poseen las punteaduras) que cierran el orificio son las que definen la mayor o menor facilidad de flujo.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Puesto que las punteaduras de paso mayoritariamente están ubicadas en las caras radiales de los elementos longitudinales (fibras, traqueidas, etc.), la circulación interna será más acusada en la dirección radial que en la tangencial. También se ha de considerar que la circulación radial se favorece por la presencia de radios leñosos y especialmente en las coníferas, por la presencia de canales resiníferos radiales en ellos, lo que puede conllevar que la permeabilidad radial resulte, a veces, mayor que la tangencial.

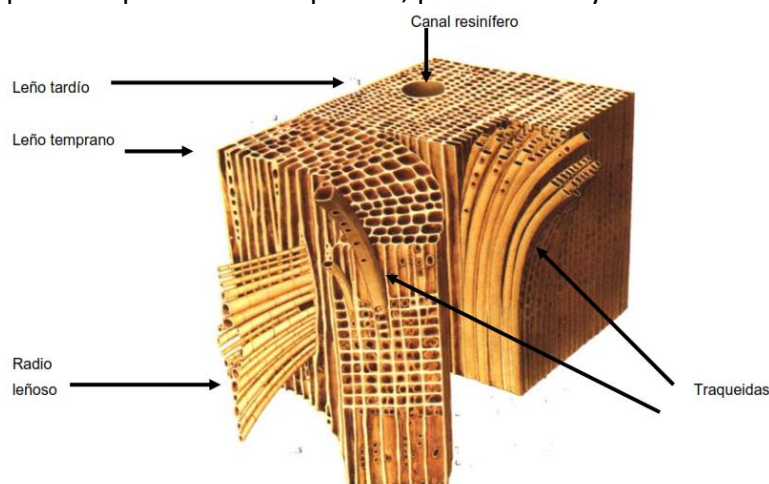
El flujo longitudinal de agua libre se ve facilitado por el número, tamaño y continuidad de los elementos anatómicos longitudinales. Es por ello que dicho flujo es mayor en frondosas, y dentro de ellas, más en aquellas de anillo difuso (chopo, haya, abedul) que en las de anillo poroso (roble, castaño, fresno).

La influencia de las punteaduras no juega un papel tan trascendental en la difusión del vapor de agua, puesto que los poros de las membranas de las punteaduras no son tan eficaces a este flujo, puesto que son excesivamente pequeños para esta función. Por ello, la difusión del vapor de agua junto con la del agua ligada en la madera se lleva a cabo en su mayor parte a través y por el interior de la estructura de la pared celular.

De todo esto se desprende que la densidad de la madera es un factor trascendental en el proceso de la difusión. Así, cuanto mayor sea la densidad, las paredes celulares serán más gruesas y los lúmenes más reducidos, lo que hará que la circulación por el interior de esta estructura de la humedad (ya sea en forma de agua líquida o vapor) se vea dificultada.

En cuanto a las coníferas, los árboles que poseen un crecimiento más rápido tienen anillos de crecimiento más anchos, lo que hace que el secado se facilite en gran medida y se lleve a cabo de forma más rápida, considerando que la anchura de la madera de verano, dentro del anillo, es prácticamente constante y que la cantidad de madera de primavera casi siempre es mayor.

La siguiente imagen (figura 1.3) representa la estructura anatómica de la madera de coníferas, donde es posible apreciar las traqueidas, punteaduras y canales resiníferos.



**Figura 1.3-** Aspecto microscópico tridimensional de la madera de coníferas.  
Fuente: Apuntes de "Dendrología y anatomía de la madera". De Cuadro et al. Universidad de la República de Uruguay



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En el caso de las frondosas de anillo poroso, el espesor de la madera de primavera permanece constante, por lo que un mayor crecimiento anual significa una menor permeabilidad al haber mayor cantidad de madera de verano. Por ello, la madera de frondosas de anillo poroso procedente de árboles de crecimiento más rápido resulta más pesada y difícil de secar que aquella otra perteneciente a árboles de crecimiento más lento.

En las maderas de poro difuso (eucalipto, chopo, haya, etc) no se produce un efecto tan acusado del anillo, puesto que su estructura presenta gran homogeneidad en toda su anchura.

Por todo ello, es posible afirmar que todas las variables (genéticas, silvícolas, de crecimiento, etc) que incidan sobre el crecimiento del árbol, lo harán sobre la estructura anatómica de la madera, y consecuentemente sobre su ritmo del secado. Su mayor o menor influencia dependerá de diversos factores fisiológicos, por lo que es imposible establecer normas fijas, pero sí pautas de comportamiento (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007).

Por tanto, y a la vista de lo expuesto con anterioridad, es posible concluir las siguientes consideraciones (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007):

- El secado es más rápido en las maderas ligeras que en las maderas pesadas.
- Las coníferas (pinos, abetos, alerces, etc) de crecimiento rápido secan más rápidamente que las de crecimiento lento (incluso para la misma especie).
- Las frondosas de anillo poroso (roble, castaño, fresno, olmo) se comportan de forma opuesta al patrón antes citado para las coníferas, ya que su velocidad de secado es tanto mayor conforme menor sea el grosor del anillo de crecimiento (menor densidad).
- Las frondosas, especialmente las de anillo poroso, secan longitudinalmente (por las testas, lo que se traduce en un mayor riesgo de fendas de testa) más rápidamente que las coníferas.
- El tipo de aserrado (tangencial, radial, canteado o sin cantear), posee efecto sobre la velocidad del secado, aunque este efecto no sigue una pauta fija y depende de la especie de madera. En este sentido, parece ser que las tablas de aserrado tangencial secan más rápidamente que las de aserrado radial.
- A pesar de que el duramen tenga menor contenido de humedad (40-50%), posee un proceso de secado más lento que la albura (100-200% de humedad), ya que en muchas ocasiones las punteaduras se encuentran bloqueadas.
- El secado de la madera juvenil<sup>1</sup> es muy complicado. Por ello, cuando una pieza de madera lo presenta y si su espesor es mayor a 30mm se tendrán que llevar a cabo prácticas para evitar la dispersión de humedad en su seno (acondicionado, apilado en macizo tras secado, etc).
- Si una madera presenta tylos (oclusiones vesiculares presentes principalmente en los vasos, y rara vez en fibras), hecho que puede ocurrir por causas genéticas (eucalipto), por ataques de hongos y bacterias, por heridas en el tronco, etc; el secado es más lento y difícil, puesto que el movimiento del agua líquida se encuentra frenado o interrumpido, por lo que el agua deberá salir por difusión.

<sup>1</sup> La madera juvenil es la que se origina durante los primeros años. Se caracteriza por ser una madera ligera, con poca resistencia, cuyas células son pequeñas y poco duraderas. Suele aparecer en los árboles de crecimiento rápido, y a pesar de ser un fenómeno natural se considera como un "defecto" de la madera.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

- La madera rehumedecida tras un tratamiento de sales o con productos hidrodispersables seca más lentamente que la madera verde.

La figura 1.4 representa las distintas formas en que el agua se puede presentar en la madera, en función de que se trate de madera verde (el agua se presenta relleno todas las cavidades celulares), madera saturada (madera con una humedad <30%) o madera anhidra (madera con 0% de humedad).

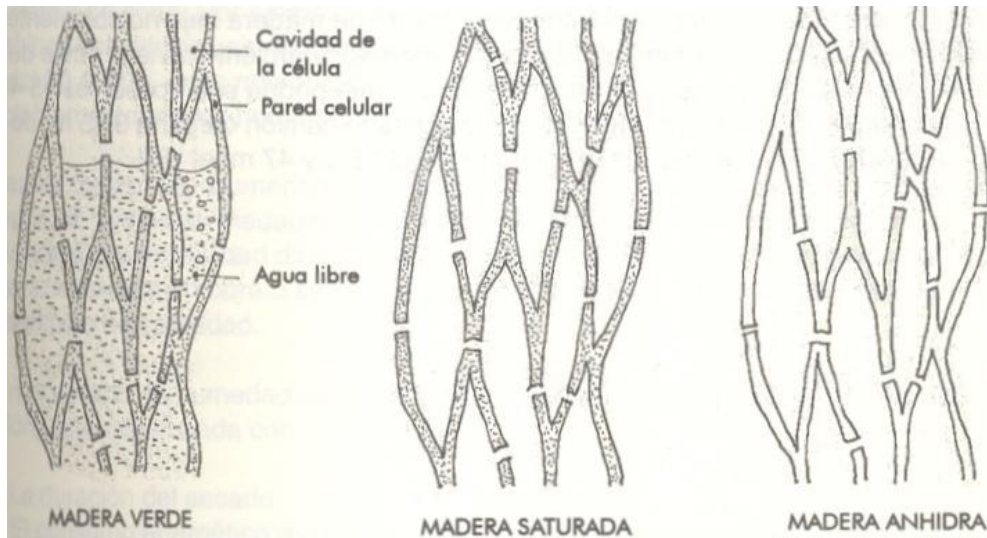


Figura 1.4- Distintas formas de presentación del agua en la madera. Fuente: Manual Técnico de secado de maderas. Fernández-Golfín & Conde García

### 3. IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD DE LA MADERA

Puede definirse la humedad de la madera o contenido de humedad de la madera como la proporción que existe entre la masa de agua presente y la masa anhidra de la madera:

$$h (\%) = \frac{M_h - M_0}{M_0} \cdot 100$$

Dónde:

- $h$  humedad de la madera (%);
- $M_h$  masa de la madera húmeda;
- $M_0$  masa de la madera totalmente seca (anhidra).

Se trata por tanto de los gramos de agua que ésta presenta por gramo de materia seca.

La humedad que presenta la madera en un determinado momento es un factor de gran importancia ya que ésta afecta a:

- Los procesos de transformación (aserrado y desenrollo).
- El comportamiento y las propiedades de la madera: durabilidad y resistencia, peso, dimensiones, etc.



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

---

La humedad de las maderas recién apeadas generalmente se sitúa en torno al 80%, si bien es verdad que pies recién cortados de determinadas especies pueden poseer humedades superiores incluso al 100%.

El proceso de secado es paulatino, y el agua se va desplazando progresivamente desde el interior de la madera hacia las capas más superficiales de la misma.

### **4. FORMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA POR LA MADERA SECA**

En todas las superficies de los distintos huecos que pueden existir en la madera, están presentes grupos OH como (consecuencia de las moléculas de celulosa) que atraen a las moléculas de agua.

Las etapas en las que las fibras de la madera van absorbiendo agua son:

1. Fase de sorción molecular: el agua se coloca entre los grupos OH de las fibrillas elementales, pero sólo se llega a alcanzar del 6 al 8% de humedad.
2. Fase de adsorción o adsorción superficial: el agua se une a las moléculas de agua que habían sido sorbidas con anterioridad. De esta forma la humedad de la pieza alcanza del 16 al 18%.
3. Fase de condensación capilar: el agua se sitúa en el lumen celular y en los espacios intercelulares de la madera alcanzándose en ese momento un porcentaje que se corresponde con el denominado punto de saturación de las fibras (en torno al 30-33% de humedad).

Una vez finalizada la fase de condensación capilar, en la madera es posible encontrar los siguientes tipos de agua (Herráez, 2011):

- Agua de constitución: se trata del agua que se encuentra formando los diferentes compuestos químicos de la madera. Por tanto, si se elimina este tipo de agua, la madera se destruye.
- Agua de impregnación, inhibición o saturación: se refiere al agua que es capaz de penetrar por medios físicos en la madera de acuerdo a las tres fases descritas anteriormente, hasta que se alcance el punto de saturación de las fibras. Se trata de la tipología de agua en la que se centra el proceso de secado, puesto que con su movimiento, se induce la aparición de fendas, deformaciones y alabeos de las piezas.
- Agua libre o agua capilar: es el agua que ocupa exclusivamente el lumen de las células. Una vez que se ha extraído el agua libre, es necesario sumergir la madera en agua para volver a recuperarla.



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

---





Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

## CAPÍTULO II. JUSTIFICACIÓN





## CAPÍTULO II. JUSTIFICACIÓN

La propuesta de Tesis Doctoral que se presenta, se fundamenta y justifica sobre la base del cumplimiento de las siguientes premisas:

1. Reforzar la viabilidad de la industria forestal de primera transformación por excelencia en el contexto global de la provincia de Ávila: el aserrado de la madera en rollo.
2. Ampliar y mejorar las expectativas de futuro de un sector industrial de notabilísimo e importante arraigo en el medio rural abulense.
3. Evitar el cierre, por falta de competitividad, del mayor número de instalaciones de aserrado de madera en rollo existentes de las existentes en la actualidad en la provincia de Ávila.
4. Conservar, y en la medida de lo posible ampliar, el tejido industrial y empresarial del medio rural abulense.
5. Potenciar el desarrollo industrial de la provincia de Ávila.

Como se puso de manifiesto con anterioridad, el contenido de humedad de la madera es un parámetro con una influencia trascendental en el comportamiento de la misma, pues actúa sobre su densidad aparente, peso, estabilidad dimensional, flexibilidad, dureza, etc (González, 2009). Además, ciertos niveles de humedad en la madera (próximos al 20%) crean un ambiente idóneo para el desarrollo de organismos xilófagos, propiciando su actuación (González, 2009).

Por tanto, el contenido o porcentaje de humedad es el factor limitante para considerar su uso en determinadas industrias de segunda transformación, ya que la madera puede presentar buenas cualidades mecánicas pero no cumplir con los requerimientos de humedad mínima exigibles por una industria, por lo que ésta vetaría su uso en la misma.

Todo esto justifica sobradamente la necesidad de extraer agua de la madera hasta alcanzar los niveles adecuados en función del destino de la pieza.

Adicionalmente el secado de la madera también reduce el coste económico que supone el transporte de agua a precio de madera, posibilita la realización de uniones encoladas, predispone la superficie de la madera a recibir barnices o tratamientos químicos, etc (González, 2009).

Por tanto, la operación de secado de la madera está más que justificada, resultando imprescindible en todos aquellos procesos en los que se busque obtener un producto de calidad, ya sea de primera o de segunda transformación; lo que no implica en ningún caso, que haya que permitir que el agua que se encuentra en el interior de la madera salga de la misma sin ningún tipo



## CAPÍTULO II: JUSTIFICACIÓN

---

de control y/o a unas velocidades que ocasionen el deterioro de la misma, como consecuencia del estado de tensiones que se origina al irse ésta secando por capas (lo que implica la aparición en la madera de un gradiente de humedades) que tiende a contraerse (las capas exteriores comprimen a las interiores) sobre otras capas que aún conservan su humedad original y que por tanto impiden esta contracción (las interiores traccionan a las exteriores).

Es por ello que el “secar la madera” resulta un requisito indispensable si se desea obtener un producto de calidad, ya sea de primera o segunda transformación, lo que implica la necesidad de modelizar el proceso de secado de la madera en el centro peninsular y evaluar su ajuste en base al modelo de Peleg<sup>2</sup>.

Numerosos estudios han puesto de relieve que en el coste de la operación de secado de la madera aserrada, influyen las variables como:

1. Amortizaciones de la instalación de secado.
2. Coste de la energía (eléctrica, calorífica...)
3. Coste de la mano de obra (enrastrelado, carga/descarga del secadero...)
4. Coste de mantenimiento de las instalaciones
5. Costes indirectos (costes del personal de staff, costes de los medios administrativos generales, tasas empresariales...).

Tras la amortización del secadero, el factor que más influye en el coste del secado es la energía requerida para esta labor (entre el 25-35% del coste); problema que en gran medida puede ser subsanado mediante el empleo y la utilización como combustible en las instalaciones de secado, de los denominados subproductos del aserrado (corteza, recortes y serrín).

Como industrias de primera transformación de la madera se encuentran la industria del aserrado, la de la chapa, la del tablero de partículas o la del tablero de fibras. En la provincia de Ávila, de todas las anteriores, sólo tiene representación la industria del aserrado. Por tanto, es necesario y casi apremiante descubrir a nuestras pequeñas y medianas empresas las muy diversas alternativas que presenta el sector maderero, de forma que al ampliarse las expectativas se reduzca la subordinación a un sólo tipo de mercado y a sus constantes fluctuaciones.

En lo concerniente a la segunda transformación (como es el caso de la industria del mueble, carpintería, embalajes y palés, madera laminada...), señalar que la provincia abulense únicamente cuenta con algunos pequeños talleres de carpintería; es decir, la industria de segunda transformación, que aumenta considerablemente el valor del producto final, prácticamente no existe. Esta situación es inaceptable en una región de amplia tradición en el sector forestal y maderero, y más aún si se considera la sencillez de algunas de las operaciones de la denominada industria de segunda transformación que conducen a la revalorización de la madera.

Ante la no existencia de información relevante y sobre todo fiable, relativa a los tiempos medios de permanencia de esta madera en almacén para la consecución en la misma de un determinado porcentaje de humedad, se hace necesaria una investigación que proporcione, por

---

<sup>2</sup> El modelo de Peleg es una ecuación empírica desarrollada por medio de ajustes a datos experimentales con el que es posible explicar la cinética de deshidratación o hidratación de ciertos materiales (véase “CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES”).



## CAPÍTULO II: JUSTIFICACIÓN

---

una parte, un mayor conocimiento de la evolución del contenido de humedad de una madera secada al aire en la provincia de Ávila, y por otra, una vez detectados los factores limitantes de este proceso, la propuesta de soluciones alternativas que posibiliten alcanzar en la misma niveles o porcentajes de humedad inferiores a los conseguidos mediante su secado natural al aire.

Al ser la madera de *Pinus pinaster* Ait. la que mayoritariamente procesan los aserraderos de la provincia de Ávila, se ha creído conveniente particularizar la investigación en la misma, ya que de esta manera los resultados obtenidos podrán ser utilizados por un mayor número de instalaciones.

Además, esta memoria se justifica también por tener en cuenta el lado humano de este sector, ya que nace con el ideal de mantener y crear puestos de trabajo, fijando así una población que es necesaria en el medio rural. De esta forma, indirectamente, se irían instalando servicios de los que ahora carecen estos núcleos, lo que permitiría el progresivo asentamiento de más personas y la implantación de nuevas empresas. Entre éstas, destacarían las dedicadas al sector maderero, ya que en ese caso estarían ubicadas más cerca de la materia prima y puede que de los destinos finales (a mayor población, mayor demanda), por lo que los costes de transporte disminuirían y los márgenes de rentabilidad aumentarían notablemente, implicando la adquisición de maquinaria más moderna y la apertura de nuevas instalaciones, ampliando así el tejido industrial del medio rural abulense.

Por tanto, es necesario este proyecto, ya que no existe ningún estudio de estas características, y mucho menos focalizado en nuestra provincia. La elaboración de esta Tesis Doctoral permitirá a la provincia de Ávila gozar de un estudio privilegiado, que se pretende constituya un material bibliográfico único de consulta cuasi obligatoria cuando se desee llevar a cabo los desarrollos futuros (no sólo los que desde este proyecto se proponen en el "CAPÍTULO VII: DESARROLLOS FUTUROS") sino de cualquier otra clase de proyectos venideros en los que juegue un papel fundamental la humedad alcanzada por la madera aserrada en el secado al aire en los aserraderos de la zona centro peninsular.

Por todo ello se puede tomar conciencia de la importancia del presente proyecto de investigación, no sólo por su carácter innovador (ya que en la provincia de Ávila no existe ningún otro estudio de características similares), o su temática más que forestal, sino por suponer una fuente de beneficios socioeconómicos para la provincia de Ávila.

Por todo ello, la Tesis Doctoral que se presenta puede ser considerada:

- Necesaria:
  - Por razones de índole científico.
  - Por razones de desarrollo socio-económico.
  
- Oportuna:
  - Por motivos relacionados con la subsistencia de un sector muy importante para determinadas zonas de la provincia de Ávila, y que en la actualidad se encuentra muy afectado por la crisis de la construcción.



## CAPÍTULO II: JUSTIFICACIÓN

---



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

## CAPÍTULO III. OBJETIVOS







## CAPÍTULO III. OBJETIVOS

Los objetivos que se plantean conseguir mediante la realización de esta Tesis Doctoral para su mejor estructuración y entendimiento, se dividirán en dos grupos: principales y secundarios.

Los objetivos principales o fundamentales a lograr serán todos aquellos que justifican la razón de ser del proyecto, que por su trascendental importancia han de ser antepuestos a todos aquellos otros que se consideran menos importantes, y que por tanto, se califican como secundarios.

De esta manera, este proyecto de investigación tiene por objetivos principales los siguientes:

- Determinar la evolución de la humedad de la madera aserrada según su distancia al suelo del patio de maderas en el caso particular del secado al aire en la provincia de Ávila, para la especie *Pinus pinaster* Ait.
- Evaluar si el modelo de deshidratación de Peleg se ajusta al secado natural de la madera aserrada de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de la Península Ibérica.
- Determinar la constante de secado de la madera aserrada de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de la Península Ibérica, como variable fundamental en el proceso de secado.
- Evaluar si el modelo teórico de Newton se ajusta al oreado natural de la madera aserrada de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de la Península Ibérica.

Por tanto, desde aquí se pretende puntualizar mucho más en lo que a la evolución del oreado de esta resinosa se refiere, puesto que con la consecución de este proyecto de investigación, no sólo se va a conocer exactamente cuál es la tendencia de secado que sigue la madera de *Pinus pinaster* Ait. de la provincia de Ávila de acuerdo a la posición que cada pieza ocupe en la pila, sino que se pretende establecer patrones de secado en función de la altura respecto al suelo de la pieza en la pila de madera aserrada y su ajuste al modelo de deshidratación de Peleg.

Los objetivos secundarios del proyecto, tal y como se dejó entrever con anterioridad, no van a constituir el “alma” del mismo, y respecto a su importancia quedan relegados a una categoría inferior puesto que no son indispensables. Sin embargo, su consecución hace que sea mucho más atractiva la realización del proyecto, enriqueciendo el interés sobre el mismo.



### CAPÍTULO III: OBJETIVOS

---

Los objetivos secundarios que indirectamente se pretenden alcanzar con este proyecto de investigación son:

- Calcular la humedad de equilibrio higroscópico de las vigas de esta madera y en estas circunstancias durante su oreado.
- Determinar la variación dimensional de la sección las vigas a los 12 meses de secado al aire.
- Conocer cómo evoluciona la humedad de una probeta ubicada justamente en el centro geométrico de la pila.
- Determinar la curvatura alcanzada por las vigas tras los 12 meses de secado.
- Realizar un estudio económico básico para diferentes casuísticas de secado, en lo que al coste de esta operación se refiere.



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES





## CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES

La provincia de Ávila es una de las provincias españolas que en la actualidad cuenta con un mayor número de instalaciones de aserrado (por encima de la decena), lo que a nivel nacional la lleva a ocupar un puesto puntero en lo que a producción de metros cúbicos de madera aserrada se refiere.

Estas industrias, todas empresas de tipo PYME, se encuentran fuertemente comprometidas con el medioambiente que las rodea, ya que obtienen su materia prima del monte, por lo que la tan de moda gestión forestal sostenible no es un término nuevo para ellas, sino una realidad que practican desde antiguo (CONFEMADERA, 2001); industrias que utilizan un recurso 100% renovable, generan residuos aprovechables por otro tipo de instalaciones y utilizan poca energía, que en algunas ocasiones incluso procede de fuentes renovables.

Sin embargo, ninguno de los distintos aserraderos repartidos por la geografía abulense dispone aún de una instalación de secado de madera, por lo que la única opción posible para la comercialización de sus productos es su venta directa como madera en verde (húmeda) o en el mejor de los casos como madera oreada (secada al aire); asumiendo en cualquiera de las dos modalidades e independientemente de la calidad de las piezas de madera aserrada, una importante depreciación en lo que al valor de mercado de estos productos se refiere (Herráez, 2010). No se debe olvidar que el consumo de madera es un referente en cuanto al poder adquisitivo de un país, tomando como referencia el Producto Interior Bruto (PIB), llegamos a la conclusión de que a mayor PIB, mayor es el consumo de madera por habitante (Vignote & Martínez, 1987; Vignote et al., 2014).

Cada vez más, el mercado exige mayor calidad en los productos en términos de durabilidad, comodidad, materialidad, funcionalidad y acabado (CITEmadera, 2009). Para alcanzar dicho objetivo se hace indispensable el empleo de madera seca y así poder conseguir la estabilidad y el buen desempeño o “performance” en la manufactura de los productos maderables. En este sentido, actualmente se han desarrollado estudios como el de Vasques Cossio (2005), que ponen de manifiesto la necesidad de clasificar en verde la madera aserrada al objeto de conseguir una homogeneización de las características dimensionales de las piezas a secar, lo que redundará positivamente en el secado artificial, mejorando indudablemente la calidad de madera que se obtiene tras el secado.



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

La molécula de agua puede filtrarse entre las moléculas de la mayoría de los materiales debido a su minúsculo tamaño, en base a distintos fenómenos como la afinidad química (igual que sucede con el azúcar, sal, papel, etc), o directamente por penetración física: capilaridad, ósmosis, difusión, etc (Morales Méndez, 2003).

Ya se ha comentado que el agua contenida en la madera constituye un factor trascendental que afecta a su posterior transformación y comportamiento, fruto de una relación existente entre ambas entidades. Por ello, es necesario considerar la relación agua-madera, como una relación que se encuentra influida por un considerable número de factores de diversa índole y naturaleza de los que en definitiva depende la determinación del nivel o grado de humedad de la madera:

- Especie: estructura anatómica de la madera.
- Densidad: mayor o menor facilidad de la madera para hincharse y mermar. Cuanto más densa sea la madera, menos agua puede almacenar.
- Temperatura de medición.
- Humedad relativa del aire: humedece la superficie y origina filtraciones falseando las mediciones.
- Distribución de la humedad en el ancho de la pieza.
- Dirección de la fibra respecto a la dirección en la que se realiza la medición.
- Número de determinaciones que se hagan: como mínimo habría que realizarse tres.
- Factor personal.

Son muchos los fenómenos que se ven afectados por las variaciones de humedad en la madera, entre los que destacan las hinchazones y mermas, pero también otros como su peso, resistencia, dificultad de corte, aserrado y acabado; así como en la fluencia y deformabilidad de las piezas. Conforme el grado de humedad va decreciendo, aumentan las propiedades mecánicas; sin embargo, algunas de ellas como la tenacidad o la resistencia al choque, decrecen (Morales Méndez, 2003).

Se trata de una relación tan trascendental, que incluso los valores de resistencia y rigidez se establecen en relación con la humedad. Así en el Código de la British Standards, CP 112 se dan incluso tensiones de trabajo y módulos de elasticidad para maderas secas (<18%) y para maderas verdes (>18%).

A continuación se describen los factores más importantes que influyen en la relación agua-madera.



## 1. LA HUMEDAD EN LA MADERA

El agua del interior de un árbol vivo es empleada para transportar las sustancias nutritivas que le son esenciales para subsistir. De esta forma, el peso del agua que contiene la madera de las principales especies arbóreas españolas, puede suponer desde la mitad al doble de su peso seco, dependiendo lógicamente de la especie que se trate (Álvarez Noves, 1985).

Así, la madera en estado verde presenta contenidos de humedad con enormes variaciones dependiendo de la especie forestal; de la posición dentro el árbol y/o de la época de apeo. En este sentido, la humedad en la albura de coníferas puede tomar valores del 150 al 160%, en el caso del chopo y en el del pino radiata hasta el 200%, en la mayor parte de las frondosas europeas del 80-90%. Sin embargo, se consideran como máximos los contenidos de 70-80% de humedad en duramen. En general, cuanto más densa es la madera menos agua contiene (Álvarez Noves, 1985).

La humedad y la densidad son las principales propiedades de la madera que afectan sobre sus características mecánicas (Da Silva et al., 2009; Williams & León, 2010); de modo que cuando el contenido de humedad aumenta, la resistencia de la madera disminuye, viéndose asimismo afectada su elasticidad (Basterra et al., 2008). En este sentido, es importante señalar que ha habido un importantísimo interés internacional en investigar los efectos del contenido de humedad en las propiedades mecánicas de la madera (Gerhards, 1998; Obataya et al., 1998; Severa et al., 2003).

El secado produce un importante aumento en la resistencia de la madera, especialmente en las pequeñas muestras. Un ejemplo es el caso particular de una pieza de abeto seca de dos pulgadas de sección, cuya capacidad de resistir una carga permanente se multiplica por cuatro veces la capacidad que posee una muestra de similares características, pero verde (Record, 1914).

La madera seca, tiene menor peso, mayor capacidad mecánica, mejor estabilidad dimensional, menor susceptibilidad al ataque de organismos xilófagos, permite un mejor aislamiento térmico, acústico y eléctrico, una mejor penetración de preservantes en tratamientos industriales y una aplicación más eficiente de pinturas y barnices (JUNAC, 1984). Por tanto, la absorción periódica de agua por parte de la madera repercute negativamente a su calidad, siendo la habilidad de ataque de los microorganismos función del contenido de humedad en la pared celular (Baronas et al., 2001).

Por todo ello, es posible afirmar que la humedad de la madera es su propiedad más importante, puesto que influye en todas las demás propiedades, ya sean físicas, mecánicas, tecnológicas o de durabilidad y estabilidad dimensional (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007). Es por ello que prácticamente la totalidad de las reclamaciones que tiene la madera en obra o servicio tienen que ver con su incorrecto contenido en humedad (González Pérez, 2009).



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

### 1.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA HUMEDAD EN LA MADERA

A pesar de que existe un amplio abanico de métodos con los que medir la humedad de la madera, habitualmente se recurre a las pesadas o al xilohigrómetro. La forma de operar durante el empleo de ambos métodos queda recogida en las normas europeas UNE-EN 13183-1, 2 y 3.

#### 1.1.1 Por pesadas (método de estufa)

Es el método más exacto y se emplea en laboratorios y centros de investigación. La humedad se calcula por la evaporación del agua contenida en la madera y la diferencia de pesos.

Descrito en la norma UNE-EN 13183-1, se trata de una técnica con la que se obtiene una gran exactitud, pero por el contrario es lenta y destructiva. Partiendo de una pieza cuyo contenido en humedad se desea conocer, la aplicación del método comienza con la extracción de una muestra que sea representativa (es decir, suficientemente alejada de bordes, testas y libre de defectos significativos como nudos o bolsas de resina). Tras ello, se pesa en una balanza, hallándose de esta forma su masa húmeda ( $M_h$ ). Seguidamente, la muestra se introduce en una estufa a  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  hasta que alcance una masa constante, que según el tamaño de la probeta oscilará entre 24-48 horas. En ese momento se vuelve a pesar para calcular su masa anhidra ( $M_0$ ). El valor de la humedad de la madera se calculará mediante la siguiente expresión:

$$h (\%) = \frac{M_h - M_0}{M_0} \times 100$$

Siendo:

$H$  la humedad de la madera en %;

$M_h$  la masa de la madera húmeda;

$M_0$  la masa de la madera anhidra ( $h=0\%$ ).

El error que se comete con este método es muy pequeño, pero por el contrario, pero la gran desventaja es que el proceso, como ya se ha apuntado, es muy lento.

#### 1.1.2 Mediante xilohigrómetro

Dependiendo del tipo de xilohigrómetro que se utilice (de resistencia o de capacitancia), el método se encuentra descrito en las normas UNE EN-13183-2 (xilohigrómetro de resistencia) y UNE-EN 13183-3 (xilohigrómetro de capacitancia).

La medida de la humedad mediante xilohigrómetro es un método no destructivo, instantáneo, pero menos preciso que el método de estufa, aunque la exactitud obtenida es suficiente para la industria (Rojas Martínez, 2008). Ello hace que el xilohigrómetro sea un método ideal para determinar el contenido de humedad en piezas de madera que se encuentren formando parte de una estructura (Bergman et al., 2010). El más extendido es el xilohigrómetro de





## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

resistencia, pudiendo ser empleado para monitorizar a distancia la evolución de la humedad de la madera durante el secado industrial.

A decir verdad, la precisión de la medida varía en función de la especie de madera, de la calidad y tipo de aparato, de la habilidad en su empleo y del estado de calibración, pero se han podido establecer los siguientes valores determinados en un estudio europeo:

- Xilohigrómetros de resistencia: entre  $\pm 1,5\%$  y  $\pm 2,5\%$ .
- Xilohigrómetros de capacitancia: entre  $\pm 2,5\%$  y  $\pm 4,0\%$ .

Estos anteriores valores se han obtenido en laboratorio o con personal con un elevado grado de experiencia en el manejo de los aparatos. Los que a continuación se exponen, son los correspondientes a nivel industrial:

- Xilohigrómetros de resistencia: entre  $\pm 2,0\%$  y  $\pm 5,0\%$ .
- Xilohigrómetros de capacitancia: entre  $\pm 3,0\%$  y  $\pm 5,0\%$ .

En maderas cuyo contenido en humedad sea inferior al 12% podría aplicarse el valor medio de estos anteriores, y para medidas que superaran este umbral de humedad se tomaría el valor mayor.

El funcionamiento de los xilohigrómetros de resistencia se fundamenta en la relación lineal que existe en la madera entre su humedad y el logaritmo de la resistencia eléctrica al paso de una corriente (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007). El gran hándicap de esta técnica es que la condición de linealidad únicamente se cumple en el intervalo entre el 7% y el 27%, por lo que ante maderas muy húmedas o secas, no se podría aplicar. La resistencia eléctrica crece exageradamente con contenidos de humedad inferiores al 6% por lo que es virtualmente imposible usando un ohmímetro. En el otro extremo (para valores mayores del 27%) las variaciones de resistencia acontecidas son pequeñas, con lo que el error cometido podría variar desde el  $\pm 5\%$  al  $\pm 20\%$ .

Ello conlleva que para humedades mayores del 60% se consigan medidas poco fiables. Pero cuando se emplea esta técnica para monitorizar el descenso de humedad de la madera en el proceso de secado, conforme se va aconteciendo el procedimiento, se observa que las medias toman una tendencia decreciente. Por esto, a pesar de que a veces la madera esté incluso verde, habitualmente se utiliza esta técnica para tomar decisiones respecto al paso entre etapas del secado. En el secado se considera que las medidas empiezan a tener suficiente fiabilidad por debajo del 45% (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007).

Cuando las medidas de humedad son puntuales en el tiempo, se pueden emplear equipos portátiles teniendo en cuenta que en el intervalo de humedad comprendido entre el 27% y el 40%, las medidas conseguidas no son del todo exactas, pero con la exactitud suficiente como para poder considerarlas a modo de orientación.

Estos aparatos llevan a cabo la medida de la humedad por medio del clavado de los dos electrodos normalmente en dirección paralela a la fibra (o perpendicular, según lo especifique el fabricante del xilohigrómetro), hasta una profundidad de 1/3 del espesor de la pieza si se desea



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

conocer el valor medio, o de 1/2 en el caso de que se quiera determinar el valor máximo. Además, en función de la especie y la temperatura, el aparato suele incorporar mecanismos para corregir la medición.

En cuanto a los xilohigrómetros de capacitancia, su mecanismo se basa en la variación de ciertas constantes dieléctricas de la madera con su contenido de humedad. En estos aparatos cuentan con uno o dos electrodos planos que se aplican sobre la superficie de la pieza, pero no se clavan en la misma.

A veces se intercalan en las líneas continuas de producción xilohigrómetros de capacitancia ya que con su empleo es posible determinar bastante rápido la humedad de la madera.

Finalmente, señalar que con carácter previo a la medición se hace necesaria la realización de una serie de comprobaciones para asegurar que el aparato funciona y mide correctamente (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007):

- Comprobación del estado de la pila (la gran parte de los aparatos posee un sistema de comprobación establecido por el propio fabricante).
- Comprobación de las conexiones eléctricas.
- Comprobación del estado de los electrodos (especialmente si se trata de un xilohigrómetro de resistencia).
- Comprobar que los selectores de especie y temperatura se encuentran en la posición correcta.
- Verificación del correcto funcionamiento. Para este fin se utilizarán resistencias calibradas (xilohigrómetros de resistencia) o bloques de resistencia (xilohigrómetros de capacitancia), siempre siguiendo las recomendaciones del fabricante del aparato.
- Con carácter periódico se llevará a cabo una verificación multipunto (generalmente tres) que cubra los extremos del rango habitual de medida y el punto medio.

Una vez llevadas a cabo todas estas comprobaciones, se procederá a medir. Si se emplean xilohigrómetros de capacitancia, se presionará suavemente el electrodo sobre la superficie de la pieza de madera. Si por el contrario, se utilizan xilohigrómetros de resistencia, se introducirán en la madera hasta una profundidad de un tercio del espesor de la pieza. En estos últimos aparatos, si se presiona el botón de medir durante un tiempo mayor a 3 segundos, es probable que ocurran fenómenos electrolíticos que pudieran hacer que la medida tomada fuera menor que la que realmente es, por lo que la medida ha de tomarse a los 2-3 segundos.

### 1.1.3 Otros métodos de medición de la humedad

#### Por destilación o método químico

Es un método que se efectúa únicamente para maderas con un alto contenido en resinas, terpenos y otras sustancias de impregnación.



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

El método pasa por reducir la madera a virutas que seguidamente se mezclan con un disolvente no miscible en agua (xinol). A continuación se calienta la mezcla para que el agua y el disolvente se evaporen.

La gran desventaja de este método es que se requiere, por tanto, triturar la madera y utilizar aparatos y disolventes que en ocasiones encarecen bastante la técnica, pero por el contrario, señalar que se consiguen mediciones de gran exactitud.

### Método colorimétrico

En esta técnica se utilizan tubos de cristal donde se introduce la madera a conocer su contenido en humedad. A continuación se introduce un papel (tiras reactivas) que se torna a diferentes tonalidades en función de la humedad de la madera que se encuentre en dicho recipiente.

El error que se comete con este método es del 5-7%, no pudiéndose medir la humedad por debajo del 5%.

## 1.2 HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO (HEH)

La madera al ser un material higroscópico (que además por su carácter polar tiene afinidad por el agua), la madera puede ganar o perder humedad según la temperatura y humedad relativa imperante en el ambiente en el que se encuentre (Álvarez Noves, 1985). Así, tras la muerte o derribo del árbol, la madera expuesta al ambiente atmosférico, y aunque esté protegida de la lluvia, y no esté en contacto con el suelo o con agua en estado líquido, comienza a perder agua, y lentamente avanza en su secado hasta alcanzar una situación de equilibrio con el entorno. El valor del contenido de humedad de la madera en esta situación de equilibrio se denomina Humedad de Equilibrio Higroscópico, y suele conocerse con las siglas HEH (EMC en inglés, UGL en alemán y UEC en italiano).

Por tanto, la denominada humedad de equilibrio higroscópico de una madera es el porcentaje de humedad que llega a conseguir la madera cuando intercambia humedad con el ambiente que la rodea por su higroscopía, debido a las diferentes combinaciones de humedad (relativa) y de temperatura que puede presentar dicho medio. A cada pareja de valores higrotérmicos del aire (temperatura y humedad relativa) le corresponde un contenido de humedad, denominado humedad de equilibrio higroscópico (Morales Méndez, 2003).

Se trata de una propiedad de cuantiosa trascendencia, pues cualquier madera puesta en servicio o en proceso de secado, tenderá a tomar o perder humedad hasta alcanzar dicho valor.

Como las condiciones climáticas del aire se encuentran modificándose constantemente, este punto de equilibrio HEH, también se encuentra en continuo cambio. La madera actúa como un regulador de humedad y como los cambios climáticos del aire se suceden continuamente, del día a la noche, la humedad de la madera también cambia continuamente, si bien en valores muy



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

pequeños (Morales Méndez, 2003). En el caso particular de la madera de exterior, comentar que se encuentra influenciada por rápidos cambios climáticos que generalmente le impiden alcanzar la humedad de equilibrio antes de que varíe la temperatura y la humedad relativa del ambiente (con excepción de espesores muy reducidos de a lo sumo algunos milímetros). Por tanto, el grado de humedad de la madera cambia menos que lo que se podría esperar de las condiciones meteorológicas y, en general, con cierto retraso en relación a ellas (Álvarez Noves, 1985).

La temperatura y sobretodo la humedad relativa del medio son factores de los que más depende la HEH (Kollman et al., 1975). Otros factores tienen menos influencia como por ejemplo la especie de madera. Sin embargo sí que influyen los tratamientos químicos que puede incorporar la madera (sobre todo con sales hidrosolubles) y la historia previa del material (la HEH es diferente en desorción y en sorción, y en comparación entre una madera recién apeada y otra fatigada higroscópicamente tras repetir decenas de veces el ciclo sorción-desorción).

La humedad de equilibrio higroscópico de la madera sea cual sea la especie forestal de que se trate, alcanza prácticamente el mismo valor, un 30%, hecho que fue determinado por Kollman (1959). Consecuentemente, en un ambiente saturado (HR=100%) cualquier tipo de madera puede alcanzar una humedad máxima del 30%, momento en el que se alcanza lo que se denomina punto de saturación de la pared celular (muchas veces denominado punto de saturación de las fibras, PSF).

El ábaco de Kollman que se expone a continuación, recoge los valores medios de contenido de humedad de la madera para una humedad relativa del aire en % y una temperatura determinada.

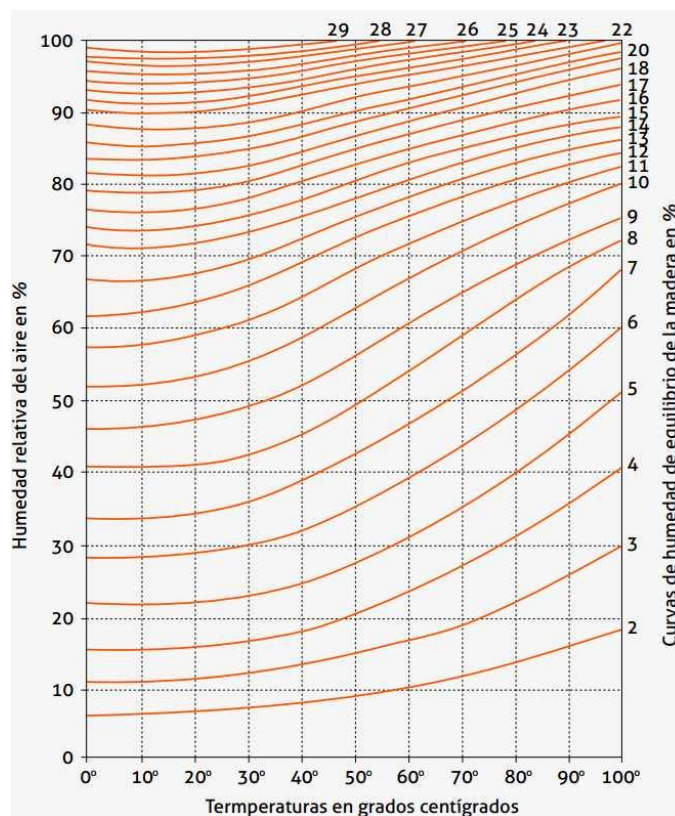


Figura 4.1- Ábaco de Kollman. Fuente: Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Kollman



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

En la provincia de Ávila, según las fuentes bibliográficas consultadas (Fernández Golfín et al., 2007) la denominada humedad de equilibrio higroscópico de la madera (porcentaje de humedad máxima que alcanza una madera cuando ésta haciendo uso de su higroscopicidad intercambia humedad con el ambiente que la rodea en base a las condiciones de humedad relativa y de temperatura de este último) se encuentra alrededor del 11,9% (correspondiente a unas condiciones ambientales medias de 10°C de temperatura y de un 64% de H.R. del aire), con un máximo del 17,2% (correspondiente a unas condiciones ambientales medias de 2°C de temperatura y de un 82% de H.R. del aire) y un mínimo del 8% (correspondiente a unas condiciones ambientales medias de 20°C de temperatura y de un 42% de H.R. del aire); lo que a todas luces resulta insuficiente para el uso de la madera secada al aire como materia prima para la fabricación de pavimentos (para los que se requiere una humedad de la madera entre el 6 y el 10%) y de mobiliario de distinta naturaleza y de puertas de interior (donde se requiere materia prima con una humedad en el entorno del 11%).

### 1.3 HISTÉRESIS

Se trata de la propiedad de inercia que presenta la madera a fenómenos de sorción y desorción del agua, manteniendo la temperatura constante.

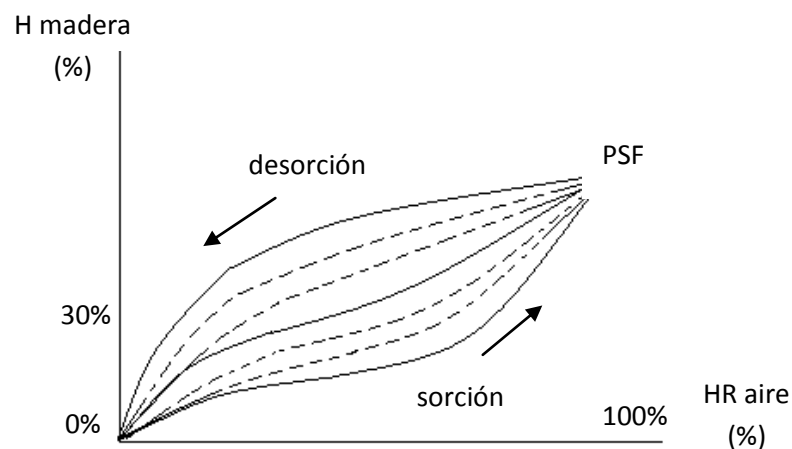


Figura 4.2- Histéresis de la madera. Fuente: Elaboración propia

Aunque las curvas de sorción y de desorción tienen la forma que puede observarse en la figura anterior, son particulares para cada especie de madera (Almeida & Hernández, 2005).

Cabe mencionar el fenómeno conocido como inercia higroscópica, que explica que la humedad de la madera cambia más lentamente y con cierto retraso de lo que cabría esperar respecto a las condiciones meteorológicas.

La velocidad con que la madera gana o pierde humedad depende de la permeabilidad, que es función del tipo de recubrimiento superficial y del peso específico aparente de la madera; siendo las maderas ligeras más permeables que las pesadas (Morales Méndez, 2003). De esta manera, el punto de equilibrio de la sorción en la madera resulta más elevado cuando se le



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

sustraer agua al medio sorbente, es decir, en la desorción (en ella el equilibrio alcanzado es el verdadero) que cuando se le suministra, o sea en la sorción. Esta diferencia entre la desorción y la sorción se denomina histéresis y es digno de hacer notar que desaparece para presiones de vapor muy bajas. Como la sorción química tiene lugar para estas bajas presiones, puede llegarse a la conclusión de que en este ámbito se trata de un proceso reversible (Morales Méndez, 2003).

Considerando madera en ambiente saturado (HR= 100%), según el ábaco de Kollman la humedad máxima alcanzada por ella será el 30% (PSF), aunque en realidad el valor mínimo de contenido de agua en ese punto pueda ser de un 22 % y el máximo de un 35 %. Este PSF se denomina así porque satura todos los huecos existentes entre las fibrillas elementales, entre las microfibrillas y entre las fibras que componen la pared celular. Si se la trasladase a un ambiente de menor humedad, la madera perdería humedad (curva de desorción). Si se incrementa la humedad ambiental, la madera adquiere humedad (curva sorción).

Si esta variación en la humedad ambiente se repite sucesivamente, las curvas de sorción y desorción cada vez se aproximan más reduciendo el área entre ellas hasta convertirse en una única línea. En este momento se dice que la madera ha entrado en equilibrio, siendo esta situación el objetivo del secado de maderas.

La única forma de que la madera supere más humedad que la correspondiente al PSF, es sumergirla en agua y conseguir el llenado de los espacios existentes en el lumen celular. Este punto resulta crítico pues a partir de él no se producen cambios dimensionales (Morales Méndez, 2003).

### 1.4 HUMEDAD DE USO

La humedad de uso tiene mucha relevancia para la determinación de la humedad final del proceso de secado. Esta humedad de uso se encuentra muy ligada a la humedad de equilibrio higroscópico de la madera en función del área geográfica y el ambiente de uso (interior o exterior) que finalmente tendrá la pieza (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007). Sin embargo no debe olvidarse que la madera tratada con ciertos productos químicos pueden sufrir una sensible variación de esta humedad de equilibrio (Morales Méndez, 2003).

Las tablas de HEH suelen acompañar valores de riesgo de cambios dimensionales. El valor de riesgo se calcula en función del valor de la contracción esperado para cada localidad, dependiendo de que la madera se utilice en interiores o en exteriores; evaluándose desde 2 (riesgo despreciable) hasta 10 (riesgo muy alto).

Se aconseja que, si tanto la localidad como el uso final de la pieza de madera son desconocidos, se seque hasta un contenido final de humedad del 8%.



## 1.5 HINCHAZÓN Y MERMA

Ya se ha expuesto previamente que las propiedades importantes de la madera cambian sustancialmente cuando se está por debajo del punto de saturación de las fibras. Una de estas propiedades es la estabilidad dimensional.

Se denomina hinchazón a la propiedad que posee la madera de incrementar su volumen cuando aumenta su contenido de humedad por la circunstancia que sea. Este principio únicamente tiene lugar cuando el rango de variación de humedad es inferior al PSF, por lo que por encima del 30% de humedad en la madera se pueden dar variaciones de peso como consecuencia del aumento del grado de humedad, pero dicho incremento no acarrea ninguna variación dimensional.

Por el contrario, la contracción se produce únicamente cuando la madera pierde humedad por debajo del punto de saturación de las fibras (PSF), umbral que, como se ha venido apuntando, se considera en el 30%, siendo la variación dimensional proporcional al descenso de humedad.

La anisotropía de la madera hace que en la dirección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) la contracción sea mayor que en la dirección radial (perpendicular a los anillos). De otro lado, en la dirección longitudinal (paralela a la dirección del hilo de la madera), la contracción es prácticamente despreciable (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007).

Por tanto, se denomina merma al fenómeno inverso a la hinchazón, es decir, la disminución de volumen que experimenta la madera en el caso de que la pérdida de humedad se sitúe por debajo del PSF.

Ambos factores se cuantifican por los coeficientes de contracción volumétrica que varían en función de la especie y de la dirección considerada, como consecuencia de la anisotropía de la madera (en dirección axial la variación prácticamente es nula, siendo esta variación muy grande en las direcciones transversales, radial y mayoritariamente tangencial).

Estos coeficientes de contracción miden la variación en % de la dimensión considerada en la madera verde para una disminución de una unidad porcentual en el contenido de humedad por debajo del PSF.

$$C_D (\%) = \frac{D_h - D_0}{D_0 \times PSF} \times 100$$

Siendo:

- $C_D$  el coeficiente de contracción en % de la dimensión considerada (tangencial, radial);
- $D_h$  la dimensión considerada (tangencial, radial) en estado verde;
- $D_0$  la dimensión considerada (tangencial, radial) en estado totalmente seco;
- $PSF$  el punto de saturación de las fibras en %.

## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

De acuerdo a este parámetro, las especies forestales se pueden clasificar en:

- Maderas estables o maderas nobles: aquellas cuyo coeficiente de contracción volumétrica es inferior al 35%.
- Maderas nerviosas: aquellas cuyo coeficiente de contracción volumétrica es igual o superior al 35%.

La absorción de agua por parte de la madera adquiere una importancia trascendental, especialmente en los usos estructurales de la misma (Baronas et al., 2001). En edificios residenciales y en algunas aplicaciones industriales se emplean frecuentemente componentes de madera o derivados (Candanedo and Derome, 2005); componentes que se encuentran expuestos al contacto con agua líquida, por ejemplo al mojado de la lluvia o de la infiltración. Por lo tanto, la madera siempre se encuentra experimentando cambios en su contenido de humedad.

El cambio dimensional inducido por una variación en el contenido de humedad de la madera puede conllevar deformaciones en las piezas que dependen del grado de anisotropía de la madera en cuestión. De todas formas, dadas una especie y cambio de humedades, es posible influir en la cuantía de la deformación en función del tipo de corte (radial, tangencial o mixto), de la estrategia de apilado durante el proceso de carga del secadero (como la colocación de pesos o la aplicación de presión en lo alto de la carga).

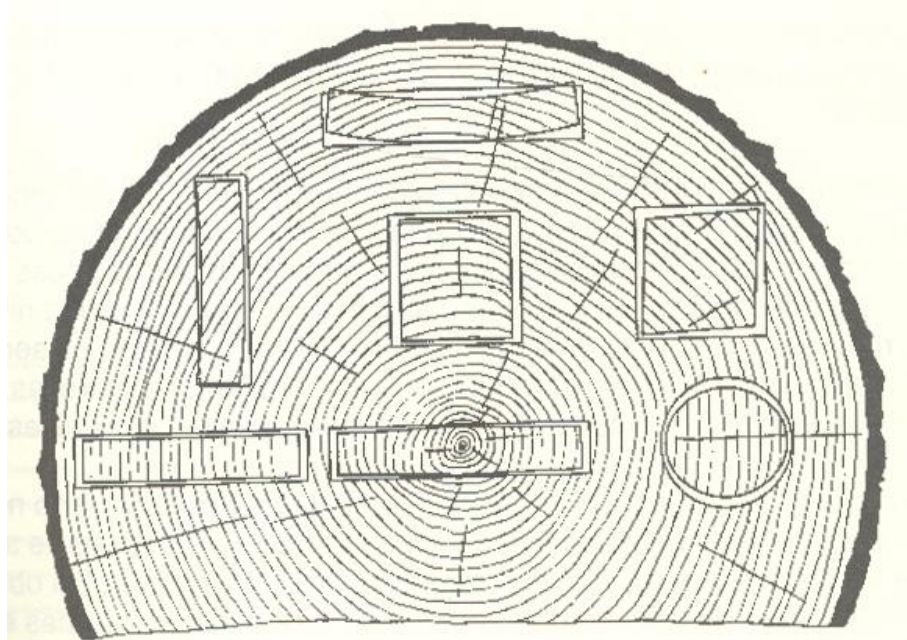


Figura 4.3- Contracción según la forma de la sección y su procedencia en el tronco. Fuente: Manual Técnico de secado de maderas. Fernández-Golfín Seco & Conde García

Tanto la hinchazón, como la merma producen y generan las siguientes consecuencias:

1. Imprecisión en el dimensionamiento de productos: esta circunstancia es de extrema gravedad cuando, por su destino, los productos exigen una exactitud en sus dimensiones (por ejemplo en carpintería estructural, en la industria del mueble, etc). Este hecho puede llevar aparejada una pérdida de calidad importante en las piezas finales fabricadas.



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

2. Deformaciones (atejado o abarquillado en las piezas): las piezas tienden a deformarse o alabearse debido a que las variaciones son muy diferentes según la dirección considerada. Cuanto más noble sea la madera, menor es la tendencia al alabeo. La tendencia a la deformación de una madera se puede determinar a través del estudio de su:
  - a. Coeficiente de anisotropía: cociente entre las contracciones totales tangencial y radial.
  - b. Anisotropía absoluta: diferencia entre las contracciones totales tangencial y radial.

Coefficientes de anisotropía superiores a 2,2 asociados a anisotropías absolutas superiores al 3% producen riesgos elevados de deformación durante el secado.

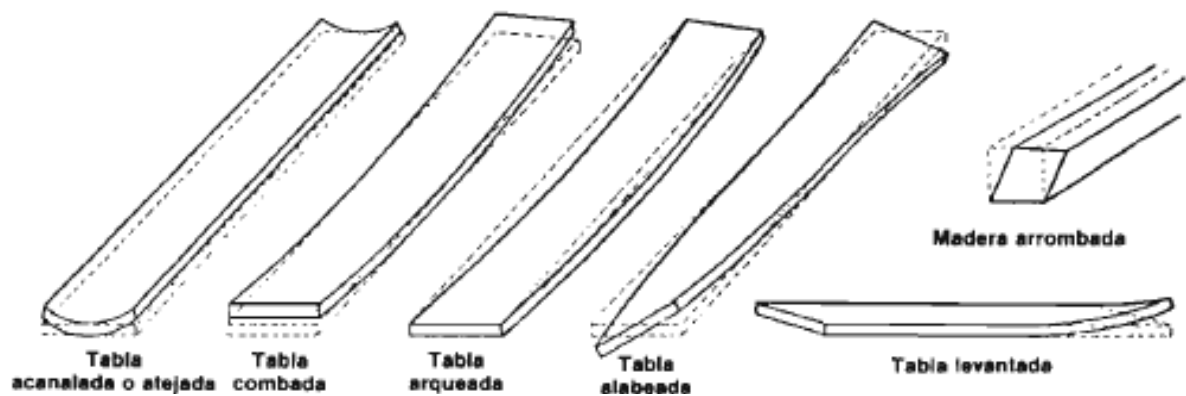


Figura 4.4- Defectos clásicos de la madera cuyo origen es la hinchazón y la merma. Fuente: Hojas Divulgadoras Núm 19/84 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Álvarez Noves

3. Fendas: el secado es un fenómeno superficial ya que la humedad se pierde a través de la superficie. Ello conlleva que la parte exterior se seque antes que la interior, creándose un desequilibrio de humedades en la sección de la pieza que se acentuará cuanto mayor sea el diámetro de la pieza y mayor sea la velocidad de secado. Debido a este desequilibrio, consecuentemente la madera del exterior lleva aparejada una tendencia a contraerse y la interior no, por lo que la parte externa somete a la interna a compresión, y la del interior transmite a la exterior su tendencia de estabilidad, creándose esfuerzos de tracción en esta última. Como la madera es poco resistente a los esfuerzos de tracción perpendiculares a la fibra, la madera se rompe originándose fendas de secado. De la misma forma que se comentó anteriormente, cuanto más nerviosas sea la madera, mayor tendencia tendrá a afendarse.

Incidir una vez más que las mermas y el cierto nivel de deformación y rajado de las piezas de madera son consecuencias inevitables del proceso de secado, puesto que se trabaja con un material higroscópico y anisótropo. Es por ello que en secados rápidos se hace necesario tomar medidas específicas (aplicación de cargas, clasificación previa del material, acondicionamiento final, etc) para conseguir un control de deformaciones, la no aparición de fendas de cara y testa o incluso de colapso.



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

La contracción de la madera es un factor de gran trascendencia en el secado, sobre todo en lo que se refiere a la calidad de la madera seca y a la determinación del coste de la operación.

Para cada madera, existen coeficientes cuyos valores indican el riesgo de que se produzcan deformaciones indeseables, como el atejado o abarquillado, provocadas por los cambios dimensionales provocados por las variaciones en el contenido de humedad de la pieza (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007). Entre estos coeficientes es preciso destacar los ya comentados:

- Coeficiente de anisotropía: se expresa como el cociente entre las contracciones totales tangencial y radial.
- Anisotropía absoluta: se define por la diferencia entre las contracciones totales tangencial y radial.

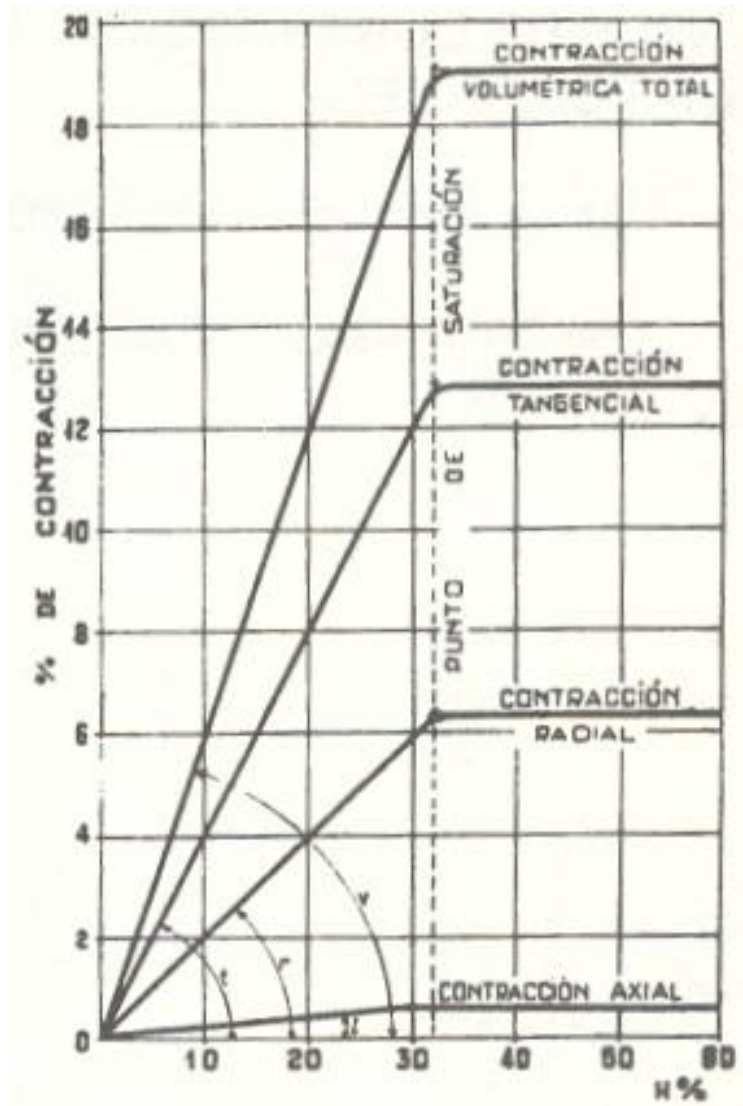


Figura 4.5- Contracción de la madera en función de la dirección y del contenido en humedad. Fuente: Manual Técnico de secado de maderas. Fernández-Golfín Seco & Conde García

## 1.6 MOVIMIENTO DEL AGUA EN LA MADERA

El secado de la madera es un proceso que se fundamenta en la extracción superficial del agua, agua que se encuentra a la vez migrando desde el interior de la madera hacia las capas más externas.

En un principio, el frente de evaporación se localiza en la superficie, pero a medida que el secado se va completando, comienza a interiorizarse dentro de la madera, efectuándose entonces el proceso de evaporación en el interior de la madera. De esta forma, el agua migra en forma de vapor y de agua ligada gracias a un fenómeno que se guía por las leyes de la difusión, desde el frente de evaporación hasta la superficie exterior de la madera (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007). La conclusión de dicho fenómeno ocurre cuando la pieza de madera alcanza en su conjunto la humedad de equilibrio higroscópico (HEH).

El secado de la madera se fundamenta en el principio físico de capilaridad del agua por el que la misma avanza a través de canales microscópicos de un lugar a otro; debido a una diferencia de presión, generada por el secado superficial del agua en las capas externas de la madera (Citemadera, 2009).

El agua de la madera en estado verde se encuentra rellenando todas las cavidades celulares, generándose habitualmente en su seno burbujas de aire. El proceso de circulación del agua libre desde el interior hacia el frente de evaporación, donde pasa a estado gaseoso, se lleva a cabo gracias a fuerzas de tipo capilar que se crean por la existencia de meniscos en las interfases aire-agua de los poros de las membranas de las punteaduras. En esta fase, el proceso depende en su mayor parte del tamaño de los capilares donde aparecen dichos meniscos, incrementándose las fuerzas cuanto más estrechos sean los mismos.

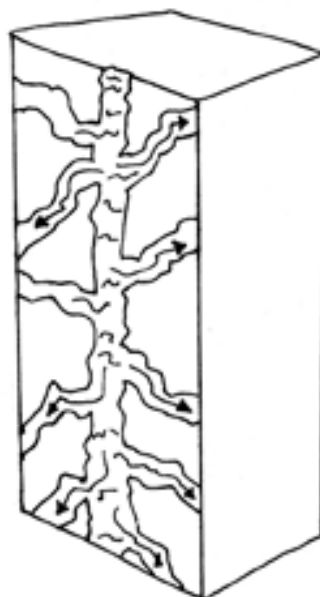


Figura 4.6- Principio de capilaridad del agua. Fuente: Técnicas de Secado de la Madera. CITEMADERA



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

El proceso se ve favorecido por la presencia de burbujas de aire en el interior del agua líquida presente en el interior de la célula, puesto que el calentamiento del aire interior hace que la célula se dilate, produciéndose un empuje del agua hacia el exterior a través de los capilares.

A veces, los capilares de ciertas maderas son tan reducidos que las tensiones que se ocasionan en el interior de la célula se hacen muy fuertes, incluso sobrepasan la máxima resistencia al aplastamiento de la madera, ocasionándose un fenómeno de aplastamiento de las fibras (de forma similar al hecho que ocurre cuando se aspira fuertemente el agua contenida en una botella de plástico) que se conoce con el nombre de colapso. Este fenómeno de colapso se ve dificultado por la presencia de burbujas de aire en el interior de las cavidades celulares, presentándose el colapso únicamente en maderas altamente impermeables y en zonas carentes de burbujas de aire (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007). Debido a esta razón, dicho fenómeno sólo concurre en ciertas especies de madera muy impermeables (eucalipto, roble, castaño, haya) y únicamente en la primera fase del secado, cuando la madera se encuentra aún en estado verde. La temperatura seca muy elevada, la baja humedad relativa y todos aquellos factores que pudieran acelerar el secado también motivarían la ocurrencia de colapso en las maderas susceptibles a este fenómeno.

Una vez que el agua líquida se ha evaporado, ha de migrar por difusión desde el frente de evaporación hasta la superficie de la pieza, donde el aire circulante la eliminará. Si ocurre que la madera es introducida ya presecada (es decir, que su contenido en humedad sea menor al 30%), este fenómeno regirá el proceso de secado desde su principio.

El fenómeno de difusión sigue leyes determinadas, y ocurre debido a la existencia de gradientes de humedad (la humedad se traslada de las zonas donde está más concentrada a las de más baja concentración), de gradientes de temperatura (la humedad migra a las zonas más frías desde las más calientes), a la combinación de ambos o a otras causas que son motivos de estudio hoy en día.

Es por ello que el secado que se haga de forma correcta pasa por lograr que los gradientes de humedad y temperatura actúen en el mismo sentido, o que su balance sea positivo hacia el exterior, para que la humedad se traslade desde el interior hacia el exterior en el menor tiempo posible (Fernández-Golfín Seco & Conde García, 2007).

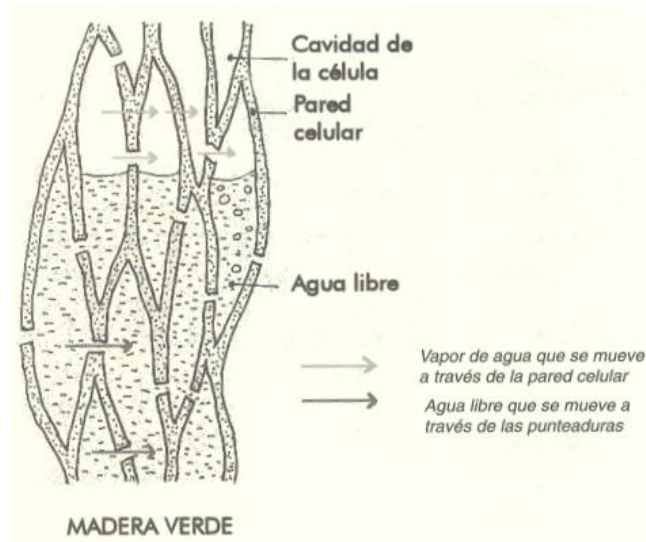


Figura 4.7- Esquema del movimiento del agua líquida y del vapor de agua dentro de la madera. Fuente: Manual Técnico de secado de maderas. Fernández-Golfín Seco & Conde García

Por último, señalar que la temperatura es un factor del que depende el fenómeno de la difusión, incrementándose de forma exponencial el valor del coeficiente de difusión conforme se aumenta la temperatura. Esta es la razón del hecho de que por debajo del PSF el secado se reduce en tiempo cuanto mayor va siendo la temperatura de la madera. Si se reduce el contenido de humedad, el proceso de difusión se dilata en el tiempo, lo que para conseguir que el ritmo de este fenómeno se mantenga constante se hace necesario elevar gradualmente la temperatura. Esta es la causa de que conforme el contenido de humedad disminuye, los programas de secado utilicen temperaturas más elevadas y menores humedades relativas.

Se puede decir que los programas de secado son “recetas” conseguidas con años de mucha práctica, para sacar el agua tanto libre (primera fase) como ligada (segunda fase) a la máxima velocidad posible según la especie que se trate. Estos programas son recomendaciones que deberían adaptarse a las características concretas de cada especie y de cada secadero particular.

## 2. PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA GENERAL DEL SECADO DE LA MADERA

El secado de madera es el proceso mediante el cual se elimina el exceso de agua en la madera. Se aplica con el propósito de estabilizar a la madera para un óptimo procesamiento y trabajabilidad (CITEmadera, 2009).

La tecnología del secado estudia el procedimiento de extraer agua de la madera, de forma que se pueda obtener un producto libre de defectos y alteraciones que hagan disminuir su valor, e incluso que dicho producto pudiera continuar su transformación sin causar problemas inducidos por el secado. Para conseguirlo, se han de llevar a cabo las siguientes acciones:



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

- Suministrar el calor requerido para lograr que el agua contenida en la madera se evapore.
- Inducir el desplazamiento por capilaridad del agua líquida del interior de la pieza al lugar donde se evapora y después transportar el vapor, producto de la evaporación, por difusión hasta la superficie (a más temperatura, el proceso de circulación del agua en el interior de la madera es más rápido).
- El vapor generado en la evaporación, debe ser arrastrado de la superficie de la pieza.

Por otra parte, para conseguir un secado óptimo es necesario atender las siguientes exigencias (que no pueden ser obviadas):

- La madera ha de secarse en el menor tiempo posible.
- La madera debe secarse sin daños.
- La madera debe secarse lo más económicamente posible.

La problemática radica en que si se desea secar con rapidez, se asume el riesgo de que se acontezcan gradientes de humedad que, debido a la merma, pueden afendar externa e internamente la madera. Por otro lado, si el secado se sucede de forma muy lenta, el coste del almacenamiento en el que se incurre puede ser inviable.

En la práctica, se debe conseguir un equilibrio de estas tres premisas, sopesando especialmente la situación económica que impere en cada momento (Álvarez Noves, 1985).

Una madera se debe secar hasta aquel valor que sea similar a la humedad de equilibrio higroscópico (HEH) del ambiente donde vaya a ser utilizada. Dicha HEH varía según el uso que se vaya a dar a la madera (interior o exterior), de la zona geográfica y de la época del año.

Así por ejemplo, las maderas que estén destinadas a un uso exterior, en función del área geográfica donde vayan a ser empleadas, han de secarse hasta una humedad comprendida entre dos valores extremos (HEH mínima – HEH máxima), tomándose como valor óptimo el medio de ambos extremos. En general, el valor medio más conveniente es el del 13%.

Si por el contrario, las maderas se destinan a uso interior de las viviendas, la solución más simple es descontar de los valores medios anteriores un 2% cuando se trate de zonas costeras, y un 4% en las zonas de interior, pudiéndose descontar otro 2% adicional en el caso de viviendas dotadas de calefacción muy fuerte (calefacción central). Habitualmente se podría utilizar como valor medio más ventajoso un 8%.

Tal y como se señaló con anterioridad, el secado es un fenómeno superficial que provoca la generación de un gradiente de humedades, lo que conlleva la aparición de tensiones; tensiones que pueden verse incrementadas por aquellas que aparecen a consecuencia de la diferente merma de la madera en función de la dirección considerada, lo que en su conjunto podría ocasionar la aparición de fendas y alabeos. Durante una operación de secado, las maderas experimentan cambios físicos y químicos (Keey et al., 2000), los cuales afectarán a su calidad al final del secado. El secado de madera es una operación trascendental en su proceso de manufacturación, durante el cual se desarrolla una distribución de humedad y temperatura no



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

uniforme en el material, que redundará en la generación de defectos de secado en muchas ocasiones (Martinovic et al., 2001). Los fundamentos de los fenómenos de transporte de agua y calor que se generan durante el secado de madera pueden ser consultados en referencias como: Middleman (1997), Incropera et al. (2006), Geankoplis (2003), Majumdar (2005) y Bird et al. (2006).

Puesto que el principio del secado se basa en sacar agua de la madera, se ha de procurar que el gradiente de humedad que se origine no provoque los defectos que acaban de citarse.

De esta forma, las tensiones originadas durante el proceso de secado van a ser función de:

- La velocidad del secado: cuanto mayor sea la velocidad, existirá un mayor gradiente de humedad, por lo que se originarán más tensiones. Por tanto, la velocidad debe ser menor cuanto:
  - o Mayor sea el espesor de la pieza.
  - o Mayor sea el coeficiente de contracción volumétrica.
  - o Mayor sea la relación entre el coeficiente de contracción tangencial radial.
  - o Menor sea la resistencia de la madera.
- El espesor de las piezas: a mayor espesor, habrá mayor diferencia de humedad de las piezas del interior al exterior, por lo tanto, mayores tensiones.
- El coeficiente de contracción volumétrica: un mayor coeficiente originará una mayor tendencia a mermar, y por tanto, mayores tensiones.
- De la relación entre el coeficiente de contracción tangencial y radial: a mayores desigualdades, mayores serán los desequilibrios, y mayores tensiones.
- De la resistencia de la madera: cuanto menos resistente sea la madera a los esfuerzos de tracción perpendiculares a la fibra, menores son las tensiones admisibles.

Los factores que determinan la velocidad de secado de una pieza de madera son:

- La humedad del aire: conforme disminuye la humedad relativa del aire, la capacidad de éste para absorber agua de la madera será mayor, por lo que el secado se realizará más rápidamente.
- La temperatura: a medida que se asciende la temperatura, más capacidad de agua tendrá el aire, y por tanto más rápido se realizará el secado.
- La presión atmosférica: conforme disminuye la presión atmosférica, mayor será la capacidad de agua que tenga el aire, por lo que se incrementará la velocidad de secado.
- La velocidad de circulación del aire: si no existiera circulación del aire, el aire de alrededor de la pila secaría la misma en un primer momento, pero entonces quedaría saturado de humedad. En esta situación, si el aire no fuera renovado, el proceso de secado se detendría, por lo que siempre se hace necesaria la circulación del mismo alrededor de la pila para que su renovación sea un proceso continuo.

Las tecnologías del secado de la madera que gozan de una mayor implantación industrial son las siguientes:

- Secado al aire o natural.
- Secado al aire seguido de secado en cámara.
- Presecado industrial.



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

- Secado con aire climatizado (tradicional y a alta temperatura).
- Secado al vacío.
- Secado por radiofrecuencia.

Aunque actualmente en desuso, existen otros métodos de secado de la madera menos respetuosos con el medio ambiente, por lo que este factor ha hecho que paulatinamente hayan sido abandonados. Tal es el caso del secado por solventes o el secado por ebullición en aceite.

Independientemente del método de secado empleado, las instalaciones de secado de la madera (secaderos) mediante aire climatizado cuentan con los siguientes elementos comunes:

### 1. Cámara de secado:

Actualmente el secado en cámaras es un proceso fundamental para agregar valor añadido a la madera (Pezo, 2007). Suele ser un espacio prefabricado que incorpora en los paneles de chapa galvanizada o de chapa de aluminio de sus techos y paredes, un aislante térmico (tipo sándwich: espuma de poliuretano, polietileno de alta densidad, lana de vidrio o lana de roca) para disminuir las pérdidas térmicas desde su interior.

Estas cámaras deben ser estancas al vapor de agua para permitir trabajar en condiciones de fuerte higrometría y resistentes a la corrosión por los ácidos de la madera que pudieran desprenderse.

El tamaño de la misma dependerá de:

- La calidad del secado requerida (a menor tamaño mayor calidad de secado).
- La velocidad del proceso (a menor tamaño mayor velocidad del proceso).
- Los costes de la operación de secado (a mayor tamaño menor coste por m<sup>3</sup> de capacidad útil).
- Los costes de amortización del equipo (a mayor tamaño mayor coste de amortización).

### 2. Dispositivos de climatización del aire:

Por una parte, incrementan la temperatura de éste cuando se le hace pasar a través de baterías de radiadores por los que circula agua caliente proveniente de la caldera de combustión, y por otra parte regulan la humedad ambiental del secadero a base de inyectores de vapor de agua, procedente de la propia caldera de calefacción, y de conductos o chimeneas que comunican la cámara de secado con el exterior.

### 3. Sistema de circulación del aire:

El sistema de circulación del aire en el interior de la cámara es fundamental a la hora de conseguir una buena homogeneidad en las condiciones higrotérmicas a lo largo del flujo de aire, lo que influye decisivamente en la calidad final del secado.

El aire en el interior del secadero se mueve mediante ventiladores helicoidales colocados en las paredes o en el techo de la cámara de secado. El aire, impulsado por estos ventiladores, atraviesa las baterías de calefactores y los sistemas de humidificación y/o deshumidificación de los que dispone el secadero, quedando éste convenientemente climatizado para dirigirse hacia las pilas de madera que atravesará





## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

por los espacios libres que dejan entre si las sucesivas capas de madera por el efecto de los rastreles empleados en el apilado de la misma.

Por lo general, deben contar con una potencia que va de los 0,15 a los 0,20 kW por m<sup>3</sup> de capacidad útil, cuando éste ha sido proyectado y diseñado para el secado fundamentalmente de frondosas y de aproximadamente 0,30 kW/m<sup>3</sup> cuando éste ha sido proyectado y diseñado para el secado de coníferas (Fernández Golfín et al., 2007).

La variabilidad de comportamiento que presentan las distintas especies de madera durante el secado es un hecho conocido por todos. Estas diferencias de comportamiento, no sólo influyen en la conducción del proceso de secado, sino que también es necesario tenerlas en cuenta a la hora de realizar el diseño de las instalaciones y la tecnología a emplear (Pedras Saavedra, 2009). La velocidad de secado de la madera de *Pinus pinaster* Ait. mediante métodos convencionales de secado artificial es relativamente rápida, aunque presenta moderados riesgos tanto de afendamiento, como de deformación, siendo frecuente la aparición de exudaciones de resinas.

Además del secado convencional en cámara mediante aire climatizado, también se ha utilizado con éxito para el secado de esta madera el secado a alta temperatura (100°C), lo que permite y posibilita su secado en pocas horas. No obstante, si se emplean para su secado temperaturas superiores a los 70°C, presenta el inconveniente de la más que segura aparición de exudaciones de resina, el probable desprendimiento de nudos y la posible aparición de colapso o cementaciones debido a las bolsas de agua que, irregularmente distribuidas, puede presentar en su interior.

A continuación se da paso a la exposición de la teoría relativa al tipo de secado que a esta investigación concierne: el secado natural.

### 2.1 EL SECADO NATURAL AL AIRE DE LA MADERA

Antes de proceder a su elaboración definitiva, la mayor parte de la madera aserrada de todo el mundo se seca al aire, incluso como proceso previo a su posterior secado final en cámara. De esta forma, aproximadamente el 80 por 100 de la producción española de madera aserrada (cerca de tres millones de metros cúbicos) es tratada de esta forma (Álvarez Noves, 1985).

Dado que el secado natural supone el secado de tales cantidades de madera aserrada, el lector puede hacerse una idea de la trascendencia que supone llevarlo a cabo lo más eficientemente posible.

En el secado natural a la intemperie, el aire es el agente secante, siendo su humedad relativa y su velocidad los dos parámetros fundamentales para el secado de la madera, por lo que éste será función del clima local y de su variabilidad a lo largo del año. Así por ejemplo, el proceso de secado se sucederá con más éxito en áreas ventosas donde la pila de madera sea atravesada durante el verano por vientos extremadamente secantes, que por ejemplo en zonas sin viento y con nieblas.

## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

El método pasa por apilar la madera recién aserrada en pilas ubicadas directamente a la intemperie o en el mejor de los casos bajo cubierta. De este modo se encuentra sometida a la acción de la atmósfera ambiental, donde el aire es quien va a provocar el intercambio calorífico (aportando el calor necesario para evaporar el agua contenida en la madera) y a arrastrar el vapor de agua fruto de dicha evaporación (Álvarez Noves, 1985). Para que acontezca una circulación horizontal del aire que atraviese la pila se debe colocar la madera en capas separadas entre sí por pedazos de madera denominados listones o rastreles, mientras que la vertical se consigue separando unos centímetros entre sí las tablas que componen una capa.

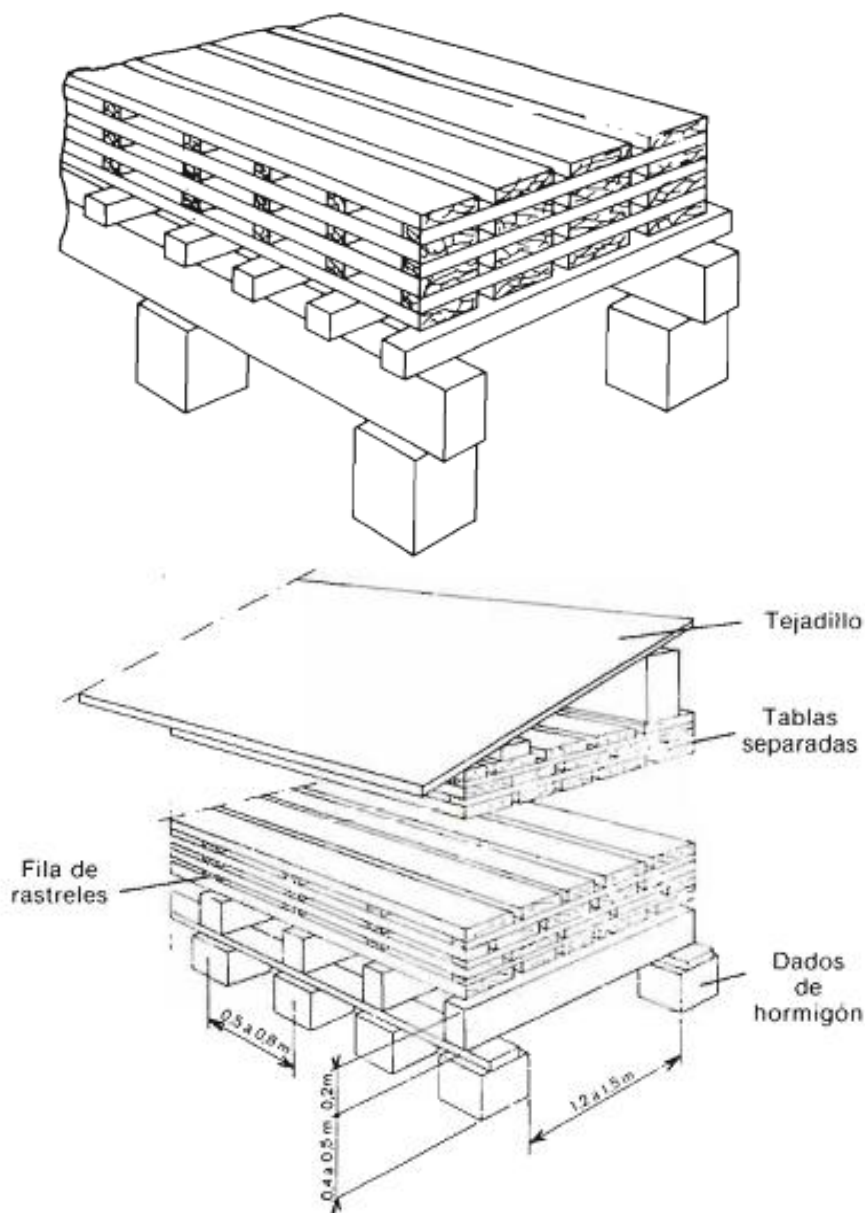


Figura 4.8- Apilado y enrastrelado de madera para secado al aire libre. Fuente: Secado de la madera al aire. Hojas Divulgadoras Núm 19/84 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Álvarez Noves



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

De acuerdo con Fernández-Golfín Seco & Conde García (2007), el proceso de apilado y enrastrelado de la madera es fundamental para asegurar un correcto secado, debiéndose prestar atención a los siguientes aspectos:

1. Tipo de madera a secar y la época en la que comienza el secado:
  - a. Frondosas apiladas en otoño o invierno: dado que el proceso de secado comenzará a sucederse lentamente, se requiere favorecer la circulación horizontal del aire haciéndose recomendable la utilización de rastreles de mayor grosor.
  - b. Frondosas apiladas en primavera o verano: al ser el aire mucho más seco y caliente, el secado comenzará con gran brusquedad, por lo que se tendrá que limitar la circulación horizontal del aire, empleando para ello rastreles de menor grosor.
  - c. Coníferas apiladas en otoño o invierno: el comienzo del secado será lento, por lo que al igual que ocurría con las frondosas apiladas en esta época del año, es necesario favorecer la circulación horizontal del aire haciéndose recomendable la utilización de rastreles de mayor grosor.
  - d. Coníferas apiladas en primavera o verano: en esta situación, prima evitar que aparezcan ataques de hongos cromógenos que el deterioro superficial de la madera por su secado rápido, por lo que han de utilizarse rastreles de las mismas dimensiones que en el caso anterior y adicionalmente se tratan las pilas de madera con algún producto eficaz contra su azulado.
2. El empleo de rastreles de coníferas o de frondosas claras (para evitar manchas en la madera a secar), rectos, sanos, sin defectos y secos (15% de humedad como máximo).
3. Elevar la base de las pilas de 40 a 60 cm sobre el suelo para evitar la aparición de hongos en las capas inferiores de las pilas como consecuencia de la acumulación en esas zonas de aire más húmedo y frío. Ello se consigue mediante la utilización de cubos de hormigón o de rastreles más grandes para poyar la parte inferior de la pila.
4. La protección de las pilas de la lluvia y de los rayos del sol, por lo que se recomienda utilizar tejadillos colocados sobre el extremo superior, o efectuar el secado bajo cubierta.
5. La disposición de las pilas de madera en el parque: la forma de disponer las diferentes pilas en el patio de maderas ha de ser alineadas en parejas de dos (si no son demasiado anchas), o una sobre la otra (en caso de no ser suficientemente altas). La longitud de las filas de pilas dependerá de la superficie disponible, y su altura y anchura se encontrará entre los 3.4 metros y 2-2,5 metros respectivamente. El espacio entre pilas consecutivas debe ser de 0,5-0,6 metros, dejándose calles entre filas o dobles filas suficientemente anchas para el manejo de la maquinaria disponible en el parque. En cuanto a la orientación de las pilas será aquella que permita al viento dominante atravesarlas de forma perpendicular. En el caso de que la madera se apile en vertical para su secado, las tablas han de cruzarse a modo de tijera. De hecho se ha comprobado que el secado con esta disposición es mucho más rápido que en posición horizontal, por lo que en ocasiones se emplea este método para favorecer el presecado.

## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

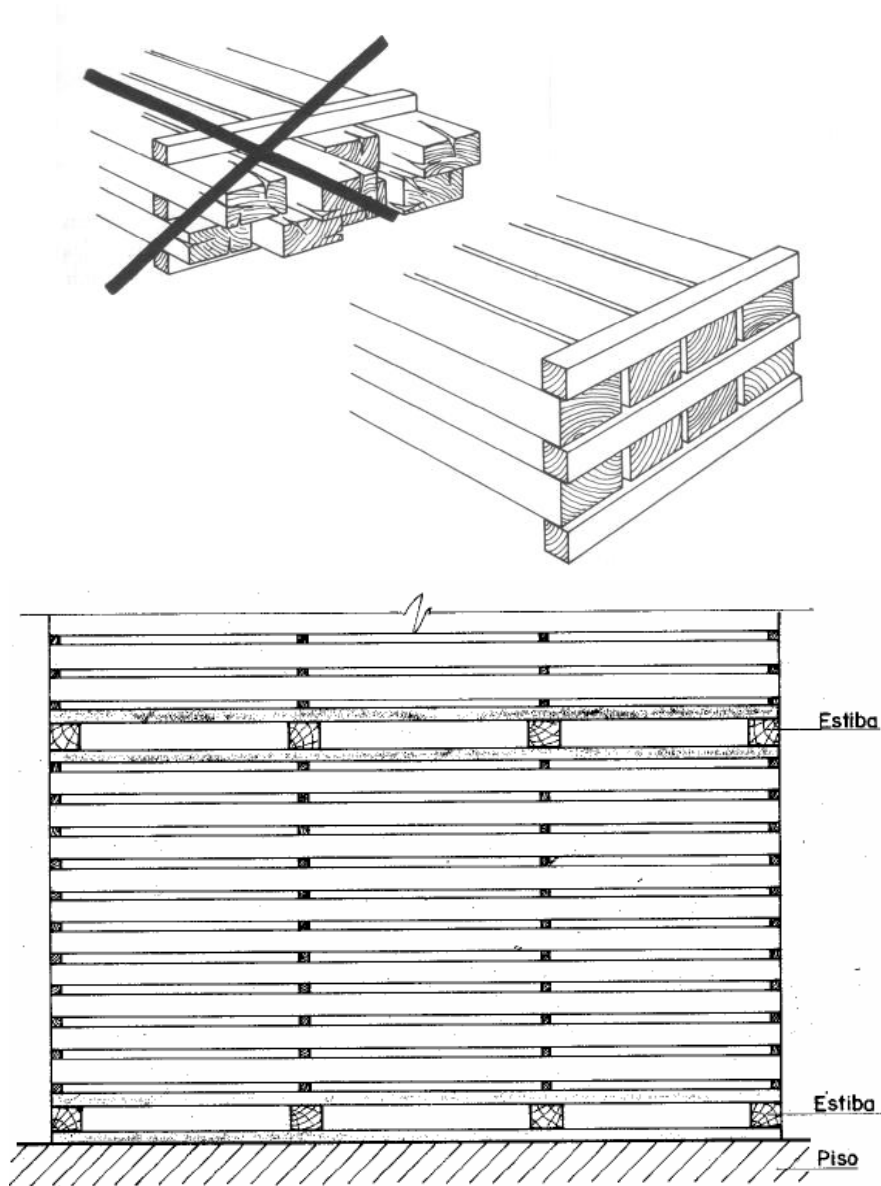


Figura 4.9- Apilado y enrastrelado correctos de la madera aserrada. Fuente: Kurú Revista Forestal. Muñoz Acosta

Aunque habitualmente los aserraderos emplean el método horizontal de apilado de piezas, como se ha mencionado es posible encontrar parques donde la madera se encuentre apilada verticalmente, en tijera, de canto, en espiga, en ondas, etc.

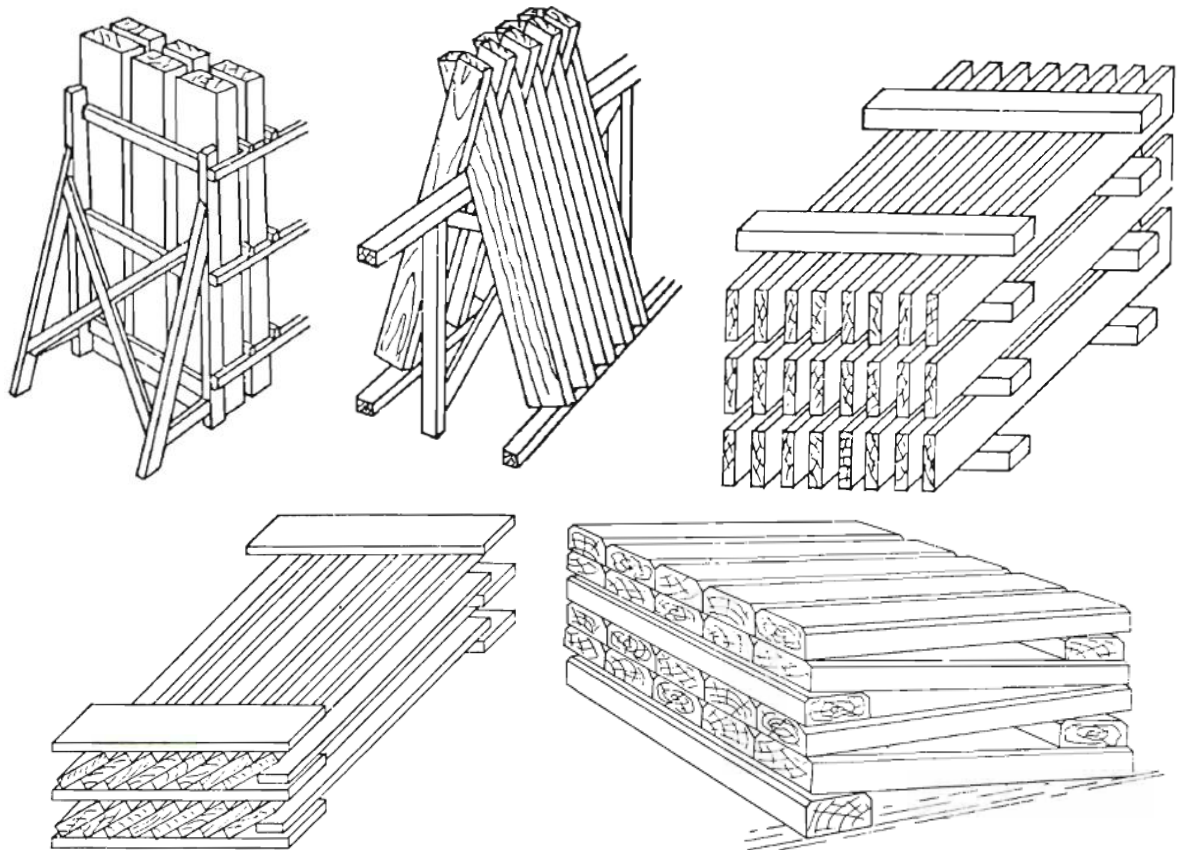


Figura 4.10- Apilado vertical (arriba izq.) apilado en tijera (arriba centro), apilado de canto (arriba dcha.), apilado en espiga (abajo izq.) y apilado en ondas (abajo dcha.). Fuente: Secado de la madera al aire. Hojas Divulgadoras Núm 19/84 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Álvarez Noves

### 2.1.1 Duración del secado al aire de la madera

La duración de tiempo de secado natural depende de los siguientes factores que se agrupan en diferentes categorías (Álvarez Noves, 1985):

1. Factores relativos a la madera:
  - a. Especie: se trata del factor más influyente, pues el secado de una conífera (pino, abeto, etc.), y una frondosa dura (roble) es muy diferente.
  - b. Grosor de la pieza a secar: durante el oreado al aire, la temperatura es relativamente baja, lo que hace que el agua sea conducida lentamente desde el interior hacia el exterior. Por tanto, la duración del secado será mayor en una pieza gruesa por tener el agua una mayor dificultad a la hora de alcanzar la superficie.

## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

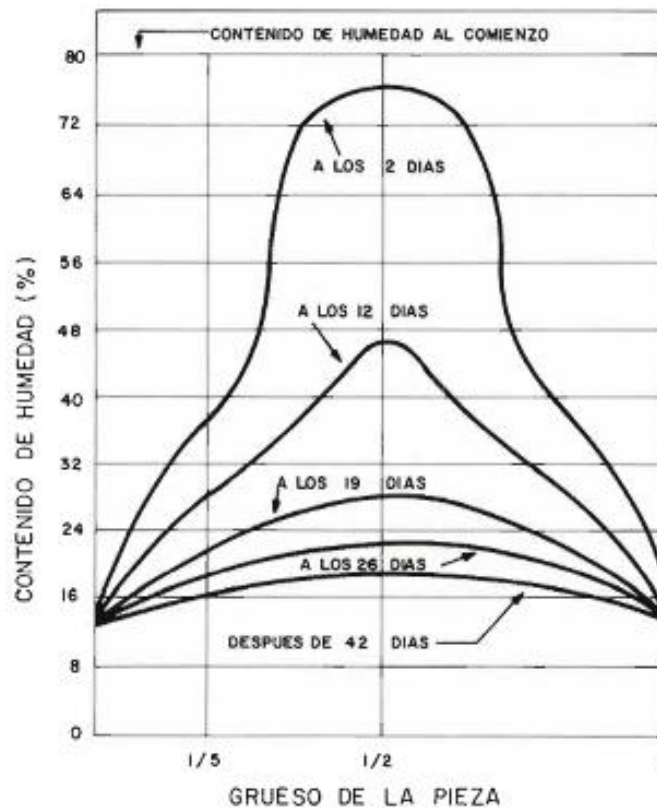


Figura 4.11- Distribución del contenido de humedad a diferentes tiempos durante el secado al aire de una pieza de madera de frondosas. Fuente: Secado de la madera al aire. Hojas Divulgadoras Núm 19/84 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Álvarez Noves

- c. Humedad final: si se desea un mayor descenso de humedad, se necesita más tiempo para conseguirlo. Particularmente, mencionar que por debajo del punto de saturación los tiempos de secado son más extensos.
  - d. Albura y duramen: aunque el duramen posea menos humedad, tarda en secar más que la albura, ya que el agua encuentra muchas dificultades para circular.
2. Factores climáticos: las condiciones de temperatura y humedad de un escenario hacen que la madera se estabilice alcanzando una humedad de equilibrio o humedad límite tras el paso del tiempo. Es por ello que el secado se toma un mayor tiempo para las regiones húmedas y frías y al contrario para las regiones secas y calientes, donde el proceso se acelera.
  3. Época de apilado: la fecha de apilado tiene una gran trascendencia en el tiempo de secado<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Como por ejemplo, los tiempos de secado de algunas especies en 27mm de grosor para alcanzar un 20% de Hfinal pueden variar, según la época de apilado, de la siguiente forma:

- a. Pino silvestre: de 1 a 5 meses.
- b. Castaño: de 2 a 6 meses.
- c. Nogal: de 3 a 6 meses.
- d. Haya: de 3 a 7 meses.
- e. Roble: de 4 a 10 meses.



### 2.1.2 Ventajas y desventajas del secado al aire de la madera

Entre las ventajas del secado natural al aire, es posible mencionar que:

- Al tratarse de un sistema de secado que se caracteriza por su lentitud a baja temperatura (a excepción hecha de que se acontezcan veranos calurosos), la madera no sufre cambios rápidos de humedad que provoquen riesgos, particularmente cuando la humedad está por debajo del punto de saturación de las fibras. Es muy difícil por tanto, que se produzca la aparición de fendas o curvaturas. De hecho, una madera secada al aire es susceptible de ser directamente empleada, si su uso final es exterior, en la misma región donde fue secada.
- Se consigue que la diferencia de humedad entre el corazón de la pieza y la superficie de ésta sea mínima; ya que por un lado la velocidad de evaporación es lenta y, por otro, los factores climáticos que influyen en el secado durante el día se invierten en la noche, produciéndose un enfriado del aire durante la noche, pudiéndose elevar su grado higrométrico hasta alcanzar la saturación en el punto de rocío. De este modo por la noche apenas se sucede el proceso de secado (incluso la pieza adquiere habitualmente humedad en la superficie), restableciéndose así la circulación del agua desde el corazón hacia la superficie si esta última estaba interrumpida.
- Es posible mantener el color natural de maderas con tendencia a colorearse bajo el efecto del calor y de la humedad por oxidación, si se toman las precauciones adecuadas.
- Las energías empleadas son totalmente gratuitas (viento y sol), lo que conlleva un abaratamiento del coste de la operación.
- Se consigue una buena calidad del secado.
- No se hace necesario acondicionar la madera.

Algunas de las desventajas del secado al aire son las siguientes:

- Lentitud del proceso de secado; la duración del secado al aire depende de múltiples variables como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire, la especie de la madera a secar, el grosor de las piezas, los porcentajes de albura y duramen, etc.
- El secado lento conlleva la necesidad de inmovilizar una gran cantidad de dinero.
- Los gastos en los que se incurren para conseguir un secado de calidad se centran en la preparación del suelo, techado, buen apilado, etc, a veces cuantiosos.
- La superficie de terreno requerida es importante.
- La madera puede ser atacada fácilmente por hongos (azulado) e insectos.
- Habitualmente no se pueden alcanzar humedades de madera inferiores al 15%. Haciendo uso exclusivamente de secado natural, en algunas regiones españolas no es fácil bajar la humedad final de esa cifra, lo que vetaría el uso interior de esas maderas.



CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

3. CONSTANTE DE SECADO Y MODELO DE NEWTON

Se conoce como gradiente de secado (o potencial de secado) a la proporción que existe entre el contenido de humedad de una pieza y el contenido de humedad del medio donde se encuentre ubicada. En este sentido, a mayor gradiente, a mayor pérdida de agua.

$$GS = \frac{CH_i}{CH_e}$$

Dónde:

$CH_i$  el contenido de humedad inicial de la muestra a secar;

$CH_e$  el contenido de humedad en equilibrio con el medio.

El período necesario para que el contenido de humedad se reduzca a la mitad es constante, y será igual al preciso para volverse a reducir en la misma proporción, y así de forma sucesiva hasta conseguir el equilibrio higroscópico (Gallo Mejía, 2013). Este período es función de cada material a secar, así como de la denominada constante de secado, que será específica para el material en cuestión.

La siguiente figura muestra este comportamiento, el cuál fue descrito por el filósofo y biólogo escocés John Scotth Haldane en sus estudios sobre la enfermedad de descompresión de los buzos: mientras se realiza la actividad del buceo, el cuerpo absorbe nitrógeno que pasa a ser disuelto en los tejidos en base a la Ley de Henri (cuanto mayor es la presión, mayor es la cantidad de moléculas de gas que se disuelven en el líquido); a medida que el buzo asciende a la superficie, se va reduciendo la presión ambiental y ese nitrógeno ha de ser eliminado paulatinamente por medio de la respiración, para evitar que el nitrógeno origine microburbujas nocivas para el organismo.

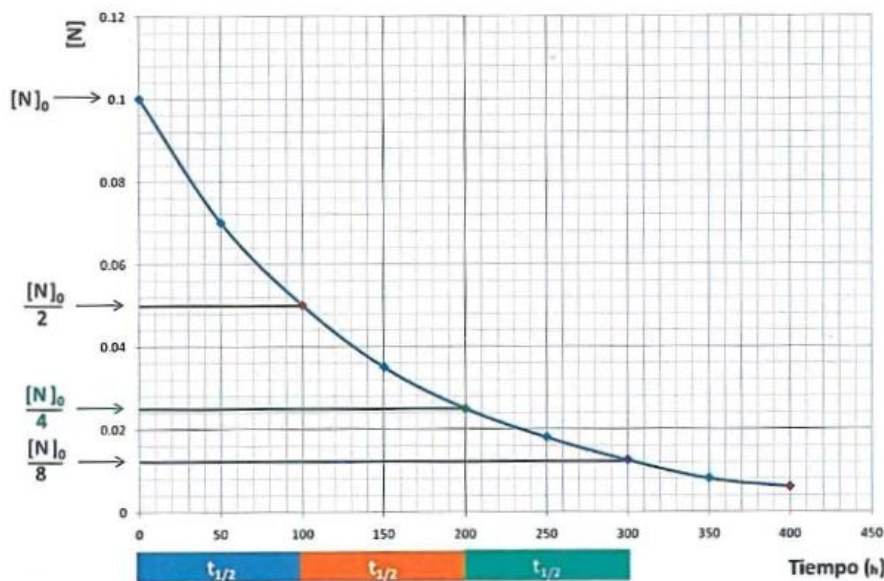


Figura 4.12- Reducción paulatina del gradiente. Fuente: Sumideros habitables de carbono; elementos constructivos derivados de bambú guadua. Gallo Mejía



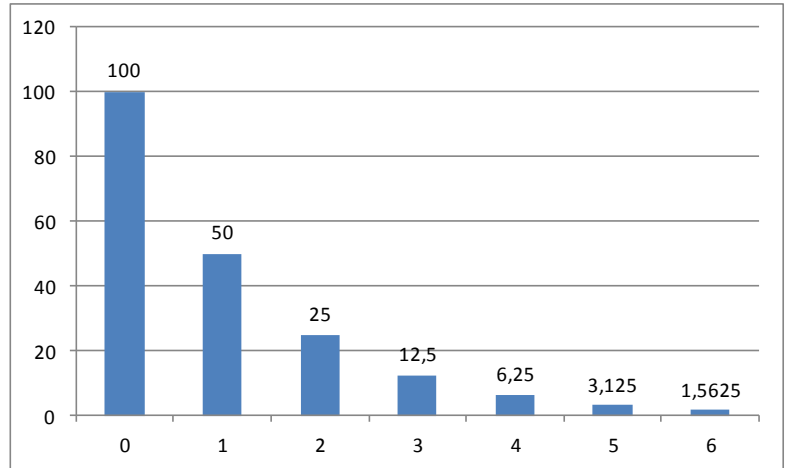


CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

Se trata de un fenómeno análogo a la Ley de enfriamiento de Newton: “la rapidez con que un objeto se enfría es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre el objeto y el medio que lo rodea”. La siguiente tabla representa el concepto de período o tiempo de secado medio, el cual se define como el lapso necesario para que el contenido de humedad se reduzca a la mitad.

Tabla 4.1- Decrecimiento del gradiente de humedad

Períodos transcurridos	Remanente de H <sub>0</sub> (%)	Gradiente
0	100	H <sub>0</sub>
1	50	H <sub>0/2</sub>
2	25	H <sub>0/4</sub>
3	12,5	H <sub>0/8</sub>
4	6,25	H <sub>0/16</sub>
5	3,125	H <sub>0/32</sub>
6	1,5625	H <sub>0/64</sub>
...		
N	100/2 <sup>N</sup>	



Fuente: Sumideros habitables de carbono; elementos constructivos derivados de bambú guadua. Gallo Mejía

Al igual que muchos de los procesos de la naturaleza (como por ejemplo de descontaminación ambiental, de descomposición orgánica, etc) la curva generada es una exponencial decreciente, válida para determinar el tiempo necesario para lograr una calidad de secado específica. En este sentido, es posible determinar el tiempo de secado como sigue: si al instante de tiempo *t* existe una cantidad de humedad *H*, entonces, el número  $\Delta H$  que se evaporaría en cualquier intervalo de tiempo  $\Delta t$  será proporcional a la humedad *H*. Por tanto, para *H* contenido de humedad y para el período de tiempo *dt*, es posible esperar que el porcentaje de agua se reduzca en  $\lambda H \cdot dt$  (donde  $\lambda$  es la denominada constante de secado y depende del material a deshidratar).

Siguiendo a Gallo Mejía (2013):

$$\Delta H = -\lambda H \Delta t \rightarrow dH = (-\lambda dt)H \Rightarrow \frac{dH}{H} = -\lambda dt$$

Al tratarse de un proceso de deshidratación en la que la humedad desciende con el tiempo debido al proceso de evaporación, se debe colocar el signo negativo (-). Si la expresión anterior se integra entre los límites de humedad inicial (H<sub>0</sub>) y humedad a un tiempo t (H):

$\int_{H_0}^H \frac{dH}{H} = \int_0^t -\lambda dt$  para dar  $\ln = -\lambda t + C$ , en la que C es una constante de integración. Tomando exponenciales:

$$H = e^C \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow H = e^C = H_0 \quad \text{para } t=0$$



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

Siendo  $H_0$  el contenido inicial de humedad en la pieza para el instante  $t=0$ . De esta forma, la expresión de deshidratación definida por el modelo de Newton<sup>4</sup> puede quedar como sigue:

$$H = H_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Dónde:

- H el contenido de humedad de la pieza al instante  $t$ ;
- $H_0$  el contenido de humedad inicial de la pieza al instante  $t=0$ ;
- $\lambda$  la constante de secado.

Ahora bien, si  $H_0$  es el contenido de humedad inicial de la pieza al instante  $t=0$ , tras un tiempo de secado igual a  $t_{1/2}$ , se habrá logrado reducir el porcentaje de humedad  $H$  de acuerdo a la anterior expresión. Para las fibras de madera en determinadas condiciones existe un intervalo fijo  $t_{1/2}$  denominado período o tiempo de secado medio, durante el cual, el porcentaje de humedad inicial se reduce a la mitad  $H_0/2$ .

Si en la expresión determinada anteriormente se reemplaza  $H = H_0/2$ , se origina una nueva fórmula que relaciona la constante de secado  $\lambda$  con el período de secado medio  $t_{1/2}$ , tal y como sigue:

En la fórmula de decrecimiento exponencial se sustituye  $H(t_{1/2}) = H_0 \cdot 1/2$ , de forma que:

$$H_0 \cdot 1/2 = H_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}} \rightarrow e^{-\lambda t_{1/2}} = 1/2 \rightarrow -\lambda t_{1/2} = \ln 1/2 = -\ln 2$$

De tal forma que el período de secado medio será:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Dónde:

- $t_{1/2}$  periodo de secado medio para que el contenido de humedad baje a la mitad;
- H el contenido de humedad de la pieza al instante  $t$ ;
- $H_0$  el contenido de humedad inicial de la pieza al instante  $t=0$ ;
- $\lambda$  la constante de secado.

### 4. MODELO DE DESHIDRATACIÓN DE PELEG

El proceso de secado surge en la industria agroalimentaria como método para preservar los alimentos. Sin embargo, esta operación comenzó a ser empleada en ingeniería para convertir ciertos materiales que poseían contenido inicial de humedad, en materiales estructurales aptos cuyo contenido de agua podía ser controlado. Hoy en día se secan una gran cantidad de productos por razones de diferente índole: preservación, reducción de peso o volumen para su transporte, mejoramiento de su estabilidad dimensional, o como una etapa más de su procesamiento (Hernández Rodríguez & Quinto Díez, 2005).

<sup>4</sup> El modelo de Newton constituye una ecuación exponencial muy sencilla con la que es posible predecir el nivel de humedad alcanzado por un material, para cada instante  $t$ , basado en fenómenos que ocurren en la naturaleza.

## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

En 1988, Peleg enunció una ecuación que explica la relación entre la humedad del producto y el tiempo de remojo de forma fiable y sencilla. En la actualidad es un modelo ampliamente utilizado en el campo de la tecnología de los alimentos, pues ha sido aplicado en infinidad de frutos bien conocidos en España tales como avellanas, cacahuetes, garbanzos, soja, piñón, etc por diversos autores (Sopade y Obekpa, 1990; Piqué, 1995; Abu-Ghannam y McKenna, 1997; Taiwo et al., 1998; Cárcel, 2004, respectivamente).

Habitualmente, el modelo de Peleg se aplica tanto en procesos de humectación o rehidratación de alimentos, como en deshidratación. La ecuación se ajusta de manera excelente a aquellos productos que poseen una curva de humectación característica donde se representa el contenido de agua del producto en función del tiempo de remojo, cuyo tramo inicial se caracteriza por una fuerte absorción, una zona intermedia curva, y un tramo final asintótico a una humedad final de equilibrio (Cárcel, 2004). Autores como Abu-Ghannam y McKenna (1997) y Turhan et al. (2002), manifiestan que la ecuación de Peleg puede ser aplicada a toda la curva o a algún tramo, siendo la zona curvilínea existente previa a la humedad de equilibrio la zona donde se produce un mejor ajuste.

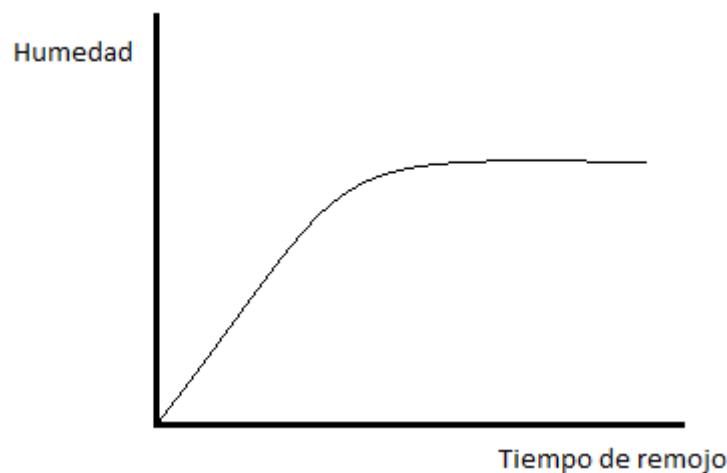


Figura 4.13- Curva de humectación característica de Peleg. Fuente: Elaboración propia

Como se ha señalado, la ecuación de Peleg es una propuesta matemática simple, que además de su fácil manejo, ya ha sido validado en la modelización de fenómenos de absorción de agua para una infinidad de materiales tales como garbanzos, frijoles rojos, frijol cargamento ombligo amarillo (Agudelo, et al., 2009) avellana, arroz paddy, sésamo, fruta deshidratada (Ceballos et al., 2009), caupí, maní, mamey (Corzo, et al., 2008), papa (Della Roca, 2010), mandioca (Linares et al., 2011) etc; lo que constituye un modelo de suma importancia en la industria agroalimentaria, tal y como queda puesto de relieve en la infinidad de artículos científicos existentes relacionados con este campo, la mayoría en lengua inglesa de revistas de notable importancia como la “International Journal of Food Science and Technology”, “Journal of Stored Products Research”, “Biosystems Engineering”, “Critical Reviews in Food Science and Nutrition” pero también en lengua alemana como por ejemplo “Lebensmittel Wissenschaft und Technologie”, o española, como la “Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos”, “Revista, Publicaciones e Investigación: Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales”, o los



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

artículos publicados al otro lado del Océano Atlántico por distintas universidades como la Universidad de Oriente (Venezuela), Universidad de Guanajuato (México), o la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Pero además se trata de un modelo empírico desarrollado por medio de ajustes a datos experimentales con el que también es posible explicar la cinética del secado de diferentes materiales. Es por ello que se ha seleccionado dicho modelo para corroborar su efectividad en la predicción de los tiempos de deshidratación de la madera aserrada.

El modelo de Peleg tiene como expresión:

$$H_t = H_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t}$$

Dónde:

- $H_t$  el contenido de humedad en base seca (%) a un tiempo dado  $t$ ;
- $H_0$  el contenido de humedad inicial (%);
- $K_1$  la constante de velocidad;
- $K_2$  la constante de capacidad;
- $t$  el tiempo del proceso.

En la ecuación, la consideración positiva o negativa de la segunda parte de la misma, es “+” si el proceso es absorción y “-” si es desorción o secado. La constante de velocidad  $K_1$  se relaciona con la velocidad de desorción al inicio del proceso ( $t=0$ ), por la expresión:

$$\frac{dH_t}{dt} = \frac{1}{K_1}$$

A menor coeficiente  $K_1$ , mayor velocidad inicial de secado.

La constante de capacidad  $K_2$  se relaciona con la cantidad de agua a la humedad de equilibrio ( $M_\infty$ ), cuando el tiempo tiende a infinito, por la expresión:

$$H_\infty = H_0 \pm \frac{t}{K_2}$$

Donde  $H_\infty$  es la humedad a tiempo infinito o humedad de equilibrio del producto. Para una  $K_1$  constante, cuanto menor es  $K_2$  mayor será el contenido de agua del producto en el equilibrio.

Linealizando la ecuación de Peleg resulta:

$$\frac{t}{H_t - H_0} = K_1 + K_2 t$$



---

## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---

La representación gráfica de  $\frac{t}{H_t - H_0}$  frente a  $t$ , es una línea recta con ordenada en el origen igual a  $K_1$  y pendiente igual a  $K_2$ .

Finalmente, señalar que la gran ventaja de la aplicación del modelo de Peleg es su simplicidad y sencillez de aplicación y cálculo con medios limitados (Piqué, 1995; Turhan et al., 2002); hecho que explica que haya sido aplicado a un amplio abanico de productos para su procesado en países escasamente desarrollados tecnológicamente.

Existen otros modelos susceptibles de ser aplicados para explicar los procesos de hidratación o secado de productos. Así, el modelo semiempírico de Becker (1960) es otro de los que gozan de un mayor empleo para estos fines, el cual se fundamenta en la primera ley de Fick y aplica un factor de forma para su aplicación a productos independientemente de la geometría que posean (Cárcel, 2004).

Uno de los aspectos más importantes de la tecnología de la madera es el modelado de los procesos de absorción de agua. El modelado de estos procesos es de indudable importancia para el diseño y operación de los secaderos y otros sistemas de procesamiento (Noorolahi et al., 2008).

Hay que señalar que la evaluación de la cinética de absorción de agua mediante simulaciones se podría emplear para predecir las condiciones más adecuadas de absorción. Desde el punto de vista matemático, el problema de la absorción de agua por la madera puede ser tratada como un problema de difusión basado en la segunda ley de Fick de la difusión (Khazaei, 2008).

Sin embargo, la predicción de la transferencia de humedad es una tarea laboriosa, debido a la complejidad en la concepción de técnicas de medición precisas y repetibles. En primer lugar, la madera es un sistema no homogéneo de tres fases. Además, podrían darse diferentes mecanismos cuando el agua fluye en un medio anisótropo (como es la madera) desde diferentes direcciones (Ekstedt, 2002; Malkov et al., 2004; Siau, 1984). En segundo lugar, el proceso de penetración suele acompañarse de multitud de complejos fenómenos (no linealidad del flujo en la fibra, condensación capilar del vapor y tensión superficial en los meniscos aire-líquido, disolución y difusión de gas, migración de agua ligada a través de las paredes celulares, hinchazón de la madera y otras interacciones químicas entre la madera y el agua). Estos fenómenos se deben a que en un medio poroso, el movimiento del agua es sumamente lento, lo que implica que los tiempos de experimentación se dilaten considerablemente en el tiempo. La entrada de agua en la madera puede deberse o a un flujo de masa o a una difusión de vapor de agua dentro de los lúmenes de células, y desde allí a la pared celular; o a una difusión de agua ligada enteramente dentro de la pared celular. En la mayoría de los casos, probablemente ocurren ambos procesos. La penetración de flujo de masa seguido por la difusión en la pared celular, es un proceso mucho más rápido que la difusión ya sea en fase de vapor o de agua ligada (Banks, 1973). En este sentido, los experimentos de absorción de agua son altamente valiosos para predecir la absorción de humedad independientemente de los mecanismos.



## CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES

---



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# CAPÍTULO V. MATERIAL Y MÉTODOS







## CAPÍTULO V. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología que se llevó a cabo para la realización de la investigación en la que se fundamentan los contenidos de esta Tesis Doctoral, y mediante la cual se posibilitó la consecución de los objetivos planteados, se divide en las siguientes cuatro fases claramente diferenciadas:

1. Estudio bibliográfico y recopilación de normativa (principalmente UNE de tipo metrológicas y de ensayo).
2. Trabajos de campo:
  - a. Planificación y programación de actividades.
  - b. Visita a la instalación de aserrado de madera del municipio de Ávila al objeto de mantener entrevistas con los responsables de la misma.
  - c. Toma de datos.
3. Trabajo de gabinete y laboratorio:
  - a. Análisis y procesado de la información obtenida.
  - b. Tratamiento estadístico de los datos.
4. Obtención de resultados y conclusiones.

Asimismo, se planteó un cronograma de actuación con la función de control de tiempos, de tal forma que la línea seguida para el desarrollo del proyecto se ajusta a lo indicado por la tabla adjunta.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 5.1- Cronograma de actuación para el proyecto de investigación

ACTIVIDAD		<i>Adquisición material</i>	<i>Análisis bibliográfico</i>	<i>Trabajos de campo</i>	<i>Análisis de información</i>	<i>Tratamiento estadístico</i>	<i>Elaboración del informe</i>
TIEMPO	Mes 1	■					
	Mes 2	■					
	Mes 3	■					
	Mes 4	■	■				
	Mes 5		■				
	Mes 6		■				
	Mes 7		■				
	Mes 8		■	■			
	Mes 9		■	■			
	Mes 10			■			
	Mes 11			■			
	Mes 12			■			
	Mes 13			■			
	Mes 14			■			
	Mes 15			■			
	Mes 16			■			
	Mes 17			■			
	Mes 18			■			
	Mes 19			■			
	Mes 20				■		
	Mes 21				■	■	
	Mes 22				■	■	
	Mes 23					■	
	Mes 24					■	■
	Mes 25					■	■
	Mes 26					■	■
	Mes 27						■
	Mes 28						■
	Mes 29						■
	Mes 30						■

Fuente: Elaboración propia

A continuación se pasa a especificar el material empleado y a desarrollar cada una de las fases que en su conjunto constituyeron la metodología puesta en práctica para la consecución de los objetivos anteriormente expuestos.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 1. MATERIAL

El material empleado y utilizado en cada una de las distintas fases de las que constó el proyecto en cuestión, fue el que figura y se relaciona a continuación:

- Bibliografía variada sobre la temática a profundizar.
- Normativa a seguir para la determinación de la humedad en la madera aserrada mediante xilohigrómetro.
- Xilohigrómetro digital de resistencia Gann HT 65
- Electrodo de repuestos de varios tamaños para el xilohigrómetro.
- Guantes de trabajos forestales.
- Botas de seguridad.
- Alicates.
- Llave inglesa.
- Termómetro digital.
- Cinta métrica.
- Calibre.
- Brújula.
- Pinturas de cera especiales para escribir sobre superficies de madera.
- Estadillo de campo.
- Lápiz.
- Goma de borrar.
- Cámara fotográfica digital.
- Ordenador (hardware).
- Programas informáticos (software):
- Microsoft Office Excel 2007.
- Programa Estadístico Statgraphics®.
- Programa Estadístico R.

### 2. MÉTODOS

La primera fase llevada a cabo consistió en esencia en la búsqueda y recopilación de bibliografía obtenida tras la consulta de diversas fuentes, tales como: publicaciones, normativa, páginas web, artículos, ponencias (fundamentalmente del V y VI Congreso Forestal Español), estadísticas, proyectos fin de carrera, tesis doctorales y apuntes de determinadas asignaturas cursadas en la universidad.

En dicho estudio bibliográfico se trató de realizar un compendio de información referente a los antecedentes y al estado de la cuestión a tratar, enfocándose en todo caso en los siguientes temas:

- Tecnología del secado de la madera desde una perspectiva generalista.
- Factores que de una forma u otra influyen en la humedad de la madera.
- Movimiento del agua en la madera.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

- Defectos del secado en cámara.
- Métodos de medición de la humedad en la madera.
- Modelos empíricos de deshidratación, sobre todo a lo referente al empleo y ajuste a la ecuación empírica de Peleg.
- Normativa UNE para la determinación de la humedad en la madera aserrada por el método de resistencia eléctrica: Norma UNE 13183 “Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada”.
- Normativa UNE para la determinación de la humedad en la madera aserrada por el método de secado en estufa: Norma UNE 13183 “Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada”.

Una vez conseguida información de manera suficiente, fue adaptada y particularizada a los intereses del presente proyecto.

### 2.1 TRABAJOS DE CAMPO

#### 2.1.1 Planificación y programación de actividades

La fase de los trabajos de campo comenzó con una etapa preliminar donde se programaron y planificaron dichos trabajos.

El inicio de esta fase pasó por la petición a la Cámara de Comercio e Industria Ávila de un listado de instalaciones de aserrado de madera en la provincia de Ávila.

Tras la recopilación de la lista de las empresas dedicadas al aserrado en la provincia de Ávila, fue necesaria la búsqueda de sus correspondientes direcciones y teléfonos para establecer contacto con las mismas.

Una vez conocidos teléfono y dirección de cada uno de los aserraderos, se procedió a establecer contacto telefónico con los responsables de los mismos para conocer la capacidad procesadora de la industria en cuestión.

Como curiosidad, mencionar que en ocasiones la localización de los responsables de determinados aserraderos fue un trabajo complicado, debido a la incompleta exactitud de la información encontrada en las herramientas empleadas para su localización.

Además, se dieron bastantes casos en los que, a priori, empresas de aserrado indicadas por la Cámara de Comercio e Industria, eran en realidad carpinterías, instalaciones no válidas para el presente estudio por trabajar directamente con madera seca.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

En otras ocasiones, la empresa había dejado de existir debido al hundimiento paulatino del mercado de la madera, teniendo irremediablemente que cerrar, por lo que en estos casos tampoco pudieron ser objeto de consideración.

Por todo lo anteriormente expuesto, la lista inicial de aserraderos de la provincia tuvo que ser necesariamente modificada, experimentando un “efecto criba”.

Tras esta primera etapa en la que se conoció el factor “capacidad procesadora” de cada una de las industrias posibles, se puso de relieve que el aserradero más óptimo y adecuado para los intereses considerados, era Maderas Almohalla S.A. emplazada a 7 km de Ávila capital.

Otro factor fundamental que declinó la balanza a la hora de elegir este aserradero como base para la obtención de datos es que la pila de vigas se localizaba en el término municipal de Ávila. Dicho término es el único que actualmente cuenta con un aserradero y con una estación meteorológica de primer orden (aquella que registra entre otros los datos correspondientes a la humedad relativa del aire), lo que en un futuro pudiera suponer un mejor y más amplio aprovechamiento analítico de los datos obtenidos.

Al ser esta industria de aserrado una de las más “potentes” en lo relativo al volumen de madera que esta procesa en el contexto global de la provincia de Ávila, el equipo investigador determinó como suficiente que el estudio se llevara a cabo únicamente en esta empresa.

Después de informar al responsable de Maderas Almohalla S.A. sobre el tema en cuestión y sondear su predisposición colaboradora hacia el desarrollo de los trabajos de campo, el procedimiento pasó por concretar con el mismo el día y la hora de visita inicial, para hablar de la investigación que se deseaba realizar, así como de la forma de operar en la toma de datos de humedades, para nunca causar molestias al normal funcionamiento del aserradero.



Figura 5.1- Aserradero de Ávila donde se ha realizado el estudio. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 2.1.2 Visita a la instalación de aserrado

La necesidad del estudio requiso que los datos de humedad fueran tomados semanalmente, mientras que se optó por que la medición de las variaciones en la sección de las piezas se llevara a cabo mensualmente.

Para la toma de estos valores era necesario emplear bastante tiempo, (del orden de dos horas cada vez), y debido a que se iba a empezar con el trabajo a mediados de otoño (menos horas de luz con el paso de los días), se determinó que lo más conveniente era que se midiera a primera hora de la tarde.

El desplazamiento hacia el aserradero se realizó mediante coche propio, donde se transportaba todo el material necesario para la medición de humedades.

Dicho material fue el siguiente:

- a) Guantes de trabajos forestales: para proteger las manos de posibles golpes ocasionados al mover la pila de vigas, de machaques con la empuñadura-martillo del xilohigrómetro, y también para protegerlas de la forma puntiaguda de las sondas del mismo.
- b) Botas de seguridad: con puntera de acero para proteger los pies de posibles caídas de las vigas al mover la pila.
- c) Alicates: para ayudar a arrancar de la madera las sondas del xilohigrómetro cuando éstas se parten debido al continuo golpeteo de clavado del aparato.
- d) Llave inglesa: para apretar las tuercas con las que se sujetan las sondas del xilohigrómetro.
- e) Termómetro digital: para conocer la temperatura ambiente a la hora de la medición y así poder ajustar la ruleta de la temperatura del xilohigrómetro.
- f) Cinta métrica: para medir la longitud de las vigas, y también para marcar las distancias respecto a los extremos de la pieza donde tomar la medición.
- g) Calibre: para conocer las dimensiones de anchura y grosor de la pieza de madera aserrada.
- h) Brújula: para orientar la pila respecto al Norte magnético terrestre.
- i) Pinturas de cera especiales: para escribir el código individual de cada pieza, así como para marcar el área de la misma donde realizar la medida de humedad.
- j) Estadillo de campo: donde anotar los datos correspondientes a las mediciones de humedades y dimensiones de cada una de las vigas.
- k) Lápiz: para anotar los datos tomados.
- l) Goma de borrar: para borrar los datos tomados erróneamente.
- m) Cámara fotográfica digital: para fotografiar el protocolo seguido en la medición.
- n) Xilohigrómetro: para medir la humedad (en %) de las piezas de madera aserrada.
- o) Electrodo de repuestos de varios tamaños para el xilohigrómetro: al ser frecuente la rotura de los electrodos del aparato, se necesitan otros de repuesto para cambiarlos cuando este hecho suceda.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 2.1.3 Tareas previas a la medición de humedades

La madera aserrada empleada en la investigación de esta Tesis fue apeada a principios del mes de octubre del año 2010, procedente del incendio ocurrido en 2009 en el Bajo Tiétar, al Sur de la provincia de Ávila. Este incendio afectó a diversos municipios, siendo los más afectados Arenas de San Pedro, el Arenal, Cuevas del Valle, y Mombeltrán.

Las trozas fueron procesadas para hacer las 49 vigas en la tercera semana de octubre, transcurriendo unos diez días entre la fabricación de las vigas y la realización de las primeras mediciones de la humedad.

Por tanto, el tamaño de la muestra utilizada para la toma de datos de los trabajos de campo fue de 49 vigas de *Pinus pinaster* Ait., de medidas sensiblemente variables pero con una longitud superior en todos los casos a los 3 m, un grosor de aproximadamente 7 cm y una anchura que rondaba los 15 cm.

Se emplearon rastreles de chopo, de 2 cm de grosor, para separar las filas de vigas por sus testas, no colocándose rastreles por sus centros para poder cuantificar la curvatura alcanzada por los centros de las vigas al finalizar el trabajo de campo.

Con carácter previo a la toma de medidas de humedad con xilohigrómetro, fue necesario tomar sus medidas de longitud, empleando para ello una cinta métrica convencional. Se midió esta dimensión viga a viga, y a la vez que se llevó a cabo esta operación, se aprovechó para marcar las áreas de la cara expuesta donde realizar las mediciones:

- A 300 mm de ambas testas, dejando otros 200 mm adicionales hacia el centro de la viga.
- A la mitad de la longitud de la viga, dejando a ambos lados de esta marca 200 mm de margen.

Para el marcado de estas zonas donde era posible realizar la medición de la humedad, se emplearon pinturas de cera especiales para pintar sobre madera, con lo que quedaron perfectamente definidas las zonas a poder pinchar.

## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

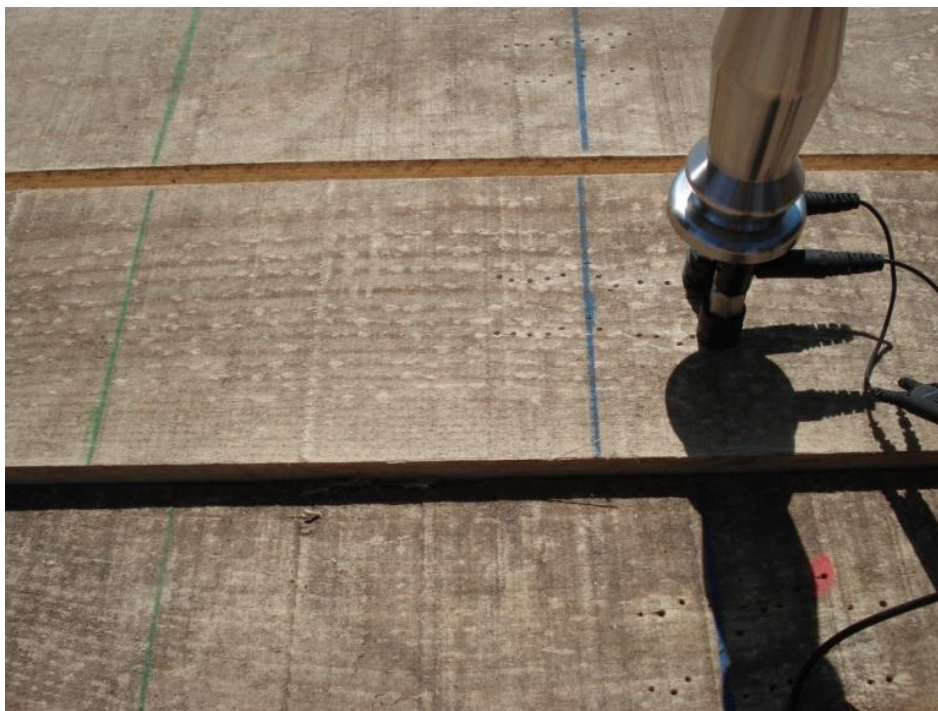


Figura 5.2- Marcado de las zonas de las vigas donde se realizaban las mediciones. Fuente: Elaboración propia

La operación del marcado de vigas que se acaba de describir únicamente hizo falta realizarla la primera vez que se fue a medir la humedad de las vigas, quedando en ellas correctamente pintadas las zonas donde posteriormente se iban a llevar a cabo la medición de la humedad durante los doce meses en los que se desarrollaron los denominados trabajos de campo.

El resultado de todo ello fue una pila de 49 vigas de madera dispuestas en siete columnas y siete filas.

También se aprovechó para pintar un código de identificación individual de cada viga, que se correspondía a la situación en la que se ubicaba dentro de la pila de madera. En este sentido, la fila más cercana al suelo de hormigón del patio de maderas se numeró como la fila 1, de forma que la numeración de las filas superiores fuese en orden creciente hasta llegar a la fila superior numerada con el 7.

Análogamente se hizo con las columnas, siendo la columna 1 la situada en el extremo izquierdo, numerando en orden creciente hasta la posicionada en el extremo derecho con el 7. Por todo ello, el código de una viga cualquiera quedó definido mediante la fórmula Fn-Cn (siendo n la fila y columna donde se sitúe la pieza). Así por ejemplo, una pieza codificada como F2-C5, se sitúa en la fila 2 columna 5.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS



Figura 5.3- Codificación de las probetas. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, sobre la fila superior se colocó un tejadillo de madera separado de la madera aserrada mediante gruesos rastreles, con el fin de proteger a la pila de las inclemencias climáticas y de la insolación directa.



Figura 5.4- Probetas del estudio. Fuente: Elaboración propia

A continuación se explica el protocolo seguido para la medición de las variables de las que se quiso conocer su evolución a lo largo del tiempo: dimensiones en anchura y grosor, y humedad.

## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1.4 Medición de la humedad en la madera

El método normal para determinar la humedad de la madera consiste en pesarla antes y después de secarla en la estufa y hallar el valor de la relación (Peso Húmedo – Peso Seco). Este sistema da la humedad media de la muestra de madera introducida en la estufa y puede considerarse como totalmente objetivo, suponiendo el buen funcionamiento de los aparatos utilizados, balanza y estufa.

Sin embargo es evidentemente un método de laboratorio, utilizado en investigación y comprobaciones meticulosas. Para el comercio de maderas o para la clasificación de almacén es muy interesante disponer de un sistema más rápido que proporcione una garantía similar: el xilohigrómetro. Y éste fue el aparato empleado en el presente estudio de investigación para la determinación de la humedad de la madera aserrada.

La toma de datos de humedades se realizó semanalmente, midiendo una semana la humedad de la mitad de las vigas (las situadas alternadamente de acuerdo a filas y columnas), y la siguiente las restantes. Por lo tanto, se ha llevado a cabo un seguimiento individual de las vigas en semanas alternas.

Se usó un xilohigrómetro digital de resistencia Gann HT 65, formado por un sensor digital, un brazo o mango donde iban colocados los electrodos y un cable para unir ambos. El protocolo seguido para conseguir los datos de humedades es el que viene recogido en la Norma UNE 13183 “Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Estimación por el método de la resistencia eléctrica”.

La tarea básica de funcionamiento de estos instrumentos es medir el porcentaje de humedad con relación a la resistencia ejercida por la madera al paso de una corriente continua que, a su vez, es proporcional a su contenido de humedad; este registro indica la fuerza con que absorbe la madera el campo eléctrico de alta frecuencia que la atraviesa. Es decir, el mecanismo es sencillo: el instrumento electrónico funciona con unas celdas sensoras, que trabajan con minivoltios y cuando se colocan los dos electrodos en la madera, hacen puente y dan un valor.



Figura 5.6- Xilohigrómetro empleado en el estudio. Fuente: Elaboración propia



Figura 5.7- Botones correctores de la medición.  
Fuente: Elaboración propia

El xilohigrómetro es un instrumento práctico y fácil de usar. Sin embargo hay que tener en cuenta numerosos factores que influyen en la exactitud de la determinación de la humedad y que no pasaron desapercibidos en las mediciones llevadas a cabo para la elaboración del presente estudio: temperatura, punto de medición, número de determinaciones y especie forestal.

### Temperatura

Parece que cuando la temperatura está comprendida entre 0 y 30°C la aproximación de la medida es de  $\pm 1,5\%$  (Vélez Muñoz, 1999), pero para mediciones en las que la precisión fuese importante habría que corregir la lectura mediante un nomograma. Sin embargo, este es un parámetro que el propio aparato utilizado en este caso contempla y que puede modificarse directamente según las condiciones de cada momento. Para ello, basta con girar una pequeña ruleta (Botón A de la Fotografía 5.7), aunque tampoco resulta del todo exacto ya los intervalos de la misma son de 5°C, por lo que hay que aproximarse a la temperatura de forma más o menos intuitiva.

### Punto en el que se hace la determinación

La humedad se midió en todos los casos en la cara expuesta (una medición a la mitad de la longitud de la viga y otras dos mediciones, una en cada extremo de la misma).

## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

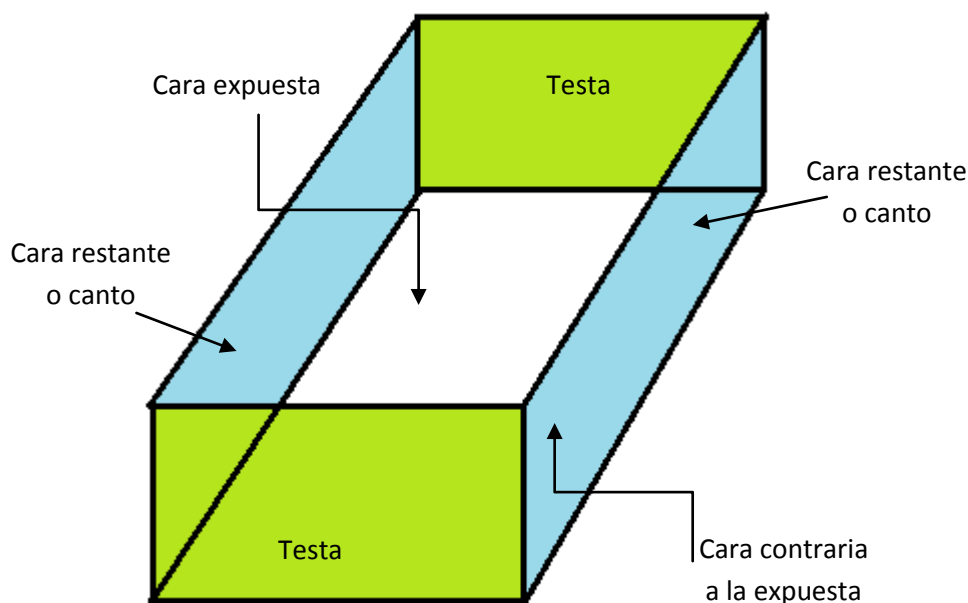


Figura 5.8- Diferentes caras de la probeta. Fuente: Elaboración propia

La profundidad a la que se determinó la humedad es la que se expone en la Norma UNE 13183 es decir, a 0,3 veces el grosor de la pieza; aunque otros autores aconsejen la medición a 1/5 del grosor de la pieza, puesto que afirman que en ese punto la humedad es aproximadamente igual a la media de la sección considerada (Vélez Muñoz, 1999).

Para ello se emplearon electrodos de púas de 50mm de longitud que penetran hasta dicha profundidad. Además, se hizo uso de unas gomas especiales que a modo de tope se incorporan a los electrodos para que éstos no sufran con el golpeteo de clavado del aparato, y alcanzaran la profundidad de medición correcta y adecuada.

Respecto a los extremos de la viga, se midió a una distancia de 300 mm como mínimo de la testa.

En cuanto a la distancia respecto a las aristas de la pieza de madera aserrada, la determinación se hizo de acuerdo a la misma norma UNE:

- Para cada una de las testas: en un punto distante al menos de 300 mm de las testas (y como máximo a 500 mm).
- En el punto situado a la mitad de la longitud de la viga, dejando a ambos lados de esta marca 200 mm de margen.

La norma que se ha seguido recomienda que la medición se lleve a cabo en la dirección de la fibra a no ser que en las especificaciones técnicas del aparato se exponga otra cosa. En el caso del xilohigrómetro utilizado, el fabricante especifica que se haga perpendicularmente a las fibras, por lo que la medición se hizo de acuerdo a esta premisa.

## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

Además de lo que acaba de comentarse, se debe añadir que el área de medida debe estar exenta de madera resinosa y de singularidades tales como corteza, nudos y bolsas de resina. Si existen dichas singularidades la medida se ha de realizar en el emplazamiento más próximo exento de singularidades y hacia el centro de la pieza.

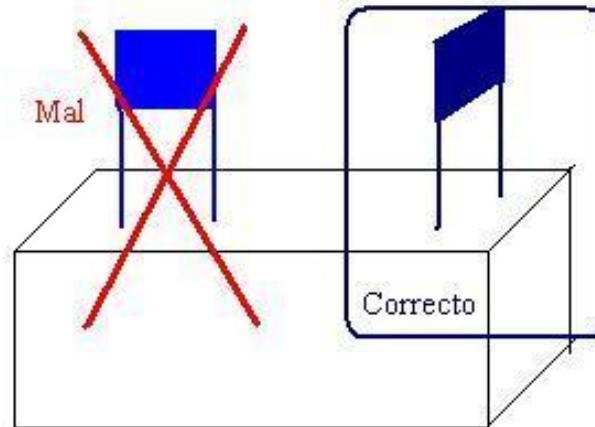


Figura 5.9- Disposición correcta de los electrodos en la probeta según las indicaciones del fabricante. Fuente: Estudio de las características de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en la provincia de Ávila, y su aptitud de uso para las diferentes industrias forestales. Mora Fernández de Córdoba

### Número de determinaciones

Según el punto anterior, se puede obtener la humedad media de una sección hallando la que tiene a 1/3 de la superficie. Sin embargo, de una sección a otra, la humedad puede variar enormemente, en especial cuando la medición se desplaza desde el centro de la pieza hacia las testas. Para ello, salvo que la pieza sea muy pequeña (por ejemplo una tablilla de parquet mosaico), es preciso realizar varias determinaciones por pieza.

Como ya se ha venido comentando, se llevaron a cabo tres determinaciones por viga, cada día que se fue a medir su humedad.

### Especie

La especie de la madera influye en la lectura, que por esta causa puede diferir de la humedad verdadera en  $\pm 2\%$ . Por tanto, es necesario disponer de tablas de corrección de lecturas para cada especie o, al menos, para las más comercializadas en nuestro país. Para ellos es fundamental la colaboración entre los fabricantes de aparatos y la industria de la madera, coordinados por los centros de investigación, de forma que finalmente cada xilohigrómetro se acompañe de dichas tablas, como la que se muestra a continuación (Tabla 5.2).

Para introducir en el xilohigrómetros los distintos valores correspondientes a las diferentes especies, simplemente hay que girar el Botón B de la Figura 6 hasta situarse en el valor deseado.

En las mediciones realizadas con el xilohigrómetro empleado, el factor de corrección utilizado fue siempre el 3, correspondiente al *Pinus pinaster* Ait.

## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 5.2- Valores de corrección para las principales especies madereras usadas en España

ESPECIE	VALOR	ESPECIE	VALOR
Pino silvestre	3	Nogal	2
Pino resinero	3	Castaño	3
Pino marítimo	3	Cerezo	3
Pino de las Landas	3	Haya	2
Pino insigne	3	Encina	3
Pino Amarillo del Sur	3	Roble	2
Abeto Douglas	3	Cerejeira	3
Álamo blanco	3	Samba	2
Álamo trémulo	3	Sapelly	3

Fuente: Gann. Elaboración propia

### Manejo del xilohigrómetro de resistencia

A la hora de tomar las medidas de humedad, lo primero que se hace es corregir la temperatura ajustando la ruleta de temperatura (botón A) según sea la imperante en el momento de la medición.

Tras ello, se corrige la especie, comprobándose que el botón B se encuentre en el factor de corrección 3 (ya que se trata de pino resinero).

Finalmente, una vez localizado el punto donde realizar la medición, el xilohigrómetro se clava en la madera mediante sucesivos golpes de presión aplicados con la pieza deslizante que forma el mango de aquél.

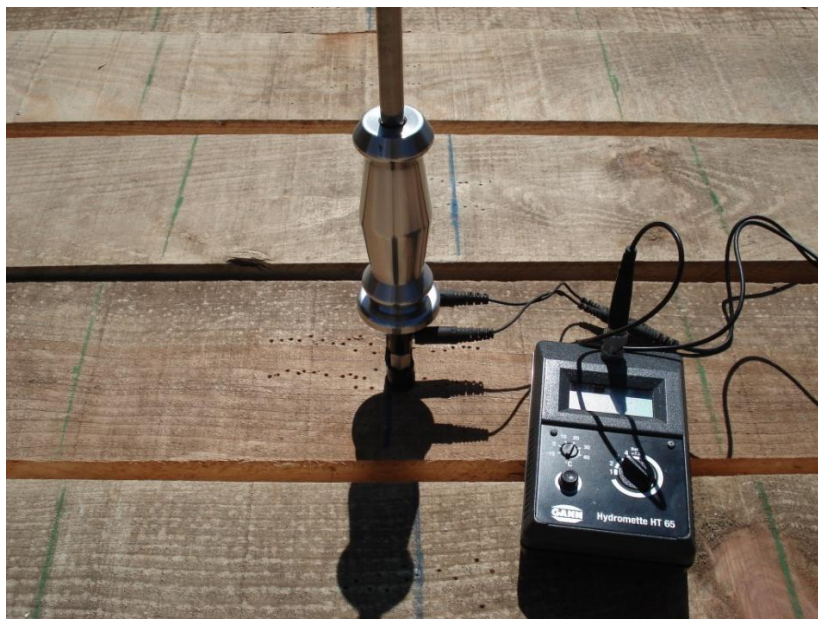


Figura 5.10- Sondas del xilohigrómetro clavadas en la madera para realizar la medición. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

Se pulsa el botón de captura, manteniéndose apretado durante unos cuantos segundos. El resultado válido es el que aparece en la pantalla después de transcurrir de 3 a 5 segundos.

La operación finaliza anotando el valor registrado en un estadillo de campo diseñado para tal fin.

### 2.1.5 Medición de dimensiones

Se recuerda que uno de los objetivos de la presente investigación, es determinar cómo evolucionan las dimensiones de las vigas con el paso del tiempo.

Debido a que la madera pierde humedad paulatinamente conforme pasa el tiempo, se determinó la necesidad de conocer la variación dimensional de las piezas de madera aserrada en grosor y anchura, pero no en longitud. Ello se justifica por la mayor complejidad en la determinación de la variación longitudinal debido a los defectos tales como el alabeo o combado de las piezas, que tienen su origen precisamente en la pérdida de humedad con el paso del tiempo.

El seguimiento de la evolución de las variaciones en anchura y grosor de las vigas, tiene por finalidad el establecimiento de patrones o tendencias de variación en las piezas de madera aserrada de estas dos dimensiones consideradas.

La medición de la anchura y grosor de las vigas se llevó a cabo una vez por mes, y sólo para cinco vigas de la pila de madera aserrada:

- Las cuatro vigas ubicadas en las cuatro esquinas de la pila (dos superiores, y dos inferiores).
- La viga situada justamente en el centro de la pila de madera.

Las mediciones se llevaron a cabo en las secciones correspondientes a las testas (o en su defecto, en la sección más próxima a ella libre de defectos, tales como gemas), empleando para ello un calibre con precisión de 1/10 de milímetro.

## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

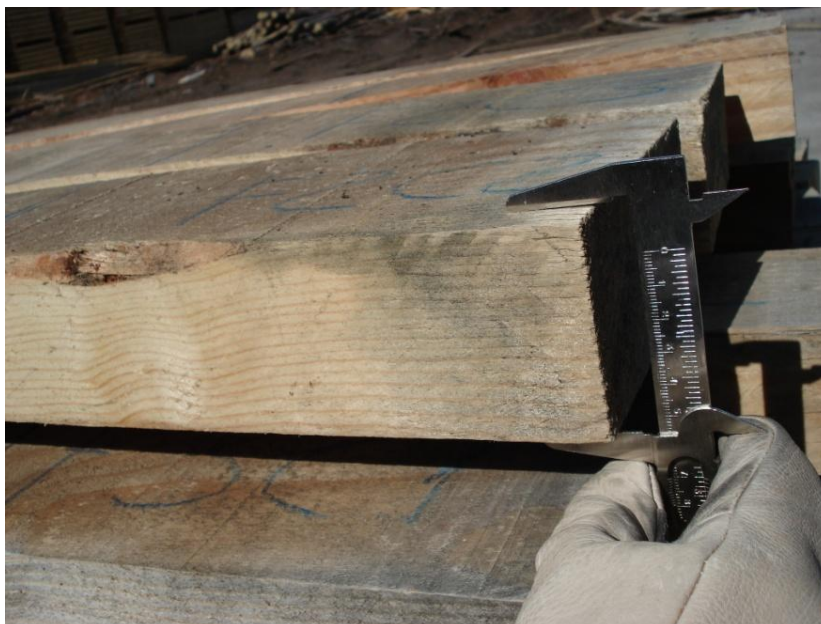


Figura 5.5- Medición del grueso de la viga con un calibre. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los datos eran anotados en un estadillo de campo.

### 2.1.6 Apilado y desapilado de las vigas

Puesto que las 49 vigas objeto de medición de humedades se disponían apiladas en el parque de maderas de la industria de aserrado, las operaciones de apilado y desapilado de las mismas eran tareas absolutamente necesarias para poder llevar a cabo la medición con el xilohigrómetro.

El día de la semana que se iba al aserradero a medir, se medían 25 vigas que estaban ubicadas por toda la pila de madera, dispuestas de forma alterna según filas y columnas. A la semana siguiente se procedía a medir las restantes vigas, comenzando el ciclo de nuevo el siguiente día de medición.

Primeramente se retiraba el tejado protector, pasando a medir la humedad en la fila superior las vigas que se correspondiesen (fila 7). Terminada esta primera fila, al ser la fila inmediatamente debajo (fila 6) físicamente inaccesible, se necesitaba desapilar toda la fila 7 para pasar a medir la fila 6; y así sucesivamente conforme se iba descendiendo hacia las filas inferiores.

Por ello, según se iban desapilando las vigas de una pila, se iban apilando en otra pila a pocos metros de distancia, para que después de haber acabado de medir la fila 1, volver a rehacer la pila original.





Figura 5.11- Apilado y desapilado de las 49 vigas. Fuente: Elaboración propia

El lector podrá ahora comprender la evidente necesidad de trabajar con materiales de seguridad (guantes y botas) puesto que en todos y cada uno de los días de medición, fue necesario un continuo movimiento de las vigas.

### 2.1.7 Calidad de los datos de humedad obtenidos mediante xilohigrómetro

Previamente al tratamiento estadístico de los valores de humedad obtenidos en los trabajos de campo mediante la utilización del xilohigrómetro Gann HT 65, se procedió a conocer la fiabilidad absoluta de los mismos sometiéndolos a comparación con los datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio llevados a cabo mediante el secado en estufa de probetas procedentes de las vigas utilizadas como población muestral, tal y como se recomienda en la bibliografía consultada (Alcón et al., 2012).

La norma empleada en los análisis realizados en laboratorio para conocer los valores de humedad de las vigas fue la UNE EN- 13183 *“Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Determinación por el método de secado en estufa”*.

La comparación entre los resultados de la humedad obtenidos con el secado en estufa y el xilohigrómetro fueron muy similares, lo que hace que por la simplicidad y portabilidad del equipo, el empleo del xilohigrómetro de resistencia sea un sistema altamente recomendable para las mediciones en campo (Alcón et al., 2012).

Una vez fue comprobado el alto grado de fiabilidad de los datos procedentes de los trabajos de campo, se dio paso al análisis estadístico de los mismos.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.2 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS EN TRABAJOS DE CAMPO

#### 2.2.1 Estadística descriptiva

Se trata de un análisis muy básico en el que, calculando una serie de medidas de tendencia central y de medidas de dispersión sobre una población muestral (humedad de las 49 vigas), va a ser posible caracterizar a la totalidad de la población (en el caso de este proyecto de investigación, sería toda la humedad de la madera aserrada en el término municipal de Ávila alcanzada en 12 meses).

Tras la obtención de estos resultados, se procedió a realizar su tratamiento estadístico mediante el apoyo del Programa Estadístico Statgraphics®.

Se llevó a cabo un completo análisis estadístico cuyo objeto fue la descripción de la variable humedad, siendo el objetivo principal la obtención de conclusiones acerca de cómo se produce el secado natural de las vigas estudiadas. Para enriquecer el presente estudio, desde el primer momento se optó por analizar la humedad de acuerdo a la posición de la viga dentro de la pila de madera de 7x7, lo que desembocó en la realización del estudio estadístico *en base a las filas y a las columnas* para comprobar si existen diferencias significativas en la pérdida de humedad, entre ellas.

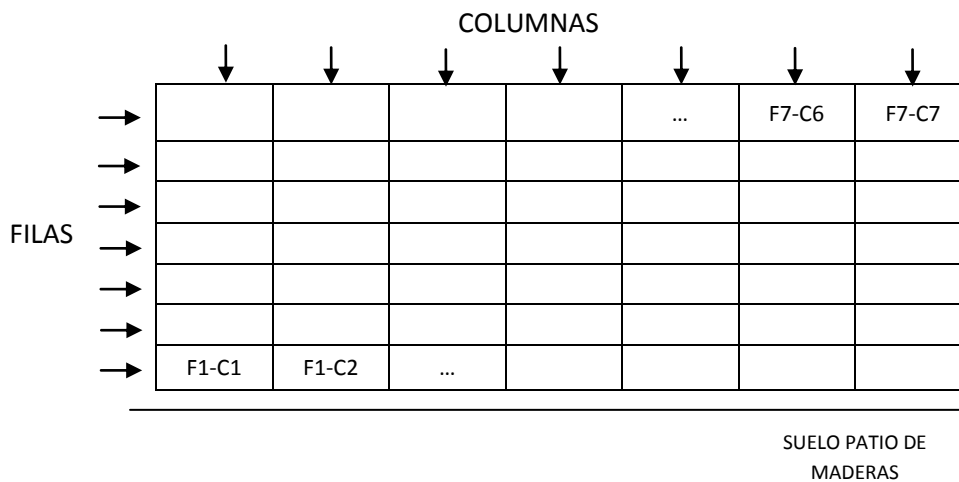


Figura 5.12- Esquema de la pila de 7x7 vigas. Fuente: Elaboración propia

Es interesante recordar que en cada viga se tomaron mediciones en tres puntos (testa este, testa oeste y centro) lo que origina que en realidad todos los datos obtenidos de las mediciones se encuentran referidos a uno de estos tres puntos de medición. Por lo tanto, al análisis realizado por filas y columnas de la fila, se añadió otro análisis: por punto de medición. De esta forma, se comprobó si existen diferencias significativas en el secado según el punto donde se realizó la medición con el xilohigrómetro.

Por otro lado, señalar que dentro de la humedad referente a cada uno de estos tres puntos de medición es posible distinguir entre filas y columnas. Es por ello que se llevó a cabo un cuarto análisis de la humedad para conocer si existen diferencias significativas entre filas y entre



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

columnas, pero dentro de cada uno de los tres subconjuntos: humedad de las testas este, de las testas oeste y del centro. A este análisis se le denominó análisis de la pila por orientación.

Esta fue la decisión a la hora de llevar a cabo el tratamiento estadístico de los datos resultantes en tres análisis diferentes, pues de esta manera se logra una mayor concreción y puntualización (aún más si cabe) en el presente estudio, enriqueciéndolo mucho más en comparación de si se hubiese optado por analizar sin distinción todos los datos como un único grupo.

Para detallar la posición espacial de las vigas dentro de la pila, a continuación se exponen las medidas de las alturas a las que se encontraban cada una de las 7 filas con respecto al suelo del patio de maderas, de acuerdo a la orientación de la pila:

- a) Testas orientadas al Este: las alturas de las testas Este respecto al suelo fueron:
  - a. Fila 1: a 10,4 cm del patio de maderas.
  - b. Fila 2: a 19,5 cm del patio de maderas.
  - c. Fila 3: a 27,7 cm del patio de maderas.
  - d. Fila 4: a 36,1 cm del patio de maderas.
  - e. Fila 5: a 44,4 cm del patio de maderas.
  - f. Fila 5: a 53,1 cm del patio de maderas.
  - g. Fila 7: a 61,8 cm del patio de maderas.
- b) Testas orientadas al Oeste: las alturas de las testas Oeste respecto al suelo fueron:
  - a. Fila 1: a 10,4 cm del patio de maderas.
  - b. Fila 2: a 19,4 cm del patio de maderas.
  - c. Fila 3: a 27,6 cm del patio de maderas.
  - d. Fila 4: a 36,2 cm del patio de maderas.
  - e. Fila 5: a 44,5 cm del patio de maderas.
  - f. Fila 5: a 53,1 cm del patio de maderas.
  - g. Fila 7: a 61,9 cm del patio de maderas.
- c) Centro de las vigas: las alturas del Centro de las vigas respecto al suelo fueron:
  - a. Fila 1: a 10,4 cm del patio de maderas.
  - b. Fila 2: a 19,4 cm del patio de maderas.
  - c. Fila 3: a 27,6 cm del patio de maderas.
  - d. Fila 4: a 36,1 cm del patio de maderas.
  - e. Fila 5: a 44,4 cm del patio de maderas.
  - f. Fila 5: a 53,1 cm del patio de maderas.
  - g. Fila 7: a 61,7 cm del patio de maderas.

Comentar que estas medidas de las alturas que se acaban de exponer fueron tomadas desde el suelo del patio de maderas hasta el centro de la arista inferior de la sección de la viga.

Todo ello podrá ser comprendido por el lector con mayor facilidad durante el desarrollo del capítulo "RESULTADOS Y DISCUSIÓN" del proyecto, donde se expone el tratamiento estadístico.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 2.2.1.1 Estadísticos calculados para la variable humedad

#### Medidas de posición o medidas de tendencia central

Cuando se pretende describir un conjunto de observaciones, conviene habitualmente resumir dicha información en un único número. Como es lógico, este número se sitúa en el centro de la distribución de los datos, y se denomina medida de tendencia central.

Por lo tanto, las medidas de tendencia central calculadas dan valores alrededor de los cuales se encuentran las observaciones muestrales.

En la realización de este proyecto de investigación se han calculado las medidas de posición que a continuación se desarrollan.

#### ➤ MEDIA ARITMÉTICA SIMPLE ( $\bar{x}$ )

La media aritmética simple es el valor que se determina al sumar todas las observaciones y dividir el total por el número de observaciones que conforman la población muestral.

La media es la única medida de tendencia central que tiene en consideración todas las puntuaciones. Se expresa como:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n n_i \cdot x_i$$

Siendo:

$\bar{x}$  la media aritmética simple;

$N$  el tamaño de la muestra;

$n_i$  la frecuencia ( $n^\circ$  de veces que se repite el valor de la variable que se encuentra en la posición  $i$ );

$x_i$  el valor que toma la variable en el dato que se encuentra en la posición  $i$ .

#### Medidas de dispersión o de amplitud de la distribución

Las medidas de dispersión valoran, por medio de un número, si los datos están próximos o alejados entre sí o respecto a un punto concreto (generalmente la media). Si dicho número es muy elevado, indicará que la variabilidad es también muy grande; y cuanto menor sea, más homogénea será a la media.

Entre las medidas de amplitud de la distribución se han determinado, para el presente proyecto de investigación, las que siguen.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### ➤ RECORRIDO O RANGO (R)

Se conoce como recorrido de una distribución a la diferencia entre el mayor y el menor valor de los datos del conjunto de la población muestral. Se calcula como:

$$R = X_{m\acute{a}x} - X_{m\grave{i}n}$$

Siendo:

- $X_{m\acute{a}x}$  el valor del dato mayor del conjunto de datos que conforman la población muestral;  
 $X_{m\grave{i}n}$  el valor del dato menor del conjunto de datos que conforman la población muestral.

Así, cuanto menor es el recorrido mayor será el grado de representatividad de los valores centrales. Tiene la ventaja de su sencillez de cálculo, pero el inconveniente de que únicamente depende de los valores extremos, por lo que si un valor es atípico por ser muy elevado o muy pequeño, esta medida de dispersión se ve afectada en gran medida.

Esta desventaja comentada puede subsanarse mediante la utilización del rango intercuartílico o del rango interpercentílico.

### ➤ COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE PEARSON (V)

Indica la relación existente entre la desviación típica de una muestra y su media. Se trata de una medida de dispersión relativa, cuyo resultado es un número abstracto (no posee unidades), resultado de esta división.

Si se compara la dispersión correspondiente a varios conjuntos de observaciones, aquel que posea un menor coeficiente de variación de Pearson, tendrá menor dispersión.

El inconveniente principal que presenta, es que al ser un coeficiente inversamente proporcional a la media aritmética, cuando está tome valores próximos a cero, lógicamente el coeficiente tiende a infinito.

El coeficiente de variación de Pearson viene dado por la siguiente expresión:

$$V = \frac{\delta}{\bar{x}}$$

Siendo:

- $V$  el coeficiente de variación de Pearson;  
 $\delta$  la desviación típica;  
 $\bar{x}$  la media aritmética simple.

Al obtenerse el resultado, pueden presentarse los dos siguientes casos:

- Si  $V < 1$ , se dice que  $\bar{x}$  es representativa



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

- Si  $V > 1$ , se dice entonces que  $\bar{x}$  no es representativa. En este último caso, si no es representativa, en lugar de emplear  $\bar{x}$  se utiliza otra medida de centralización, como por ejemplo la mediana.

### Intervalos de confianza

Un intervalo de confianza viene definido por dos números (límite inferior y límite superior) entre los que se espera que se encuentre cierto valor, con una determinada probabilidad de acierto.

La probabilidad de éxito en la estimación se representa con  $1 - \alpha$  y se denomina nivel de confianza. Lógicamente, el nivel de confianza y la amplitud del intervalo varían de forma pareja, por lo que a intervalos más amplios se conseguirán mayores probabilidades de acierto (mayor nivel de confianza); y en intervalos menores se incrementará la probabilidad de error, aunque las estimaciones sean más precisas.

El intervalo para la media al 95% de confianza viene dado por la siguiente expresión:

$$I = \bar{x} \pm 1,96 \frac{\delta}{\sqrt{N}}$$

Siendo:

- $I$  intervalo de confianza;
- $\bar{x}$  la media aritmética simple;
- $\delta$  la desviación típica;
- $N$  el tamaño de la muestra.

### 2.2.1.2 Diagramas de Cajas y Bigotes (Box-Plot)

Para conseguir una mejor comprensión de ciertos estadísticos calculados, se optó por elaborar los llamados *diagramas de cajas y bigotes*.

Se trata de un gráfico donde quedan representados los cuartiles (Q1, Q2 y Q3) relativos a un conjunto de observaciones, los valores atípicos y la simetría de la distribución. Dicho gráfico se compone de un rectángulo o caja y dos brazos o bigotes (en el caso de la existencia de valores atípicos), tal y como se observa en la siguiente figura 5.14.

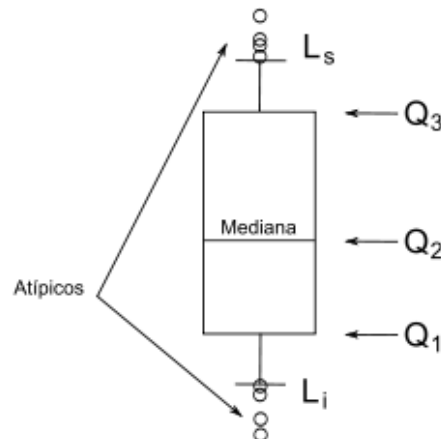


Figura 5.13- Esquema general de un diagrama de Cajas y Bigotes. Fuente: [www.thales.cica.es](http://www.thales.cica.es)

Los diagramas de cajas y bigotes se realizaron mediante el programa informático de estadística Statgraphics®.

### 2.2.1.3 Comprobación de la normalidad de la variable humedad

A la hora de diseñar experimentos se requiere comprobar que los datos tomados en los trabajos de campo provienen de una distribución normal, pues ciertos análisis requieren que los datos obtenidos se ajusten a la distribución normal teórica, como es el caso del ANOVA.

Existen infinidad de pruebas analíticas para realizar esta comparación de la normalidad de la muestra: prueba de Kolmogorov- Smirnov, prueba de Shapiro Wilk, contraste Chi cuadrado de Pearson, etc.

Aparte de la comprobación analítica, es posible analizar la normalidad de forma gráfica: histograma, gráfico Q-Q, diagrama de cajas y bigotes, o el gráfico probabilístico entre otros.

De acuerdo a las características de los datos de humedad (número de observaciones) se ha determinaron como necesarias la realización de las dos siguientes pruebas para la comprobación analítica: Prueba Chi Cuadrado y la Prueba de Kolmogorov- Smirnov.

En cuanto a la comprobación gráfica se realizó el gráfico de probabilidad normal y el histograma.

Por último, indicar que aunque los valores no se distribuyan normalmente, sus transformaciones sí que pueden hacerlo, aunque muchas veces es poco práctico: Logaritmo, Raíz Cuadrada,  $1/X$ ,  $X^2$ , etc.

Los resultados del análisis de la normalidad de la variable humedad tanto de los datos en bruto, como de sus transformaciones pueden observarse en los correspondientes Anexos de la Tesis Doctoral: "ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD" y "ANEXO 5: TRANSFORMACIONES".



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.2.2 Realización de comparaciones y establecimiento de tendencias

Se procedió a comparar la variable humedad entre las siete filas de la pila, luego entre las 7 columnas, también entre los tres puntos de medición y por último, entre filas y columnas según la humedad de cada una de las tres orientaciones, para determinar si existen diferencias entre las mismas, relativa a la pérdida de agua con el paso del tiempo.

A priori, se podría pensar que existan diferencias entre filas por el mero hecho de que unas se encuentran más próximas al suelo del patio de maderas (F1, F2), mientras que las superiores se encuentran más alejadas (F6, F7) en las que el viento puede ejercer un efecto secante mucho más notable.

En cuanto a la pérdida de agua entre columnas, se podría predecir una curva más o menos simétrica, en la que las colas reflejen una pérdida de humedad mucho más acentuada que las columnas centrales. Conforme las columnas se adentran en la pila, debería de haber una menor pérdida de humedad debido a que el viento pierde potencial secante.

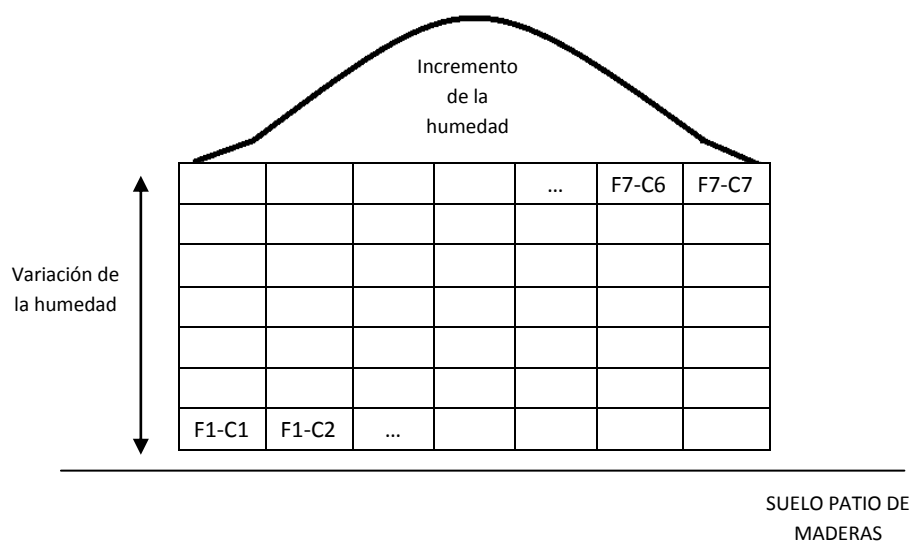


Figura 5.14- Esquema de la variación del contenido en humedad de las vigas. Fuente: Elaboración propia

Para ello, se presentan los gráficos de media y los diagramas box-plot, que contribuyen a mejorar el entendimiento en cuanto a las diferencias entre filas y columnas se refiere (ver “CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN”).

En la investigación agroforestal se presentan situaciones donde es difícil utilizar los modelos lineales clásicos de análisis de varianza, ya que al realizar mediciones repetidas en el tiempo se incumplen los supuestos de independencia, igualdad de varianzas y linealidad (Gómez et al., 2012). Se realizaron las comparaciones entre las diferentes muestras objeto de estudio atendiendo a los criterios de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas (por medio del Test de Levene’s). Cuando estos supuestos no se cumplen, incluso habiendo realizado transformación de la variable (“ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO”) como es el caso, se prescinde





## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

de la utilización del análisis ANOVA, que exige el cumplimiento de todos los criterios anteriores, por lo que se hace necesario el empleo de métodos de comparación no paramétricos: la prueba de Kruskal-Wallis.

El estudio de la tendencia a la pérdida de humedad se llevó a cabo mediante la prueba de Kruskal-Wallis y a través de la comparación de ecuaciones.

La prueba de Kruskal-Wallis nos revela que existen diferencias entre las grupos que desean ser comparados (filas, columnas, puntos de medición y orientación) pero no confirma exactamente entre cuales las hay. Para ello, se recurrió al Test de Rangos Múltiples a través del método de Tukey.

Todas estas pruebas y análisis se llevaron a cabo para un nivel de significación del 0,05 (confianza del 95%) y sus resultados se muestran en el "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN" y en el "ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO".

Después de obtener mediante el xilohigrómetro de resistencia los valores de humedad del centro y de las testas orientadas al este y al oeste de las 49 vigas del patio de maderas, se procedió a la obtención de diferentes modelos que explican la pérdida de humedad.

En base a la bibliografía consultada, se decidió seguir modelos teóricos de secado que se ajustan a una ecuación exponencial/logarítmica. En este sentido, Sandoval-Torres (2009) recalca la importancia de establecer modelos de secado que expliquen la transferencia de masa (agua) y calor en la pieza de madera, para conseguir optimizar la operación de secado.

Una vez calculados estos modelos, se halló el valor del parámetro  $R^2$  de cada uno de los modelos individuales, que explica la mayor o menor bondad del ajuste de los datos, a dicho modelo determinado. Así, valores cercanos a 1 indican un buen ajuste de los datos al modelo en cuestión, mientras que valores próximos a 0 indican lo contrario, es decir, un modelo insuficiente para explicar el proceso de secado natural.

Mediante regresión lineal simple, se determinaron los siguientes modelos: exponencial, lineal, logarítmico, polinómico de grado 2 y potencial. Aunque todos tuvieron muy buen ajuste (elevados valores de  $R^2$ ), se tomó la decisión de prescindir de los modelos lineal, polinómico de grado 2 y potencial, para centrar el estudio en los otros dos modelos: logarítmico y exponencial (véase "ANEXO 8: MODELOS DE SECADO").

El objetivo fue la creación de un modelo general teórico que explicase la pérdida de humedad de las vigas de madera aserrada, de acuerdo a la posición en que se encuentre ubicada la pieza de madera en la pila. Para ello se trabajó con el programa Statgraphics con el que se obtuvo un modelo lineal generalizado que permite trabajar con las variables categóricas: tiempo, humedad, fila, columna, y las posibles interacciones entre ellas (variable humedad con variable fila; y variable humedad con variable columna).



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

La variable “tiempo” se construyó otorgando valores de tiempo (en días) simétricos (en nuestro caso de 7 días en 7 días). El primer valor de tiempo que se asignó fue 21 días. Esto es debido a que durante, aproximadamente, las primeras 3 semanas la madera tiene un comportamiento muy inestable y su secado no obedece a ninguna regla teórica general, e interés por tanto omitir esta primera etapa. Dando valores de 7 días en 7 días, se decidió terminar al alcanzar los 294 días, ya que se consideró que esta cifra de tiempo era más que suficiente para dar salida mediante su venta a la madera aserrada.

El modelo obtenido tuvo un excelente ajuste, pero se trataba de una expresión matemática demasiado compleja, lo que rompía una de las premisas básicas a considerar a la hora de determinar ecuaciones: su sencillez. Por ello, se probó a realizar un nuevo modelo más sencillo que prescindiera de los cruces entre variables, según los siguientes parámetros:

- Variable dependiente: HUMEDAD
- Factores categóricos:
  - Fila (J)
  - Columna (K)
- Factores cuantitativos: LogTIEMPO

La nueva expresión obtenida fue mucho más sencilla y es importante resaltar que la bondad del ajuste de esta nueva ecuación fue muy similar a la del primer modelo.

### 2.2.3 Determinación de la constante de secado y ajuste del proceso de deshidratación al modelo de Newton

Una de las variables del secado de la madera que contribuye a explicar el proceso de secado, es la denominada constante de secado.

Como ya se adelantó en el “CAPÍTULO IV: ANTECEDENTES”, la constante de secado puede ser determinada a partir de la variable “período de secado medio”, el cual se calcula como:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Dónde:

- $t_{1/2}$  periodo de secado medio para que el contenido de humedad baje a la mitad;
- H el contenido de humedad de la pieza al instante t;
- $H_0$  el contenido de humedad inicial de la pieza al instante t=0;
- $\lambda$  la constante de secado.

Se calculó la constante de secado para cada una de las 49 vigas de la pila de madera, a partir de la expresión anterior. Por tanto, se hizo necesario conocer para cada viga el período de secado medio, y que hacía referencia al lapso de tiempo para que el contenido de humedad bajara a la mitad.

El tiempo de secado medio fue determinado para cada viga a través de su modelo logarítmico de secado individual. Así por ejemplo, la viga codificada como F1-C6 tuvo como



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

modelo individual de secado  $HUMEDAD(\%) = 84,6154 - 12,8 \cdot \ln(\text{Tiempo (días)})$  y al ser conocida la humedad que presentaba al inicio del proceso de secado, bastó simplemente con introducir la mitad de este valor de humedad en la ecuación, y despejar el tiempo. La humedad inicial que se empleó para todos los casos fue de 64,3%; valor que se corresponde a la media aritmética de todas las humedades medias de las testas este, testas oeste y centros de todas las vigas que fueron medidas la primera semana de toma de datos.

Una vez conocido el tiempo de secado medio, ya pudo despejarse la constante de secado en la expresión presentada anteriormente. Cuando ya se hubieron hallado las 49 constantes de secado, se procedió a comprobar si la humedad predicha por el modelo teórico de secado de Newton se ajustaba a la realidad. Dicho modelo tiene la siguiente expresión, tal y como se expuso en el capítulo anterior de la Tesis Doctoral:

$$H = H_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Dónde:

- H el contenido de humedad de la pieza al instante t;  
 $H_0$  el contenido de humedad inicial de la pieza al instante t=0;  
 $\lambda$  la constante de secado.

Finalmente, se llevó a cabo el proceso anterior (determinación de la constante de secado y comprobación del funcionamiento del modelo de Newton) para el conjunto de la humedad de toda la pila de madera aserrada, de forma global.

### 2.2.4 Análisis de la cinética del secado de la madera aserrada mediante el modelo de Peleg

El modelo de Peleg es una ecuación empírica desarrollada por medio de ajustes a datos experimentales con el que se trató de explicar el funcionamiento del secado de la madera aserrada, para conocer si el proceso de deshidratación de este material con respecto al tiempo se ajusta a dicha ecuación.

En el capítulo anterior ya se expuso la ecuación de Peleg, que se corresponde con la fórmula siguiente:

$$H_t = H_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t}$$

Dónde:

- $H_t$  el contenido de humedad en base seca (%) a un tiempo dado t;  
 $H_0$  el contenido de humedad inicial (%);  
 $K_1$  la constante de velocidad;  
 $K_2$  la constante de capacidad.

Aunque el modelo de Peleg, en términos de pérdida de peso, puede escribirse como:

$$\frac{M_0 t}{M_0 - M_t} = K_3 + K_4 t \longrightarrow \frac{M_0 t}{M_0 - M_t} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} t$$



**CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS**

Siendo:

- $M_t$  peso (g) a un tiempo dado  $t$ ;
- $M_0$  el peso inicial (g);
- $K_3$  la constante de velocidad;
- $K_4$  la constante de capacidad.

La constante de velocidad  $K_3$  se relaciona con la velocidad de pérdida de peso al inicio del proceso, por la expresión:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_0}{K_3}$$

La constante de capacidad  $K_4$  se relaciona con el peso en equilibrio ( $M_e$ ) según:

$$M_e = M_0 \left[ 1 - \frac{1}{K_4} \right]$$

La curva típica de los cambios de masa ( $M$ ) o humedad ( $H$ ) en función del tiempo ( $t$ ) se muestra en la siguiente gráfica:

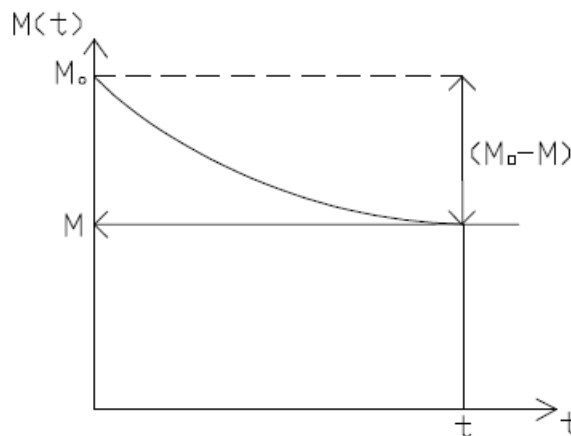


Figura 5.15- Curva típica del secado, cambio de  $M$  con respecto a  $t$ . Fuente: Camarena Martínez, Y; Mercado Flores, J. (2010) Análisis de la cinética del secado por lecho fluidizado de chícharos (*Pisum sativum*) mediante el modelo de Peleg. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato. México

Si se representa  $\frac{M_0 - M_t}{M_0}$  en función del tiempo  $t$ , se obtiene que:



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

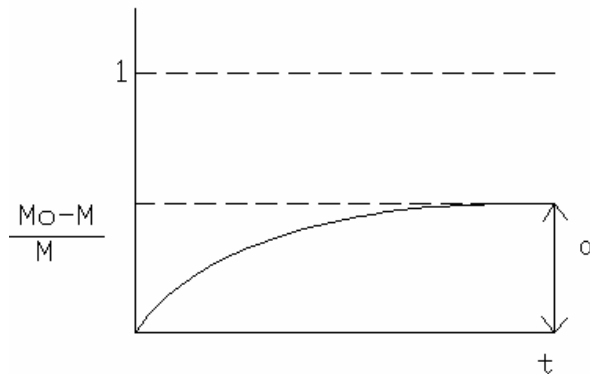


Figura 5.16- Cambio de masa como fracción través de tiempo, cuando  $M_0=1$ . Fuente: Camarena Martínez, Y; Mercado Flores, J. (2010) Análisis de la cinética del secado por lecho fluidizado de chícharos (*Pisum sativum*) mediante el modelo de Peleg. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato. México

El ajuste de los datos de pérdida de humedad de las vigas con respecto al modelo de Peleg se realizó por medio del programa informático de estadística Statgraphics®.

Esta gráfica es muy similar a la representación de  $\frac{abt}{a + bt}$  frente al tiempo  $t$ .

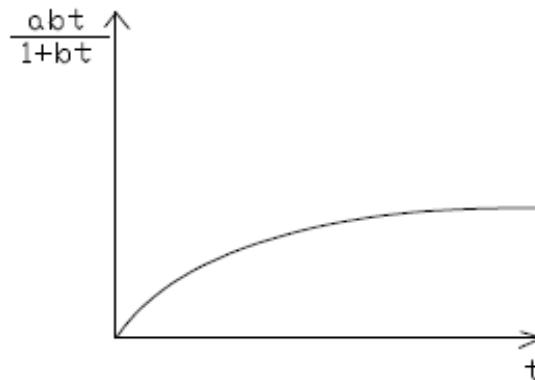


Figura 5.17- Curva típica de la ecuación  $\frac{abt}{1+bt}$ . Fuente: Camarena Martínez, Y; Mercado Flores, J. (2010) Análisis de la cinética del secado por lecho fluidizado de chícharos (*Pisum sativum*) mediante el modelo de Peleg. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato. México

Cuando los valores de  $t$  son muy pequeñas, resulta que  $\frac{abt}{1 + bt}$  posee tendencia hacia el valor  $abt$ , recta que pasa por el origen, de pendiente  $ab$ ; mientras que cuando  $t$  posee valores elevados,  $\frac{abt}{1 + bt}$  tiende al valor  $a$ .



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

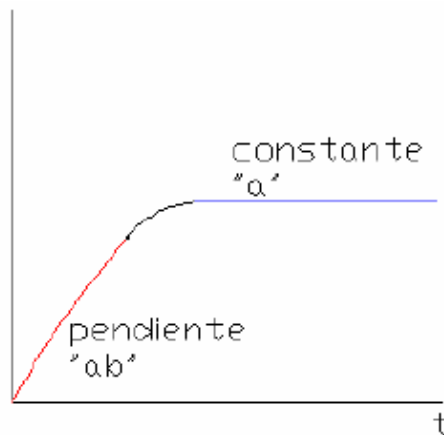


Figura 5.18- Incremento rápido al comienzo del fenómeno de secado, hasta que se convierte en constante. Fuente: Camarena Martínez, Y; Mercado Flores, J. (2010) Análisis de la cinética del secado por lecho fluidizado de chícharos (*Pisum sativum*) mediante el modelo de Peleg. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato. México

Si igualamos las dos expresiones, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{M_0 - M}{M_0} = \frac{abt}{1 + bt}$$

Invirtiendo ambos miembros:

$$\frac{M_0}{M_0 - M} = \frac{1 + bt}{abt}$$

Al multiplicar por  $t$ , queda que:

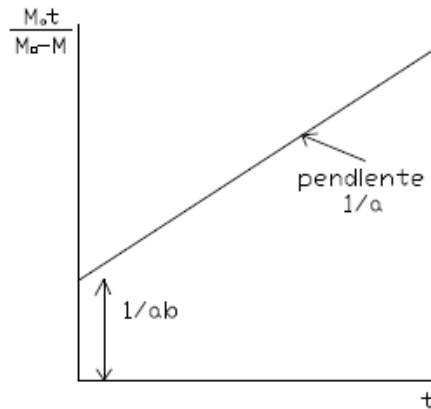
$$\frac{M_0 t}{M_0 - M} = \frac{1 + bt}{abt} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a}t$$

La gráfica de  $\frac{M_0 t}{M_0 - M}$  en función de  $t$  es una recta, de ordenada en el origen  $\frac{1}{ab}$  y de

pendiente  $\frac{1}{a}$  :



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS



Expresión que constituye la ecuación de Peleg:

$$\frac{M_0 t}{M_0 - M} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} t$$

Por tanto, se procedió a la determinación de las dos constantes del modelo de secado de Peleg ( $k_1$  y  $k_2$ ), y se observó si el secado natural de las vigas se ajustaba a los valores teóricos predichos por el modelo teórico en cuestión, aunque las condiciones del presente estudio no fueran isoterma.

Se construyeron 49 modelos de secado de Peleg (uno por cada viga). Para ello, se tomó la decisión de emplear siempre como valor de referencia para la constante de velocidad  $k_1$  el valor de 1, por lo que con un simple despeje en la fórmula pudo calcularse la constante de capacidad  $k_2$  para el que se consiguiera un resultado de humedad teórica predicha similar al que se obtuvo realmente con el secado natural.

Finalmente, se determinó un modelo teórico de deshidratación de Peleg global para el conjunto de las 49 vigas de la pila. En este sentido, y para un valor de referencia igual a 1 para la constante de velocidad  $k_1$ , se halló la constante de capacidad  $k_2$  que predijese la humedad final de la pila de madera tras el proceso de secado natural considerado.

Los resultados del ajuste del secado natural de las vigas del centro peninsular al modelo teórico de secado propuesto por Peleg vienen recogidos en el "ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON" de la presente Tesis Doctoral.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 2.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO DE LAS VIGAS

Se procedió a realizar una comparativa de la evolución temporal en la pérdida de humedad de las vigas, con respecto a los valores de humedad de equilibrio higroscópico imperantes en el ambiente de secado.

En este sentido, se contactó con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para solicitar los valores medios mensuales de humedad relativa en La Colilla (Ávila), así como los correspondientes valores de temperaturas del termómetro húmedo a la cual fueron tomados dichos valores de humedad.

De esta forma, se obtuvo una tabla donde quedaban reflejados, por meses, los valores de temperatura del termómetro húmedo y de humedad relativa, durante el año completo de secado que se abarca en la presente investigación.

Por otro lado, se construyó una tabla donde se expusieron los valores de humedad de las vigas resultantes del promedio de humedades de sus testas y del centro. Una vez obtenidos estos valores medios (un valor de humedad para cada una de las 49 vigas), se calculó el promedio de humedades por meses, de tal forma que se consiguió un único dato de humedad para cada uno de los meses del año de estudio.

El siguiente paso fue la obtención de los valores de la Humedad de Equilibrio Higroscópico mediante el uso del ábaco de Keylwerth, que se expone a continuación. Como se puede apreciar, para hallar la HEH se hace necesario conocer dos de las siguientes tres variables: humedad relativa, temperatura seca o temperatura húmeda. Los datos de partida del presente estudio fueron la temperatura húmeda y la humedad relativa.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

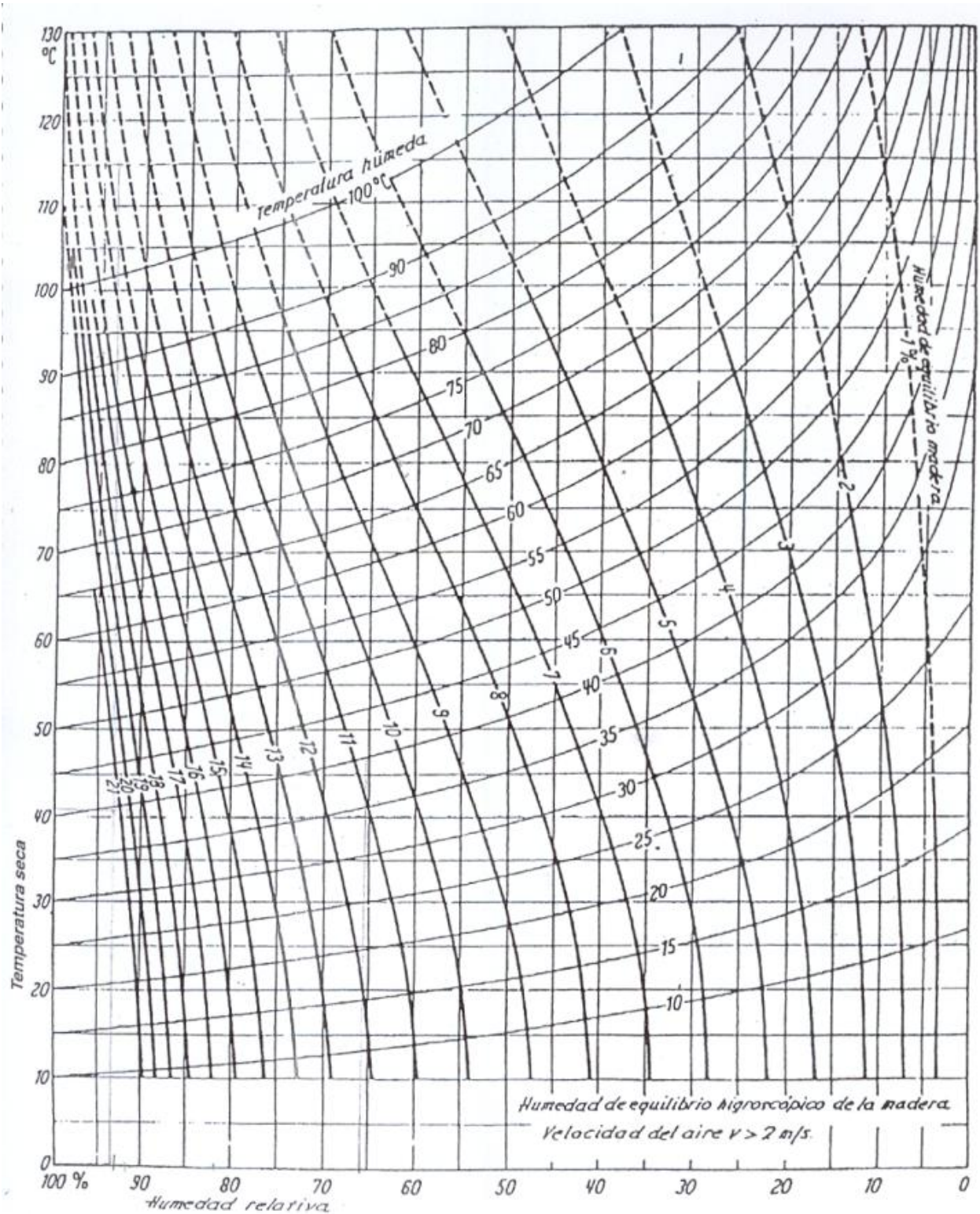


Figura 5.19- Ábaco de Keylwerth. Fuente: Apuntes de la asignatura Ingeniería de los Procesos Industriales Forestales. Universidad Católica de Ávila. Herráez Garrido



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

El ábaco de Keylwerth no ofrece curvas de HEH para temperaturas húmedas menores a 10°C, lo que supuso un problema dado que los datos meteorológicos de la Estación de Ávila muestran que en seis de los doce meses de estudio, la temperatura fue menor de 10°C, lo que imposibilita obtener la HEH para dichos pares de valores.

Para solventar este problema, se recurrió a la metodología desarrollada por el Dr. Enrique Morales Méndez, expuesta en el Boletín de Información Técnica nº 226 de AITIM, y que se basa en la obtención de los valores característicos de la humedad de equilibrio en la madera.

Morales Méndez critica el método tradicional de obtención de la HEH que tiene como fundamento la consideración de los criterios de media, es decir, partiendo de las temperaturas medias máximas y mínimas de cada mes junto a las humedades relativas medias mensuales. Así se han obtenido tradicionalmente las humedades de equilibrio higroscópico máximas y mínimas correspondientes a cada uno de los meses y a partir de ellas se obtiene la media mensual y de todas las medias mensuales a lo largo del año la media anual.

Para obtener especificaciones de calidad se hace necesario partir de valores característicos y utilizar los mismos criterios que son habituales en el empleo de otros materiales de construcción por lo que no es suficiente el método tradicional de considerar los valores medios. Deben obtenerse y aplicarse valores característicos que supongan un 95 % de probabilidades de que no van a ser superados.

Para poder obtener con mayor precisión la deformación de la madera por variación de humedad, la investigación sobre estos valores característicos es fundamental, haciéndose necesaria la definición previa de las siguientes variables: la HEH media, la HEH máxima y la HEH mínima. Estas humedades de Equilibrio higroscópico determinadas por la humedad relativa y la temperatura del aire o medio donde se sitúa la madera, se obtienen partiendo del ábaco de Kollmann.

Aplicando estos criterios se consiguen valores más fiables de las humedades de equilibrio higroscópico máximas y mínimas a lo largo del año, ya que se obtienen con una probabilidad de un 95 % que no van a ser superados (Morales Méndez, 2003).

La variable clave a emplear es la temperatura media mensual, no haciéndose necesario considerar los valores máximos y mínimos de temperatura. Ello conllevaría un espectro demasiado amplio de valores de ésta para que se modificase significativamente el valor de humedad de equilibrio de la madera, como se comprueba en el ábaco de Kollmann.

Entonces, partiendo de los valores de humedad relativa media mensual (en %), suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología, y considerando que tienen una distribución estadística normal (o de Gauss), se determinan los valores de humedad relativa máxima y mínima característica de cada mes, definidas por la siguientes expresiones:



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

$$h_{rk} = h_{rm} (1 \pm 1,64 \cdot \delta)$$

Siendo:

$h_{ri}$  humedad relativa media mensual.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{h_{ri} - h_{rm}}{h_{rm}} \right)^2}$$
$$h_{rm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{ri}$$

De acuerdo al profesor Morales Méndez, los valores se obtienen con un grado de confianza del 95 por 100, es decir, que existe una probabilidad del 95% que las humedades en dichos meses no van a ser mayores (en máxima) o menores (en mínima).

Una vez obtenidos los valores de humedad relativa mínima y máxima en base a las ecuaciones presentadas anteriormente, junto con el valor de la temperatura media mensual, se recurrió al ábaco de Kollman para obtener gráficamente los valores de HEH mínima y máxima (respectivos a la HR mínima y a la HR máxima) y la HEH media resultado de calcular el promedio de estos últimos valores.

Como se ha mencionado, la idea fue elaborar una gráfica donde se apreciara la evolución temporal del promedio de las medias de los valores de humedad de las vigas, por meses; frente a la evolución que sigue la HEH media de la madera obtenida mediante esta metodología. De esta forma las líneas de la gráfica mostrarían una comparativa de la similitud o diferencia que existe entre la HEH y la humedad de las vigas por cada mes, y así, obtener conclusiones relativas a cuándo sería el mes más apropiado para secar la madera en el centro peninsular.

En base a lo explicado con anterioridad y para otorgar una mayor calidad y fiabilidad en la investigación, se tomó la decisión de tratar de acuerdo a la metodología de Morales Méndez los datos climáticos de temperatura y humedad relativa pertenecientes a la serie temporal 1960 a 2013, que constituye un periodo más que suficiente para la determinación de las humedades de equilibrio higroscópico imperantes en el patio de maderas; lo que redundará en una mayor solidez en las conclusiones extraídas tras dicha comparativa.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### **2.4 DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LA SECCIÓN DE LAS VIGAS A LOS 12 MESES DE SECADO AL AIRE**

Se recuerda que uno de los objetivos secundarios de este proyecto, era conocer a los doce meses de secado natural al aire, cuál ha sido la variación de las dimensiones referentes a la sección de las vigas.

Dicho cálculo se ha basado simplemente en la medición directa en campo una vez al mes, de la evolución del grosor y la anchura de las vigas, por medio de un calibre. Para esta determinación se escogieron cinco vigas de la pila de madera aserrada, a las que se le realizó este seguimiento:

- Las cuatro vigas ubicadas en las cuatro esquinas de la pila (dos superiores, y dos inferiores).
- La viga situada justamente en el centro de la pila de madera.

### **2.5 DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA PROBETA UBICADA EN EL CENTRO GEOMÉTRICO DE LA PILA**

Se trata también de uno de los objetivos secundarios del presente estudio.

La determinación de la humedad de esta viga se ha llevado a cabo tal y como se ha explicado con anterioridad para las 49 vigas de la pila, sólo que ahora se ha focalizado el seguimiento en una de ellas, que es la que se sitúa en el centro de la pila y cuyo código se corresponde con F4-C4.

En este sentido, a esta viga se le han tomado mediciones de humedad todas las semanas, en vez de cada 15 días (como ha sucedido para el resto de las vigas de la pila), por lo que han obtenido unos datos más detallados de cómo ha sido la variación de este parámetro durante el transcurso de los 12 meses de oreo, haciéndose más patente los efectos de las inclemencias climáticas en dicho espacio temporal.

### **2.6 CUANTIFICACIÓN DE LA CURVATURA ALCANZADA POR LAS VIGAS TRAS LOS 12 MESES DE SECADO**

El último objetivo del proyecto fue cuantificar la curvatura que han alcanzado las vigas de la pila después de 12 meses de secado al aire.

La curvatura es un defecto de la madera aserrada, fruto del secado y sobre todo, del peso de la viga, ya que si un material es muy alargado, y es sujetado por sus dos extremos, su centro tiende a curvarse hacia abajo por su peso.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

Este fenómeno aparece siempre que no se coloquen rastreles en el centro de la pila, ya que aparte de separar filas de la misma, tienen la función de soportar el peso de las piezas y de sujetarlas por su zona central.

Partiendo de esto, al comienzo del trabajo de campo se midió y anotó la distancia de las testas y del centro de la viga al suelo del patio, realizándose la misma operación al final del periodo en el que tuvieron lugar los mencionados trabajos de campo.

La consecución de este objetivo se ha logrado mediante una determinación sumamente sencilla, puesto que basta con conocer la distancia inicial que separa el centro de las vigas del suelo del patio de maderas y la que finalmente les separa tras los doce meses, no variando la distancia de las testas al suelo ya que ellas están perfectamente sujetas por rastreles.

### 2.7 ANÁLISIS ECONÓMICO BÁSICO PARA EL COSTE DE LA OPERACIÓN DE SECADO

En el presente apartado de la Tesis Doctoral se ha contemplado un somero estudio económico con el que se pretende describir la “realidad” del secado natural de la madera aserrada en el centro peninsular, en lo que a términos económicos se refiere, por lo que se va a proceder a analizar el coste que conlleva la operación de secado, así como exponer los beneficios y consecuencias en las que incurriría una empresa de aserrado cuando esta operación se efectúa de forma incorrecta (véase “CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN”).

Por tanto, en primer lugar se requiere conocer cuánto cuesta secar la madera, en lo que al proceso propiamente de secado se refiere. El conocimiento de las cifras energéticas del secado de la madera es fundamental a la hora de diseñar tanto los elementos de calefacción del propio secadero como la caldera (Conde García, et al., 2005); cifras de consumo que diversos autores han recogido, y que en muchas ocasiones son contradictorias (Fernández- Golfín Seco & Álvarez Noves, 1998; Eckelman & Baker, 1976; Joly & More- Chevalier, 1980; Villère, 1966).

Lógicamente, ante tal panorama resulta muy difícil, o al menos complicado, calcular con total fiabilidad los sistemas de calefacción de los secaderos y de las calderas. A ello se suma que las condiciones higrométricas del secado, las características y tecnología del secadero, la humedad del material, las características y tipo de madera, la forma del apilado, etc, son factores de las que dependerán las cifras de consumo energético.

En el presente apartado de esta Memoria se recogen las bases teóricas para determinar la energía necesaria que se requiere para eliminar el agua de la madera, hasta conseguir un contenido de humedad óptimo para la industria en cuestión que vaya a realizar el procesado de dicha pieza.

En este sentido, es posible considerar dos tipos de energía:

- Energía calorífica.
- Energía eléctrica necesaria para mover el aire interior mediante el empleo de ventiladores.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

### Cálculo de la energía calorífica

A continuación se presentan las cantidades para el secado de la madera desde una humedad inicial media del 70% hasta una humedad final del 10% aproximadamente para coníferas (Villière, 1966):

- Del 70% de humedad hasta el 25%: 1000 kcal/kg
- Del 25% hasta el final: 2000 kcal/kg
- Del 70% hasta el final: 1350 kcal/kg

Las cifras recogidas son valores medios que no atienden a la variabilidad introducida por factores como la especie, el espesor de la madera, etc. Estas cifras, aun pudiendo parecer excesivas, se corresponden a valores medios reales lo que indica que en numerosos casos la energía requerida es mayor.

El total de energía calorífica que se necesita, viene compuesta por dos sumandos:

1. Energía intrínseca (EI): cantidad de energía necesaria para eliminar el agua de la madera (Skaar, 1977); que se compone a su vez del calor latente de vaporización ( $Q_0$ ), y del calor diferencial de sorción ( $Q_L$ ).

La energía intrínseca se calcula en dos fases:

- ✓ Por encima del punto de saturación de la pared celular:

$$EI = Q_0 \cdot n^{\circ} \text{ de litros evaporados en dicha fase}$$

- ✓ Por debajo del punto de saturación de la pared celular:

$$EI = Q_V \cdot n^{\circ} \text{ de litros evaporados en dicha fase}$$

Calculándose el  $Q_V$  mediante la expresión resultante de integrar la fórmula original de Skaar (1972) entre dos valores de humedad inicial  $H_i$  (<PSF) y de humedad final, quedando por tanto la siguiente ecuación:

$$Q_V = 585 + \frac{1984 \cdot \{e^{-0,14 \cdot H_f}\} - \{e^{-0,14 \cdot H_i}\}}{H_i - H_f} \text{ (Kcal/ kg agua evaporada)}$$

Dónde:

$H_i$  el contenido de humedad inicial (%);

$H_f$  el contenido de humedad final (%);

Siendo  $H_f < H_i < \text{PSF}$

La siguiente tabla recoge por temperaturas los calores de vaporización del agua libre.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 5.3- Calores latentes de vaporización del agua libre en función de la temperatura

TEMPERATURA (°C)	Clv (kcal/kg)
18	588,83
21	585,72
38	576,22
66	560,11
88	546,72
100	539,00

Fuente: Fundamentos teóricos del secado de la madera. Álvarez Noves & Fernández-Golfín Seco

2. Energía Extrínseca (EE): es la energía extraña al proceso de secado, y viene compuesta de:
  - ✓ La energía necesaria para calentar la madera y el secadero: depende de su calor específico, el cual es función de su humedad, si bien puede considerarse un valor medio de 0,324 cal/g°C (Conde García et al., 2005).
  - ✓ La energía necesaria para calentar y humidificar el aire de renovación entrante: Skaar (1977) lo evaluó de forma empírica en un 16% de la energía total necesaria (Intrínseca+Extrínseca) para el secado.
  - ✓ La energía necesaria para compensar las fugas por falta de estanqueidad o radiación del secadero, así como por expulsión de aire caliente y húmedo. En secaderos antiguos pueden suponer hasta el 40% del total de energía necesaria para el secado (Shottafer y Shuler, 1974; Skaar, 1977), aunque los secaderos de hoy en día son capaces de rebajarlas hasta valores en el entorno del 30%.

Realmente, a lo que a esta investigación concierne, en el proceso de oreado no interviene la Energía Extrínseca, por lo que en el secado natural al aire se prescinde de esta componente de la energía calorífica.

#### Cálculo de la energía eléctrica necesaria para mover el aire interior mediante el empleo de ventiladores

Siguiendo a Villière (1982), se habrán de considerar unas necesidades generales de 0,4 kWh/m<sup>3</sup> y hora de marcha del secadero. Si se emplean ventiladores con variadores de velocidad, se habrán de rebajar estas cifras en un 50-60%.

No procede profundizar en el cálculo de este tipo de energía puesto que la presente Tesis Doctoral versa sobre el secado al aire, y por tanto, no interviene ninguno de los elementos propios de un secadero convencional.

Los resultados del análisis económico en cuanto al secado de la madera se refiere, se encuentran recogidos en el "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN" de la presente Tesis Doctoral.



## CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 2.8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se trata de la última fase de la metodología empleada en el desarrollo del proyecto de investigación, pero podría decirse que es la más importante, o al menos, la más esperada, pues como es lógico, el inicio de un estudio se motiva por la existencia de unos resultados a los que se va a llegar después de haberse empleado de manera rigurosa la metodología científica, y la propuesta de unas conclusiones y de unos desarrollos futuros que ahonden y/o amplíen la línea de investigación sobre la que versa el proyecto de investigación.

La obtención de resultados y la consulta de otros estudios elaborados con anterioridad que forman parte de los antecedentes de la presente investigación permitirán plantear las principales líneas de investigación futuras, centradas principalmente en reforzar y justificar el empleo de cámaras con aire climatizado como principal método de secado de piezas de madera aserrada en el centro peninsular, pues a buen seguro es a día de hoy el método económicamente más rentable.





# CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN





## CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Conviene recordar al lector que la primera etapa desarrollada para la elaboración del presente proyecto de investigación fue la búsqueda bibliográfica.

Los resultados de dicha búsqueda fueron variables en función de la tipología de la información buscada, es decir, de su temática.

En este sentido, se ha de apuntar que la información referente a la tecnología del secado de la madera así como de otros materiales y/o productos, es decir, el campo más general que engloba o sobre el que se enmarca el estudio, es amplísima; siendo imposible contabilizar los libros, los artículos (tanto en lengua inglesa como en castellano) y las páginas web sobre esta temática. Existe un considerable número de publicaciones que explican cómo se lleva a cabo el movimiento del agua en la madera, los factores que influyen en el secado de la misma, o los defectos que se originan debidos a este proceso, así como los diferentes métodos desarrollados para cuantificar la humedad existente en una determinada pieza de madera. La información encontrada sobre esta temática en diferentes fuentes no difiere en demasía, puesto que es lógico pensar que se trata de un campo que ya ha sido muy trabajado desde antiguo (la madera como material de construcción o de elaboración de objetos), y son escasos los avances que se han ido aconteciendo si se compara con cualquier otro campo de la ingeniería.

Comentar que respecto a la biología, ecología, distribución, uso del material forestal de reproducción, empleo de la madera, y demás aspectos del *Pinus pinaster* Ait., existen multitud de publicaciones y estudios en formato libro o en formato digital, por lo que la consecución de esta información fue una tarea sencilla.

Se han conseguido las normas UNE (de tipo experimental) relacionadas con la determinación de la humedad en la madera aserrada, tanto por el método de resistencia eléctrica (el empleado en la presente Tesis Doctoral) como por el método de secado en estufa.

A medida que la búsqueda bibliográfica desciende a un nivel más específico y la temática se va concretando como por ejemplo en modelos de secado, se observa que la información ofrecida pasa a reducirse considerablemente. Si se toma como ejemplo el modelo de deshidratación de Peleg, se observa que éste ha sido ampliamente aplicado en la industria agroalimentaria para



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

secar alimentos, pero nunca ha sido implementado en la tecnología del secado de la madera para explicar este proceso. En este sentido, existe un buen número de publicaciones (sobre todo en revistas hispanoamericanas) relativas a la aplicación de modelos empíricos de secado en la industria agroalimentaria, pero ninguno de ellos se ha empleado en la deshidratación de madera.

Por ello, señalar que, tras la exhaustiva búsqueda bibliográfica realizada en relación a la temática anteriormente indicada, no fue posible la localización de ningún otro estudio de características similares al abordado en este proyecto de investigación, lo cual ofrece una idea de lo novedoso que puede resultar el mismo.

### **2. VALORES OBTENIDOS DE HUMEDAD DE LAS VIGAS**

Una vez transcurrido un año completo de trabajos de campo, los valores registrados en el tiempo por el xilohigrómetro de resistencia referentes a la humedad que las 49 vigas que conforman la población muestral contenían en cada momento y localizaciones de las mismas (testas orientadas al este, testas orientadas al oeste y centro), son los que a modo de resumen figuran en la *Tabla A2: Humedad de las 49 vigas objeto de estudio del "ANEXO 2: RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD"*.

### **3. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO PARA LA HUMEDAD DE LAS VIGAS**

A continuación se presentan los resultados referentes al análisis estadístico correspondiente a las distintas maneras en las que se trataron y consideraron los datos: por filas (siete niveles), por columnas (siete niveles), por punto de medición de la humedad en la viga (tres niveles) y por último, por orientación (es decir, por filas y por columnas pero dentro de cada uno de los tres niveles referentes al punto de medición con el xilohigrómetro).

Estos resultados se han realizado por medio del programa de estadístico Statgraphics y la hoja de cálculo Microsoft Office Excel 2007.

#### **3.1 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR FILAS DE LA PILA DE MADERA ASERRADA**

En primer lugar se expone y analiza el cuadro resumen de la variable humedad, por cada una de las siete filas de la pila de madera aserrada.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.1- Resumen de los estadísticos por filas de la pila de madera aserrada

FILA	Recuento	Media ± Intervalo de Confianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
F1	840	23,142 ± 0,554	35,409%	9,530	45,493	35,963	4,929
F2	840	23,889 ± 0,628	38,893%	9,570	51,274	41,7044	6,307
F3	840	23,432 ± 0,674	42,561%	8,645	51,697	43,0529	6,834
F4	840	25,264 ± 0,727	42,596%	8,790	60,126	51,3359	8,001
F5	840	24,733 ± 0,703	42,073%	9,460	58,265	48,8052	8,105
F6	840	22,798 ± 0,627	40,700%	9,169	51,039	41,8694	7,498
F7	840	22,955 ± 0,612	39,435%	9,684	47,933	38,2488	6,788
Total	5880	23,745 ± 0,125	40,573%	8,645	60,126	51,4811	20,007

Fuente: Elaboración propia

La interpretación clásica de los intervalos de confianza es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de la variable humedad, se encuentra en algún lugar entre el límite inferior y el límite superior del intervalo calculado.

El programa Statgraphics calcula intervalos tanto para la media, como para la desviación estándar de la variable humedad. Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal; pero, mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Por ello, únicamente consideraremos los intervalos para la media de la variable humedad.

En la figura 6.1 se exponen los correspondientes gráficos de medias que incluyen dichos intervalos de confianza al 95,0% para la media.

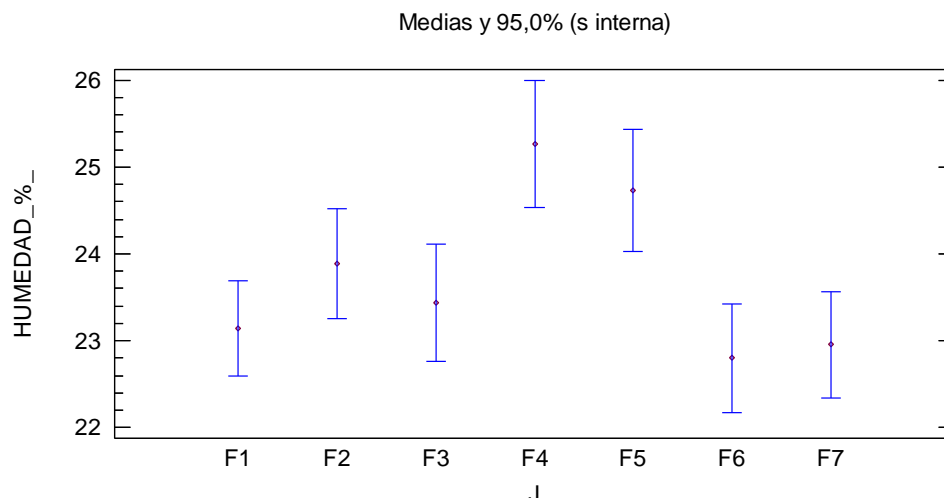


Figura 6.1- Gráfico de Medias por filas de la pila de madera aserrada, con intervalos de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Observando la gráfica es posible extraer de la misma que el contenido en humedad es mayor en la fila 4 ya que al ser la más interna de la pila, se encuentra en la posición en la que la pérdida de humedad se ve dificultada en mayor medida.

Las filas 6 y 7, por ser las superiores, parece que poseen un contenido menor de agua, ya que a esta altura el movimiento del aire, que es el principal agente secante de la madera, se acentúa mucho más que a ras del suelo.

En los diagramas de Cajas y Bigotes (Box-Plot) la línea gruesa en color azul de cada caja representa la mediana, el bigote de la izquierda representa el colectivo de datos desde ( $X_{\min}$ , Q1), y el bigote de la derecha viene dado por (Q3,  $X_{\max}$ ).

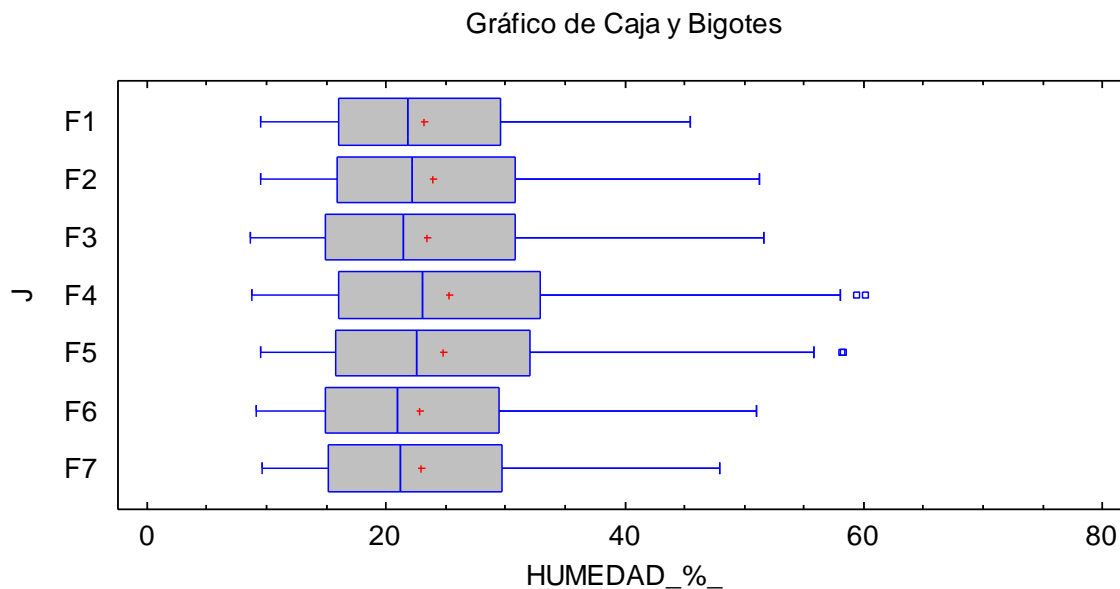


Figura 6.2- Diagrama de Cajas y Bigotes por filas de la pila de madera aserrada. Fuente: Elaboración propia

Mediante estos diagramas se observa la variabilidad de los resultados obtenidos. Los datos de la fila 1 y la fila 7 están más concentrados, aunque a la vista queda que existen datos atípicos en todas las filas.

Por otra parte, los datos correspondientes a la fila 4 son los más heterogéneos. Esta heterogeneidad disminuye conforme las filas de la pila van situándose en los extremos. Esto puede ser debido a que las vigas de las filas más extremas tienen un secado más homogéneo y rápido que las que se encuentran en la zona más interior, cuyo secado es más paulatino y diferente, y de ahí que las humedades también sean más dispares.

Los valores obtenidos (p- valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en la comprobación analítica de la Normalidad de los datos de humedad de las 49 vigas de la pila de madera aserrada, por filas, se exponen en el “ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD”.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de que la variable humedad proviene de una distribución normal con un 95% de confianza.

La falta de normalidad de los datos de humedad, por filas, puede apreciarse de igual manera mediante el estudio de las gráficas expuestas en el mencionado anexo.

Una vez comprobada la heterocedasticidad mediante el test de Levene's de los grupos entre los que se desea realizar comparaciones, se realizó la prueba de Kruskal- Wallis. En el caso de establecer comparaciones entre las siete filas de la pila de madera, el test de Levene's (p-valor=0,0) evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de la variable humedad dentro de cada uno de los 7 niveles de filas es la misma. Puesto que el p- valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Por lo que se concluye que las siete filas de la pila presentan varianzas distintas.

A continuación se presenta la prueba de Kruskal- Wallis en base a las siete filas de la pila de madera aserrada:

Tabla 6.2- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad

<b>FILAS</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>
<b>F1</b>	840	2917,460
<b>F2</b>	840	2991,880
<b>F3</b>	840	2859,090
<b>F4</b>	840	3143,940
<b>F5</b>	840	3071,910
<b>F6</b>	840	2777,400
<b>F7</b>	840	2821,810

Estadístico = 31,8149 P-Valor = 0,0000177061

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas del parámetro "humedad" dentro de cada uno de los 7 niveles correspondientes a las filas de la pila, son iguales. Puesto que el resultado del p-valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

A continuación se presenta el siguiente gráfico donde se puede observar la evolución en el comportamiento de pérdida de humedad (log H) para cada una de las filas, pudiendo observarse las diferencias establecidas anteriormente mediante K-W.



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfica del Modelo Ajustado

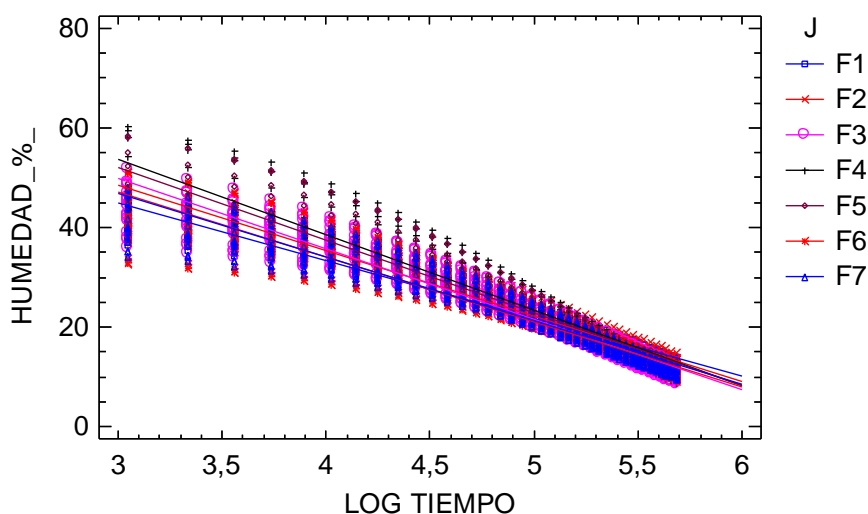


Figura 6.3- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

La prueba de Kruskal-Wallis nos revela que existen diferencias entre las siete filas de la pila de madera aserrada, pero no nos confirma exactamente entre cuáles las hay. Para ello, se hace necesario recurrir al Test de Rangos Múltiples a través del método de Tukey, cuyos resultados pueden observarse en el “ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO”.

### 3.2 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR COLUMNAS DE LA PILA DE MADERA ASERRADA

A continuación en la tabla 6.3 y en la figura 6.4 se exponen los datos del resumen estadístico de la variable humedad, por cada una de las siete columnas de la pila de madera aserrada.

Tabla 6.3- Resumen de los estadísticos por columnas de la pila de madera aserrada

COLUMNA	Recuento	Media ± Intervalo de Confianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
C1	840	23,016 ± 0,586	37,658%	9,909	46,087	36,177	6,580
C2	840	24,306 ± 0,635	38,642%	9,994	47,627	37,632	6,144
C3	840	24,002 ± 0,683	42,092%	8,960	52,412	43,451	6,937
C4	840	24,681 ± 0,707	42,362%	9,306	58,265	48,959	8,321
C5	840	23,724 ± 0,690	43,010%	8,790	60,126	51,335	9,489
C6	840	23,936 ± 0,639	39,481%	8,645	51,039	42,394	6,423
C7	840	22,548 ± 0,600	39,408%	9,530	47,663	38,132	6,258
Total	5880	23,745 ± 0,125	40,573%	8,645	60,126	51,481	20,007

Fuente: Elaboración propia





## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

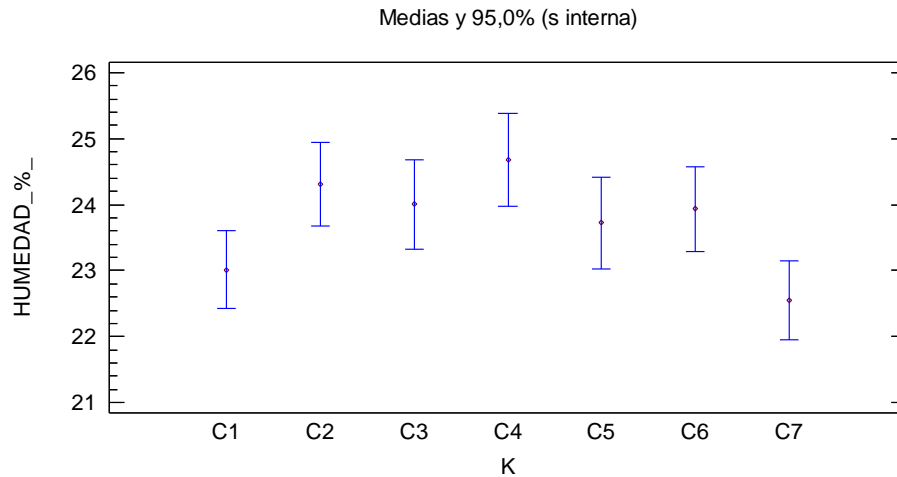


Figura 6.4- Gráfico de Medias por columnas de la pila de madera aserrada, con intervalos de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia

El patrón que aplica para las columnas de la pila es el mismo que el existente para las filas: el contenido en humedad es mayor en la columna 4 (por estar ésta en la posición más desfavorable de la pila), mientras que las columnas más extremas (la 1 y la 7) por encontrarse más expuestas al viento, son las que poseen menos contenido de agua.

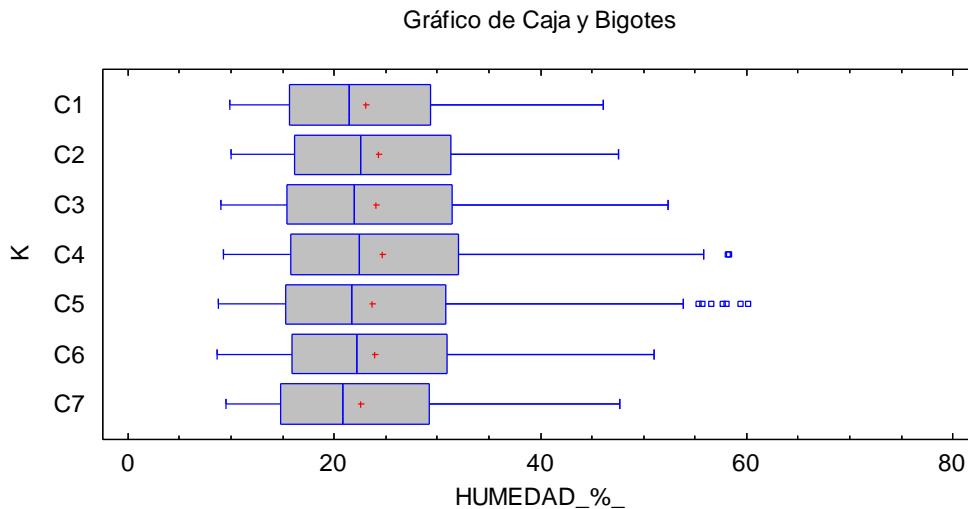


Figura 6.5- Diagrama de Cajas y Bigotes por columnas de la pila de madera aserrada. Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de Cajas y Bigotes (Box-Plot) se observa el mismo patrón detectado por filas. Los datos de las columnas más externas (1 y 7) están más concentrados, siendo los correspondientes a las columnas centrales (3, 4 y 5) más heterogéneos.

Esta heterogeneidad disminuye conforme las columnas de la pila van situándose en los extremos. Esto puede ser debido a que las vigas de las columnas más extremas tienen un secado más homogéneo y rápido que las que se encuentran en la zona más interior, cuyo secado es más paulatino y diferente, y de ahí que las humedades también sean más dispares.



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análogamente a lo expuesto para las filas de la pila de madera, en el “ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD” se ofrecen los valores obtenidos (p- valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en la comprobación analítica de la Normalidad de los datos de humedad por columnas de las 49 vigas.

Como sucedía con anterioridad, debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de la variable humedad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Mediante el estudio de las gráficas expuestas en dicho anexo, queda patente también la falta de normalidad de los datos de humedad, por columnas.

Se comprobó la heterocedasticidad mediante el test de Levene’s de las siete columnas de la pila de madera (p-valor= $8,96106 \cdot 10^{-7}$ ), que al ser menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que se concluye que las siete columnas de la pila presentan varianzas distintas, lo mismo que ocurrió por filas.

Análogamente a lo llevado a cabo para las filas, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los 7 niveles correspondientes a las columnas de la pila.

Tabla 6.4- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad

<b>COLUMNAS</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>
<b>C1</b>	840	2859,370
<b>C2</b>	840	3064,430
<b>C3</b>	840	2957,610
<b>C4</b>	840	3059,060
<b>C5</b>	840	2898,220
<b>C6</b>	840	2992,820
<b>C7</b>	840	2751,980
Estadístico = 22,2566 P-Valor = 0,00108781		

Fuente: Elaboración propia

Al igual que ocurría en las filas de la pila, el p-valor de la prueba de Kruskal- Wallis en las columnas es menor que 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

La comparación entre las diferentes ecuaciones se realiza de igual manera que con anterioridad, es decir, visualmente. El gráfico de abajo evidencia estas diferencias puestas de relieve mediante K-W, pudiéndose observar la evolución en el comportamiento de pérdida de humedad (log H) en este caso, para cada una de las columnas de la pila.



CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfica del Modelo Ajustado

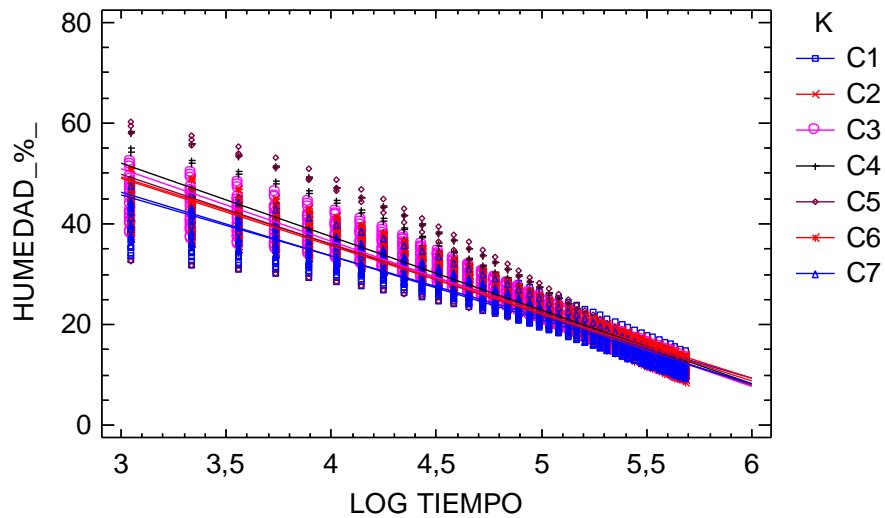


Figura 6.6- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad.  
Fuente: Elaboración propia

Análogamente al estudio de las filas, se ha realizado la prueba de Rango Múltiple, para el caso de las columnas, con el ánimo de conocer entre qué columnas existe diferencia significativa y cuyos resultados pueden observarse en el “ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO”.

**3.3 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR PUNTO DE MEDICIÓN DE LA MISMA EN LA VIGA**

El cuadro y la figura que a continuación se muestran, resumen la estadística de la variable humedad, en este caso, por punto de medición de la misma en cada una de las vigas con el xilohigrómetro de resistencia.

Tabla 6.5- Resumen de los estadísticos por punto de medición de humedad en la viga

PUNTO	Recuento	Media ± Intervalo de Confianza	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
CENTRO	1960	23,621 ± 0,430	41,134%	8,645	59,420	50,775	11,407
ESTE	1960	23,495 ± 0,419	40,346%	8,812	60,126	51,313	11,897
OESTE	1960	24,118 ± 0,429	40,211%	9,078	58,160	49,081	11,363
Total	5880	23,745 ± 0,125	40,573%	8,645	60,126	51,481	20,007

Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

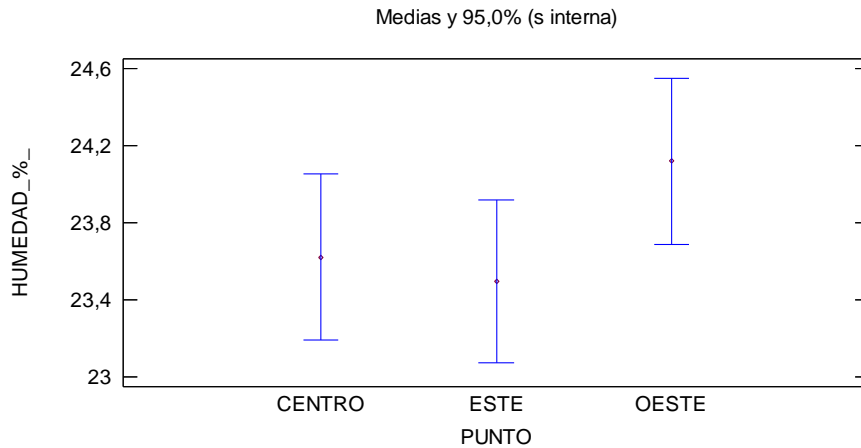


Figura 6.7- Gráfico de Medias por puntos de medición de la humedad, con intervalos de confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia

Gráficamente se observa que la humedad de las testas orientadas al oeste es mayor que la humedad correspondiente a las testas orientadas al este y al centro de las vigas.

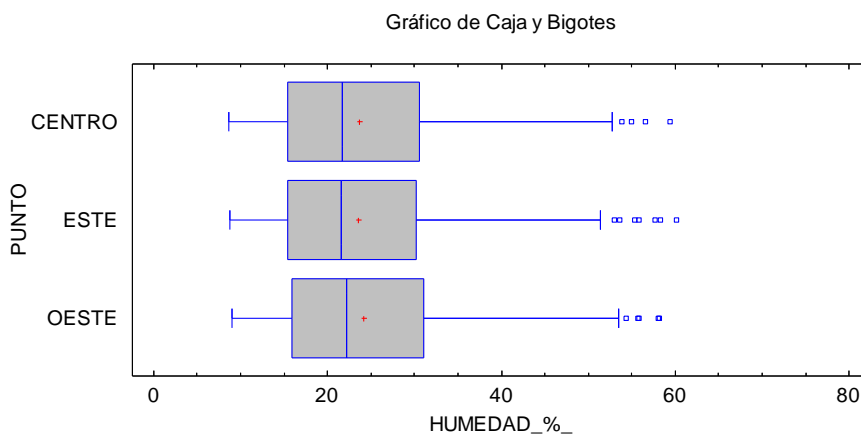


Figura 6.8- Diagrama de Cajas y Bigotes por punto de medición de la humedad en la viga. Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Cajas y Bigotes (Box-Plot) muestra sensibles diferencias entre la humedad correspondiente a los tres puntos de la viga donde se realizaron las mediciones.

Por último, según los tres puntos donde se tomaron las mediciones de humedad con el xilohigrómetro de resistencia, se han realizado las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si dicha variable humedad proviene de una población Normal.

Los resultados tanto de las pruebas analíticas como de las pruebas gráficas vuelven a arrojar falta de normalidad de los datos de humedad, esta vez, según el punto donde se midió con el xilohigrómetro en la viga (véase "ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD").

En el caso de la humedad según el punto donde se midió con el xilohigrómetro (testa este, testa oeste y centro de la viga) se observa que el p-valor del test de Levene's (p-valor=0,433061)



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

es mayor que 0,05, luego no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza, por lo que es posible concluir que los tres puntos de medición no presentan varianzas distintas.

Se realizó la prueba de Kruskal- Wallis para los 3 niveles del punto de las piezas donde se realizó la medición con el xilohigrómetro.

Tabla 6.6- Prueba de Kruskal- Wallis por punto de medición, para la variable humedad

<b>PUNTO</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>
<b>CENTRO</b>	1960	2911,460
<b>ESTE</b>	1960	2902,640
<b>OESTE</b>	1960	3007,400
Estadístico = 4,59237 P-Valor = 0,100642		

Fuente: Elaboración propia

En este caso, el p-valor es mayor que 0,05, por lo que es posible afirmar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Así queda reflejado en el gráfico siguiente, donde efectivamente, parece que no hay diferencias en el comportamiento de pérdida de humedad (log H) respecto a los tres puntos de medición de la misma.

Gráfica del Modelo Ajustado

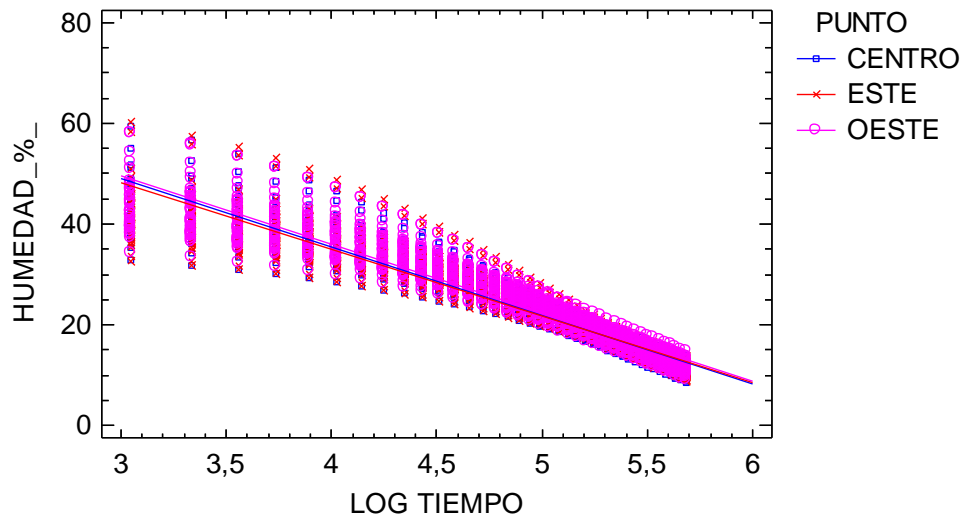


Figura 6.9- Gráfico del modelo ajustado por punto de medición, para la variable humedad.

Fuente: Elaboración propia

En el “ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO” se expone el resultado de la Prueba de Rango Múltiple realizada por el método (HSD) de Tukey, para confirmar la no existencia de diferencias entre los tres puntos de medición de la humedad con el xilohigrómetro.



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4 ANÁLISIS DE LA HUMEDAD POR ORIENTACIÓN DE LAS VIGAS

Los resultados referentes a la estadística descriptiva de la humedad por filas y columnas, según la orientación de la viga: humedad de la testa este, de la testa oeste y del centro de la viga.

#### 3.4.1 Análisis de la humedad por filas, de las testas orientadas al este

Tabla 6.7- Resumen de los estadísticos por filas de la humedad de las testas orientadas al este

FILA	Recuento	Media $\pm$ Intervalo de Confianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
F1	280	23,040 $\pm$ 0,937	34,603%	10,211	41,208	30,997	2,777
F2	280	23,067 $\pm$ 1,084	39,974%	9,570	49,238	39,667	4,079
F3	280	23,085 $\pm$ 1,132	41,682%	8,812	46,099	37,286	3,791
F4	280	25,188 $\pm$ 1,260	42,550%	10,222	60,126	49,903	4,776
F5	280	24,607 $\pm$ 1,209	41,764%	10,362	58,265	47,903	4,972
F6	280	22,830 $\pm$ 1,076	40,090%	9,889	50,880	40,990	4,441
F7	280	22,650 $\pm$ 1,050	39,410%	9,684	44,178	34,494	3,651
Total	1960	23,495 $\pm$ 0,214	40,346%	8,812	60,126	51,313	11,897

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Caja y Bigotes

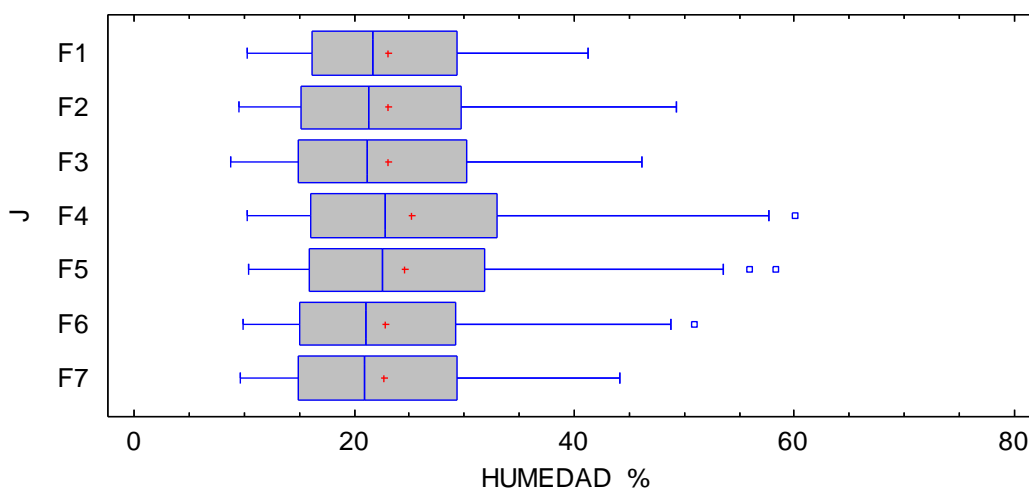


Figura 6.10- Diagrama de Cajas y Bigotes por filas de las testas orientadas al este Fuente: Elaboración propia

Para la humedad de las testas orientadas al este, se observa la misma tendencia que en los análisis anteriores: existe una mayor heterogeneidad en los datos de las filas centrales de la pila, que en las filas externas de la misma.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la prueba de Kruskal- Wallis en base a las siete filas de la pila de madera aserrada, pero considerando exclusivamente la humedad de las testas orientadas al este. Puesto que el p-valor del Test de Levene's es menor que 0,05 ( $p\text{-valor} = 0,000381809$ ), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que se concluye que la humedad de las testas orientadas al este de acuerdo a las siete filas de la pila, presentan varianzas distintas.

A continuación se realizó la prueba de Kruskal-Wallis:

Tabla 6.8- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este

FILAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
F1	280	984,314
F2	280	959,029
F3	280	951,929
F4	280	1057,03
F5	280	1032,58
F6	280	943,618
F7	280	935,004
Estadístico = 11,6189 P-Valor = 0,0710303		

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

A continuación se presenta el siguiente gráfico donde se puede observar la evolución en el comportamiento de pérdida de humedad (log H) para cada una de las filas para la humedad de las testas orientadas al este.

Gráfica del Modelo Ajustado

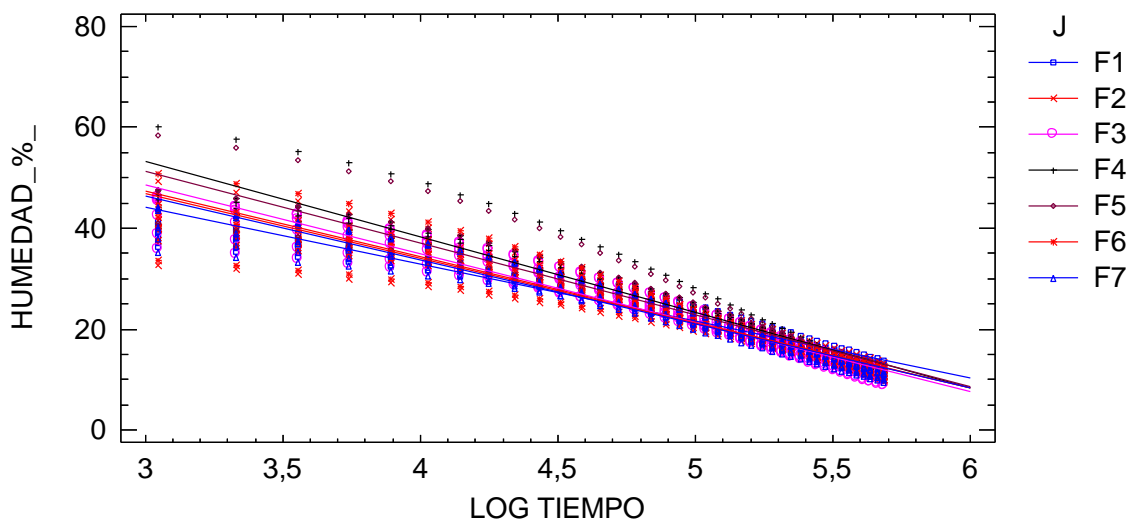


Figura 6.11- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este.

Fuente: Elaboración propia



**CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados de la prueba de Rango Múltiple pueden observarse en el “ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO”.

**3.4.2 Análisis de la humedad por columnas, de las testas orientadas al este**

Tabla 6.9- Resumen de los estadísticos por columnas de la humedad de las testas orientadas al este

COLUMNA	Recuento	Media ± Intervalo de Confianza	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
C1	280	22,537 ± 0,994	37,519%	9,909	45,601	35,691	3,766
C2	280	24,580 ± 1,106	38,257%	10,608	47,510	36,901	3,549
C3	280	23,979 ± 1,174	41,622%	8,960	49,238	40,277	3,748
C4	280	24,154 ± 1,187	41,806%	10,151	58,265	48,114	5,150
C5	280	23,163 ± 1,202	44,142%	8,812	60,126	51,313	6,140
C6	280	23,631 ± 1,100	39,596%	9,889	50,880	40,990	3,911
C7	280	22,423 ± 1,007	38,177%	9,684	44,178	34,494	3,481
<b>Total</b>	1960	23,495 ± 0,214	40,346%	8,812	60,126	51,313	11,897

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Caja y Bigotes

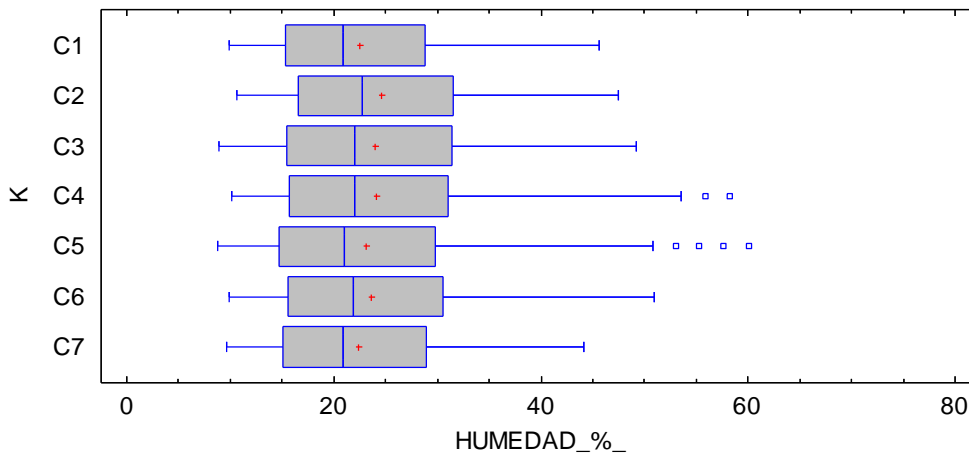


Figura 6.12- Diagrama de Cajas y Bigotes por columnas de las testas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia

El mismo patrón observado que en anteriores análisis (en las columnas externas de la pila hay una mayor homogeneidad en los datos de humedad, que en las columnas centrales, donde la heterogeneidad es mayor) vuelve a repetirse en este caso.

Análogamente a lo recogido por filas para la humedad de las testas orientadas al este, a continuación se presenta la prueba de Kruskal- Wallis en base a las siete columnas de la pila de madera aserrada. . Puesto que el p- valor del Test de Levene’s es menor que 0,05 (p-valor= 0,0292615), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar,





## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que se concluye que la humedad de las testas orientadas al este de acuerdo a las siete filas de la pila, presentan varianzas distintas.

Tabla 6.10- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este

COLUMNAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
C1	280	938,850
C2	280	1053,560
C3	280	1001,000
C4	280	1007,260
C5	280	940,696
C6	280	992,779
C7	280	929,357
Estadístico = 10,9791		P-Valor = 0,0890257

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

A continuación se presenta el siguiente gráfico donde se puede observar la evolución en el comportamiento de pérdida de humedad (log H) para cada una de las columnas para la humedad de las testas orientadas al este.

Gráfica del Modelo Ajustado

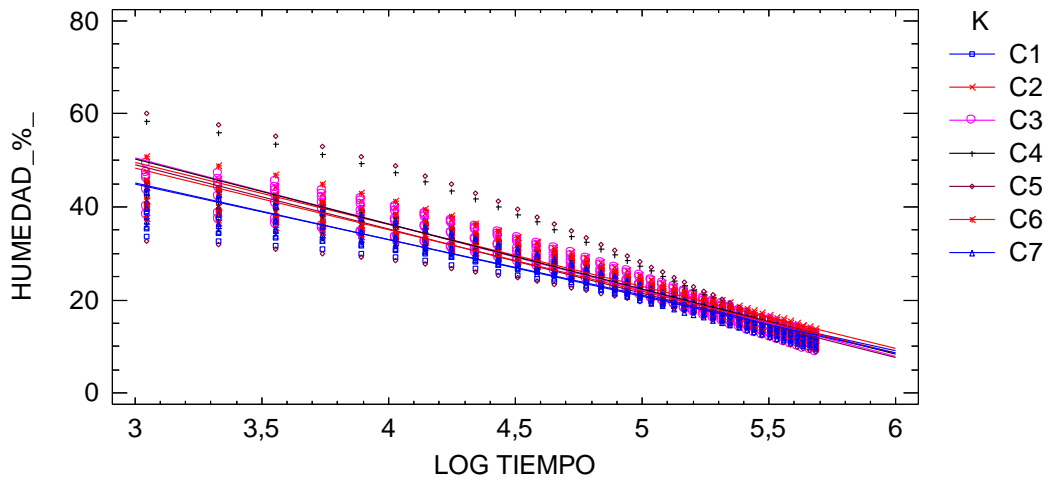


Figura 6.13- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.3 Análisis de la humedad por filas, de las testas orientadas al oeste

Tabla 6.11- Resumen de los estadísticos por filas de la humedad de las testas orientadas al oeste

FILAS	Recuento	Media ± Intervalo de Confianza	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
F1	280	23,613 ± 0,993	35,766%	10,116	45,493	35,376	3,053
F2	280	24,146 ± 1,058	37,246%	9,994	47,105	37,110	2,980
F3	280	23,636 ± 1,159	41,712%	9,078	48,518	39,439	3,715
F4	280	25,240 ± 1,265	42,621%	10,553	58,098	47,544	4,895
F5	280	25,291 ± 1,260	42,348%	10,187	58,160	47,972	4,652
F6	280	23,394 ± 1,125	40,908%	9,920	51,039	41,118	4,138
F7	280	23,506 ± 1,084	39,208%	10,059	47,933	37,874	4,222
Total	1960	24,110 ± 0,219	40,211%	9,078	58,160	49,081	11,363

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Caja y Bigotes

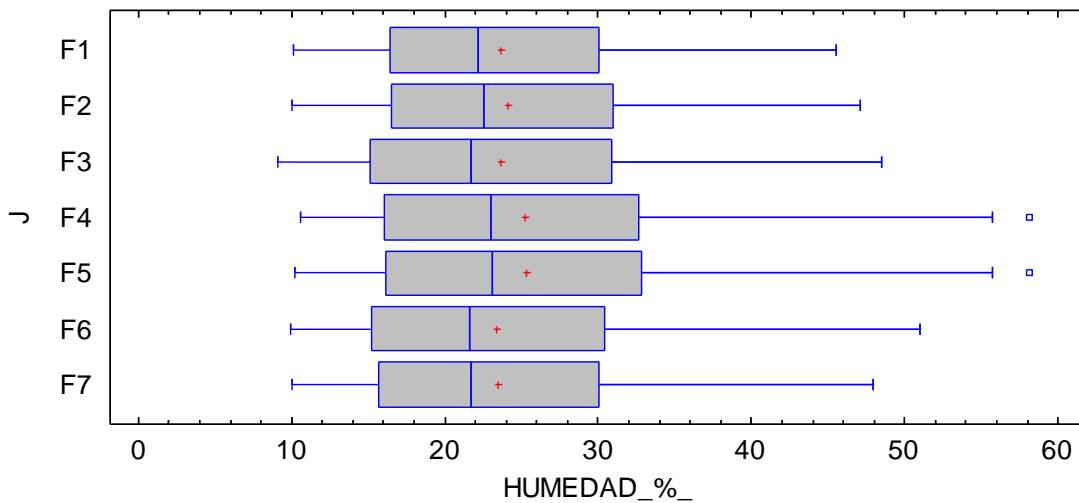


Figura 6.14- Diagrama de Cajas y Bigotes por filas de las testas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor del Test de Levene’s es menor que 0,05 (p-valor=0,00162149), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.12- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

FILAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
F1	280	975,711
F2	280	999,311
F3	280	946,532
F4	280	1024,990
F5	280	1030,230
F6	280	936,100
F7	280	950,621
Estadístico = 7,73447 P-Valor = 0,25821		

Fuente: Elaboración propia

No existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza, pues el p- valor es mayor que 0,05.

Gráfica del Modelo Ajustado

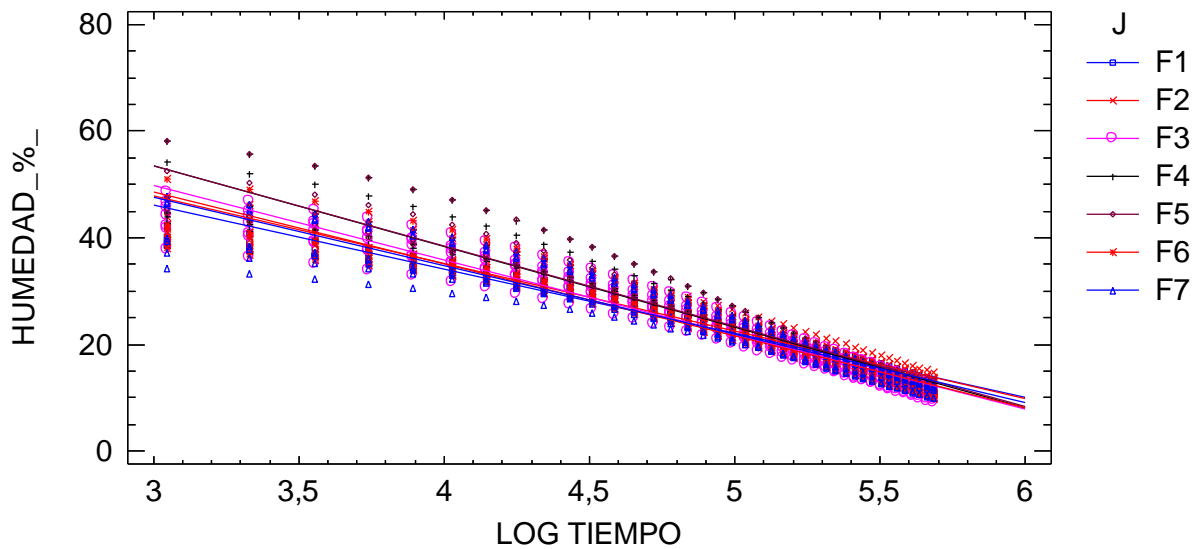


Figura 6.15- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4.4 Análisis de la humedad por columnas, de las testas orientadas al oeste

Tabla 6.13- Resumen de los estadísticos por columnas de la humedad de las testas orientadas al oeste

<b>COLUMNAS</b>	<b>Recuento</b>	<b>Media ± Intervalo de Confianza</b>	<b>Coficiente de Variación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Rango</b>	<b>Sesgo Estandarizado</b>
C1	280	23,736 ± 1,047	37,524%	10,657	45,493	34,836	3,504
C2	280	23,827 ± 1,108	39,549%	9,994	47,627	37,632	3,650
C3	280	23,991 ± 1,180	41,819%	9,078	52,412	43,333	3,974
C4	280	25,112 ± 1,269	42,974%	10,059	58,160	48,100	4,989
C5	280	24,566 ± 1,180	40,859%	10,052	58,098	48,046	5,024
C6	280	24,495 ± 1,105	38,359%	9,920	51,039	41,118	3,780
C7	280	23,098 ± 1,074	39,555%	9,633	47,663	38,029	3,692
Total	1960	24,118 ± 0,219	40,211%	9,078	58,160	49,081	11,363

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Caja y Bigotes

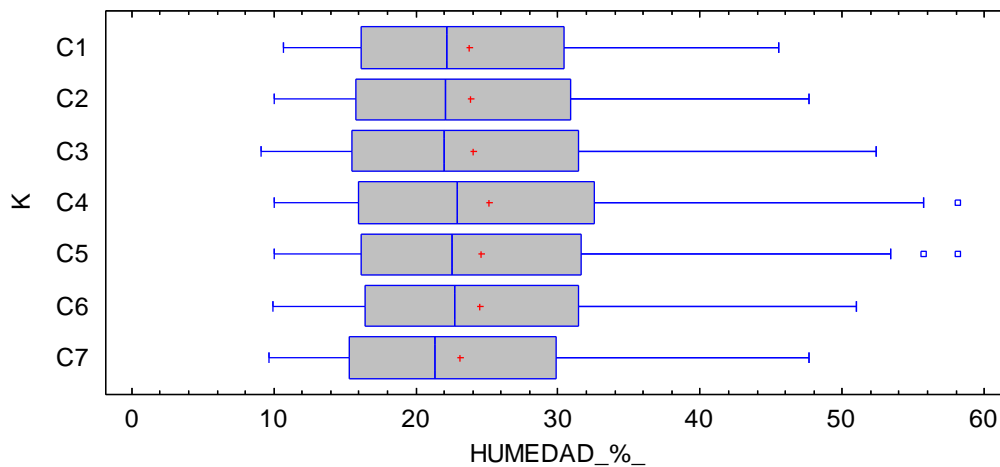


Figura 6.16- Diagrama de Cajas y Bigotes por columnas de las testas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor del Test de Levene’s es mayor que 0,05 (p-valor=0,0884461), no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.14- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

COLUMNAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
C1	280	972,846
C2	280	967,593
C3	280	966,043
C4	280	1016,800
C5	280	1001,500
C6	280	1011,600
C7	280	927,114
Estadístico = 5,25417 P-Valor = 0,511651		

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el p- valor es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfica del Modelo Ajustado

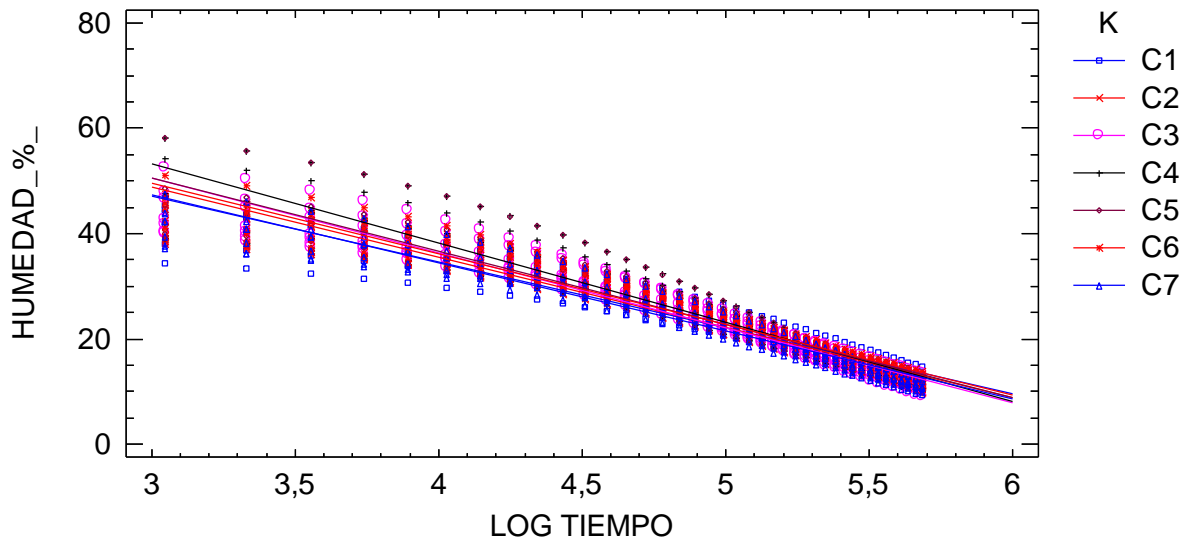


Figura 6.17- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4.5 Análisis por filas, de la humedad del centro de las vigas

Tabla 6.15- Resumen estadístico por filas, de la humedad del centro de las vigas

FILAS	Recuento	Media $\pm$ Intervalo de Confianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
F1	280	22,774 $\pm$ 0,960	35,853%	9,530	41,493	31,963	2,631
F2	280	24,454 $\pm$ 1,132	39,356%	9,966	51,274	41,308	3,808
F3	280	23,576 $\pm$ 1,228	44,308%	8,645	51,697	43,052	4,228
F4	280	25,364 $\pm$ 1,276	42,765%	8,790	59,420	50,630	4,245
F5	280	24,302 $\pm$ 1,204	42,125%	9,460	54,959	45,499	4,388
F6	280	22,169 $\pm$ 1,070	41,045%	9,169	47,881	38,711	4,392
F7	280	22,708 $\pm$ 1,061	39,717%	9,725	46,807	37,082	3,856
Total	1960	23,621 $\pm$ 0,219	41,134%	8,645	59,420	50,775	11,407

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Caja y Bigotes

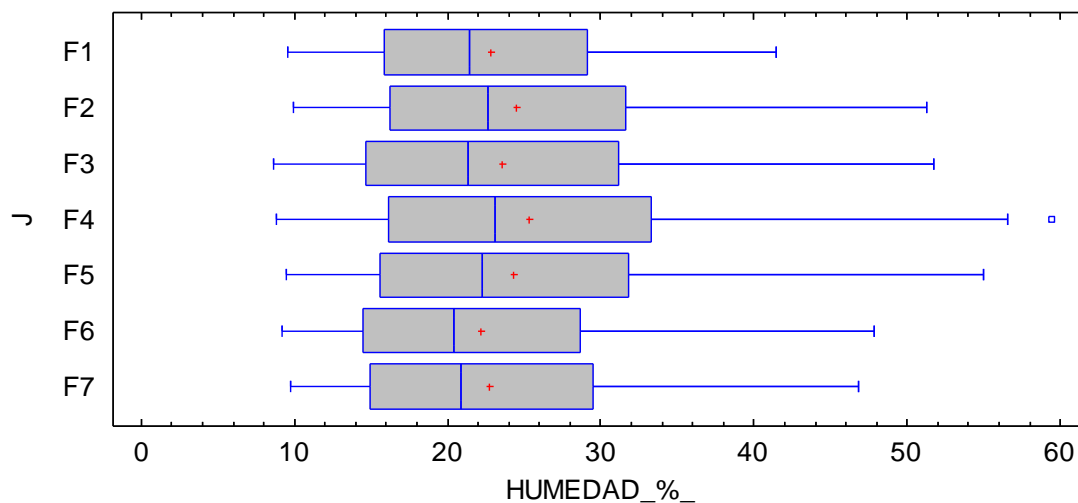


Figura 6.18- Diagrama de Cajas y Bigotes por filas, de la humedad del centro de las vigas. Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p-valor en el Test de Levene's es menor que 0,05 (p-valor= 0,0000817375), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.16- Prueba de Kruskal- Wallis por filas, para la variable humedad del centro de las vigas

FILAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
F1	280	959,836
F2	280	1034,080
F3	280	961,043
F4	280	1061,300
F5	280	1011,740
F6	280	899,393
F7	280	936,114
Estadístico = 17,2469 P-Valor = 0,0084174		

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p-valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfica del Modelo Ajustado

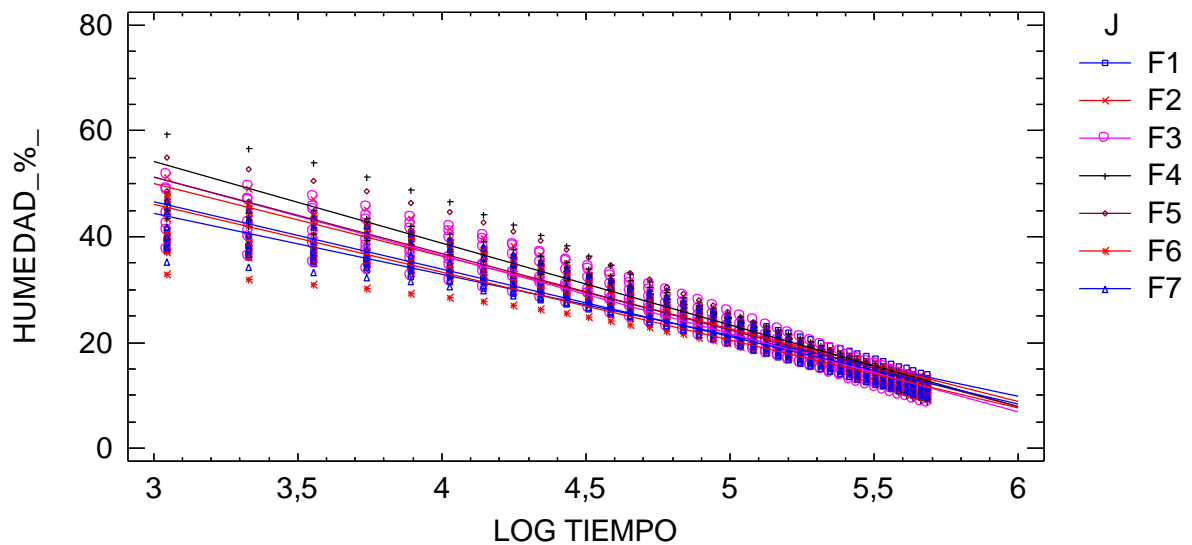


Figura 6.19- Gráfico del modelo ajustado por filas, para la variable humedad del centro de las vigas. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4.6 Análisis por columnas, de la humedad del centro de las vigas

Tabla 6.17- Resumen estadístico por columnas, de la humedad del centro de las vigas

COLUMNAS	Recuento	Media ± Intervalo de Confianza	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
C1	280	22,774 ± 1,013	37,840%	10,408	46,087	35,678	4,087
C2	280	24,513 ± 1,101	38,206%	10,845	46,834	35,989	3,508
C3	280	24,035 ± 1,214	42,967%	9,460	51,697	42,237	4,297
C4	280	24,777 ± 1,232	42,298%	9,306	54,959	45,653	4,236
C5	280	23,441 ± 1,215	44,059%	8,790	59,420	50,630	5,461
C6	280	23,683 ± 1,129	40,555%	8,645	48,131	39,486	3,534
C7	280	22,124 ± 1,053	40,475%	9,530	44,755	35,224	3,625
Total	1960	23,621 ± 0,219	41,134%	8,645	59,420	50,775	11,407

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Caja y Bigotes

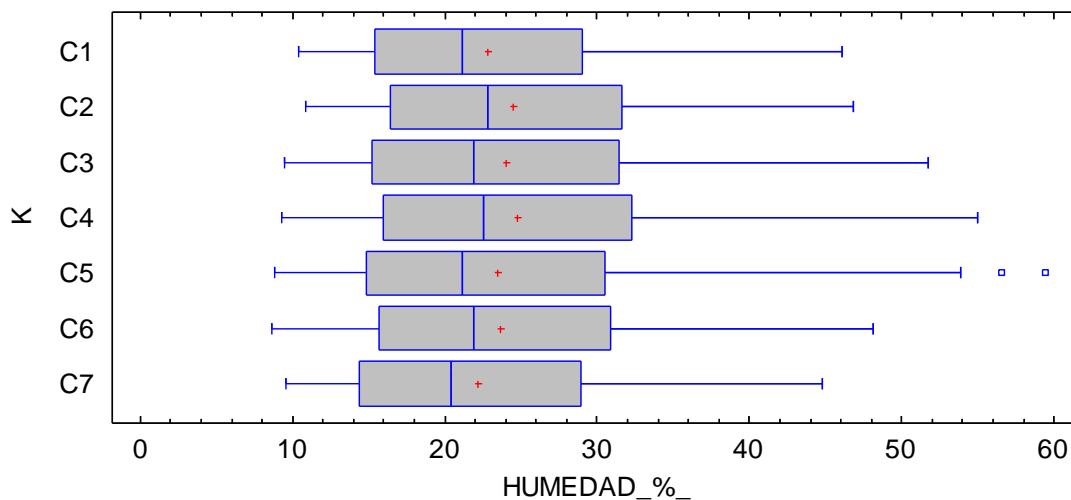


Figura 6.20- Diagrama de Cajas y Bigotes por columnas, de la humedad del centro de las vigas. Fuente: Elaboración propia

Existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza, ya que el p-valor del Test de Levene’s fue de 0,01543.





## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.18- Prueba de Kruskal- Wallis por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas

COLUMNAS	Tamaño Muestra	Rango Promedio
C1	280	948,582
C2	280	1045,46
C3	280	992,025
C4	280	1035,72
C5	280	955,646
C6	280	988,614
C7	280	897,454
Estadístico = 13,9877 P-Valor = 0,0297742		

Fuente: Elaboración propia

Es posible señalar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza, debido a que el p-valor es menor que 0,05.

Gráfica del Modelo Ajustado

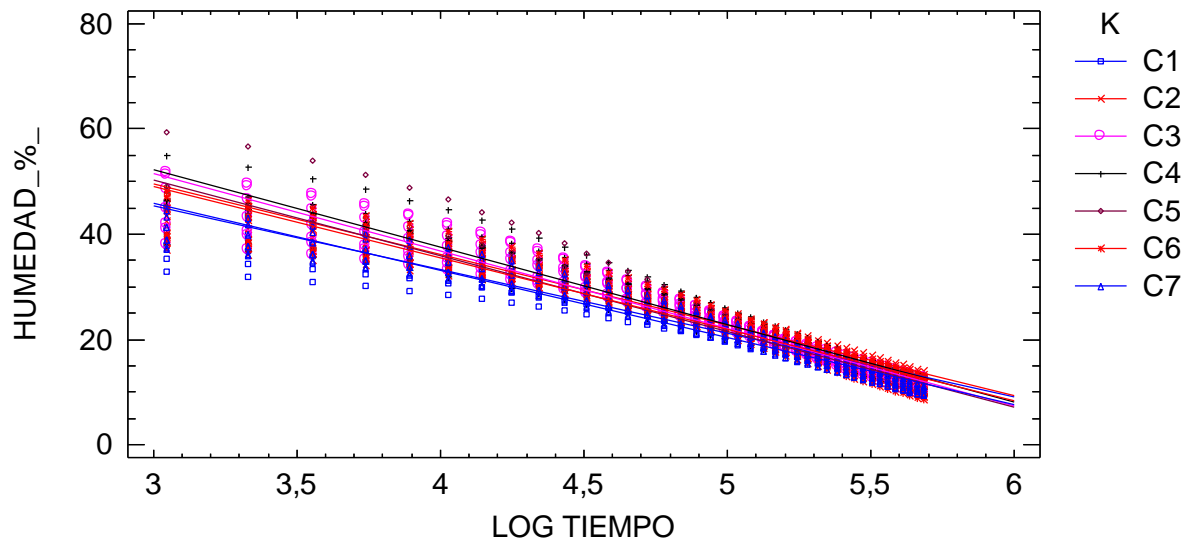


Figura 6.21- Gráfico del modelo ajustado por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



### 3.4.7 Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al este

La siguiente gráfica representa la línea evolutiva en cuanto a pérdida de humedad de las testas orientadas al este se refiere, para cada una de las 49 vigas de la pila de madera aserrada.

#### 3.4.7.1 Evolución de la humedad de las 49 vigas

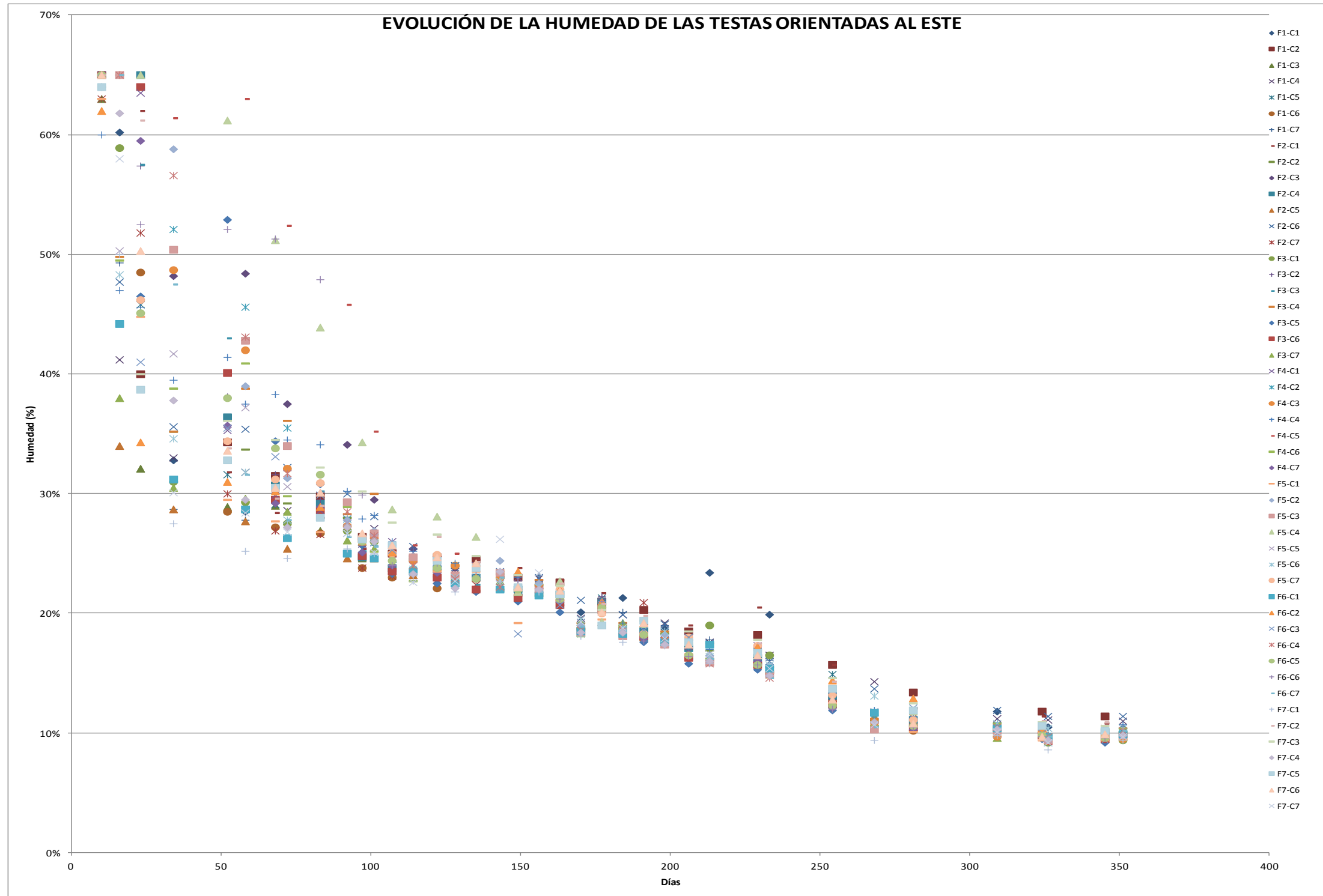


Figura 6.22- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al este de las 49 vigas. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es preciso aclarar que la humedad inicial de las testas orientadas al este fue sensiblemente similar (entorno al 65%), habiéndose tomado los datos en semanas alternas. De este modo, los puntos del gráfico que comienzan en humedades más bajas se debe al hecho de que las mediciones sobre estas vigas se realizaron en la semana posterior al comienzo del ensayo.

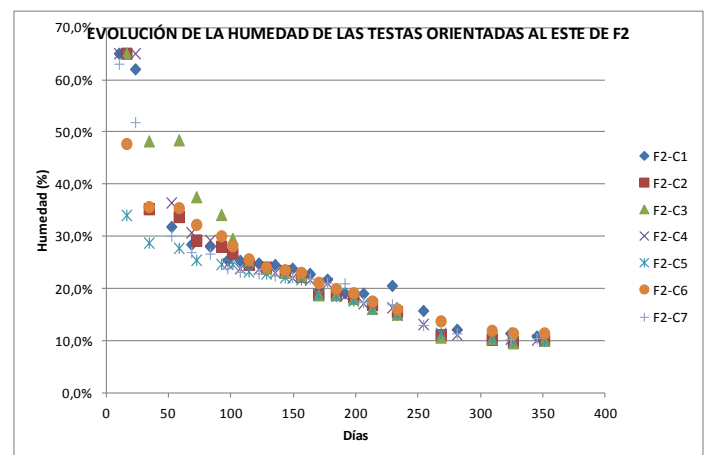
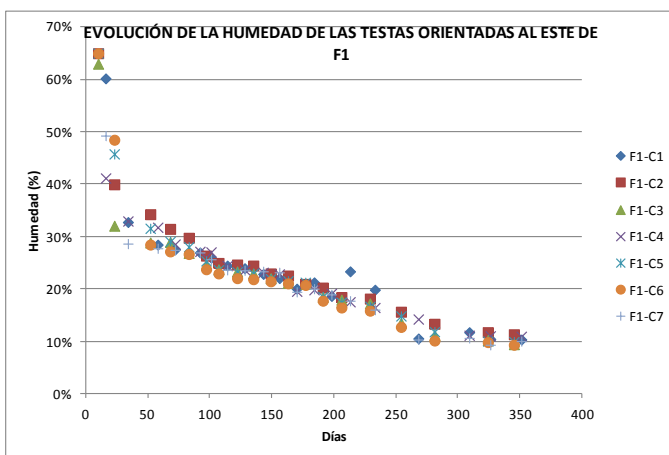
Lo interesante es señalar la evolución del contenido de humedad en estas testas orientadas al este, que refleja una pérdida progresiva y paulatina conforme se sucedían las semanas de medición. Esta evolución no es lineal, sino que en función de las inclemencias climáticas podían incluso, ganar algo de humedad (semanas de marzo de abundantes lluvias).

En cualquier caso, al término de las mediciones, se ve que el contenido de humedad oscila entre 9,4% (valor mínimo) y el 11,4% (valor máximo). Estos valores corresponden, respectivamente, a la viga F7-C1 (ubicada en la fila 7 de la pila, por lo tanto, en la superior), y a la viga F2-C6 (fila 2 más próxima al suelo).

Aunque no es posible afirmar con total certeza, visualmente se cumple que las vigas de madera situadas en las filas más próximas al suelo, poseen un mayor contenido de humedad en sus testas orientadas al este, en filas superiores.

### 3.4.7.2 Evolución de la humedad por filas de la pila

Las siguientes gráficas representan cómo ha sido la evolución de la humedad contenida en las testas orientadas al este por de las 49 vigas objeto de estudio, en base a las siete filas que conformaron.





## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

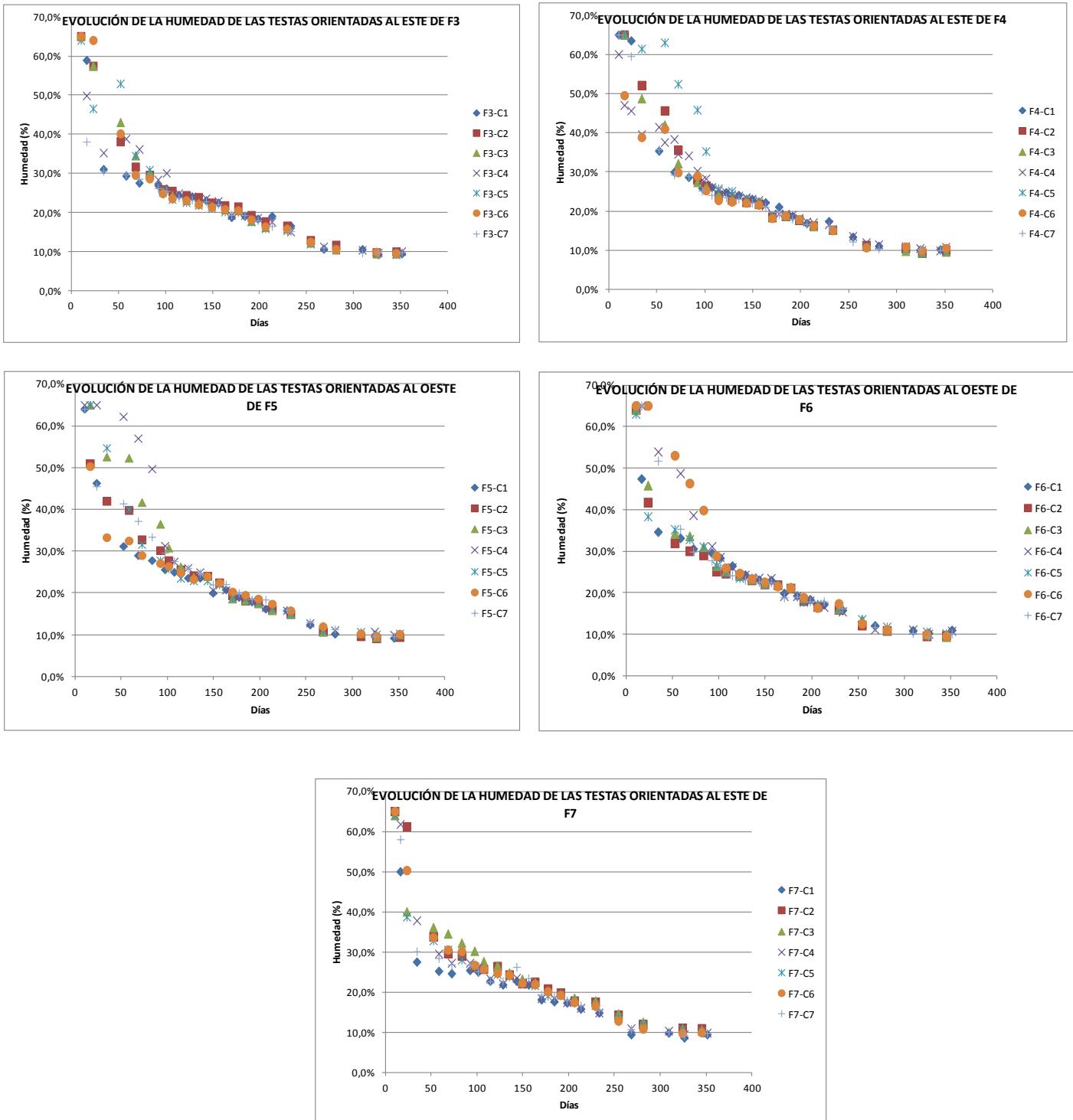


Figura 6.23- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al este por filas. Fuente: Elaboración propia



### 3.4.8 Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al Oeste

#### 3.4.8.1 Evolución de la humedad de las 49 vigas

Como ya se ha hecho con la humedad de las testas orientadas al este, para conocer si existen diferencias en el contenido de humedad de las testas orientadas al oeste entre las filas de vigas, se procede a representar su línea evolutiva en la siguiente gráfica.

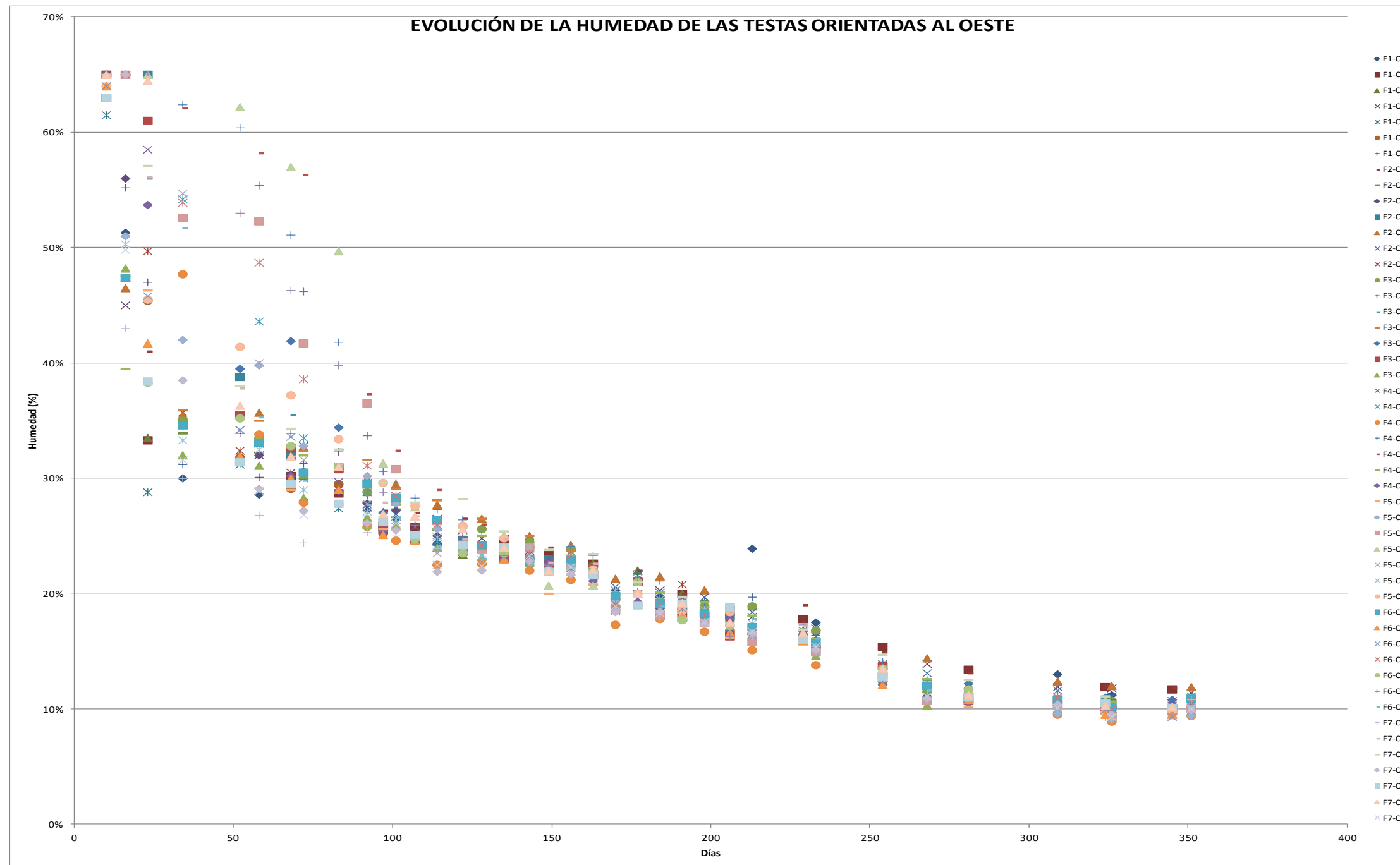


Figura 6.24- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---





## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recordar que la humedad inicial de las testas orientadas al oeste fue muy parecida (entorno al 65%), pero debido a que una semana se medía la humedad de la mitad de las vigas de la pila, y a la siguiente la otra mitad, hay diferencias en el comienzo de las líneas del gráfico ya que unas comienzan en humedades más bajas (vigas medidas la semana consecutiva de las vigas cuya línea evolutiva comienza con humedades próximas al 65%).

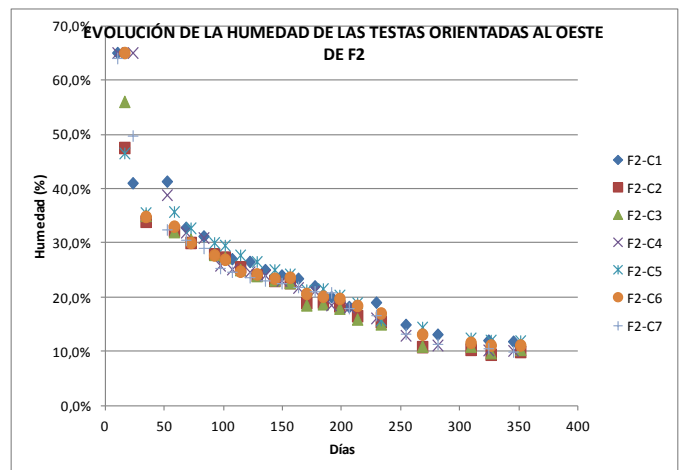
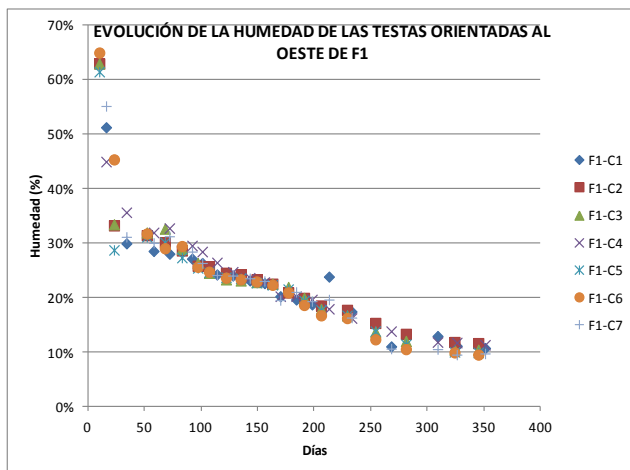
Igualmente se aprecia en la evolución del contenido de humedad en estas testas orientadas al oeste, una pérdida progresiva y paulatina conforme se sucedían las semanas de medición. Esta pérdida de humedad fue más rápida en unas vigas, y en otras, mas gradual, en función de su grado de afección por las inclemencias climáticas.

En cualquier caso, al término de las mediciones, se ve que el contenido de humedad oscila entre 9,4% (valor mínimo) y el 11,9% (valor máximo). Estos valores corresponden, respectivamente, a la viga F4-C3 Y F6-C2 (ubicadas en las filas 4 y 6 de la pila, por lo tanto, más resguardadas), y a la viga F2-C5 (fila más próxima al suelo del patio).

En la gráfica se observa que las vigas de madera situadas en las filas más próximas al suelo, poseen un mayor contenido de humedad en sus testas orientadas al oeste, que las ubicadas en filas superiores.

### 3.4.8.2 Evolución de la humedad por filas de la pila

Análogamente a la humedad de las testas con orientación este, las siguientes gráficas representan la evolución de la humedad por filas contenida en las testas orientadas al oeste por de las 49 vigas que se han estudiado.





## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

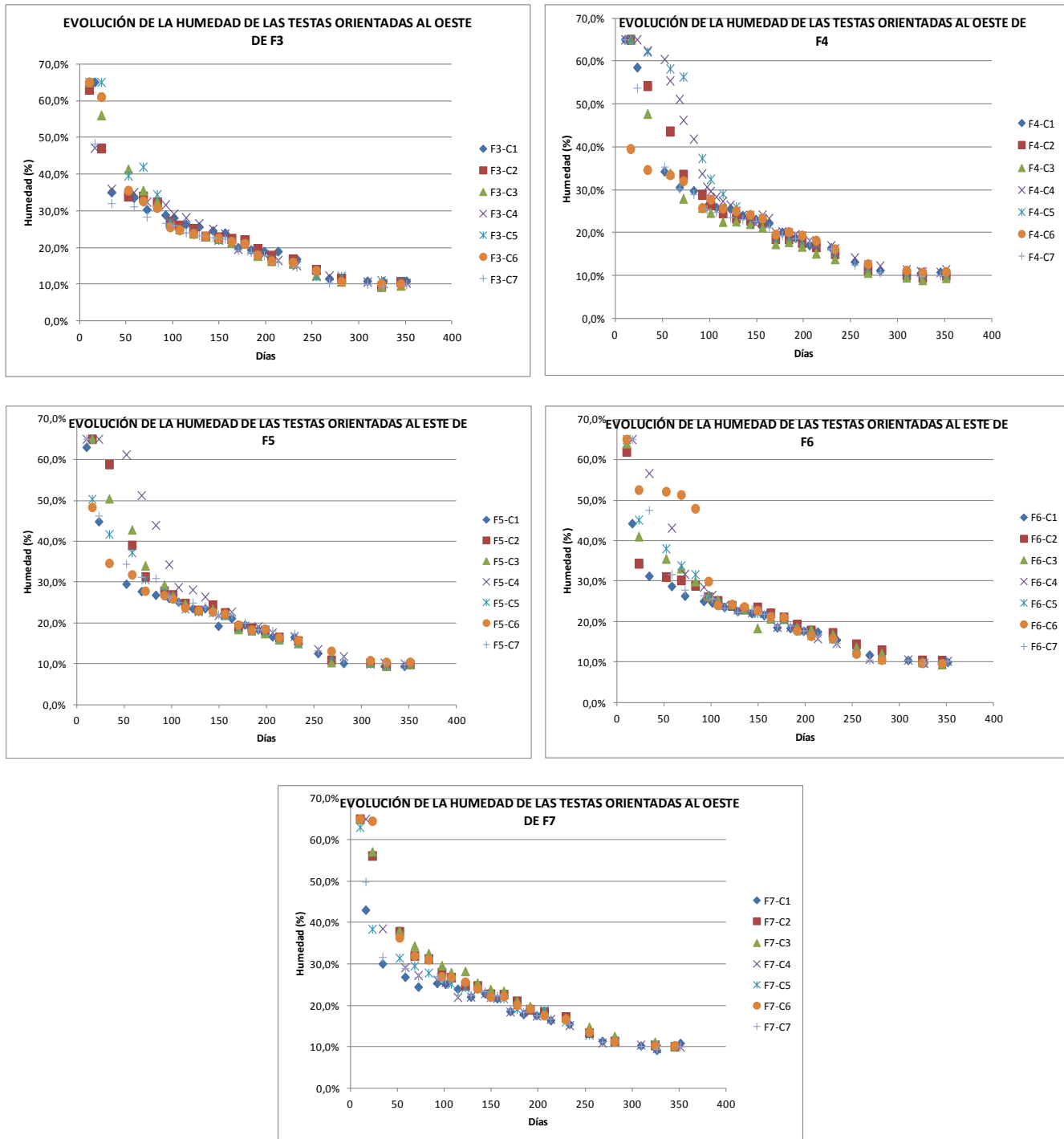


Figura 6.25- Evolución del contenido de humedad de las testas orientadas al oeste por filas. Fuente: Elaboración propia



### 3.4.9 Evolución del contenido de humedad del centro de las vigas

#### 3.4.9.1 Evolución de la humedad de las 49 vigas

Por último, y de forma análoga al estudio de la evolución de la humedad de las testas de las vigas, se presentan las líneas evolutivas con el fin de determinar visualmente diferencias en el contenido de humedad del centro de las vigas entre las filas de la pila.

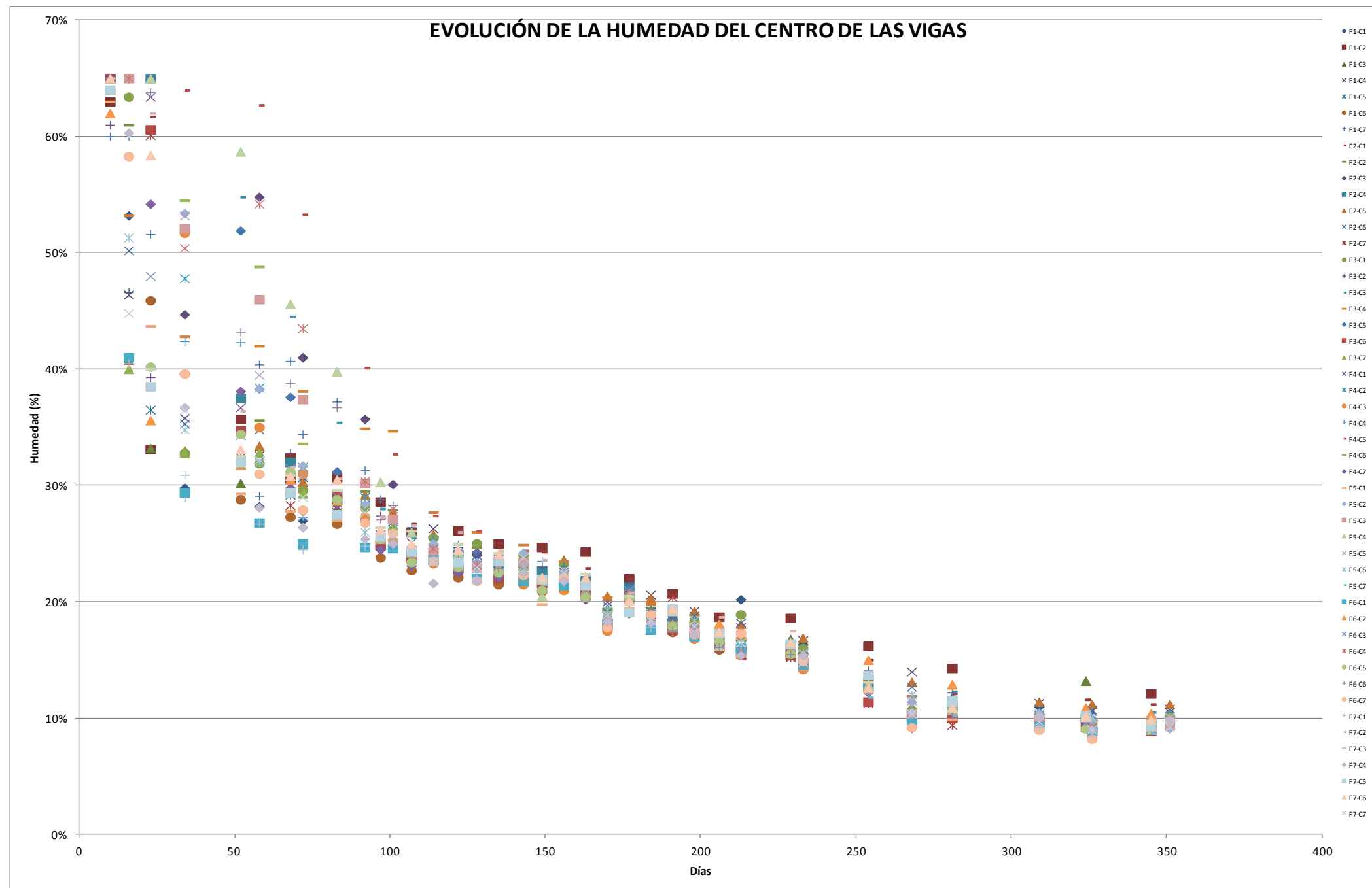


Figura 6.26- Evolución del contenido de humedad del centro de las vigas. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la humedad del centro de las vigas, en la fecha inicial de medición se determinó como valor más común alrededor del 65%, pero como ya se ha comentado para las dos gráficas anteriores de la evolución de la humedad de las testas, las líneas comienzan en humedades muy dispares, fruto de medir este parámetro en semanas alternas.

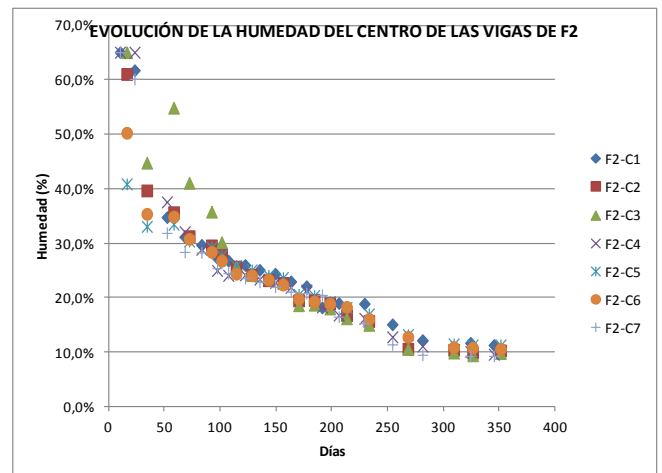
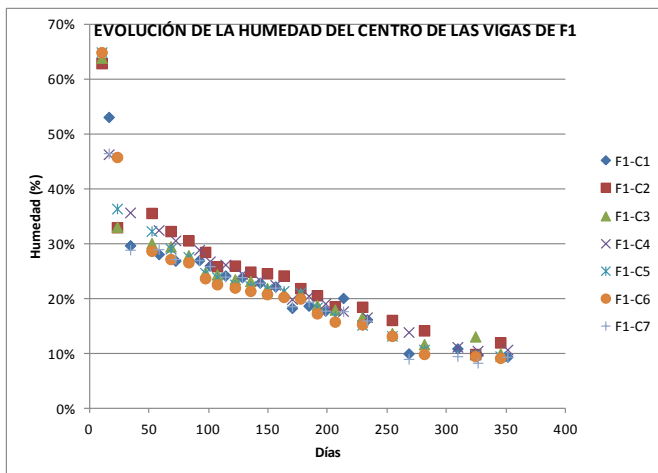
Lo interesante es señalar la evolución del contenido de humedad del centro de las vigas, que refleja una pérdida progresiva y paulatina conforme se sucedían las semanas de medición, análoga a las humedades de las testas. Las inclemencias climáticas acontecidas, hacen que esta evolución no sea lineal, sino que en función de ellas, las piezas son susceptibles de ganar algo de humedad (semanas de marzo de abundantes lluvias).

En cualquier caso, al término de las mediciones, se ve que el contenido de humedad oscila entre 9,1% (valor mínimo) y el 11,2% (valor máximo). Estos valores corresponden, respectivamente, a las vigas F6-C2 y F7-C1 (ubicada en las filas superiores de la pila), y a la viga F2-C5 (fila más cercana al suelo).

Mediante el chequeo visual se extrae la misma conclusión que para la humedad de las testas, y es que las filas más próximas al suelo, poseen un mayor contenido de humedad en el centro de las vigas, que las ubicadas en filas superiores.

### 3.4.9.2 Evolución de la humedad por filas de la pila

Seguidamente se ofrecen las gráficas por filas que representan la evolución de la humedad contenida en el centro de las 49 vigas objeto de estudio.





## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

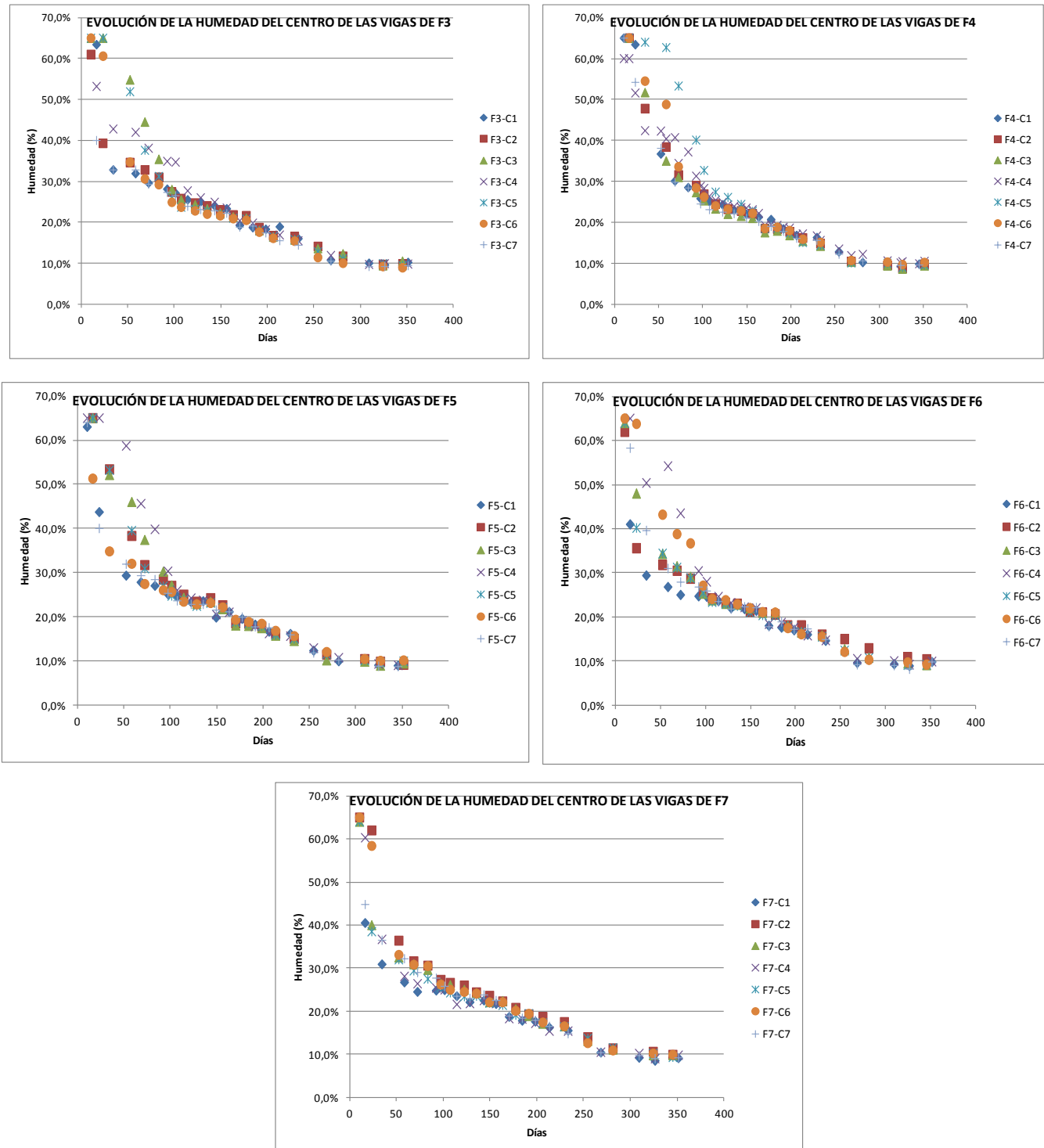


Figura 6.27- Evolución del contenido de humedad del centro de las vigas por filas. Fuente: Elaboración propia



**CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**4. MODELIZACIONES**

A continuación se expone el resultado del modelo obtenido para explicar la pérdida de humedad de las vigas de madera aserrada, de acuerdo a la posición en que se encuentre ubicada la pieza de madera en la pila.

Como se comentó en el “CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS” de la presente Tesis Doctoral, se trata de un modelo sencillo construido en base a los siguientes parámetros:

- Variable dependiente: HUMEDAD
- Factores categóricos:
  - o Fila (J)
  - o Columna (K)
- Factores cuantitativos: LogTIEMPO

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{HUMEDAD}_{\%} = 89,4323 - 0,60236 \cdot I1(1) + 0,143992 \cdot I1(2) - 0,312455 \cdot I1(3) + 1,51892 \cdot I1(4) + 0,988746 \cdot I1(5) - 0,946932 \cdot I1(6) - 0,728791 \cdot I2(1) + 0,561576 \cdot I2(2) + 0,25727 \cdot I2(3) + 0,935981 \cdot I2(4) - 0,0211996 \cdot I2(5) + 0,191425 \cdot I2(6) - 13,4801 \cdot \text{LOG TIEMPO}$$

En donde:

- I1(1) = 1 si J=F1, -1 si J=F7, 0 de lo contrario
- I1(2) = 1 si J=F2, -1 si J=F7, 0 de lo contrario
- I1(3) = 1 si J=F3, -1 si J=F7, 0 de lo contrario
- I1(4) = 1 si J=F4, -1 si J=F7, 0 de lo contrario
- I1(5) = 1 si J=F5, -1 si J=F7, 0 de lo contrario
- I1(6) = 1 si J=F6, -1 si J=F7, 0 de lo contrario
- I2(1) = 1 si K=C1, -1 si K=C7, 0 de lo contrario
- I2(2) = 1 si K=C2, -1 si K=C7, 0 de lo contrario
- I2(3) = 1 si K=C3, -1 si K=C7, 0 de lo contrario
- I2(4) = 1 si K=C4, -1 si K=C7, 0 de lo contrario
- I2(5) = 1 si K=C5, -1 si K=C7, 0 de lo contrario
- I2(6) = 1 si K=C6, -1 si K=C7, 0 de lo contrario

El resultado del test ANOVA para el modelo fue:

**Tabla 6.19- Análisis de Varianza para HUMEDAD**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>P-Valor</b>
<b>Modelo</b>	504298,000	13	38792,200	5498,590	0,0000
<b>Residuo</b>	41384,200	5866	7,054		
<b>Total (Corr.)</b>	545682,00	5879			

Fuente: Elaboración propia



**CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Tabla 6.20- Suma de Cuadrados Tipo III**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>P-Valor</b>
<b>J</b>	4440,720	6	740,121	104,910	0,0000
<b>K</b>	2735,790	6	455,964	64,630	0,0000
<b>LOG TIEMPO</b>	497122,000	1	497122,000	70464,400	0,0000
<b>Residuo</b>	41384,200	5866	7,054		
<b>Total (corregido)</b>	545682,000	5879			

Fuente: Elaboración propia

Se observa que todas las variables introducidas en el modelo resultaron significativas. Además, el valor obtenido para la bondad del ajuste, R<sup>2</sup>, fue del 92,399 %, lo que se traduce en un buen modelo para predecir el tiempo de secado según la posición de la pieza en la pila de madera aserrada.

En el “ANEXO 8: MODELOS DE SECADO” se pueden consultar las ecuaciones exponencial y logarítmica por filas, por columnas y por orientación de la viga (dentro de cada una de las tres orientaciones, también por filas y por columnas). También se pueden consultar en dicho anexo, modelos logarítmicos individuales para cada viga, así como las gráficas de regresiones lineales resultantes de dichos modelos.

**5. CONSTANTE DE SECADO**

Como se mencionó en los dos capítulos anteriores de la presente Tesis Doctoral, se determinaron las constantes de secado individuales para las 49 vigas, así como la constante de secado global para el conjunto de la pila de madera aserrada. Dicha constante de secado sirvió para aplicar el modelo propuesto por Newton y comprobar si los resultados de humedad teórica obtenidos mediante su aplicación, se ajustaban al proceso natural de deshidratación de la madera.

Los resultados de la constante de secado ( $\lambda$ ) calculadas para cada una de las vigas, y para el conjunto de toda la pila se exponen en el “ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON”.

A continuación en la tabla 6.21 y en la figura 6.28 se presentan los resultados referentes a la estadística descriptiva correspondiente a la variable constante de secado ( $\lambda$ ).

**Tabla 6.21- Resumen de los estadísticos de la variable constante de secado**

<b>Recuento</b>	<b>Media <math>\pm</math> Intervalo de Confianza</b>	<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Rango</b>	<b>Sesgo Estandarizado</b>
49	0,0103927 $\pm$ 0,000597086	20,5187%	0,006369	0,0162176	0,00984862	1,95184

Fuente: Elaboración propia





## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

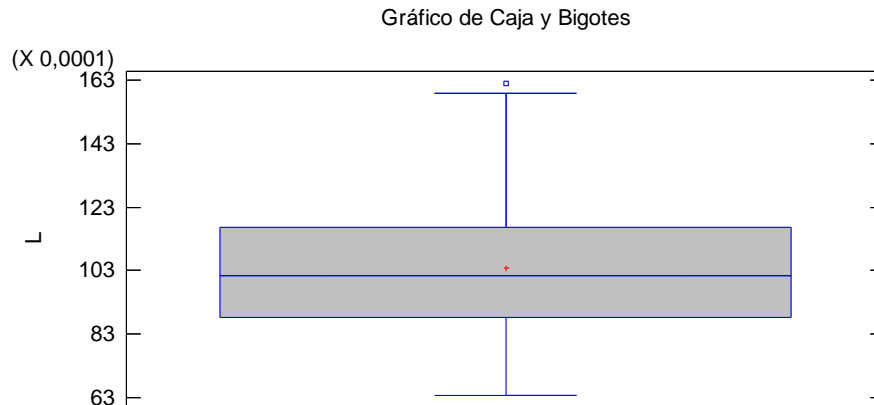


Figura 6.28- Diagrama de Cajas y Bigotes de la variable constante de secado. Fuente: Elaboración propia

### 6. MODELOS DE DESHIDRATACIÓN DE PELEG Y DE NEWTON

Para la comprobación de la bondad del ajuste del modelo teórico de secado de Peleg a la deshidratación mediante el proceso natural de oreado de la madera aserrada, se procedió a calcular modelos de de secado de Peleg individuales, y finalmente un modelo de Peleg para el conjunto de la pila.

Como ya se apuntó en el “CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS” de la Tesis Doctoral, se optó por emplear siempre como valor de referencia para la constante de velocidad  $k_1$  el valor de 1, teniéndose por tanto que determinar el valor de la constante de capacidad  $k_2$  para el que se consiguiera un resultado de humedad teórica predicha similar al que se obtuvo realmente con el secado natural.

Los resultados de la constante de capacidad  $k_2$  calculadas para cada una de las vigas, y para el conjunto de toda la pila se exponen en el “ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON”.

En la tabla 6.22 y en la figura 6.29 se presentan los resultados referentes a la estadística descriptiva correspondiente a la variable constante de capacidad  $k_2$ .

Tabla 6.22- Resumen de los estadísticos de la variable constante de capacidad  $k_2$

Recuento	Media $\pm$ Intervalo de Confianza	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado
49	0,0177143 $\pm$ 0,0011217192	22,6153%	0,0151	0,031	0,0159	5,30061

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

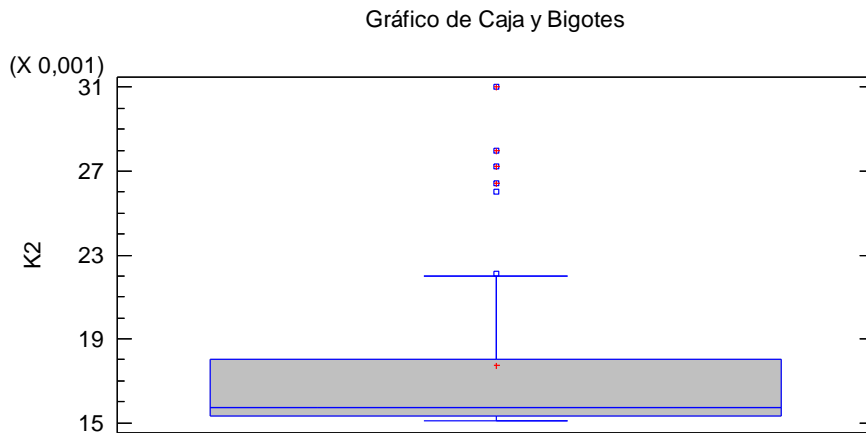


Figura 6.29- Diagrama de Cajas y Bigotes de la variable constante de capacidad  $k_2$ .  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la tabla 6.23 y la gráfica correspondiente (figura 6.30) a la evolución teórica de la humedad tras aplicar los modelos de deshidratación de Peleg y de Newton, para el conjunto de las 49 vigas cuya humedad inicial fue del 64,3%. Como es posible observar, la gráfica presenta 3 líneas de evolución: la deshidratación real que siguió globalmente la pila de madera aserrada correspondiente a la media de las humedades del conjunto de las 49 vigas (puntos azules), la humedad teórica que se alcanzó tras aplicar el modelo de Peleg (punteado rojo) y la humedad teórica debida al modelo de Newton.

En el “ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON” se presentan los resultados de las vigas individuales obtenidos (tablas y gráficas) tras la aplicación de los modelos de deshidratación de Peleg y Newton.

Tabla 6.23- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para el conjunto de las 49 vigas de la pila.

TODAS LAS VIGAS					
$H_f$ (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
		K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,220	10	1	0,0156	55,649	58,244
55,720	16	1	0,0156	51,495	54,888
50,596	23	1	0,0156	47,373	51,216
41,459	34	1	0,0156	42,083	45,936
37,326	52	1	0,0156	35,589	38,444
37,273	58	1	0,0156	33,850	36,229
33,250	68	1	0,0156	31,303	32,817
32,243	72	1	0,0156	30,388	31,544
30,970	83	1	0,0156	28,131	28,292
28,928	92	1	0,0156	26,520	25,882
26,486	97	1	0,0156	25,703	24,633



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.23- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para el conjunto de las 49 vigas de la pila (continuación)

TODAS LAS VIGAS					
$H_f$ (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
		K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
27,217	101	1	0,0156	25,085	23,678
25,104	107	1	0,0156	24,213	22,314
24,718	114	1	0,0156	23,269	20,821
24,249	122	1	0,0156	22,277	19,237
23,627	128	1	0,0156	21,587	18,128
23,497	135	1	0,0156	20,835	16,916
23,179	143	1	0,0156	20,038	15,629
22,161	149	1	0,0156	19,479	14,728
22,437	156	1	0,0156	18,866	13,743
21,690	163	1	0,0156	18,291	12,823
19,007	170	1	0,0156	17,750	11,966
20,562	177	1	0,0156	17,240	11,165
18,933	184	1	0,0156	16,759	10,418
18,704	191	1	0,0156	16,305	9,721
18,091	198	1	0,0156	15,875	9,071
17,265	206	1	0,0156	15,410	8,381
16,759	213	1	0,0156	15,026	7,820
16,501	229	1	0,0156	14,216	6,675
15,359	233	1	0,0156	14,028	6,416
13,262	254	1	0,0156	13,115	5,213
11,278	268	1	0,0156	12,570	4,539
11,285	281	1	0,0156	12,104	3,991
10,366	309	1	0,0156	11,210	3,025
10,146	324	1	0,0156	10,785	2,608
9,710	326	1	0,0156	10,730	2,557
9,934	345	1	0,0156	10,241	2,119
10,120	351	1	0,0156	10,096	1,997

\* $\lambda= 0,009891$ 

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

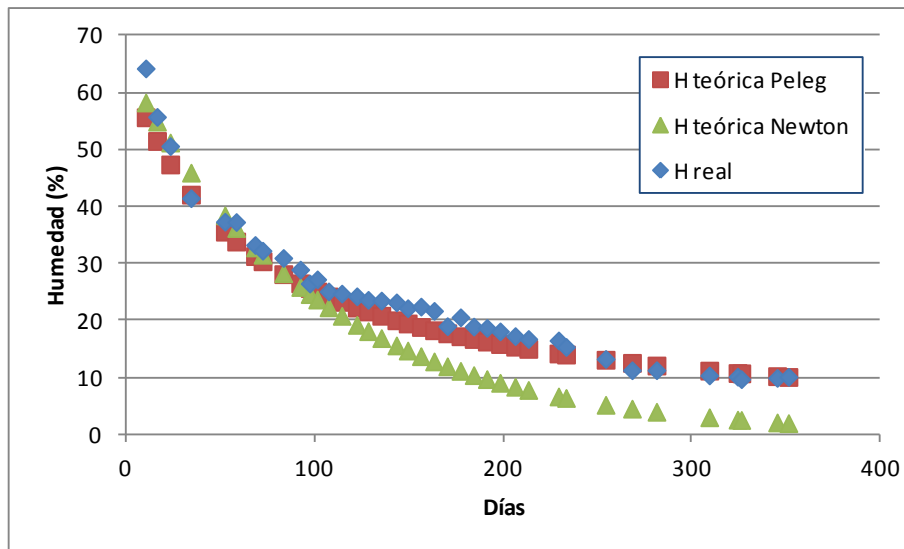


Figura 6.30- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg y de Newton para el conjunto de las 49 vigas de la pila. Fuente: Elaboración propia

A la vista de los resultados expuestos en el ANEXO 9 de la Tesis Doctoral anteriormente mencionado, es posible resaltar que en el modelo de secado de Peleg, para un valor de referencia de la constante de velocidad  $k_1=1$  el valor menor de la constante de capacidad se alcanzó con las vigas F1-C6, F3-C6 y F6-C6 ( $k_2=0,0151$ ); mientras que el mayor valor lo tomó la viga F2-C5 ( $k_2=0,031$ ).

Los ajustes obtenidos con ambos modelos, (véase “ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON”), son fuertemente significativos,  $R^2>90\%$  en ambos casos, si bien el comportamiento evolutivo de ambos es muy diferente, observándose que el primero de ellos se separa de los valores observados según aumenta el tiempo de secado, mientras que el modelo de Peleg se ajusta con precisión a los valores finales reales de secado, tal y como se muestra en la siguiente figura:

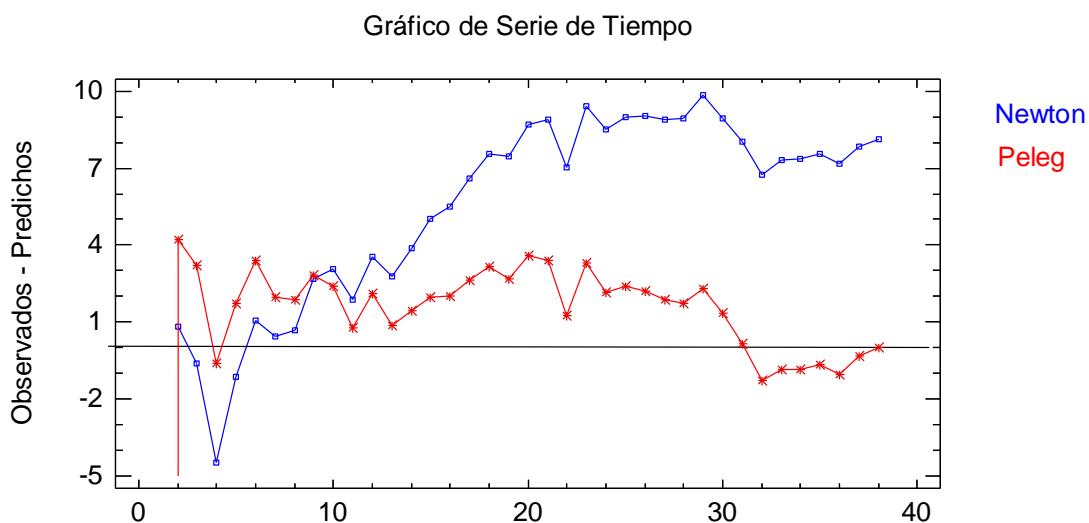


Figura 6.31- Gráfico de valores Observados-Predichos para los modelos teóricos de Peleg y Newton. Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En el mencionado anexo puede comprobarse que la predicción final de la humedad con el modelo teórico de Peleg no difiere en más de 0,1 puntos porcentuales de la humedad que realmente se alcanzó con el secado al aire.

Es posible comparar estos valores con los obtenidos en experimentos similares por otros autores. Así, Khazaei (2008) registró para madera de pino, valores de  $k_1= 0,0120$  (día/%) y  $k_2= 0,0095$  (1/); mientras que Noorolahi et al. (2008) obtuvieron valores de  $k_1= 0,1034$  (hora/%) y  $k_2= 0,0079$  (1/%) también para madera del género *Pinus*.

Sin embargo, el modelo de secado propuesto por Newton no funciona de forma exitosa, pues predice valores finales de humedad considerablemente más bajos, la mayoría de los casos cercanos al 1% (se observa que para el conjunto de la pila, alcanza un valor mínimo de humedad del 1,99%), humedades que la madera nunca podría alcanzar oreándose. Ello no es de extrañar, puesto que aunque existen en la naturaleza multitud de fenómenos que se ajustan perfectamente al modelo de deshidratación de Newton (procesos de descomposición, procesos de secado de otros materiales, etc), con la madera no funciona al tratarse de un material con un marcado carácter anisótropo.

La expresión de Newton es un buen modelo para describir ciertos procesos, pero se trata de un modelo antiguo que, aunque a priori no funciona para explicar el secado al aire de la madera, puede ser modificado mediante la adición de términos en su expresión fundamental, logrando mejoras sustanciales en la predicción de humedades. Se trata de una fórmula suficientemente válida para explicar infinidad de procesos, pero, el hecho de no conseguir buenas predicciones para ciertos materiales (madera, alimentos, etc), hizo que surgieran estudios cuyo objetivo fue la construcción de nuevos modelos que explicaran en mayor medida ciertos procesos de secado, como es el modelo de deshidratación de Peleg.

### **7. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO**

Mediante el ábaco de Kollmann se obtuvieron las humedades de equilibrio higroscópico para cada uno de los meses en función de las humedades relativas máximas y mínimas calculadas a través del protocolo descrito por el profesor Morales Méndez, tal y como ya se puso de manifiesto en el “CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS”.

La tabla donde se expone esta información se adjunta en el “ANEXO 11: HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO” de la presente Tesis Doctoral, en base a los datos recogidos en el “ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS”. En este sentido, es posible extraer que el valor máximo de HEH alcanzado es del 20,6% (Diciembre), la mínima de 6,7% (Julio), siendo la media anual de 12,67%. Todos estos valores gozan de un 95% de probabilidad de que no serán superados.



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Asimismo es posible hablar de que la madera en el centro peninsular adquiere una máxima ganancia de 7,9% (resultado de la diferencia entre la HEH máxima y la HEH media anual); y una pérdida máxima de humedad de 6% (diferencia entre la HEH media anual y la HEH mínima).

Sumando la máxima ganancia y pérdida se obtiene que la variación máxima de humedad es del 13,9%.

Alcanzando el riesgo exterior un valor de 7,9% (diferencia entre HEH máxima y HEH media mensual).

### **8. RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES EXPERIMENTADA POR LAS VIGAS**

Como ya se puso de manifiesto, también se procedió a estudiar la variación dimensional que las vigas experimentaron después de los 12 meses de oreado, considerando para este objetivo cinco vigas (las cuatro vigas ubicadas en las cuatro esquinas de la pila, y la viga central de la pila que fue codificada como F4-C4).

Los resultados de este estudio pueden verse en el *“ANEXO 13: VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS”*.

Globalmente, la tendencia evolutiva del grosor de las vigas es que hasta los aproximadamente 90 días de secado esta sección mantiene sus dimensiones, a partir de entonces, las vigas comienzan paulatinamente a reducir su grosor durante otros 40-50 días. En la última etapa de secado, la madera pierde muy poca humedad y consecuentemente, las variaciones dimensionales son prácticamente inexistentes, habiéndose por tanto estabilizado el grosor de la viga a los aproximadamente 140 días de secado.

En cuanto a la anchura de las piezas de madera aserrada, la evolución observada es que comienza a disminuir desde los primeros estadios del secado, hasta aproximadamente los 130 días. A partir de este momento, continúa la inestabilidad, observándose líneas evolutivas dispares, con periodos de estancamiento y altibajos, probablemente provocados por las lluvias acontecidas en el municipio de Ávila a finales de invierno.

Al igual que el grosor, en la última etapa de secado las variaciones dimensionales en la anchura son prácticamente inexistentes, habiéndose por tanto estabilizado la anchura de la viga a los 200 días de secado aproximadamente.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### **9. RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA PROBETA UBICADA EN EL CENTRO GEOMÉTRICO DE LA PILA**

Uno de los objetivos a abordar fue el estudio pormenorizado de la evolución de la viga de madera situada en el centro de la pila (código F4-C4), pues en dicha probeta se tomaron mediciones de humedad semanalmente, todo ello para conseguir unos datos más detallados de cómo fue la variación de este parámetro durante el transcurso de los 12 meses de oreado, haciéndose más patente los efectos de las inclemencias meteorológicas en dicho espacio temporal.

Este estudio de la evolución del contenido de humedad en la viga F4-C4 puede contemplarse de forma más detallada en el anexo de la Tesis elaborado para tal fin, “ANEXO 12: EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL”.

### **10. RESULTADOS DE LA CURVATURA EXPERIMENTADA POR LAS VIGAS**

Por último, señalar que el estudio de la curvatura alcanzada por las vigas reflejó a grandes rasgos que el descenso del centro de las vigas de la pila fue de aproximadamente 0,5 cm, si bien es cierto que algunas vigas se curvaron más que otras y en algunas incluso la curvatura fue prácticamente inexistente, no entrándose a analizar los factores que influyeron y determinaron el distinto comportamiento de estas (véase “ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS”).

### **11. APLICACIÓN SOBRE COSTE Y BENEFICIO DEL SECADO DE LA MADERA AL AIRE, Y CONSECUENCIAS DE UN SECADO INCORRECTO**

Se recuerda que el último objetivo planteado fue la realización de un somero estudio económico en lo que al coste de la operación de secado se refiere, donde la metodología seguida quedó expuesta en el correspondiente apartado del “CAPITULO V: MATERIAL Y MÉTODOS” de la presente Memoria.

A continuación se expone el cálculo de la energía necesaria para el secado al aire de las piezas de madera de *Pinus pinaster* Ait. que componen la pila de estudio y cuya procedencia es la zona centro de la Península Ibérica. En este caso particular, se trata de piezas aserradas de pino resinero de densidad básica  $550 \text{ kg/m}^3$  (calculada en base a la expresión de Kollman), con una humedad inicial del 64,3% y cuya humedad final se desea establecer en el 10% (humedad que globalmente alcanzó la pila de madera tras los 12 meses de oreado).



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

- Energía Intrínseca (EI): se determina por fases:
  - Primera fase (secado del 64,3% al 30%):
    - Cantidad de agua a evaporar:  
 $M_v = 550 \text{ kg/m}^3 \cdot (64,3 - 30) / 100 = 188,65 \text{ kg/m}^3$
    - Cantidad de energía necesaria:  
 $EI = 585 \text{ kcal/kg} \cdot 188,65 \text{ kg/m}^3 = 110.360,25 \text{ kcal/m}^3$
  - Segunda fase (secado del 30% al 10%):
    - Cantidad de agua a evaporar:  
 $M_v = 550 \text{ kg/m}^3 \cdot (30 - 10) / 100 = 110 \text{ kg/m}^3$
    - Cantidad de energía necesaria:  
 $EI = 585 \cdot 110 + (1984(e^{-0.14 \cdot 10} - e^{-0.14 \cdot 30})) / (30 - 10) \cdot 86 \text{ kg/m}^3 = 66.877,23 \text{ kcal/m}^3$

$$\text{Total EI} = 110.360,25 + 66.877,23 = 177.237,48 \text{ kcal/m}^3$$

- Energía Extrínseca (EE):
  - Energía para calentar la madera de *Pinus pinaster* Ait. de densidad al 65% de humedad,  $765 \text{ kg/m}^3$  (densidad calculada en base a la expresión de Kollman):
 
$$\frac{0,324 \text{ cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \frac{765 \text{ kg}}{\text{m}^3} \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} 40^\circ\text{C} = 9.914,4 \text{ kcal/m}^3$$
  - Energía para calentar y humificar el aire = 16%·ET
  - Energía para compensar fugas = 30%·ET

$$ET = EI + EE = 177.237,48 + 9.914,4 + 16\%ET + 30\%ET \rightarrow ET = 334.199,78 \text{ kcal/m}^3 = 388,67 \text{ kWh/m}^3, \text{ lo que referido al kg de agua sería } 1,30 \text{ kWh/kg (ya que se evaporan } 298,65 \text{ kg/m}^3).$$

Como se advirtió con anterioridad, en el caso específico del secado al aire, la única componente de la energía calorífica sería la Energía Intrínseca, luego se requerirán por cada metro cúbico de madera 177.237,48 kcal para secar las piezas del 64,3% al 10%.

Seguidamente se pretende conocer la cantidad de combustible necesario para secar la pila de madera aserrada del estudio a la humedad final del 10% desde una humedad inicial del 64,3%, y de esta manera, poder aproximar en cierta medida el coste económico de la operación de oreado. Para ello, se empleará como combustible fuel-oil, debido a que se trata del combustible de referencia mundial, utilizado por la gran industria.

En la tabla que figura a continuación, se recopila la información básica de los combustibles más empleados en la actualidad.





## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.24- Información orientativa de poderes caloríficos, densidades y precios para los principales combustibles

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO SUPERIOR	PODER CALORÍFICO INFERIOR	DENSIDAD	PRECIO VENTA *
Fuel-oil	10.000 kcal/ kg	9.500 kcal/ kg	1.012 kg/ m <sup>3</sup>	0,402 €/litro
Gasóleo C	8.574,8 kcal/ litro	8.582,8 kcal/ litro	900 kg/ m <sup>3</sup>	1,025 €/litro
Gas Propano	12.108,8 kcal/ kg	11.119,8 kcal/ kg	1,83 kg/ m <sup>3</sup>	1,073 €/kg
Gas natural	7.757,2 kcal/ m <sup>3</sup>	7.034,8 kcal/ m <sup>3</sup>	0,78 kg/ m <sup>3</sup>	0,466 €/ m <sup>3</sup>
Gas butano	11.919,6 kcal/ kg	10.990,8 kcal/ kg	2,52 kg/ m <sup>3</sup>	1,073 €/kg
Pellet	4.996,6 kcal/ kg	4.497,8 kcal/ kg	650 kg/ m <sup>3</sup>	0,211 €/kg

\*Nota.- Los precios de venta fueron consultados a fecha 22 de Junio de 2015

Fuente: Elaboración propia

Con fecha 22 de junio de 2015 se consultó el precio del fuel oil, resultando ser de 1,74 US\$/galón ([www.indexmundi.com](http://www.indexmundi.com)), lo que se traduce en un precio de 0,4022 €/litro. Empleando la densidad de 1.012 kg/m<sup>3</sup> y conociendo que el poder calorífico superior de este combustible es 10.000 kcal/ kg, se obtiene un precio de  $3,9743 \cdot 10^{-5}$  €/kcal.

$$\frac{3,9743 \cdot 10^{-5} \text{€}}{1 \text{kcal}} \frac{177.237,48 \text{kcal}}{\text{m}^3} = 5,04 \text{€} / \text{m}^3$$

Después de los cálculos realizados hasta el momento, se estima oportuno realizar una comparativa (en lo que al coste del secado se refiere) entre tres casuísticas posibles:

- Secado tradicional en cámara.
- Secado natural al aire.
- Un primer oreado seguido del secado en secadero (escenario que se da en la mayoría de las ocasiones).

Partiendo de una inversión inicial de 1 m<sup>3</sup> de madera aserrada y en verde de *Pinus pinaster* Ait. a una humedad del 64,3%, se desea secarlas hasta el 10%:

1. Secado tradicional en cámara: en este escenario, las piezas de madera aserrada de pino serían secadas en un tiempo no superior a los 15 días (siguiendo alguna de las cédulas de secado propuestas en el "ANEXO 15: "CÉDULAS DE SECADO PARA *Pinus pinaster* Ait."), por lo que el empresario, tras el secado de las mismas, podría vender su producto elaborado a un precio que rondaría aproximadamente los 650€/m<sup>3</sup>. Una vez conseguido este beneficio neto (se obvian las pérdidas de piezas ocasionadas por un secado incorrecto), el empresario podría prestar dicho montante económico para obtener una rentabilidad monetaria y que en la actualidad ascendería a un 3,50% de acuerdo a los datos proporcionados por el Banco de España y recogidos en el Boletín Oficial del Estado:



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.25- Tipos de Interés fijados en España

Interés Anual	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	4%	4%	4%	4%	4%	3,50%

Fuente: Banco de España

Suponiendo que consigue realizar la venta del producto a 650€/m<sup>3</sup>, en esta situación el empresario conseguiría una rentabilidad de 21,8€/m<sup>3</sup> que se corresponden con la tasa de interés para dicha cantidad monetaria (650€/m<sup>3</sup>) y para un periodo de 11 meses (ya que su inversión inicial de 1 m<sup>3</sup> estuvo inmovilizada aproximadamente un mes, entre compra de la materia prima, secado en cámara unos 20 días y venta posterior).

✓ Gastos:

- Compra materia prima, 1m<sup>3</sup> de *Pinus pinaster* Ait. en verde: 400€
- Energía calorífica total (ET):

$$\frac{3,9743 \cdot 10^{-5} \text{€}}{1 \text{kcal}} \frac{334.199,78 \text{kcal}}{m^3} = 13,28 \text{€} / m^3$$

- Energía eléctrica:

$$\frac{0,4 \text{kWh}}{m^3 \cdot \text{hora}} \frac{24 \text{horas}}{1 \text{día}} 15 \text{días} = 144 \text{kWh} / m^3 ;$$

$$\frac{3,9743 \cdot 10^{-5} \text{€}}{1 \text{kcal}} \frac{1 \text{kcal}}{1,16 \cdot 10^{-3} \text{kWh}} \frac{144 \text{kWh}}{m^3} = 4,93 \text{€} / m^3$$

✓ Ingresos:

- Venta: 650€/m<sup>3</sup>
- Rentabilidad (al 3,5% durante 11 meses): 20,85€/m<sup>3</sup>

Tomando el escenario más optimista, el empresario podría repetir el proceso (que aproximadamente dura un mes entre la compra de madera, secado en cámara y venta del producto), 12 veces en un año. Suponiendo que las ventas las realiza siempre a la misma cantidad, y que el rendimiento de su capital depositado en el banco dependerá del periodo de tiempo que lleve en poder del deudor (banco), se tendría el siguiente desglose de cantidades:



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6.26- Balance de cuentas obtenido con el secado tradicional en cámara

MES	Compra materia prima (€/m <sup>3</sup> )	Energía calorífica (€/m <sup>3</sup> )	Energía eléctrica (€/m <sup>3</sup> )	Venta producto (€/m <sup>3</sup> )	Beneficio en la compra-venta (€/m <sup>3</sup> )	Tasa de interés (3,5% en 12 meses)	Tiempo depositado en banco (meses)	Rentabilidad sobre el beneficio (€/m <sup>3</sup> )
1	400	13,28	4,93	650	231,79	3,208	11	7,43
2	400	13,28	4,93	650	231,79	2,916	10	6,75
3	400	13,28	4,93	650	231,79	2,625	9	6,08
4	400	13,28	4,93	650	231,79	2,333	8	5,40
5	400	13,28	4,93	650	231,79	2,041	7	4,73
6	400	13,28	4,93	650	231,79	1,75	6	4,05
7	400	13,28	4,93	650	231,79	1,458	5	3,37
8	400	13,28	4,93	650	231,79	1,166	4	2,70
9	400	13,28	4,93	650	231,79	0,875	3	2,02
10	400	13,28	4,93	650	231,79	0,583	2	1,35
11	400	13,28	4,93	650	231,79	0,291	1	0,67
12	400	13,28	4,93	650	231,79	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Luego el empresario obtendría al final de un año natural un balance positivo de 2.826,09€/m<sup>3</sup>.

2. Secado natural al aire: lógicamente, en el caso del oreado natural, el coste del secado que se ha calculado hasta ahora, es inexistente, puesto que la energía solar y el viento se encargan de proporcionar las calorías necesarias y la renovación de la masa de aire respectivamente; por lo que al empresario no le supondría coste alguno.

Pero por otro lado, mantener la madera aserrada en el patio de maderas de una industria forestal de primera transformación supone un costo por inmovilizado. Cuanto más tiempo transcurra desde que se almacena la madera hasta que se le da salida, mayor coste económico para la empresa. Por ello, interesa que exista un mercado con un óptimo y constante flujo de madera entrante y saliente, pues largas estancias de pilas de madera aserrada en el patio pueden llegar a resultar muy perniciosas para la salud económica de la empresa.

Con el estudio realizado se ha comprobado que en el centro peninsular la madera aserrada tarda aproximadamente 350 días en alcanzar una humedad final de alrededor del 10% (siguiendo la ecuación logarítmica descrita), requisito indispensable para convertirla en un material susceptible de ser procesado por ciertas industrias forestales, lo que en buena medida generaría un valor añadido a la misma (puesto que la madera en verde se destina a los usos menos nobles).



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Por tanto, las piezas de madera aserrada deberían permanecer oreándose al aire prácticamente un año; madera que se encuentra ocupando un lugar físico en el patio de maderas y que a priori no se puede comercializar, lo que provoca una pérdida en buen grado de la capacidad de adquisición de materia prima por parte de la empresa, que se ve incapaz de ubicar nuevas remesas de trozas en el patio porque sencillamente no habría espacio físico.

Pilas de madera aserrada sin vender originan una pérdida de rentabilidad monetaria por inmovilizado, y que en la actualidad ascendería a un 3,50%.

- ✓ Gastos:
  - Compra materia prima, 1m<sup>3</sup> de *Pinus pinaster* Ait. en verde: 400€
  - Energía calorífica total (ET): 0€/ m<sup>3</sup>
  - Energía eléctrica: 0€/ m<sup>3</sup>
  
- ✓ Ingresos:
  - Venta: 650€/m<sup>3</sup>
  - Rentabilidad (al 3,5% durante 0 meses): 0€/m<sup>3</sup>

Por tanto, en este segundo caso el empresario obtendría al final de un año natural un balance positivo de 250 €/m<sup>3</sup>.

3. Secado natural al aire combinado con un segundo secado en cámara: este es el escenario que en la mayoría de las industrias de aserrado se da hoy en día. Como ha quedado constancia en la presente investigación, la madera aserrada pierde humedad con el secado natural de una forma paulatina y describiendo una curva logarítmica. Es una realidad que la totalidad de los gráficos elaborados reflejan una pérdida de humedad muy rápida durante los primeros meses de secado; pérdida que se ralentiza a partir del momento en el que la madera alcanza aproximadamente un 25% de humedad.

Tomando como ejemplo la figura 6.30: *Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg y de Newton para el conjunto de las 49 vigas de la pila*, recogido en el "CAPÍTULO VI: "RESULTADOS Y DISCUSIÓN", se observa que las tres líneas de evolución (humedad real, humedad teórica de Peleg y humedad teórica de Newton) poseen una pendiente similar en el tramo en el que la humedad es mayor al 25%, separándose a partir de entonces las líneas evolutivas.

El lapso de tiempo que tarda la madera en alcanzar el 25% de humedad es aproximadamente 90 días (hecho que puede ser comprobado observando cualquiera de las gráficas de la Memoria donde se haya presentado la evolución de la humedad de la madera aserrada); luego en este período de tiempo se recurrirá al secado natural, y una vez que la madera haya alcanzado el 25% de humedad sin haber supuesto coste alguno para el empresario, se procederá a secarla en cámara durante 7 días para eliminar el resto de humedad sobrante hasta que la pieza alcance un 10% de humedad.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre que el empresario adquiere la materia prima, la seca y la vende, se propone como escenario ideal un ciclo de 4 meses.

Por tanto, en esta situación, se requieren las siguientes energías para evaporar el agua:

- Energía Intrínseca (EI):
  - Primera fase (secado del 64,3% al 30%):
    - Cantidad de agua a evaporar:  
 $M_v = 550 \text{ kg/m}^3 \cdot (64,3-30)/100 = 188,65 \text{ kg/m}^3$
    - Cantidad de energía necesaria:  
 $EI = 585 \text{ kcal/kg} \cdot 188,65 \text{ kg/m}^3 = 110.360,25 \text{ kcal/m}^3$  (lo realiza el medio natural, el empresario se lo ahorra)
  - Segunda fase (secado del 30% al 25%):
    - Cantidad de agua a evaporar:  
 $M_{v1} = 550 \text{ kg/m}^3 \cdot (30-25)/100 = 27,5 \text{ kg/m}^3$   
 $M_{v2} = 550 \text{ kg/m}^3 \cdot (25-10)/100 = 82,5 \text{ kg/m}^3$
    - Cantidad de energía necesaria:  
 $EI_1 = 585 \cdot 27,5 + (1984(e^{-0.14 \cdot 10} - e^{-0.14 \cdot 30})) / (30-10) \cdot 86 \text{ kg/m}^3 = 16.719,30 \text{ kcal/m}^3$  (lo realiza el medio natural, el empresario se lo ahorra)  
 $EI_2 = 585 \cdot 82,5 + (1984(e^{-0.14 \cdot 10} - e^{-0.14 \cdot 30})) / (30-10) \cdot 86 \text{ kg/m}^3 = 50.157,92 \text{ kcal/m}^3$

$$\text{Total EI} = 110.360,25 + 16.719,30 + 50.157,92 \text{ kcal/m}^3 = 177.237,47 \text{ kcal/m}^3$$

- Energía Extrínseca (EE):
  - Energía para calentar la madera de *Pinus pinaster* Ait. de densidad al 65% de 765 kg/m<sup>3</sup>:  

$$\frac{0,324 \text{ cal}}{\text{g} \cdot ^\circ \text{C}} \frac{765 \text{ kg}}{\text{m}^3} \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} 40^\circ \text{C} = 9.914,4 \text{ kcal/m}^3$$
  - Energía para calentar y humificar el aire = 16%·ET
  - Energía para compensar fugas = 30%·ET

$$ET = EI + EE = 177.237,47 + 9.914,4 + 16\%ET + 30\%ET \rightarrow ET = 107.272 \text{ kcal/m}^3 = 124,76 \text{ kwh/m}^3$$

En cuanto al desglose de gastos e ingresos, sería el que sigue:

- ✓ Gastos:
  - Compra materia prima, 1m<sup>3</sup> de *Pinus pinaster* Ait. en verde: 400€
  - Energía calorífica total (ET):

$$\frac{3,9743 \cdot 10^{-5} \text{ €}}{1 \text{ kcal}} \frac{107.272 \text{ kcal}}{\text{m}^3} = 4,26 \text{ € / m}^3$$



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Energía eléctrica:

$$\frac{0,4kWh}{m^3 \cdot hora} \frac{24horas}{1día} 7días = 67,2kWh/m^3;$$

$$\frac{3,9743 \cdot 10^{-5} \text{€}}{1kcal} \frac{1kcal}{1,16 \cdot 10^{-3} kWh} \frac{67,2kWh}{m^3} = 2,30 \text{€}/m^3$$

- ✓ Ingresos:

- Venta: 650€/m<sup>3</sup>
- Rentabilidad (al 3,5% durante 11 meses): 20,85€/m<sup>3</sup>

Tabla 6.27- Balance de cuentas obtenido con el secado combinado

MES	Compra materia prima (€/m <sup>3</sup> )	Energía calorífica (€/m <sup>3</sup> )	Energía eléctrica (€/m <sup>3</sup> )	Venta producto (€/m <sup>3</sup> )	Beneficio en la compra-venta (€/m <sup>3</sup> )	Tasa de interés (3,5% en 12 meses)	Tiempo depositado en banco (meses)	Rentabilidad sobre el beneficio (€/m <sup>3</sup> )
1	400	4,26	2,3	650	243,44	2,333	8	15,16
2								
3								
4								
5	400	4,26	2,3	650	243,44	1,166	4	7,58
6								
7								
8								
9	400	4,26	2,3	650	243,44	0	0	0
10								
11								
12								

Fuente: Elaboración propia

Luego el empresario obtendría al final de un año natural un balance positivo de 738,83 €/m<sup>3</sup>.

Por tanto, el primer escenario en el que la totalidad del secado de las piezas se realiza en cámara es el más rentable. Lógicamente, habría que añadir el gasto que supone la construcción y el mantenimiento del secadero. Pero como se acaba de demostrar, en términos energéticos, se trata de la opción más viable económicamente hablando.



## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para concluir con este análisis se van a exponer los factores cuantitativos y cualitativos que intervienen en el análisis de la relación costo/beneficio de emplear madera seca (CITEmadera, 2009).

Entre los factores cuantitativos que han de ser considerados, se encuentran:

- La problemática derivada de los cambios dimensionales sufridos por las piezas al trabajar con madera húmeda. Cambios que en muchas ocasiones conllevan el reprocesado o reemplazamiento de las piezas que no alcanzan el mínimo de calidad que se requiere para ponerlas en el mercado.
- Si se hace necesario reprocesar una pieza de madera, inevitablemente se consumirá una mayor cantidad de tiempo para volver a elaborarla. Y no sólo en términos de tiempo, sino también se generarán mayores costes en materias primas, insumos, materiales y mano de obra. Estos reprocesos innecesarios redundan en una disminución de la capacidad productiva de la industria, y en un decremento de sus tasas de eficiencia y eficacia.
- Si finalmente hay que rechazar la pieza, se habrá perdido el dinero invertido y habrá que asumir nuevos costes que permitan reemplazar la pieza (de materias primas, tiempos, equipos...) defectuosa.

En la siguiente tabla figuran algunos de los problemas ocasionados en el proceso productivo por el uso de madera húmeda.

**Tabla 6.28- Problemas por el uso de madera húmeda**

PROCESO	PROBLEMAS POR USO DE MADERA HÚMEDA
Habilitado	Mayor tiempo de proceso debido a que el serrín se pega en el disco, teniéndose que parar con más frecuencia el trabajo de corte para limpiar los discos.
Encolado	Las pegas se abren generando mayor consumo de horas y material al momento de reprocesar.
Ensamble	Al momento de ensamblar se produce reducción de algunas piezas de madera, teniéndose que ajustar o regular a la medida deseada.
Lijado	La madera húmeda consume más lijas, debido a que la madera se pega a la lija por estar húmeda. Además al momento de procesar genera hebras levantadas teniendo que quitarlas a través del proceso de lijado.
Acabados	La madera al estar húmeda, genera cambios volumétricos, los cuales afectarán la estructura del mueble, y por ende, el acabado.

Fuente: Técnicas de secado de la madera. Serie 1: Competencias básicas para la producción industrial de muebles de madera. CITEmadera

A la vista de diversos estudios encontrados se puede concluir y demostrar que con el uso de la madera seca disminuyen los costes de mano de obra e insumos, pero aumenta el coste de la materia prima.

Entre los factores cualitativos a tener en cuenta, se encuentra el cuestionamiento de la imagen que la propia empresa vende cuando ha trabajado con madera que ha sido secada de forma inadecuada.



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

La pérdida de calidad ha de ser compensada por tanto, asumiendo un mayor costo en su fabricación, ya que si la empresa ofrece productos de dudosa calidad, incurrirá en las siguientes problemáticas:

- Pérdida de clientela: un cliente insatisfecho no sólo no volverá a comprar, sino que la publicidad que le hará a la empresa será totalmente negativa, afectando por tanto a futuros clientes potenciales que se resistirán a comprar.
- Mientras los trabajadores, máquinas, equipos y herramientas se encuentran reprocesando piezas defectuosas, se dejan de atender nuevos pedidos.
- Incremento en los tiempos de producción debido a la necesidad de reprocesar, lo que puede suponer una pérdida de clientes al no poder ser servidos en el tiempo acordado.
- Disminución de ingresos por pérdida de clientes y pérdida de posicionamiento en el mercado.

La inversión más importante de una empresa es la imagen que ofrece de ella misma, y la opinión que sus clientes tienen de ella, ya que esta es la que le posibilita su crecimiento y su consolidación en el mercado.





# CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES





## CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

Como bien se recordará, al comienzo del desarrollo del presente proyecto de investigación, fueron planteados un conjunto de objetivos (principales y secundarios) a satisfacer mediante la realización del mismo.

Posteriormente, los objetivos se materializaron a través de la determinación de los correspondientes resultados, mediante la realización de una metodología específica. Ahora, es el momento de exponer las conclusiones extraídas de acuerdo a la metodología seguida, y los resultados obtenidos.

### **1. RESPECTO A LA METODOLOGÍA DESARROLLADA**

1. Puesto que mediante dicha metodología se han logrado alcanzar los objetivos que se plantearon al principio del presente estudio, se puede entender que la misma es válida.

### **2. RESPECTO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

1. Los aserraderos ubicados en la provincia de Ávila procesan de forma mayoritaria (y algunos en exclusiva) la especie pino negral (*Pinus pinaster* Ait.), y en menor medida pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino piñonero (*Pinus pinea* L.). En cualquier caso se trata de especies pertenecientes al grupo de las coníferas.  
Las procedencias de esta materia prima son, generalmente, los montes aledaños a la industria de aserrado y la región de las Landas francesas. En el caso de la industria de aserrado Almohalla S.A. en la que se ha llevado a cabo este estudio, la madera también procede del incendio acontecido en la zona Sur de la provincia de Ávila.  
Actualmente ningún aserradero cuenta con una instalación de secado de madera, lo que limita el destino de los productos fabricados.
2. Las piezas aserradas presentaban una humedad media inicial del 64,3%, llegando tras 351 días de seguimiento a una humedad media final del 9,6%. La evolución temporal del contenido de humedad tanto de las testas como del centro de las vigas, refleja una pérdida progresiva y paulatina conforme se sucedían las semanas de medición. Esta



## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

---

evolución sigue una tendencia no lineal, que en este trabajo se ha ajustado a un modelo logarítmico obteniendo valores de  $R^2$  muy elevados (cercaos al 97 %).

Esta tendencia queda perfectamente corroborada por el seguimiento particular de la pieza F4-C4, situada en el centro de la pila de madera aserrada, de la que se siguió su evolución semanalmente.

3. Del análisis estadístico comparativo, se puede concluir:
  - ✓ Por filas y columnas, es posible extraer que el contenido en humedad es mayor en la fila y columna centrales, como cabría esperar de su posición, ya que en ella la pérdida de humedad se ve más dificultada.
  - ✓ En cuanto a las filas superiores e inferiores, no existe una simetría de secado (diferencia estadísticamente significativa al 95%) apreciándose un mayor contenido de humedad final en las inferiores, debido a la dificultad de aireación por la proximidad al suelo.
  - ✓ En cuanto a las columnas más externas, presentan simetría en la evolución de pérdida de agua, llegando a humedades finales semejantes.
  - ✓ Con respecto a la orientación:
    - Orientación este: no existen diferencias entre las filas ni entre columnas.
    - Orientación oeste: no existen diferencias entre las filas ni entre columnas.
    - Centro de las piezas: existen diferencias entre las filas y entre columnas.
  - ✓ Respecto a la dispersión de los valores de humedad dentro de la pila, se concluye que los extremos de las piezas (testas) y en el centro de las mismas, presentan valores análogos, observándose al final del proceso de secado, un coeficiente de variación de alrededor de un 5% en todos los casos.
4. El modelo general teórico creado explica la pérdida de humedad de las vigas de madera aserrada de acuerdo a la posición en que se encuentre ubicada la pieza de madera en la pila con un  $R^2$  del 92%, lo que se traduce en un buen modelo para predecir el tiempo de secado según la posición de la pieza en la pila de madera aserrada.
5. La constante de secado ( $\lambda$ ) obtenida para el conjunto de la pila fue de 0,009891, presentando un coeficiente de variación entre todas las piezas de un 20%.
6. En cuanto al modelo teórico de deshidratación propuesto por Peleg, se han conseguidos unos excelentes ajustes (aún no habiéndose establecido para condiciones isotermas), y la predicción final de la humedad con este modelo teórico no difiere en más de 0,1 puntos porcentuales de la humedad que realmente se alcanzó con el secado al aire. Junto con esto, la evolución teórica propuesta por este modelo se ajusta a la evolución real de la pérdida de humedad de la madera en cada momento ( $R^2 > 90\%$  para un 95% de confianza).
7. Por otro lado, el modelo de secado clásico de Newton no funciona de forma tan exitosa (pues predice valores finales de humedad considerablemente bajos, en la mayoría de los casos cercanos al 1%, humedades que la madera nunca podría alcanzar oreándose). Aunque se haya conseguido un ajuste con un  $R^2 > 90\%$ , los valores finales predichos por este modelo teórico difieren en gran medida de los valores finales reales, por lo que es posible concluir que el modelo de Newton funciona para multitud



## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

---

de fenómenos de la naturaleza, pero no se ajusta bien al secado natural al aire de la madera debido a su fuerte carácter anisótropo.

8. En la zona centro de la Península Ibérica la madera aserrada necesita prácticamente de un año (351 días) como lapso de tiempo para perder humedad mediante secado natural, desde un contenido inicial de aproximadamente un 65% hasta alcanzar un valor en torno al 10%; valor ya aceptable para que pueda ser trabajada por industrias de elaboración de productos más nobles.
9. El estudio económico realizado, a precios de día de hoy, concluye en que el secado tradicional en cámara resulta mucho más rentable para el empresario, pues el beneficio obtenido tras comerciar con madera secada por este método es considerablemente mayor que si recurre a otras técnicas de secado (como el secado natural o el secado combinado). A tales efectos, el secado en cámara aporta del orden de 11 veces más beneficios que el secado natural; y con respecto al mismo, el secado combinado unas 3 veces más.



## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

---



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# CAPÍTULO VIII. DESARROLLOS FUTUROS







## CAPÍTULO VIII. DESARROLLOS FUTUROS

Algunos de los resultados de este proyecto de investigación, así como las correspondientes conclusiones que se han deducido a partir de los mismos permiten vislumbrar posibles líneas de actuación o futuros proyectos de investigación que podrían iniciarse teniendo por fundamento el presente estudio.

Sin lugar a duda, las posibilidades de desarrollos futuros podrían ser numerosas y de amplio espectro, por lo que desde aquí se pretende proponer los primeros esbozos de aquellos desarrollos futuros que podrían tener una mayor posibilidad y viabilidad de ser llevados a cabo por su gran interés.

De entre las posibilidades existentes, a juicio del autor destacarían por su mayor interés:

- La aplicación de la metodología seguida en la presente Tesis Doctoral a otras casuísticas diferentes:
  - o Otros tipos (especies) de madera.
  - o Otros tipos de escuadrías de piezas de madera aserrada.
  - o Otras tipologías de apilado de la madera aserrada en los patios (geometría de pilas, enrastrelado, orientaciones...).
- La extrapolación de la metodología empleada en la presente Tesis Doctoral a otras zonas geográficas con diferentes condicionantes climatológicos para de esta manera poder realizar comparativas entre los resultados obtenidos en una y en otras.
- La utilización y el ajuste de otros modelos empíricos de secado existentes al secado de la madera aserrada.

A pesar de que ya se han expuesto los desarrollos futuros que a juicio del autor de la presente Tesis Doctoral podrían ser los más relevantes e interesantes, mencionar las siguientes propuestas como otras posibles líneas de actuación motivadas por la realización de este estudio:

- Conocer la potencialidad del clima de la provincia de Ávila para el secado al aire de la madera de *Pinus pinaster* Ait., proponiendo el momento más idóneo y adecuado para secar al aire la madera aserrada en Ávila, y determinando el alcance que variables secundarias como la exposición o la velocidad del aire tienen sobre dicho proceso.
- Profundizar y actuar en base a los resultados del análisis DAFO del secado mediante aire climatizado de la madera de *Pinus pinaster* Ait. procesada por los aserraderos del centro de la Península Ibérica, que a modo de primera versión se presenta en el "ANEXO 16: ANÁLISIS DAFO" del presente documento:
  - Intentando subsanar las debilidades detectadas.



## CAPÍTULO VIII: DESARROLLOS FUTUROS

---

- Consiguiendo eliminar las amenazas detectadas.
- Potenciando las fortalezas detectadas.
- Desarrollando las oportunidades detectadas.

Las ideas que constituyen todos estos desarrollos futuros que se acaban de exponer surgieron a medida que se fue realizando el proyecto de investigación, desde su inicio hasta su fin.

Pero bien es cierto que, como ya se apuntó al principio del capítulo, tan sólo se ha procedido a señalar algunas de las posibilidades existentes, por lo que desde aquí se invita al lector a hacer una reflexión sobre la importancia del estudio en cuestión.



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# BIBLIOGRAFÍA





## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias bibliográficas:

Abu-Ghannam, N. (1998a). Modelling textural changes during the hydration process of red beans. *Journal of Food Engineering*. 38, 341-352.

Abu-Ghannam, N. (1998b). Interpretation of the force deformation curves of soaked red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Food Science and Technology*. 33, 509-515.

Abu-Ghannam, N; McKenna, B. (1997a). The application of Peleg's equation to model water absorption during the soaking of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*. 32, 391-401.

Abu-Ghannam, N; McKenna, B. (1997b). Hidration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*. 62, 520-523.

Acuña Rello, L. (2005) Madera estructural del *Pinus pinaster* Ait. Informe del trabajo de investigación realizado en el periodo sabático (Octubre 2004 – 2005). Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Universidad de Valladolid.

Agudelo Ospina, J.F.; Franco Castro, R.A. (2009) Aplicación de la Ley de Fick y el Modelo de Peleg para estudiar la absorción de agua en el frijol cargamanto ombligo amarillo (*Phaseolus vulgaris* L.) y la arveja seca (*Pisan sativa*) durante la rehidratación. *Revista especializada en Ingeniería de Procesos en alimentos*. Vol 3- Nº 1.

Alcón Latorre, X; Sallent Aguilera, J. (2012) Determinació de les propietats mecàniques de la fusta mitjançant la combinació de diferents tècniques. Projecte final de Grau. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.

Aliá, R; Martín, S. (2009) Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino negral (*Pinus pinaster*) en España. *Foresta*. Madrid. España.

Almeida, G.; Hernández, R. (2005) Influence of wood structure on moisture desorption and changes in its properties above the fiber saturation point. *SWST 48<sup>th</sup> Annual Convention*. Quebec. Canada.



## BIBLIOGRAFÍA

---

Álvarez Noves, H. (1985) Secado de la madera al aire. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas divulgadoras nº 19/84HD.

Álvarez Noves, H; Fernández-Golfín Seco, J.I (1992) Fundamentos teóricos del secado de la madera. Monografías INIA nº82. Madrid.

Álvarez Noves, H; Fernández-Golfín Seco, J.I (1993) Aptitud de diferentes maderas de coníferas y frondosas al secado con vapor sobrecalentado. Determinación del punto final de secado. Investigaciones Agrarias. Sistemas y Recursos Forestales. Vol 2. (2). Madrid.

Ananias, R. (2010) Física de la madera. Universidad de Biobio. Chile.

Banks, W.B. (1973) Water uptake by Scots pine and its restriction by the use of water repellents. Wood Sci. and Tech. 7:271–284.

Baronas R., Ivanauskas F., Juodeikiene I., Kajalavicius A. (2001) Modelling of Moisture Movement in Wood during Outdoor Storage. Nonlinear Analysis: Modelling and Control, 6 (2), 3-14.

Basterra, L.A.; López, G.; Ramón-Cueto, G.; Acuña, L.; Casado, M. (2008) On site diagnosis and assesment of the nave timberstructure of Segovia cathedral (Spain) using non destructive techniques. On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures. Luigia Binda (Ed.) RILEM Publications S.A.R.L. Pp 1179-1188.

Bergman, R.; Cai, Z.; Carll, C. G.; Clausen, C.A.; Dietenberger, M. A.; Falk, R. H.; Frihart, C. R.; Glass, S. V.; Hunt, C. G.; Ibach, R. E.; Kretschmann, D. E.; Rammer, D. R.; Ross, R. J.; Stark N. M. (2010) Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Bird, R.B.; Stewart, W.E.; Lightfoot, E.N. (2006) Transport phenomena. 2a. ed.,. John Wiley. 920 p.

Camarena Martínez, Y; Mercado Flores, J. (2010) Análisis de la cinética del secado por lecho fluidizado de chícharos (*Pisum sativum*) mediante el modelo de Peleg. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad de Guanajuato. México.

Candanedo L.; Derome D. (2005) Numerical simulation of water absorption in softwood. Ninth International IBPSA Conference Montréal, Canada.

Cárcel Cárcel L.M. (2004) Relación entre el contenido en agua y las propiedades físicas del piñón de *Pinus pinea*, L. que intervienen en el proceso de cascado. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. España.

Ceballos A M.; Giraldo G.I.; Orrego C.E. (2009) Evaluación de varios modelos de isoterma de adsorción de agua de un polvo de fruta deshidratada. Revista Vector, Volumen 4, Enero - Diciembre 2009, págs. 107 – 116.



## BIBLIOGRAFÍA

---

Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera) (2009). Técnicas de Secado de la Madera. Serie 1: Competencias básicas para la producción industrial de muebles de madera. Ministerio de la Producción. Lima. Perú.

Cigalat Figueroa, E.; Soler Burillo, M. (2003) Guía de las principales maderas y su secado. Mundiprensa, Madrid.

Conde García, M.; Fernández-Golfín Seco, J.I.; Mier Pérez, R. (2005) Cálculo en el consumo calorífico en el secado de la madera.

CONFEMADERA. (2001) Informe de situación de la industria del aserrío. Confederación Española de Empresarios de la Madera – AR Madera.

CONFEMADERA. (2002) El sector del aserrío en España y la certificación de la madera. Confederación Española de Empresarios de la Madera – Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Corzo, O; Ramírez, O; Bracho, N. (2008) Aplicación del modelo de Peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de Mamey (*Mammea americana* L.) Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20. Nº 1: 87-95.

Da Silva, L.; Ribeiro, F.; Gasson, P.; Cutler, D. (2009) Anatomia en densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (*Fabaceae*), espécie endémica da caatinga do Nordeste do Brasil. Acta Bot. Bras. 23: 436-445.

De Cuadro, P; Mantero Álvarez, C.E.; Noel Cabrera, M.; Clavijo, L. (2012). Apuntes de Dendrología y Anatomía de la madera. Universidad de la República de Uruguay. Inédito.

Della Roca, P. (2010) Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires. Argentina.

Eckelman, C.A.; Baker, J.L. (1976) Heat and air requirements in the kiln drying of wood. Research Bulletin nº 933, Purdue Univ. Agricultural Experiment Station.

Ekstedt, J. (2002 ) Studies on the barrier properties of exterior wood coatings. Doctoral Thesis. KTH- Royal Institute of Technology Department of Civil and Architectural Engineering Division of Building Materials Stockholm.

Fernández-Golfín, J.I; Álvarez Noves, H. (1998) Manual de secado de maderas. Ediciones Gráficas Palermo S.L.

Fernández-Golfín Seco, J. I. (2001). Secado de la madera. AITIM

Fernández-Golfín Seco, J.I; Conde García, M. (2007) Manual técnico de secado de maderas. AITIM.



## BIBLIOGRAFÍA

---

Fernández-Golfín Seco, J.I.; Álvarez Noves, H. (1998) Manual de secado de madera. Editorial AITIM. ISBN 84-87381-15-4, 169 pp.

Gallo Mejía, F. (2013) Sumideros habitables de carbono; elementos constructivos derivados de bambú guadua. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. España.

Gandullo, J.M.; Nicolás, A. (1967) Estudio ecológico de los pinares españoles. I; *Pinus pinaster* Aiton. IFIE.

Geankoplis, C. (2003) Transport Processes and Separation Process Principles. 4a. ed., Prentice Hall PTR. 1056 p.

Gerhards C.C. (1998 ) Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of Wood: an analysis of immediate effects. Wood and Fiber Science, 14, 154-163.

Gómez, S; Verena, T; García Y; Navarro, J.A. (2012) Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 46, Número 1.

González Pérez, J.M. (2009) Ciencia y experiencia aplicadas al secado de maderas. Ediciones Tórculo Artes Gráficas S.A.

Gutiérrez Velayos, J. (2010) Estudio de las propiedades físico- térmicas de la corteza generada en los aserraderos de la provincia de Ávila para su caracterización y aprovechamiento energético como biomasa. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Católica de Ávila.

Hernández Rodríguez, J.; Quinto Díez, P. (2005) Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México. Científica Vol. 9 Núm. 2 pp. 63-71.

Herráez Garrido, F. (2007) Apuntes de la asignatura Ingeniería de los Procesos Industriales Forestales. Universidad Católica de Ávila. Inédito.

Herráez Garrido, F. (2007) Apuntes de la asignatura Aprovechamientos Forestales. Universidad Católica de Ávila. Inédito.

Idáñez, F. (1995) Oficios tradicionales de las Sierras de Segura: pegueros y mereros. Demófilo 14. Fundación Machado.

Incropera, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergman, T. L.; Lavine, A. S. (2006). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6a. ed., Wiley. 1024 p.

Joly, P.; More-Chevalier, F. (1980) Théorie, pratique & économie du séchage des bois. Editions H. Vial, 91410 Dourdan, 204 pp.





## BIBLIOGRAFÍA

---

- JUNAC. (1984) Manual de diseño para maderas del Pacto Andino. Junta del Acuerdo de Cartagena-Pacto Andino. Lima.
- Khazaei, J. (2008) Water absorption characteristics of three wood varieties. University of Tehran, Iran. Cercetari Agronomice în Moldova. Vol. XLI , No. 2 (134) / 2008.
- Keey, R.; Langrish, T.; Walker, J.C.F (2000) Kiln-Drying of Lumber. 1a. ed. Springer Series in Wood Science. 326 p.
- Kollman, F.F.P. (1959) Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE). Ministerio de Agricultura. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial.
- Kollman, F.F.P.; Kuenzi E.W.; Stamm, A.J. (1975) Principles of Wood Science and Technology: Wood Base Materials Manufacture and Properties.
- Linares, A.; Vergara, M.; Hase, Sandra. (2011) Efecto de la absorción de agua sobre los cambios de textura de mandioca. Universidad Nacional de Misiones. Argentina.
- López González, G. (1988) La guía de INCAFO de los árboles y arbustos de la Península Ibérica. Incafo, Madrid. 373-375 pp.
- Majumdar, P. (2005) Computational Methods for Heat and Mass Transfer. 1a. ed., Taylor and Francis. 744 pp.
- Malkov, S.Y.; Kuzmin, V.A.; Baltakhinov, V.P.; Tikka, P. (2004) Modelling the process of water penetration into softwood chips. Journal of Pulp and Paper Science, 25, 123129.
- Martinovic, D.; Horman, I.; Demirdzic (2001) Numerical and Experimental analysis of a wood drying process. Wood Science and Technology. 35:143-156.
- Middleman, D. (1997) An Introduction to Mass and Heat Transfer: Principles of Analysis and Design. 2a.ed. Wiley. 696 pp.
- Mora Fernández de Córdoba, C. (2010) Estudio de las características de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en la provincia de Ávila, y su aptitud de uso para las diferentes industrias forestales. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Católica de Ávila.
- Morales Méndez, E. (2003) Madera al exterior: Humedad de equilibrio higroscópico y sus valores característicos. Boletín de Información Técnica Nº226. AITIM.
- Noorolahi, S.; Khazaei, J.; Sahebeh, J. (2008) Modeling Cyclic Water Absorption and Desorption Characteristics of Three Varieties of Wood. World Conference on Agricultural information and IT.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- Obataya E., Norimoto M., Gril J. (1998) The effects of adsorbed water on dynamic mechanical properties of wood. *Polymer*, 39(14), 3059-3064.
- Oria de Rueda Salgueiro, J.A. (2003) Los bosques de Castilla y León. Ámbito Ediciones. Valladolid.
- Pedras Saavedra, F. (2009) Secado de la Madera: Recomendaciones Prácticas. Área de Innovación y Tecnología - Cis-Madera.
- Peraza Sánchez, F. (2004) Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario. AITIM.
- Pezo, J. (2007) Secado de Maderas. Mahild Drying Technologies GmbH.
- Pinillos Herrero, F.M.; Picardo Nieto, A.; Allué- Andrade Camacho, M. (2009) La resina: herramienta de conservación de nuestros pinares. CESEFOR.
- Piqué, M.T. (1995) Tecnología postcollita d l'avellana. Assecatge i frigoconservació d l'avellana (*Corylus avellana*, L.). Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. España.
- Prades, C.; Montero, A.; Rubio, J. (1996) Características físico-mecánicas de la madera de *Pinus pinaster* Ait. procedente de los montes del Marquesado (provincia de Granada).
- Record, S. J. (1914) The mechanical properties of wood. Yale University.
- Remacha Gete, A. (1986) Características del pino gallego y sus aplicaciones. Tesis Doctoral. AITIM
- Riesco Muñoz, J.; Díaz González, J. (2007) Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el noroeste de España. *Ciencia y Tecnología* 9 (3), pp. 233-244.
- Rodríguez Hernández, M.M. (2006) Apuntes de la asignatura Estadística II. Universidad Católica de Ávila. Inédito.
- Rojas Martínez, M.C. (2008) El xilohigrómetro: un guardián para la industria maderera. *M&M* 62, pp. 101-106.
- Ruiz de la Torre, J. (2006) Flora mayor. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Dirección General para la Biodiversidad. Madrid.
- Sandoval- Torres, S. (2009) Modelación matemática del secado convencional de madera. *Maderas y bosques* 15(1), 2009:75-89.
- Severa L., Buchar J., Krivanek I. (2003) The influence of the moisture content on the fracture of the notched wood beam. 8th International IUFRO Wood Drying Conference.
- Shotaffer, J.E.; Shuler, C.E. (1974) Estimating heat consumption in kiln drying lumber. *Tech. Bul.* 73. Life Sci. and Agric. Expt. State Univ. Maine, Orono, ME, 25 pg.
- Siau, J.F. (1984) *Transport Processes in Wood*, Springer-Verlag, New York, 245 p.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- Sierra de Grado, R.; Monleón, V.; Díez-Barra, R.; Aliá, R. (1990) Variación de *Pinus pinaster* Ait. en la Sierra de Gredos. Actas de Gredos. UNED- ÁVILA. Bol. Universitario 10:7-14.
- Sierra de Grado, R. (1993) Mejora genética de *Pinus pinaster* Ait. La procedencia Sierra de Gredos. Estudio de la forma del fuste.
- Sierra de Grado, R.; Aliá Miranda, R. (1993) Desarrollo de un plan de mejora genética de *Pinus pinaster* Ait. en la procedencia Sierra de Gredos.
- Skaar, C. (1972) Water in wood. Syracuse Univ. Press. Syracuse, NY. 218 pp.
- Skaar, C. (1977) Energy requirements for drying lumber. Practical Application of solar Energy to Wood processing. Madison, Wisconsin. Forest products Research Society.
- Sopade, P.A.; Ajisegiri, E.S.; Badan, M.H. (1992). The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereals grains during soaking. Journal of Food Engineering. 15, 269-283.
- Sopade, P.A.; Obekpa, J.A. (1990). Modelling water absorption in Soybean, Cowpea and Peanuts at three temperatures using Peleg's equation. Journal of Food Science. 55 (4), 1084-1087.
- Taiwo, K.A.; Akanbi, C.T.; Ajibola, O.O. (1988) Regression relationships for the soaking and cooking properties of two cowpea varieties. Journal of Food Engineering. 37, 331-344.
- Turhan, M.; Sayar.; Guanasekaran, S. (2002). Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. Journal of Food Engineering. 53, 153-159.
- Vásquez Cossio, A. (2005). Evaluación del efecto de la clasificación dimensional de madera aserrada, sobre la calidad del secado en *Pinus radiata*. Universidad Austral de Chile. Chile.
- Vélez Muñoz, R. (1999). Consideraciones para la normalización del empleo de xilohigrómetros de resistencia en la medición del contenido de humedad de la madera.
- Vignote Peña, S.; Martínez Rojas, I. (1987) El mercado de la madera en España. Ed. AITIM nº 137, Madrid, pp. 8-14.
- Vignote Peña, S.; Martínez Rojas, I. (2006) Tecnología de la madera. Mundiprensa. Madrid.
- Vignote Peña, S.; Villasante Plágaro, A.; Martínez Rojas, I.; Hernando, J.; Laína Relaño, R.; González González de Linares, V. (2014) La industria maderera en España en el contexto del mundo y de Europa.
- Villère, A. (1966) Le séchage des bois. Edit. Dunod.
- Williams, J.; León, H. (2010) Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Revista Forestal Venezolana, pp. 67-76.



## BIBLIOGRAFÍA

---

### *Normativa:*

UNE-EN 13183-1: 2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-1: 2003 ERRATUM. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-1/AC: 2004 Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-2: 2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.

UNE-EN 13183-2: 2002 ERRATUM. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.

UNE-EN 13183-2/AC: 2003 Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.

UNE-EN 14298:2006. Madera aserrada. Estimación de la calidad del secado.

### *Direcciones y páginas web consultadas:*

<http://www.aenor.es> (fecha acceso: 05/09/2011)

<http://www.aitim.es> (fecha acceso: 16/11/2012)

<http://www.cei-bois.org> (fecha acceso: 11/09/2013)

<http://www.cesefor.com> (fecha acceso: 16/09/2013)

<http://www.cif-ifc.org> (fecha acceso: 22/09/2011)

<http://www.cismadera.com> (fecha acceso: 23/01/2013)

<http://www.confemadera.es> (fecha acceso: 17/01/2013)

<http://www.diputacionavila.es> (fecha acceso: 13/06/2011)

<http://blog.expertosenparquet.com> (fecha acceso: 16/09/2013)



<http://www.fao.org> (fecha acceso: 23/06/2012)

<http://www.forestales.net> (fecha acceso: 18/10/2013)

<http://www.fpl.fs.fed.us> (fecha acceso: 30/05/2012)

<http://www.inia.es> (fecha acceso: 12/12/2013)

<http://www.jcyl.es> (fecha acceso: 09/03/2011)

<http://www.textoscientificos.com> (fecha acceso: 10/04/2011)

<http://www.thales.cica.es> (fecha acceso: 08/02/2011)

<http://encyclopedia.airliquide.com> (fecha acceso: 22/05/2015)

<http://www.indexmundi.com> (fecha acceso: 17/05/2015)

<https://silvicultura.wikispaces.com> (fecha acceso: 08/06/2015)



## BIBLIOGRAFÍA

---



# ANEXO 1. ESTADILLO DE TOMA DE DATOS







## ANEXO 1. ESTADILLO DE TOMA DE DATOS

En el presente anexo de la Tesis Doctoral se ofrece el modelo de estadillo de campo donde fueron anotadas todas las mediciones que se llevaron a cabo con el xilohigrómetro de resistencia.

Como se puede observar, las casillas del estadillo tienen un diseño semejante a la disposición de las vigas en la pila de madera aserrada. Dicho diseño agilizó enormemente la anotación precisa de los valores de humedad determinados por el xilohigrómetro.

En este estadillo de campo se recogió la siguiente información:

- Fecha de medición
- Temperatura ambiente a la que se realizó la medición
- Observaciones, en el caso de que fuese necesario anotar algún aspecto inusual.
- Dimensiones en anchura y grosor de las vigas dispuestas en las esquinas de la pila y de la viga colocada en el centro de la misma.
- Valores de humedad (en %) para cada una de las vigas: humedad en la testa orientada al este, humedad de la testa orientada al oeste, y humedad en el centro de la viga.



## ANEXO 1: ESTADILLO DE TOMA DE DATOS

Tabla A1.1- Estadillo de toma de datos con el xilohigrómetro

Fecha toma de datos:		Temperatura medición:		Observaciones:	
Datos en % de humedad		°C			
<b>F7-C1</b>	<b>F7-C2</b>	<b>F7-C3</b>	<b>F7-C4</b>	<b>F7-C5</b>	<b>F7-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm
Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm
<b>F6-C1</b>	<b>F6-C2</b>	<b>F6-C3</b>	<b>F6-C4</b>	<b>F6-C5</b>	<b>F6-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
<b>F5-C1</b>	<b>F5-C2</b>	<b>F5-C3</b>	<b>F5-C4</b>	<b>F5-C5</b>	<b>F5-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
<b>F4-C1</b>	<b>F4-C2</b>	<b>F4-C3</b>	<b>F4-C4</b>	<b>F4-C5</b>	<b>F4-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm
Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm
<b>F3-C1</b>	<b>F3-C2</b>	<b>F3-C3</b>	<b>F3-C4</b>	<b>F3-C5</b>	<b>F3-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
<b>F2-C1</b>	<b>F2-C2</b>	<b>F2-C3</b>	<b>F2-C4</b>	<b>F2-C5</b>	<b>F2-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
<b>F1-C1</b>	<b>F1-C2</b>	<b>F1-C3</b>	<b>F1-C4</b>	<b>F1-C5</b>	<b>F1-C6</b>
Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E	Testa O Centro Testa E
Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm	Grueso: mm
Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm	Ancho: mm
SUELO DEL PATIO DE MADERA					

Fuente: Elaboración propia



# **ANEXO 2. RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD**





## ANEXO 2: RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD

---

# ANEXO 2. RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD

A continuación se exponen los valores registrados en el tiempo por el xilohigrómetro de resistencia, referentes a la humedad que las 49 vigas que conforman la población muestral.



## ANEXO 2: RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD

---



ANEXO 2: RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD

Tabla A2.1- Humedad de las 49 vigas objeto de estudio

Table with columns for 'FECHA MEDICIÓN' (02/11/2010 to 10/10/2011), 'CÓDIGO PROBETA', and 49 columns of humidity data for different viga types (F1-C1 to F4-C7) and locations (T.OESTE, Centro, T.ESTE).

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 2: RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD

---







## ANEXO 2: RECOGIDA DE DATOS: VALORES DE HUMEDAD

---



# **ANEXO 3. EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS**





---

## ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

---

# ANEXO 3. EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

Para la elaboración de este apartado, se ha procedido a calcular la humedad que cada una de las vigas poseía por término medio, según el momento temporal de secado que se estaba aconteciendo.

La humedad media de una viga se ha determinado mediante el cálculo de la media aritmética de la variable humedad contenida en las testas este, oeste y centro de la misma, obteniendo como resultado la siguiente tabla:



# ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

Tabla A3.1- Evolución de la humedad media de las vigas

FECHA MEDICIÓN:	02/11/2010	08/11/2010	15/11/2010	26/11/2010	14/12/2010	20/12/2010	30/12/2010	03/01/2011	11/01/2011	20/01/2011	08/02/2011	15/02/2011	23/02/2011	01/03/2011	08/03/2011	16/03/2011	22/03/2011	29/03/2011	156	
DÍAS	10	16	23	34	52	58	68	72	83	92	101	107	114	122	128	135	143	149	156	
CÓDIGO PROBETA:																				
F1-C1	MEDIA	54,90%	35,47%	30,87%	33,83%	28,63%	31,37%	27,57%	29,73%	27,10%	26,17%	25,60%	24,37%	25,13%	24,03%	24,60%	23,03%	23,70%	22,27%	
F1-C2	MEDIA	63,67%	32,93%	30,43%	30,97%	32,13%	30,43%	30,70%	27,97%	28,60%	25,30%	24,80%	23,47%	23,47%	23,13%	23,17%	23,33%	22,33%	22,80%	
F1-C3	MEDIA	63,33%	34,83%	31,33%	31,33%	29,50%	29,50%	30,70%	27,97%	28,60%	27,50%	25,23%	25,77%	23,27%	24,37%	23,00%	23,43%	22,23%	22,80%	
F1-C4	MEDIA	63,83%	37,03%	29,70%	29,70%	29,00%	27,87%	28,70%	27,63%	24,43%	24,43%	23,50%	24,00%	22,63%	23,90%	22,27%	23,33%	21,80%	22,80%	
F1-C5	MEDIA	65,00%	50,37%	54,90%	35,93%	33,83%	30,77%	30,13%	29,60%	26,60%	26,60%	26,83%	24,00%	25,73%	23,90%	24,83%	23,33%	24,03%	22,80%	
F1-C6	MEDIA	65,00%	57,83%	62,00%	36,23%	33,83%	30,13%	30,13%	28,47%	28,47%	27,27%	25,23%	25,23%	24,03%	24,03%	24,83%	23,13%	24,03%	22,50%	
F2-C1	MEDIA	65,00%	40,43%	65,00%	37,57%	32,27%	31,53%	36,37%	29,63%	32,53%	28,93%	24,30%	25,33%	23,93%	23,93%	23,43%	23,20%	22,57%	22,53%	
F2-C2	MEDIA	65,00%	54,30%	53,87%	35,23%	34,40%	34,40%	30,97%	29,47%	28,67%	27,23%	24,87%	24,87%	24,07%	24,77%	23,70%	23,37%	22,57%	23,17%	
F2-C3	MEDIA	64,00%	62,43%	47,90%	31,40%	31,40%	28,57%	29,13%	27,93%	24,80%	24,03%	24,03%	23,30%	23,30%	22,73%	22,73%	22,17%	22,17%	23,20%	
F3-C1	MEDIA	63,00%	47,90%	59,50%	35,53%	35,53%	32,77%	30,93%	30,93%	26,77%	27,03%	25,73%	25,40%	24,70%	24,87%	23,60%	23,83%	22,73%	23,20%	
F3-C2	MEDIA	65,00%	59,50%	46,37%	46,37%	38,60%	36,17%	32,70%	32,70%	26,53%	24,93%	24,93%	23,73%	23,73%	22,90%	22,90%	22,07%	22,07%	23,33%	
F3-C3	MEDIA	50,03%	48,10%	36,77%	37,97%	38,60%	37,97%	35,53%	32,13%	31,60%	31,27%	24,03%	26,87%	23,23%	25,50%	22,93%	24,47%	21,67%	23,33%	
F3-C4	MEDIA	64,67%	61,87%	61,87%	36,77%	30,90%	30,90%	28,70%	29,53%	25,07%	23,97%	23,97%	23,17%	23,17%	22,33%	22,33%	21,80%	21,80%	21,67%	
F3-C5	MEDIA	65,00%	42,07%	61,80%	31,77%	31,17%	30,17%	28,70%	28,93%	26,67%	25,97%	23,97%	23,87%	23,13%	23,13%	23,63%	22,73%	21,80%	22,17%	
F4-C1	MEDIA	65,00%	65,00%	51,37%	35,40%	42,53%	30,17%	33,53%	28,93%	28,57%	25,90%	25,63%	24,37%	24,83%	23,10%	23,63%	22,67%	22,67%	22,00%	
F4-C2	MEDIA	65,00%	65,00%	49,37%	35,40%	36,93%	30,33%	30,33%	28,93%	28,57%	26,58%	26,58%	24,37%	24,83%	22,87%	23,60%	22,17%	22,17%	21,53%	
F4-C3	MEDIA	61,67%	57,33%	54,07%	48,03%	44,43%	43,37%	38,37%	37,70%	31,73%	28,70%	26,80%	25,97%	25,33%	24,50%	23,90%	23,33%	22,83%	23,30%	
F4-C4	MEDIA	65,00%	62,50%	61,30%	42,63%	41,03%	41,03%	31,80%	31,80%	27,67%	26,37%	23,93%	24,10%	23,13%	23,50%	22,70%	22,97%	21,87%	22,33%	
F4-C5	MEDIA	51,33%	55,80%	44,93%	36,37%	30,00%	29,73%	31,80%	28,73%	25,00%	25,00%	23,93%	24,10%	23,13%	23,50%	22,70%	22,97%	21,87%	22,33%	
F4-C6	MEDIA	65,00%	44,93%	51,40%	30,00%	30,00%	28,17%	31,93%	27,20%	25,57%	24,80%	24,80%	23,47%	23,47%	23,53%	23,53%	19,67%	19,67%	22,53%	
F5-C1	MEDIA	60,33%	65,00%	51,70%	47,03%	39,03%	32,10%	31,93%	32,00%	28,80%	27,23%	25,13%	25,10%	23,57%	23,57%	24,23%	24,23%	22,53%	22,53%	
F5-C2	MEDIA	65,00%	60,10%	65,00%	60,70%	60,70%	51,27%	37,70%	44,47%	32,00%	28,20%	27,40%	25,10%	23,30%	23,30%	25,03%	23,60%	21,00%	22,07%	
F5-C3	MEDIA	65,00%	49,97%	43,90%	34,23%	32,10%	32,57%	28,07%	30,90%	26,60%	25,97%	25,40%	24,00%	23,03%	23,03%	23,87%	23,87%	21,83%	22,33%	
F5-C4	MEDIA	64,33%	44,20%	44,20%	31,73%	29,53%	32,57%	27,27%	30,90%	26,40%	25,83%	25,40%	24,53%	22,90%	22,90%	23,87%	22,27%	21,83%	21,83%	
F6-C1	MEDIA	62,67%	37,20%	37,20%	31,57%	29,53%	30,23%	28,87%	28,87%	25,57%	25,57%	24,63%	24,50%	23,70%	22,67%	23,00%	22,23%	22,23%	21,90%	
F6-C2	MEDIA	64,00%	44,93%	44,93%	34,67%	34,67%	32,73%	30,00%	30,00%	25,97%	25,97%	24,73%	23,77%	23,77%	23,00%	23,00%	20,83%	20,83%	22,47%	
F6-C3	MEDIA	65,00%	41,20%	41,20%	53,63%	48,67%	48,67%	37,93%	30,17%	30,00%	27,67%	24,17%	24,87%	23,43%	23,43%	22,63%	22,63%	21,67%	22,47%	
F6-C4	MEDIA	64,00%	60,43%	60,43%	49,43%	49,43%	45,47%	32,60%	30,47%	25,93%	24,67%	24,67%	23,43%	23,43%	22,97%	22,97%	21,67%	21,67%	21,83%	
F6-C5	MEDIA	65,00%	62,77%	46,27%	36,23%	36,23%	32,63%	28,50%	41,47%	28,60%	26,03%	25,63%	23,63%	22,60%	22,60%	23,77%	22,40%	22,40%	22,10%	
F7-C1	MEDIA	65,00%	44,50%	59,77%	29,47%	26,23%	31,03%	24,50%	30,27%	25,17%	25,00%	26,33%	23,37%	22,97%	22,97%	24,47%	22,67%	22,67%	21,70%	
F7-C2	MEDIA	64,33%	45,70%	45,70%	35,53%	35,53%	33,23%	26,93%	31,43%	28,73%	27,20%	26,60%	26,60%	26,60%	24,80%	24,80%	22,93%	23,03%	21,83%	
F7-C3	MEDIA	62,37%	62,37%	37,67%	37,67%	28,90%	28,90%	26,93%	27,77%	25,90%	25,90%	23,77%	24,27%	24,00%	21,97%	23,77%	22,93%	22,00%	21,83%	
F7-C4	MEDIA	63,67%	57,73%	38,53%	34,33%	34,33%	29,80%	29,80%	27,17%	25,03%	25,03%	23,77%	24,00%	24,93%	23,77%	24,10%	22,10%	22,10%	21,83%	
F7-C5	MEDIA	65,00%	57,73%	57,73%	34,33%	31,07%	31,07%	27,53%	30,53%	26,60%	25,80%	25,80%	24,93%	24,93%	22,70%	24,10%	22,10%	22,10%	22,33%	
F7-C6	MEDIA	50,87%	50,87%	32,73%	29,83%	29,83%	29,83%	27,53%	27,53%	27,10%	25,67%	25,67%	22,87%	22,87%	22,70%	24,43%	22,70%	22,70%	22,33%	



### ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

Tabla A3.1- Evolución de la humedad media de las vigas (continuación)

FECHA MEDICIÓN:	163	170	177	184	191	198	206	213	229	233	254	268	281	309	324	326	345	351		
<b>DÍAS</b>																				
<b>CÓDIGO PROBETA:</b>																				
F1-C1	MEDIA	19,60%	21,33%	19,93%	20,33%	18,47%	18,60%	22,50%	18,20%	17,90%	15,77%	10,60%	13,70%	11,93%	11,23%	10,53%	11,73%	10,23%		
F1-C2	MEDIA	23,17%	21,33%	21,33%	19,13%	18,03%	18,03%	16,97%	16,97%	16,50%	13,73%	14,07%	11,70%	11,33%	11,33%	11,17%	10,03%	10,03%		
F1-C3	MEDIA	21,63%	19,97%	20,27%	19,37%	17,80%	17,40%	17,80%	16,27%	16,50%	14,03%	14,07%	11,40%	10,03%	10,03%	9,83%	9,87%	9,87%		
F1-C4	MEDIA	21,83%	18,87%	20,63%	17,97%	16,40%	16,40%	15,87%	15,87%	16,20%	12,83%	10,27%	10,27%	9,83%	9,83%	9,13%	9,43%	9,43%		
F1-C5	MEDIA	21,30%	19,27%	20,23%	19,07%	18,77%	18,70%	18,43%	19,43%	16,20%	15,20%	10,07%	12,43%	11,67%	11,67%	11,27%	11,27%	9,80%		
F1-C6	MEDIA	23,03%	19,03%	21,90%	19,10%	18,50%	18,70%	16,70%	19,43%	15,50%	15,20%	10,77%	12,43%	10,27%	10,27%	9,63%	9,63%	10,07%		
F2-C1	MEDIA		18,57%	18,67%	18,67%	17,93%	16,67%	16,03%	14,97%	14,97%	10,67%	10,67%	10,40%	10,33%	10,33%	9,50%	9,50%	10,00%		
F2-C2	MEDIA	21,70%	20,17%	21,13%	18,40%	19,03%	17,30%	16,17%	16,17%	16,33%	12,90%	12,97%	11,07%	10,17%	10,17%	9,90%	9,90%	11,00%		
F2-C3	MEDIA	21,70%	20,47%	19,73%	19,20%	18,03%	17,20%	18,03%	16,33%	16,33%	12,97%	13,17%	11,43%	11,43%	11,43%	11,07%	9,83%	11,00%		
F2-C4	MEDIA	21,53%	20,17%	20,90%	20,70%	18,50%	17,20%	18,93%	16,23%	16,43%	12,47%	10,93%	10,67%	9,97%	9,97%	9,83%	9,83%	10,13%		
F2-C5	MEDIA	21,97%	19,27%	21,67%	19,17%	18,30%	17,37%	18,93%	16,60%	16,43%	13,60%	10,93%	11,60%	9,57%	9,57%	9,83%	10,10%	10,13%		
F2-C6	MEDIA	21,10%	20,83%	20,83%	17,80%	16,30%	16,30%	15,70%	15,70%	12,73%	12,73%	11,13%	11,13%	9,43%	9,43%	9,83%	9,83%	10,03%		
F3-C1	MEDIA	20,90%	19,70%	20,60%	18,27%	16,33%	16,33%	16,97%	15,70%	15,20%	12,27%	11,80%	11,30%	10,20%	10,13%	9,90%	9,80%	10,03%		
F3-C2	MEDIA	21,07%	19,13%	20,63%	17,87%	16,23%	16,23%	15,93%	15,67%	14,70%	12,50%	10,57%	10,40%	9,70%	9,70%	9,40%	9,47%	9,63%		
F3-C3	MEDIA	21,83%	18,43%	20,57%	18,57%	17,40%	16,87%	16,67%	16,67%	14,70%	13,07%	10,93%	10,77%	9,93%	9,93%	9,40%	10,20%	9,63%		
F4-C1	MEDIA		18,43%	18,50%	17,83%	17,83%	17,83%	16,33%	16,33%	14,97%	13,07%	10,93%	10,77%	10,00%	10,00%	9,17%	10,20%	9,93%		
F4-C2	MEDIA	22,27%	19,50%	19,60%	19,07%	18,63%	17,47%	17,13%	16,70%	15,67%	13,70%	12,10%	11,93%	10,93%	10,47%	10,37%	10,13%	10,83%		
F4-C3	MEDIA	18,67%	18,70%	18,70%	17,43%	16,20%	16,20%	16,20%	14,93%	14,93%	10,93%	10,93%	10,33%	10,33%	10,33%	9,43%	9,43%	9,87%		
F4-C4	MEDIA	20,77%	18,70%	19,20%	18,37%	16,73%	16,73%	16,73%	15,40%	15,40%	12,23%	11,30%	10,50%	10,73%	10,73%	10,03%	9,83%	10,47%		
F4-C5	MEDIA	21,00%	18,97%	19,33%	18,13%	16,47%	16,47%	16,13%	16,13%	15,17%	12,40%	11,00%	10,07%	10,07%	9,33%	9,43%	9,17%	9,43%		
F5-C1	MEDIA	21,47%	18,33%	18,07%	18,37%	17,83%	16,77%	15,80%	16,03%	14,80%	13,07%	10,37%	11,20%	10,10%	10,10%	9,23%	9,67%	9,73%		
F5-C2	MEDIA		18,73%	18,47%	17,83%	16,83%	16,10%	16,10%	14,93%	15,70%	12,67%	12,37%	11,37%	10,23%	10,23%	9,73%	9,73%	10,00%		
F5-C3	MEDIA	21,73%	19,70%	19,97%	18,17%	16,87%	17,97%	16,87%	16,40%	15,70%	12,67%	12,37%	10,87%	10,50%	10,50%	10,03%	9,37%	10,23%		
F5-C4	MEDIA	21,60%	18,77%	20,87%	18,37%	17,83%	17,50%	16,83%	16,37%	15,23%	13,83%	11,10%	10,87%	10,17%	10,17%	9,60%	10,10%	10,20%		
F6-C1	MEDIA	21,20%	20,97%	20,97%	18,43%	17,20%	17,20%	16,23%	16,23%	14,90%	13,27%	11,30%	12,20%	11,30%	9,80%	9,80%	9,27%	10,27%		
F6-C2	MEDIA	21,17%	18,70%	18,80%	17,77%	16,77%	16,77%	16,03%	15,73%	14,90%	12,73%	10,77%	11,00%	10,50%	9,87%	9,63%	9,63%	10,27%		
F6-C3	MEDIA	21,27%	18,50%	21,03%	18,00%	16,27%	16,27%	16,17%	16,17%	15,20%	12,20%	10,43%	11,00%	10,60%	9,77%	9,77%	9,43%	10,03%		
F7-C1	MEDIA	22,47%	18,45%	17,73%	17,47%	16,10%	16,10%	16,10%	15,23%	15,23%	13,87%	10,37%	9,73%	9,73%	8,73%	8,73%	9,07%	10,03%		
F7-C2	MEDIA	22,70%	18,37%	20,60%	19,33%	18,30%	18,03%	17,40%	17,07%	15,10%	14,13%	10,77%	11,57%	12,03%	10,63%	10,63%	10,17%	10,27%		
F7-C3	MEDIA	21,53%	19,03%	20,07%	19,30%	17,80%	17,80%	16,37%	16,37%	15,10%	13,40%	10,77%	12,03%	10,60%	10,60%	9,30%	9,30%	9,87%		
F7-C4	MEDIA	22,03%	20,07%	20,07%	19,27%	17,43%	17,43%	16,53%	16,53%	15,20%	12,97%	10,73%	10,97%	10,07%	10,07%	10,00%	10,00%	10,00%		
F7-C5	MEDIA		19,03%	18,50%	17,77%	16,60%	16,60%	16,60%	15,20%	15,20%	12,97%	10,73%	10,97%	9,97%	9,97%	9,17%	9,17%	9,63%		
F7-C6	MEDIA		19,03%	18,50%	17,77%	16,60%	16,60%	16,60%	15,20%	15,20%	12,97%	10,73%	10,97%	9,97%	9,97%	9,17%	9,17%	9,63%		
F7-C7	MEDIA		19,03%	18,50%	17,77%	16,60%	16,60%	16,60%	15,20%	15,20%	12,97%	10,73%	10,97%	9,97%	9,97%	9,17%	9,17%	9,63%		

Fuente: Elaboración propia



### ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

---

En base a estos nuevos datos calculados, se procedió a su representación gráfica que expone como es la evolución de la humedad promedio de las 49 vigas:





ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

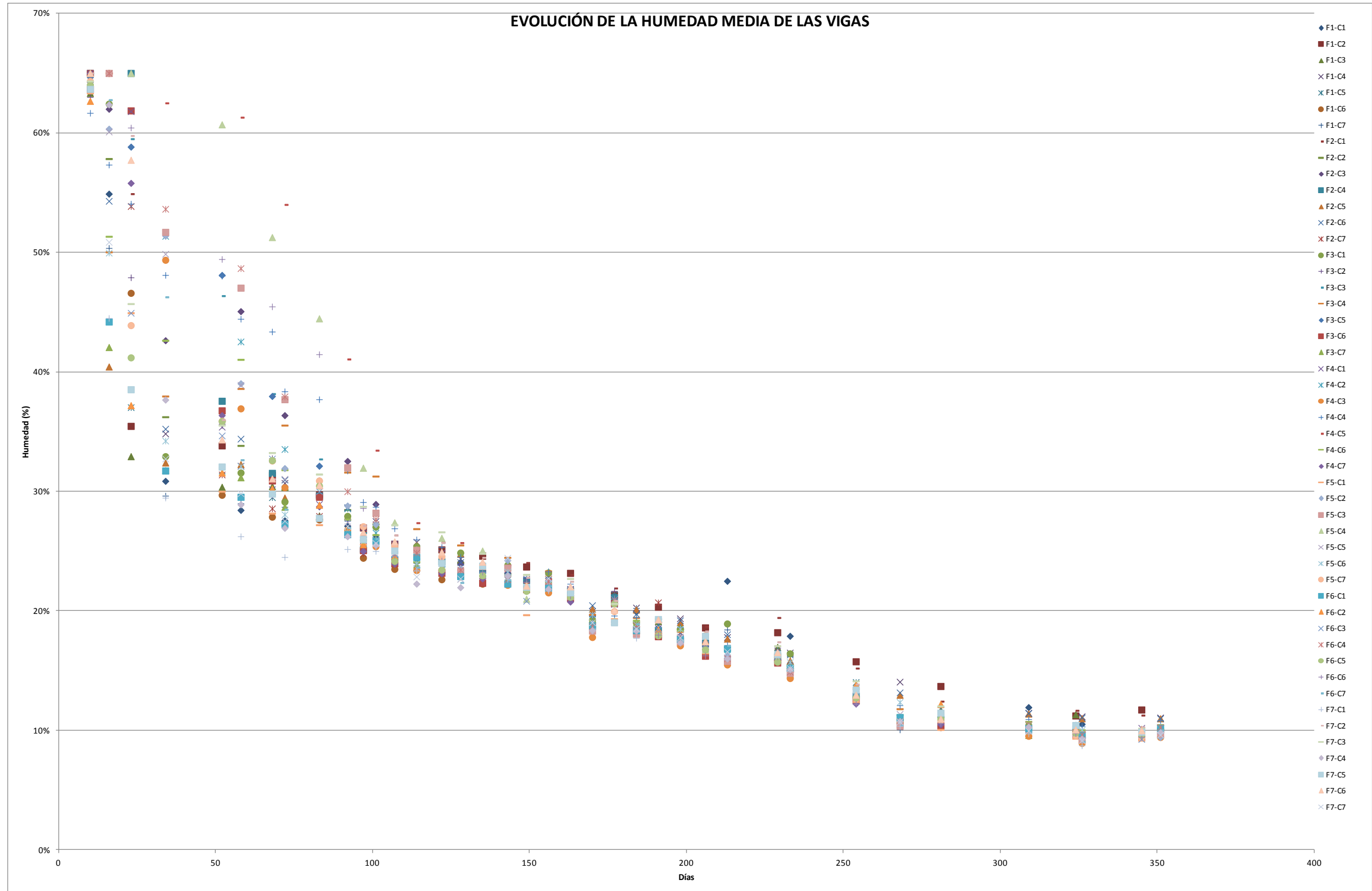


Figura A3.1- Evolución de la humedad media de las vigas. Fuente: Elaboración propia



### ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

---



### ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

También se procedió a realizar los cálculos por filas, para ver la evolución de la humedad que tenían como promedio las vigas, pero por filas. Para ello se calculó el promedio de la humedad de todas las vigas que estaban dispuestas en una misma fila, y se obtuvo la siguiente tabla:

**Tabla A3.2- Evolución de la humedad media de las vigas por filas**

FECHA MEDICIÓN:		02/11/2010	08/11/2010	15/11/2010	26/11/2010	14/12/2010	20/12/2010	30/12/2010	03/01/2011	11/01/2011	20/01/2011	25/01/2011
DIAS												
CÓDIGO PROBETA:		10	16	23	34	52	58	68	72	83	92	97
F1	MEDIA	63,96%	49,82%	38,01%	31,78%	31,41%	29,86%	29,79%	28,99%	28,27%	27,74%	25,48%
F2	MEDIA	64,67%	53,64%	57,92%	36,63%	34,97%	36,39%	30,29%	31,73%	29,06%	29,40%	25,51%
F3	MEDIA	64,42%	51,51%	57,03%	34,22%	41,69%	33,78%	34,95%	31,12%	31,33%	28,73%	26,14%
F4	MEDIA	63,89%	60,73%	57,22%	50,79%	39,93%	45,25%	34,42%	37,61%	31,79%	31,17%	26,67%
F5	MEDIA	64,22%	58,85%	51,28%	46,80%	42,20%	39,27%	37,33%	32,18%	34,19%	28,71%	28,20%
F6	MEDIA	63,92%	57,32%	45,94%	43,88%	37,88%	36,94%	35,26%	31,23%	32,70%	27,79%	26,52%
F7	MEDIA	64,50%	52,58%	50,43%	33,29%	34,48%	28,32%	31,28%	26,32%	30,00%	26,17%	27,12%

FECHA MEDICIÓN:		02/02/2011	08/02/2011	15/02/2011	23/02/2011	01/03/2011	08/03/2011	16/03/2011	22/03/2011	29/03/2011	05/04/2011	12/04/2011
DIAS												
CÓDIGO PROBETA:		101	107	114	122	128	135	143	149	156	163	170
F1	MEDIA	26,57%	24,38%	24,71%	23,63%	24,10%	23,26%	23,27%	22,52%	22,66%	21,98%	19,61%
F2	MEDIA	27,68%	24,89%	25,25%	24,39%	24,20%	23,67%	23,35%	22,92%	22,79%	22,09%	19,56%
F3	MEDIA	28,09%	24,67%	25,38%	23,71%	24,50%	22,84%	23,68%	22,07%	22,90%	21,26%	19,37%
F4	MEDIA	28,09%	25,49%	25,04%	24,43%	23,93%	23,41%	22,98%	22,46%	22,37%	21,62%	18,62%
F5	MEDIA	26,76%	25,90%	24,45%	24,70%	23,14%	24,14%	23,48%	20,83%	22,18%	21,40%	18,93%
F6	MEDIA	26,51%	24,55%	24,33%	23,78%	22,90%	23,06%	22,50%	21,78%	22,17%	21,31%	18,66%
F7	MEDIA	25,39%	26,09%	22,83%	25,31%	22,21%	24,28%	23,34%	22,48%	22,09%	22,18%	18,61%

FECHA MEDICIÓN:		19/04/2011	26/04/2011	03/05/2011	10/05/2011	18/05/2011	25/05/2011	10/06/2011	14/06/2011	05/07/2011	19/07/2011	01/08/2011
DIAS												
CÓDIGO PROBETA:		177	184	191	198	206	213	229	233	254	268	281
F1	MEDIA	21,17%	20,14%	19,08%	18,87%	17,61%	19,58%	16,83%	16,87%	14,09%	11,58%	11,77%
F2	MEDIA	21,31%	19,40%	19,39%	18,67%	17,73%	17,11%	17,28%	15,66%	13,52%	11,89%	11,39%
F3	MEDIA	20,93%	19,14%	18,18%	18,16%	16,56%	17,28%	15,92%	15,44%	12,78%	11,10%	11,11%
F4	MEDIA	19,76%	18,80%	18,58%	17,89%	17,06%	16,38%	16,43%	15,07%	13,00%	11,17%	11,07%
F5	MEDIA	19,48%	18,45%	18,22%	17,90%	17,07%	16,25%	16,19%	15,15%	12,71%	11,28%	10,71%
F6	MEDIA	20,87%	18,69%	18,20%	17,66%	16,93%	16,66%	16,13%	15,11%	13,01%	10,77%	11,28%
F7	MEDIA	20,14%	18,19%	19,31%	17,52%	17,92%	16,23%	16,84%	15,18%	13,59%	10,62%	11,51%

FECHA MEDICIÓN:		29/08/2011	13/09/2011	15/09/2011	04/10/2011	10/10/2011
DIAS						
CÓDIGO PROBETA:		309	324	326	345	351
F1	MEDIA	11,23%	10,61%	10,28%	10,27%	10,37%
F2	MEDIA	10,86%	10,60%	10,30%	10,33%	10,52%
F3	MEDIA	10,08%	9,71%	9,71%	9,80%	9,93%
F4	MEDIA	10,31%	10,08%	9,59%	10,06%	10,11%
F5	MEDIA	10,23%	9,67%	9,61%	9,40%	9,85%
F6	MEDIA	10,18%	9,91%	9,43%	9,61%	10,17%
F7	MEDIA	10,00%	10,43%	9,07%	10,08%	9,74%

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

---



Tomando estos datos calculados, se representó la evolución de la humedad que de media tenían las 49 vigas, pero según las siete filas que formaban en la pila de madera aserrada:

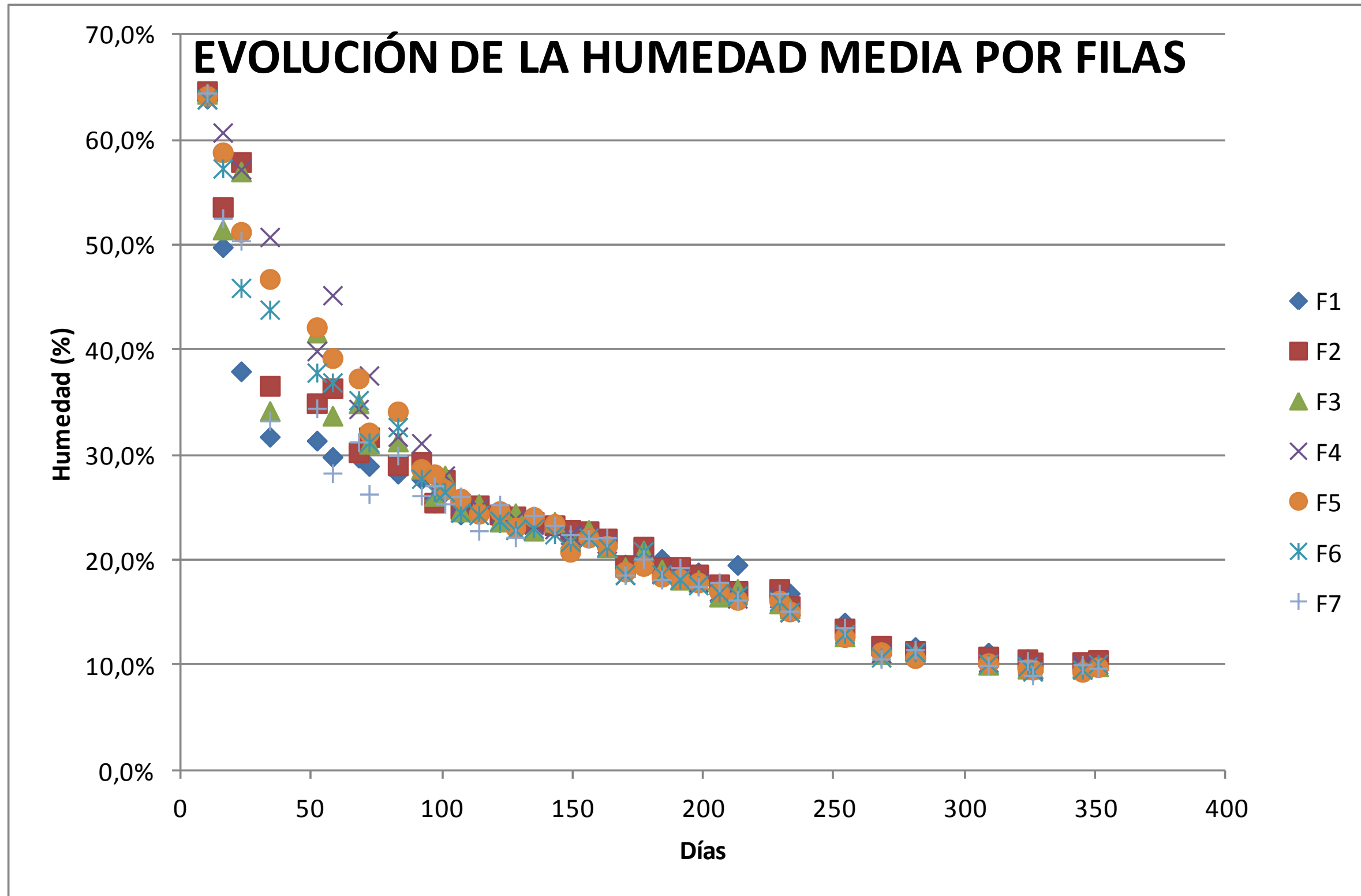


Figura A3.2- Evolución de la humedad media de las vigas por filas. Fuente: Elaboración propia



### ANEXO 3: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

---



## **ANEXO 4. PRUEBAS DE NORMALIDAD**





## ANEXO 4. PRUEBAS DE NORMALIDAD

Todo análisis estadístico de una variable pasa por la comprobación de si los datos tomados en los trabajos de campo provienen de una distribución normal, ajustándose a dicha distribución teórica, pues se trata de una de las hipótesis básicas a la hora de diseñar experimentos.

Una observación es “normal” cuando su comportamiento es “frecuente”, de acuerdo con un modelo matemático teórico que diferencia lo “frecuente” de lo “raro”.

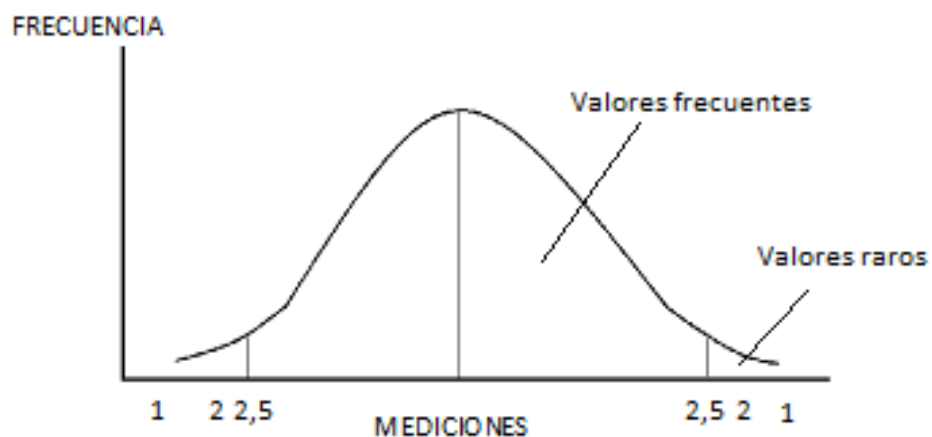


Figura A4.1- Distribución Normal o de Gauss. Fuente: Elaboración propia

Entre las propiedades de la distribución normal, se encuentran las siguientes:

- La distribución normal estándar tiene media  $\mu=0$  y desviación estándar  $\sigma=1$ . La media, Mediana y Moda coinciden, son iguales y se localizan en el pico.
- El área bajo la curva o probabilidad de menos infinito a más infinito vale 1.
- La distribución normal es simétrica, la mitad de curva tiene un área de 0.5.
- La escala horizontal de la curva se mide en desviaciones estándar.
- La forma y la posición de una distribución normal dependen de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , por lo que hay un número infinito de distribuciones normales.

El ajuste a la distribución teórica normal es totalmente necesario para que el resultado de algunos análisis sea fiable, como es el caso del ANOVA.

Existen diferentes contrastes para la verificación de la normalidad, pudiéndose dividir en dos grandes grupos: estudios analíticos y estudios gráficos. Es posible encontrar multitud de pruebas



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

---

analíticas mediante las cuales se comprueba la normalidad de la muestra: prueba de Kolmogorov-Smirnov, prueba de Shapiro Wilk, contraste Chi cuadrado de Pearson, etc.

Gráficamente, el estudio de la normalidad de la muestra se puede llevar a cabo mediante diferentes figuras: histograma, gráfico Q-Q, diagrama de cajas y bigotes, o el gráfico probabilístico entre otros.

Por último, indicar que aunque los valores no se distribuyan normalmente, sus transformaciones sí que pueden hacerlo, aunque muchas veces es poco práctico: Logaritmo, Raíz Cuadrada,  $1/X$ ,  $X^2$ , etc.

### Prueba Analítica de la normalidad

Como se ha puesto de relieve con anterioridad, existe un amplio abanico de pruebas analíticas para comprobar si las observaciones recogidas provienen de una distribución normal. El empleo de cada una de ellas pasa porque la muestra cumpla una serie de requisitos o condiciones.

Para comprobar la normalidad de los datos de humedad de las piezas de madera aserrada, se ha determinado como necesaria la realización de las dos siguientes pruebas: Prueba Chi Cuadrado y la Prueba de Kolmogorov- Smirnov.

#### Prueba Chi Cuadrado

El test chi-cuadrado es un contraste general de bondad de ajuste de una distribución y, en particular, puede utilizarse para contrastar la normalidad de una muestra. El test Chi Cuadrado fue desarrollado por Pearson (1900), quién propuso un estadístico con el que se compararan las frecuencias observadas ( $O_i$ ) con las frecuencias esperadas ( $E_i$ ), según la distribución de probabilidad especificada.

Para una variable discreta con  $K$  modalidades o para una variable continua con  $K$  intervalos de clase, el contraste es:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Siendo:

- D      Chi Cuadrado;
- $O_i$     frecuencias observadas;
- $E_i$     frecuencias esperadas.

Por tanto, con este contraste la distribución aproximada es la de una Chi- Cuadrado con  $K-1$  grados de libertad ( $\chi_{k-1}^2$ ).



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

---

Para poder llevar a cabo esta prueba, se ha de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El tamaño de la muestra debe ser lo suficientemente grande ( $n > 35$ ).
2. Este contraste compara el histograma de frecuencias relativo de la muestra con el que se deduce de la masa de probabilidad teórica. Es válido para distribuciones discretas y continuas.
3. Si la distribución depende de algún parámetro que debe ser estimado, la distribución aproximada del test es una  $\chi_{k-r-1}^2$ , siendo  $r$  el número de parámetros estimados. Así, si se contrasta la hipótesis de normalidad, hay que estimar dos parámetros:  $\mu$  y  $\sigma^2$ . Por tanto, el número de grados de libertad es  $k - 3$ .
4. Si la variable en estudio es continua se puede utilizar este contraste haciendo intervalos de clase. Esto plantea el problema de la subjetividad en la elección de los mismos, así como la dependencia del resultado del test de los intervalos elegidos.

### Prueba Kolmogorov- Smirnov

Entre los tests no paramétricos que comúnmente se utilizan para verificar si una distribución se ajusta o no a una distribución esperada, en particular a la distribución normal se encuentran el test de Kolmogorov-Smirnov. El test de Kolmogorov-Smirnov es bastante potente con muestras grandes.

La prueba Kolmogorov-Smirnov se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población. En este caso, el estadístico de prueba es la máxima diferencia:

$$D = \max |F_n(x) - F_0(x)|$$

Siendo:

$F_n(x)$  la función de distribución muestral;

$F_0(x)$  la función teórica o correspondiente a la población normal especificada en la hipótesis nula.

Si los valores observados  $F_n(x)$  son similares a los esperados  $F_0(x)$ , el valor de  $D$  será pequeño. Cuanto mayor sea la discrepancia entre la distribución empírica  $F_n(x)$  y la distribución teórica, mayor será el valor de  $D$ .

La distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula (los datos son muestras independientes que provienen de una distribución normal) y los valores críticos de este estadístico están tabulados.



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

### Análisis gráfico de la normalidad

Son varias las figuras que pueden ser utilizadas para chequear gráficamente la normalidad de la distribución de observaciones. En la presente Tesis, se han tomado como gráficos de referencia para probar la normalidad o la falta de normalidad de la variable humedad en las piezas de madera aserrada, el gráfico de probabilidad normal y el histograma.

### 1. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR FILAS DE LA VARIABLE HUMEDAD

A continuación se exponen los valores obtenidos (p- valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en la comprobación analítica de la Normalidad de los datos de humedad de las 49 vigas de la pila de madera aserrada, por filas.

Tabla A4.1- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
FILAS	F1	840	0,0	0,00001507270
	F2	840	0,0	0,00000611300
	F3	840	0,0	0,00000142713
	F4	840	0,0	0,00000104677
	F5	840	0,0	0,00000170436
	F6	840	0,0	0,00000289978
	F7	840	0,0	0,00000276094

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de la variable humedad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Es posible corroborar los resultados obtenidos en los test de normalidad, mediante un estudio gráfico de las siguientes figuras:



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

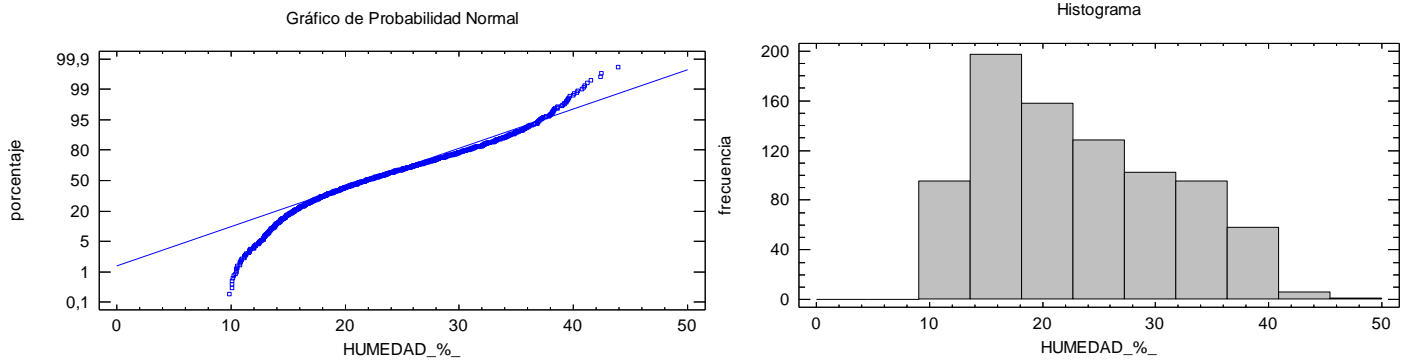


Figura A4.2- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

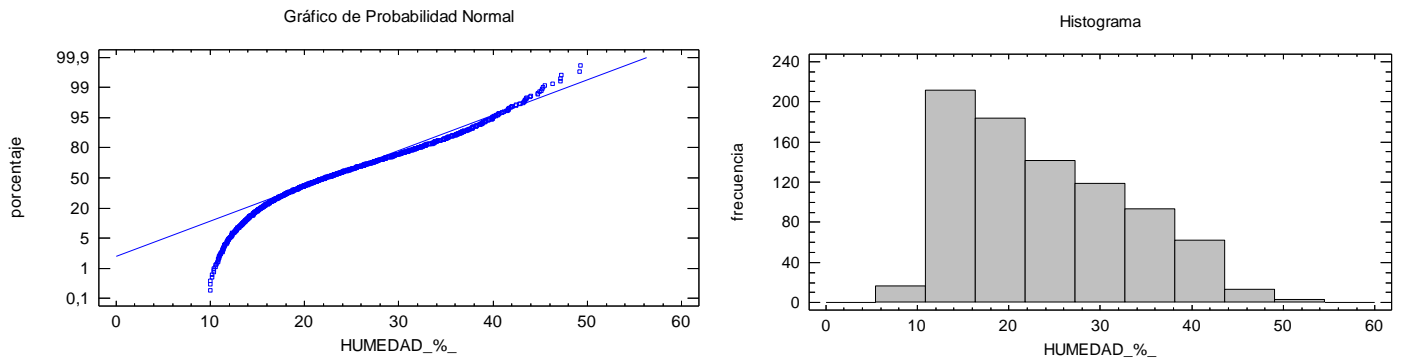


Figura A4.3- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

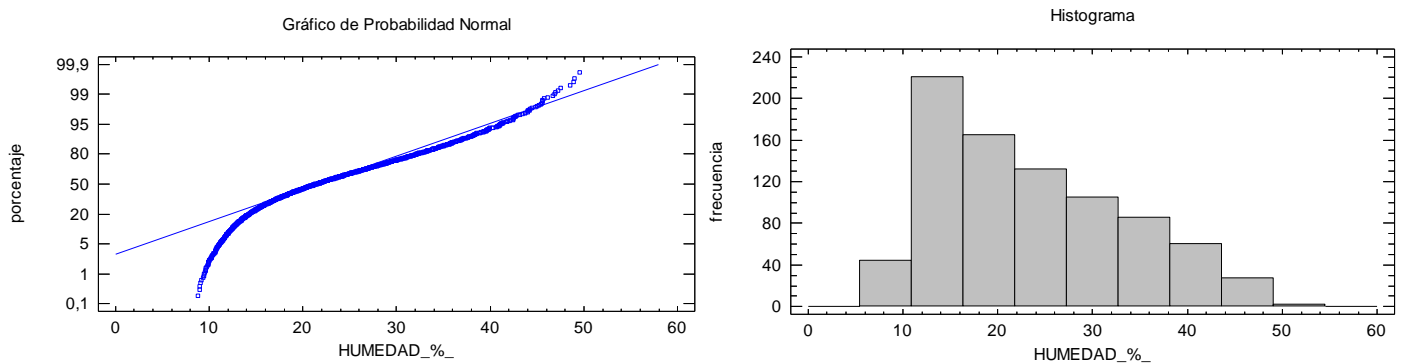


Figura A4.4- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

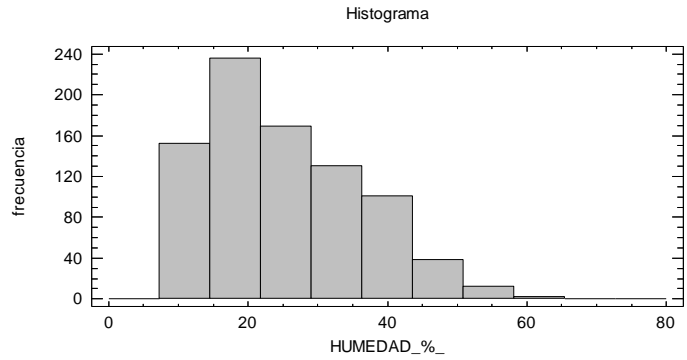
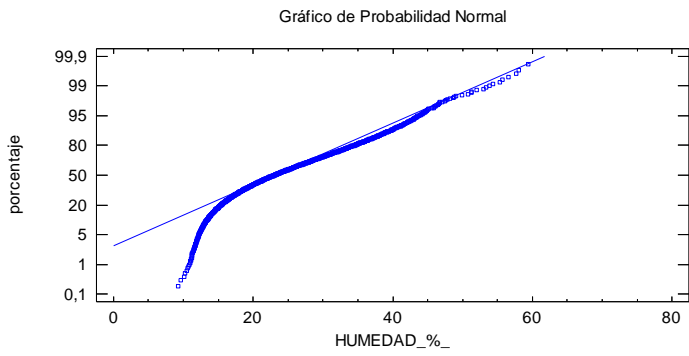


Figura A4.5- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

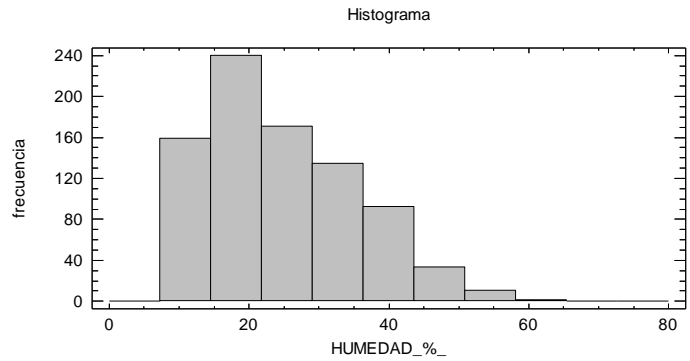
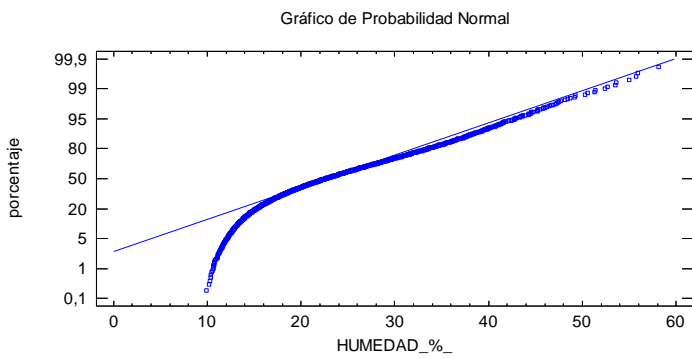


Figura A4.6- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

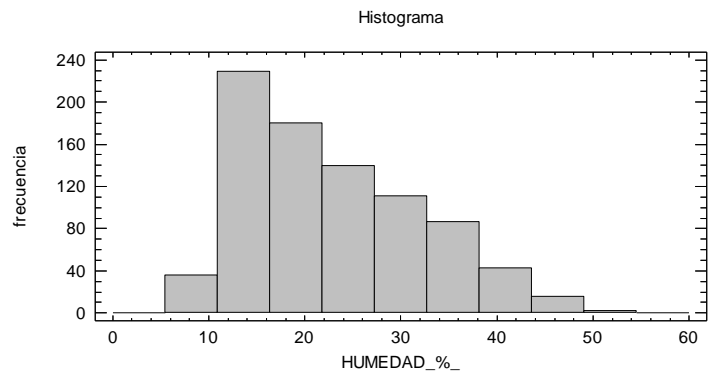
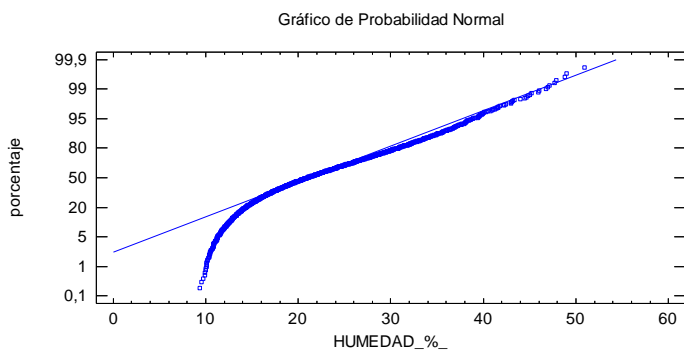


Figura A4.7- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

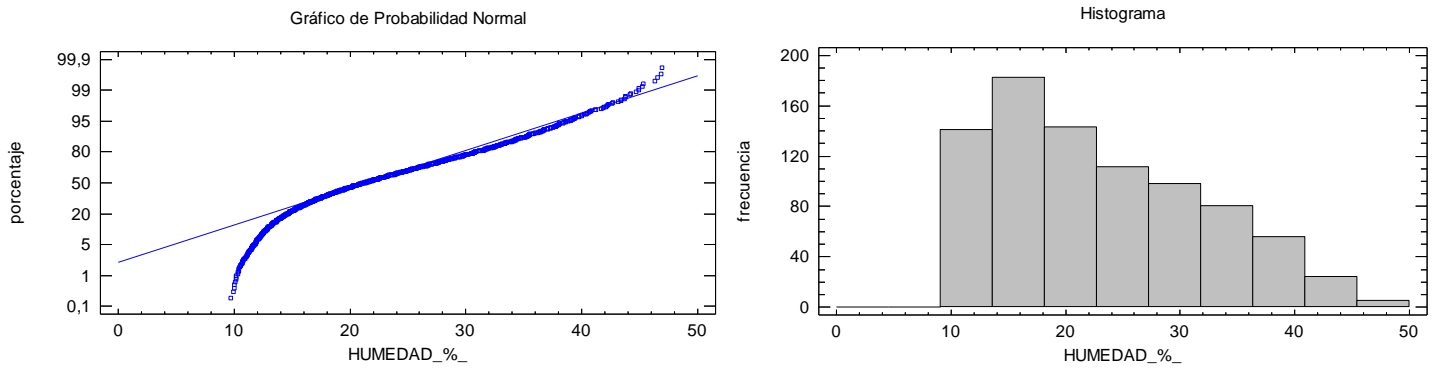


Figura A4.8- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

### 2. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR COLUMNAS DE LA VARIABLE HUMEDAD

Análogamente a lo expuesto para las filas de la pila de madera, ahora se ofrecen los valores obtenidos (p- valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en el chequeo analítico de la Normalidad de los datos de humedad por columnas de las 49 vigas.

Tabla A4.2- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
COLUMNAS	C1	840	0,0	0,00000771955
	C2	840	0,0	0,00000438963
	C3	840	0,0	0,00000182561
	C4	840	0,0	0,00000159963
	C5	840	0,0	0,00000157399
	C6	840	0,0	0,00000549199
	C7	840	0,0	0,00000288606

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de la variable humedad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

La falta de normalidad de los datos de humedad, por columnas, puede apreciarse de igual manera mediante el estudio de las siguientes gráficas.



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

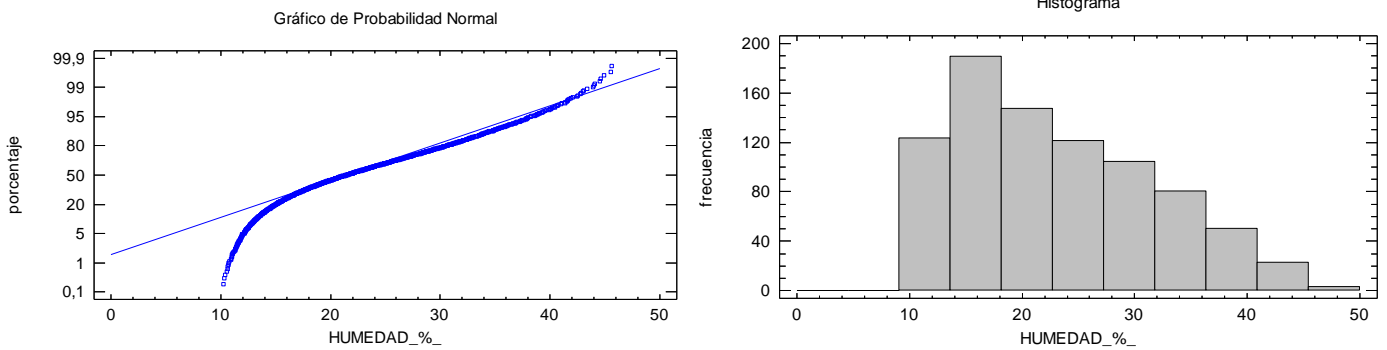


Figura A4.9- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

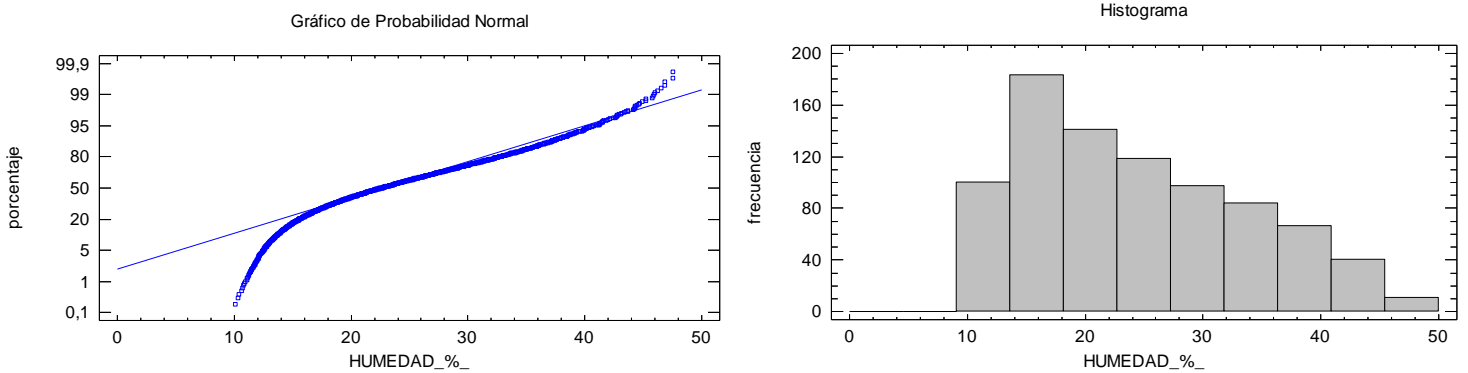


Figura A4.10- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

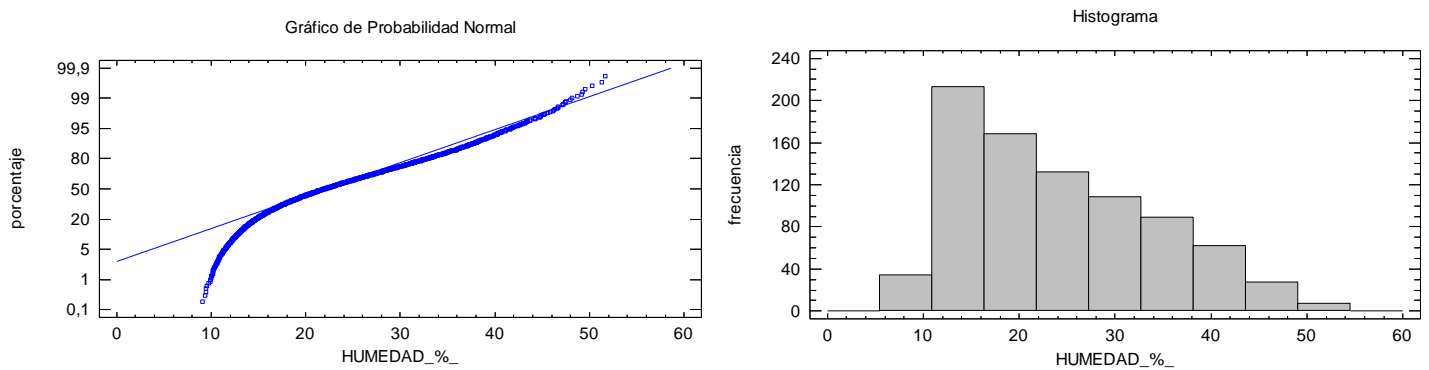


Figura A4.11- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

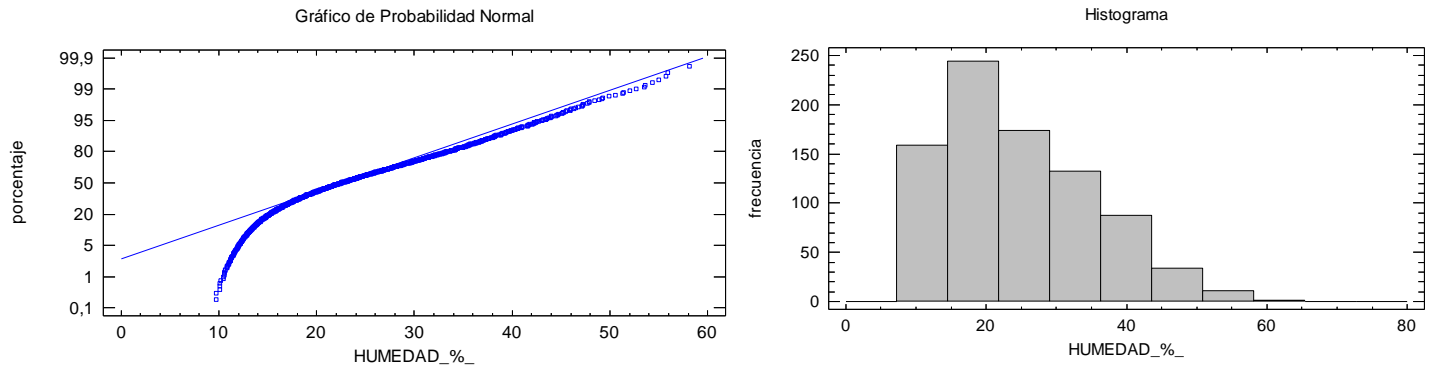


Figura A4.12- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

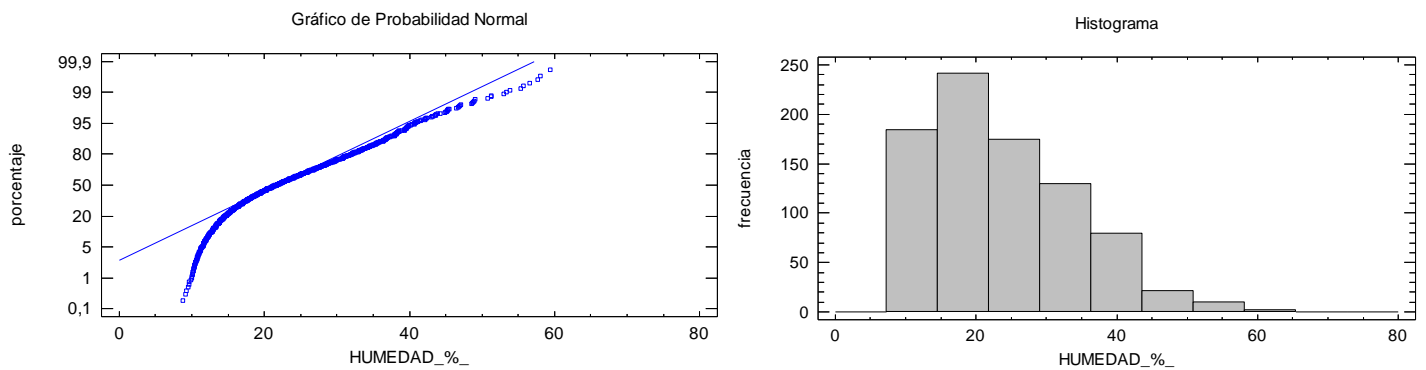


Figura A4.13- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

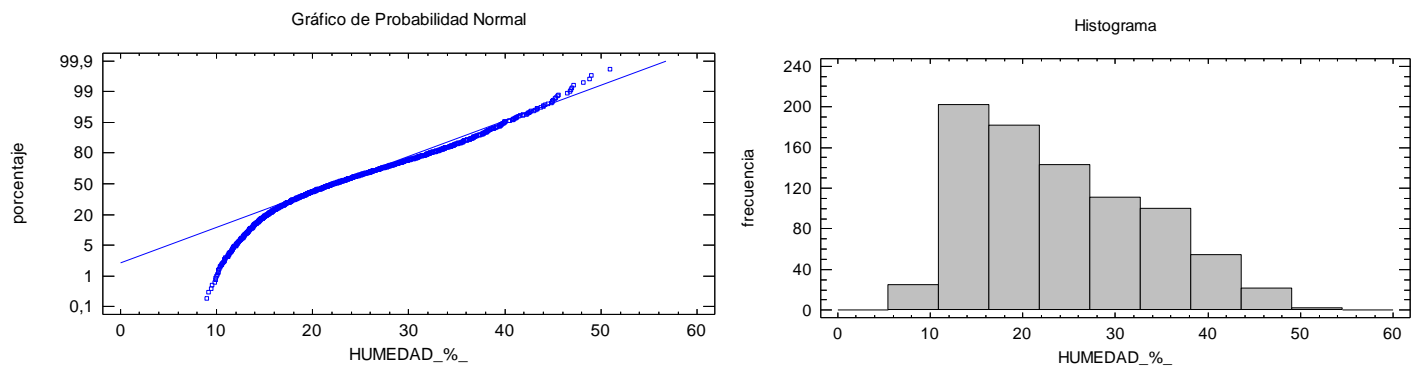


Figura A4.14- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

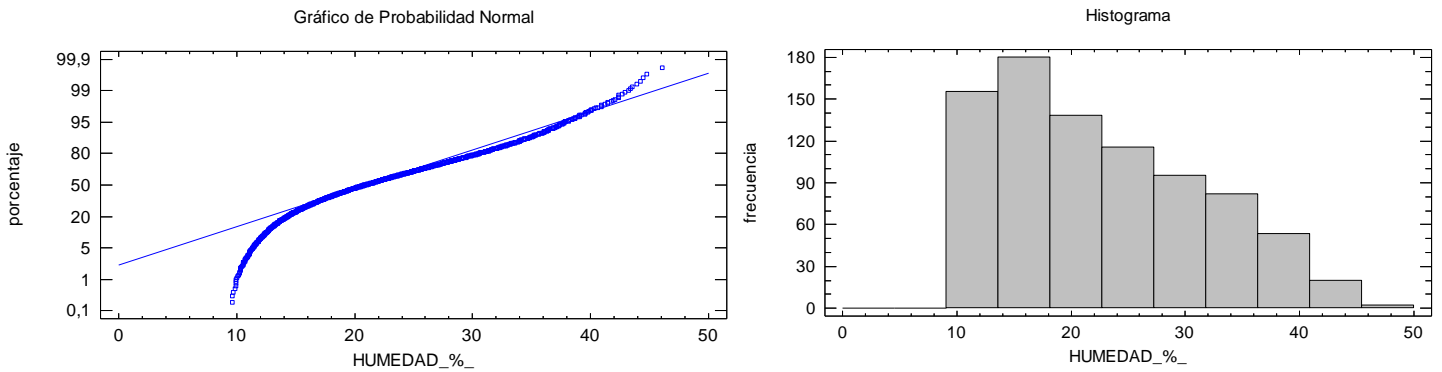


Figura A4.15- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

### 3. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR PUNTO DE MEDICIÓN EN LA VIGA DE LA VARIABLE HUMEDAD

Según los tres puntos donde se tomaron las mediciones de humedad con el xilohigrómetro de resistencia, se han realizado las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si dicha variable humedad proviene de una población Normal.

Tabla A4.3- Pruebas de Normalidad por punto de medición, para la variable humedad

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
PUNTO DE MEDICIÓN	TESTA ESTE	1960	0,0	0,0
	TESTA OESTE	1960	0,0	0,0
	CENTRO	1960	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de la variable humedad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Por último, y análogamente a lo expuesto para filas y columnas de la pila de madera, se ofrecen los gráficos para comprobar la normalidad de los datos de humedad, esta vez, según el punto donde se midió con el xilohigrómetro en la viga.



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

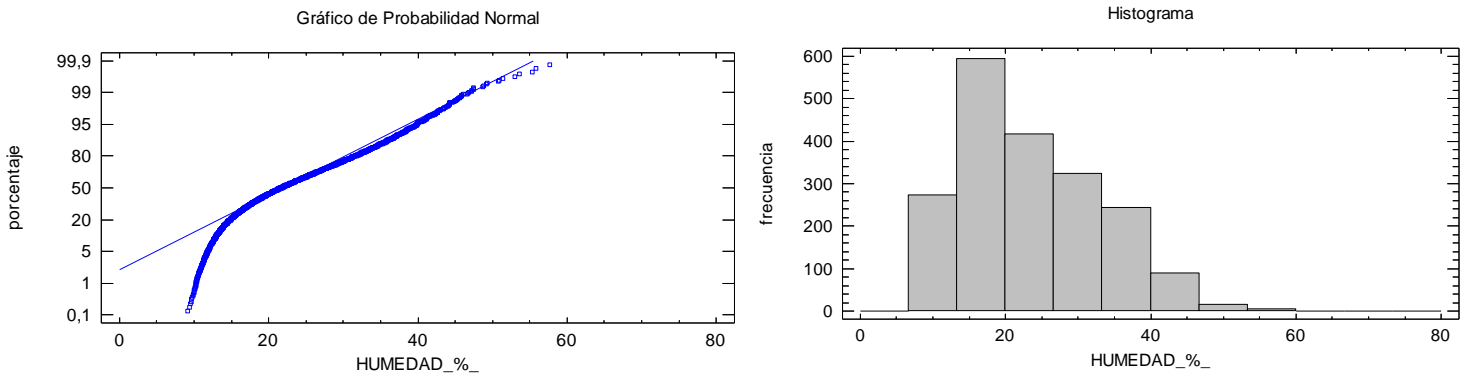


Figura A4.16- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

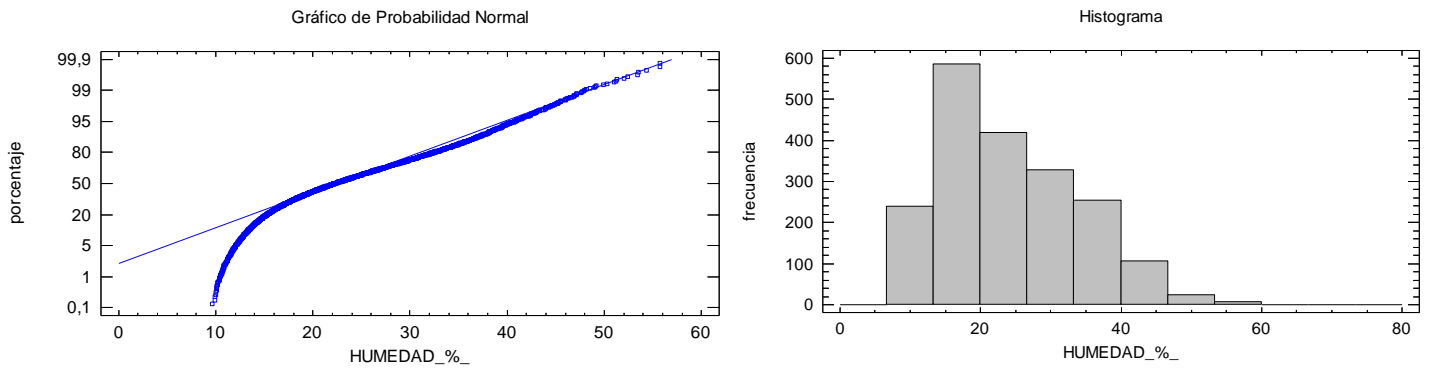


Figura A4.17- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

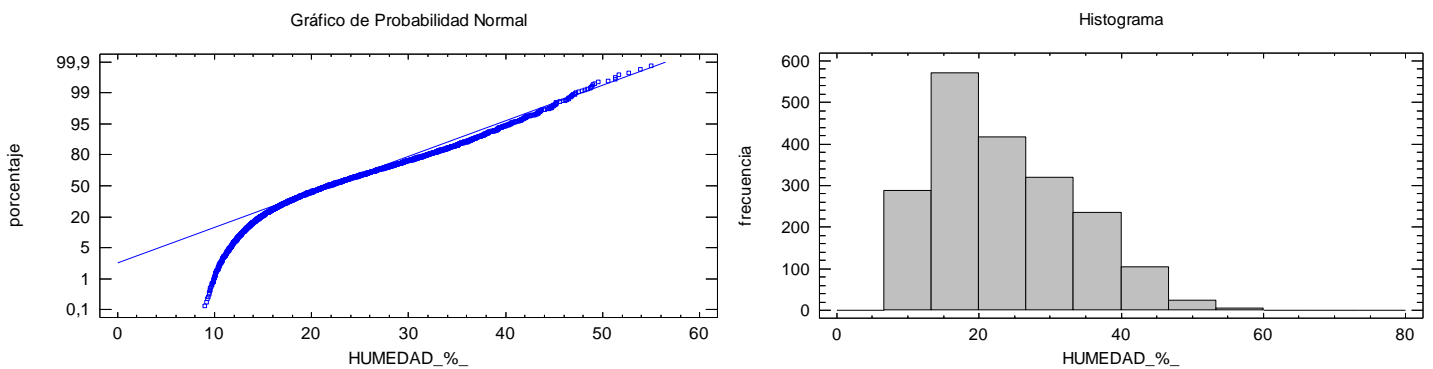


Figura A4.18- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable humedad. Fuente: Elaboración propia

Como se acaba de exponer tanto analíticamente como gráficamente, puede afirmarse con un 95% de confianza, que los datos de la variable humedad no provienen de una distribución Normal.



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

### 4. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR ORIENTACIÓN DE LAS VIGAS

Por último, se quiso comprobar la normalidad de los datos entre filas y columnas, según el punto de la viga donde se tomaron las mediciones; es decir, para la humedad de las testas orientadas al este, para las orientadas al oeste y para el centro. Sólo se llevó a cabo la comprobación analítica de la normalidad (pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov).

#### 4.1 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR FILAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE

Tabla A4.4- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
FILAS	F1	280	0,00116998	0,0387705
	F2	280	0,0000104193	0,0160252
	F3	280	0,000116313	0,0151594
	F4	280	2,91152E-7	0,0130711
	F5	280	6,83315E-7	0,0138995
	F6	280	0,00000145725	0,0151311
	F7	280	0,00000591921	0,0156232

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el P- Valor más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que (HUMEDAD\_%) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

#### 4.2 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR COLUMNAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE

Tabla A4.5- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
COLUMNAS	C1	280	0,000211076	0,0248109
	C2	280	0,00000203365	0,0149420
	C3	280	0,000100032	0,0151231
	C4	280	0,00000203365	0,0141412
	C5	280	6,27777E-7	0,0123813
	C6	280	0,0000859682	0,0182872
	C7	280	0,000116313	0,0208172

Fuente: Elaboración propia

También se deduce una falta de normalidad por columnas, con un 95% de confianza.



**ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD**

**4.3 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR FILAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE**

Tabla A4.6- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
FILAS	F1	280	0,000029205	0,0259134
	F2	280	0,00262848	0,0355170
	F3	280	0,0000143471	0,0147735
	F4	280	2,45136E-7	0,0105368
	F5	280	0,00000172194	0,0133983
	F6	280	0,0000168203	0,0154536
	F7	280	0,000034143	0,0182158

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el P- Valor más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que (HUMEDAD\_%) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

**4.4 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR COLUMNAS, DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE**

Tabla A4.7- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
COLUMNAS	C1	280	0,000107875	0,0263329
	C2	280	0,0000859682	0,0203354
	C3	280	0,0000249651	0,0153479
	C4	280	6,83315E-7	0,0152533
	C5	280	0,000182062	0,0179441
	C6	280	0,000263121	0,0218784
	C7	280	0,00000545672	0,0163832

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el P- Valor más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que (HUMEDAD\_%) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



## ANEXO 4: PRUEBAS DE NORMALIDAD

### 4.5 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR FILAS, DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS

Tabla A4.8- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad del centro de las vigas

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
FILAS	F1	280	0,000827046	0,0381827
	F2	280	0,00000260756	0,0165825
	F3	280	0,00000158417	0,0120385
	F4	280	0,00000113341	0,0107067
	F5	280	0,00000240052	0,0101512
	F6	280	0,0000369079	0,0157988
	F7	280	0,00000427141	0,0164359

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el P- Valor más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que (HUMEDAD\_%) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

### 4.6 COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD, POR COLUMNAS, DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS

Tabla A4.9- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECuento	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov
COLUMNAS	C1	280	0,0000315802	0,0235126
	C2	280	0,00000502967	0,0171651
	C3	280	0,00000123261	0,0123241
	C4	280	0,0000859682	0,0177120
	C5	280	0,00000754896	0,0177849
	C6	280	0,00164592	0,0245225
	C7	280	1,47312E-8	0,0106267

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el P- Valor más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que (HUMEDAD\_%) proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



# ANEXO 5. TRANSFORMACIONES







## ANEXO 5. TRANSFORMACIONES

Tal y como se ha expuesto en el “ANEXO 4: COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD” de la Tesis Doctoral, los datos de humedad de las 49 vigas oreadas al aire, no siguen una distribución normal.

Es por ello, que antes de rechazar totalmente el ANOVA como un método de análisis estadístico de la variable humedad, se ha determinado como conveniente, la transformación de la misma y repetir la comprobación de la normalidad de la humedad, ya que a veces, aunque los valores no se distribuyan normalmente, sus transformaciones sí que pueden hacerlo: Logaritmo, Raíz Cuadrada,  $1/X$ ,  $X^2$ , etc.

En este anexo se ofrecen los resultados de los test Chi Cuadrado y de Kolmogorov- Smirnov mediante los cuales se evaluará si los datos de nuestra variable humedad transformada siguen o no siguen una distribución normal.

Las siguientes tablas muestran los resultados (p- valores) de dichas pruebas de normalidad, para los tres tipos de transformaciones de variables consideradas (logarítmica, inversa y raíz), por filas y columnas de la pila de madera aserrada, y por punto de medición de humedad en la viga con xilohigrómetro de resistencia.

También se han incluido los correspondientes gráficos de probabilidad normal e histogramas para la comprobación visual de la normalidad de la variable humedad transformada.

### **1. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR FILAS DE LA VARIABLE HUMEDAD TRANSFORMADA**

A continuación se exponen los valores obtenidos (p- valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en la comprobación analítica de la Normalidad de los datos de humedad transformados de las 49 vigas de la pila de madera aserrada, por filas.



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Tabla A5.1- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad transformada

FILAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo Log(x)	Inversa 1/(X)	Raíz √(X)
F1	840	Chi Cuadrado	1,47134E-9	0,0	7,06263E-11
		Kolmogorov-Smirnov	0,0076412	0,00000425016	0,00172515
F2	840	Chi Cuadrado	4,34526E-7	0,0	8,43796E-10
		Kolmogorov-Smirnov	0,0176796	0,0000043667	0,00115942
F3	840	Chi Cuadrado	1,00442E-7	0,0	1,04146E-11
		Kolmogorov-Smirnov	0,0151921	8,37454E-7	0,000579605
F4	840	Chi Cuadrado	1,13269E-7	0,0	5,93303E-13
		Kolmogorov-Smirnov	0,0118813	0,00000208375	0,000472189
F5	840	Chi Cuadrado	0,00000801724	0,0	7,71356E-11
		Kolmogorov-Smirnov	0,0151066	0,00000276663	0,00058725
F6	840	Chi Cuadrado	0,00000109989	0,0	1,04952E-10
		Kolmogorov-Smirnov	0,016695	0,00000329369	0,000677217
F7	840	Chi Cuadrado	2,86038E-8	0,0	3,68849E-12
		Kolmogorov-Smirnov	0,00973486	0,00000274316	0,000405903

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de las variables log(humedad), 1/(humedad) y raíz(humedad) provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Es posible corroborar los resultados obtenidos en los test de normalidad, mediante una comprobación gráfica de las siguientes figuras.

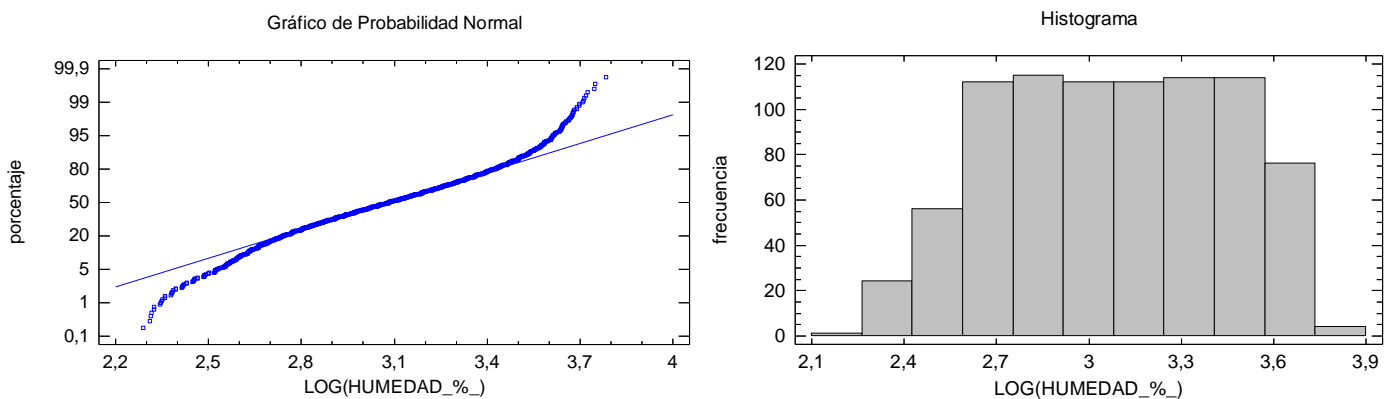


Figura A5.1- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

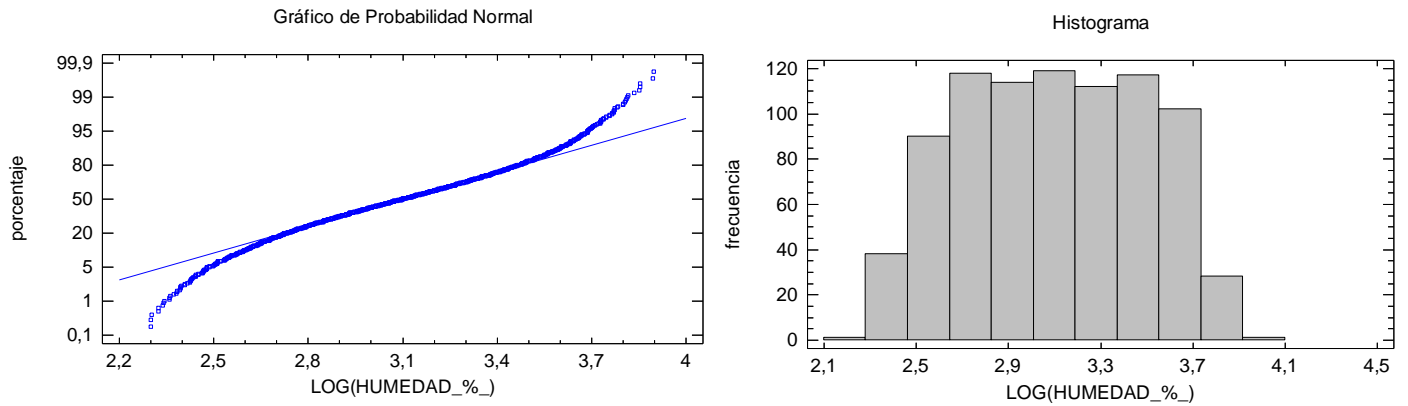


Figura A5.2- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

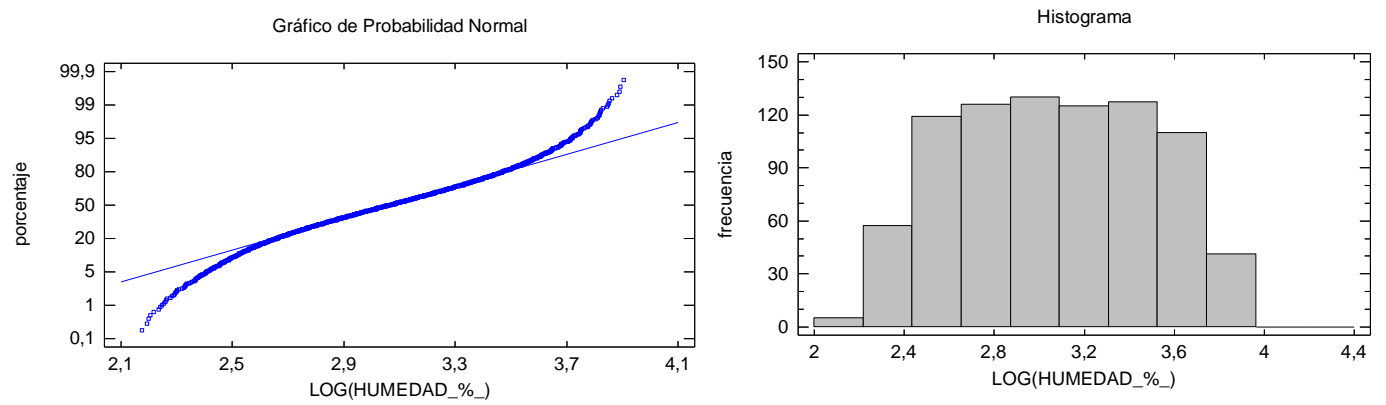


Figura A5.3- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

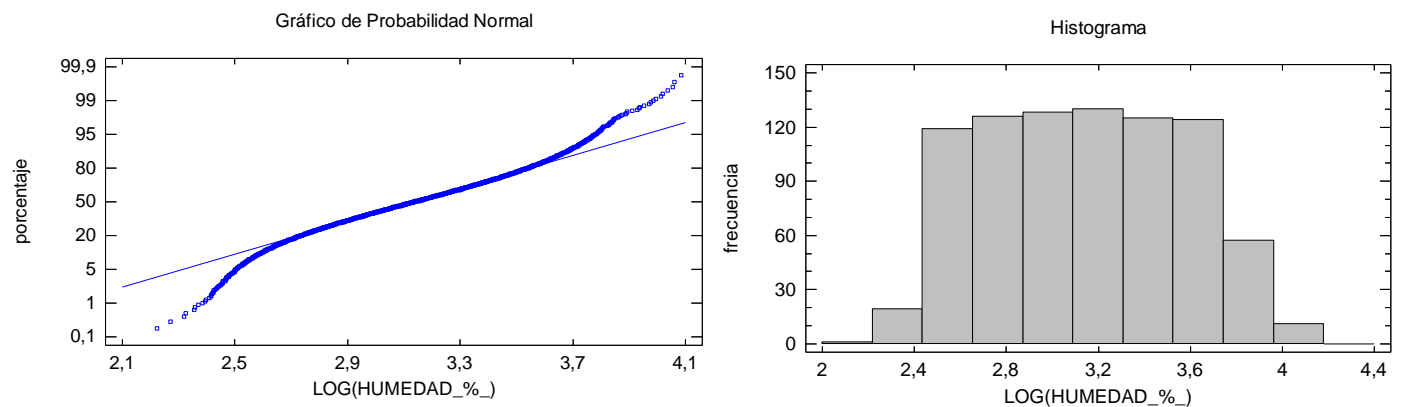


Figura A5.4- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

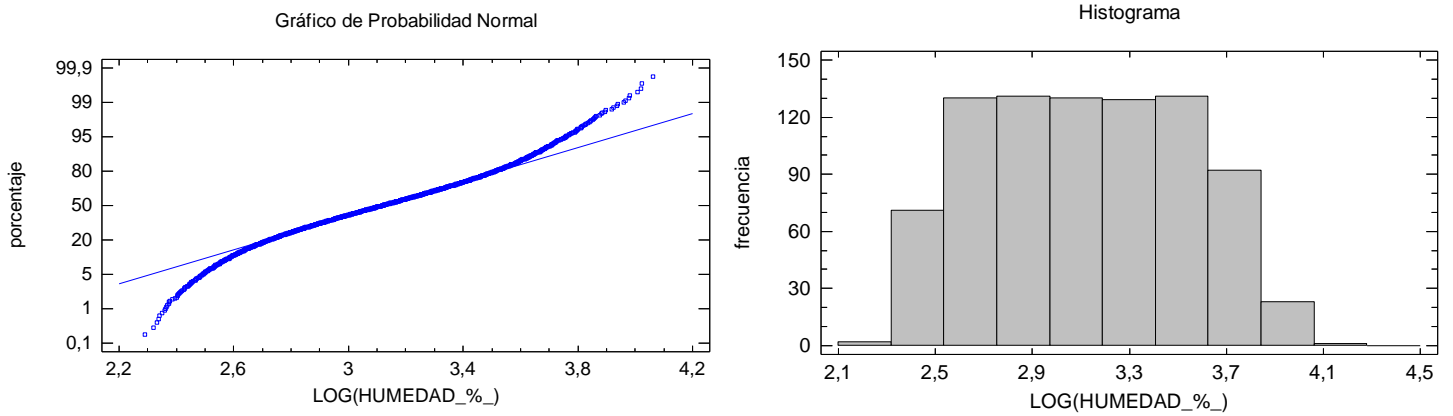


Figura A5.5- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

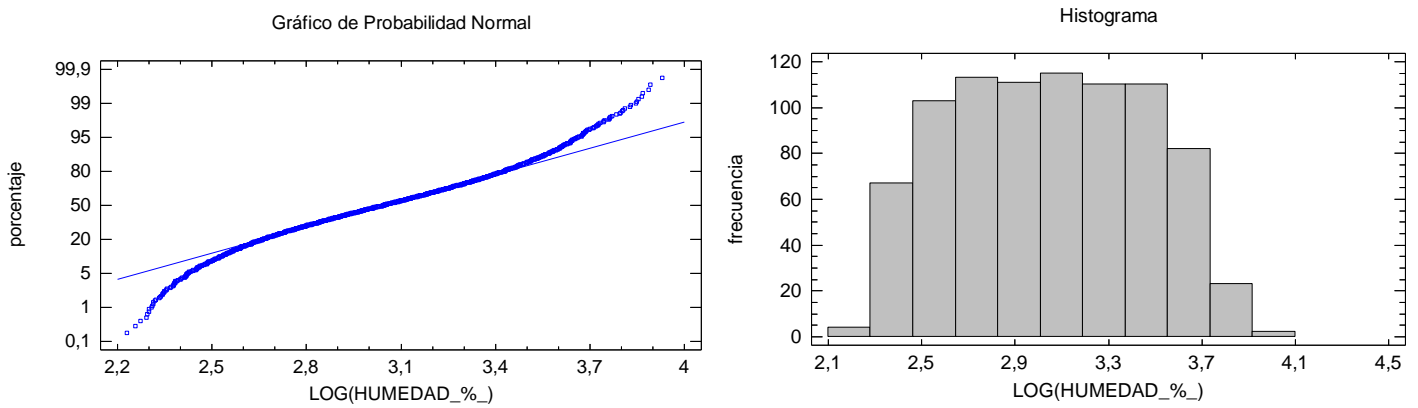


Figura A5.6- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

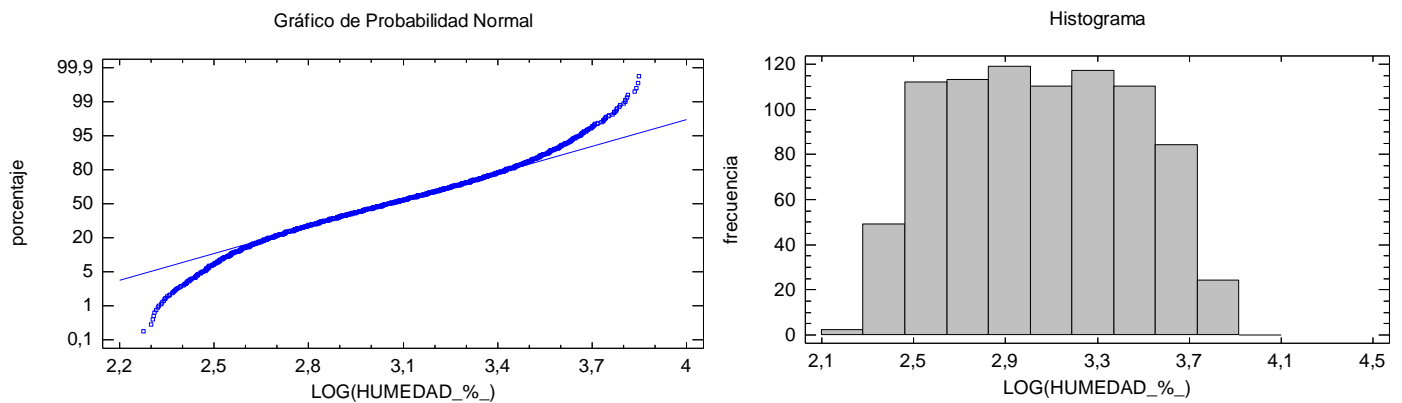


Figura A5.7- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

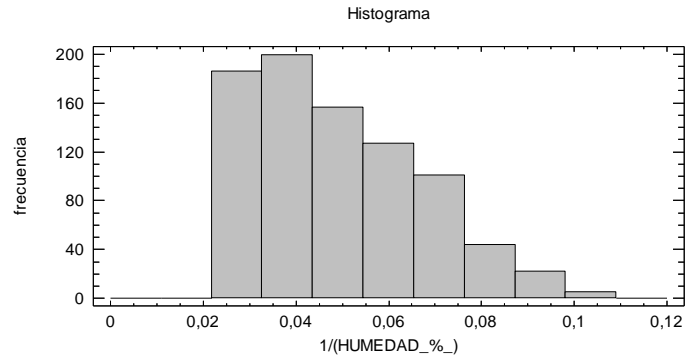
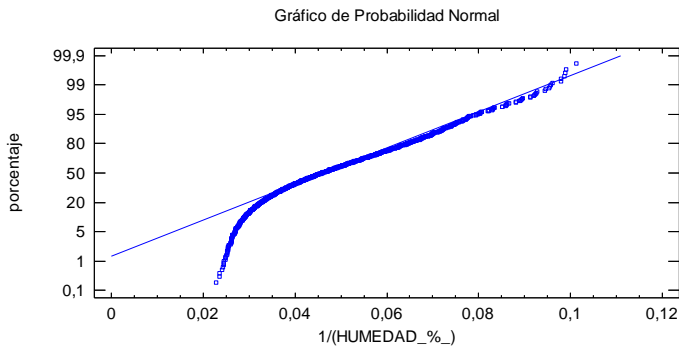


Figura A5.8- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia

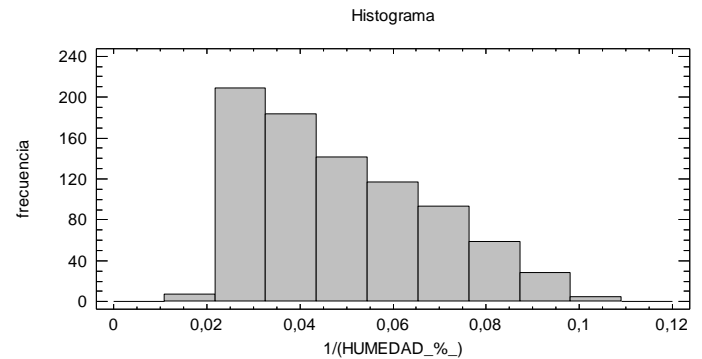
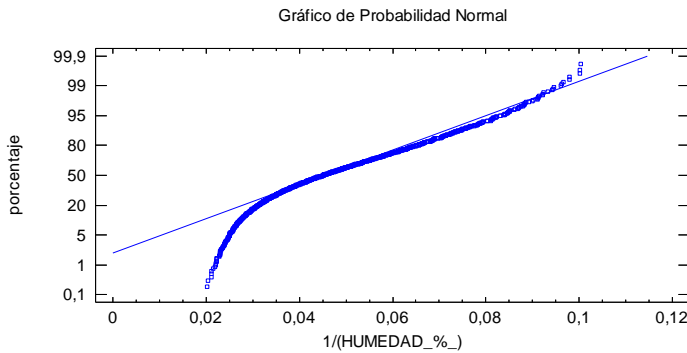


Figura A5.9- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia

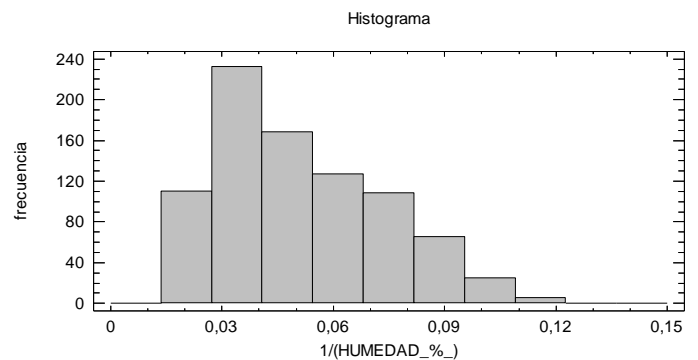
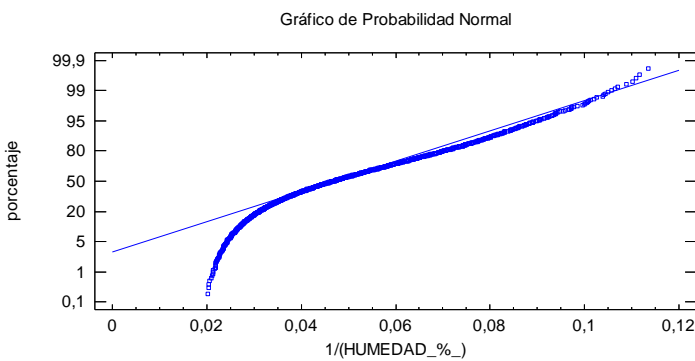


Figura A5.10- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

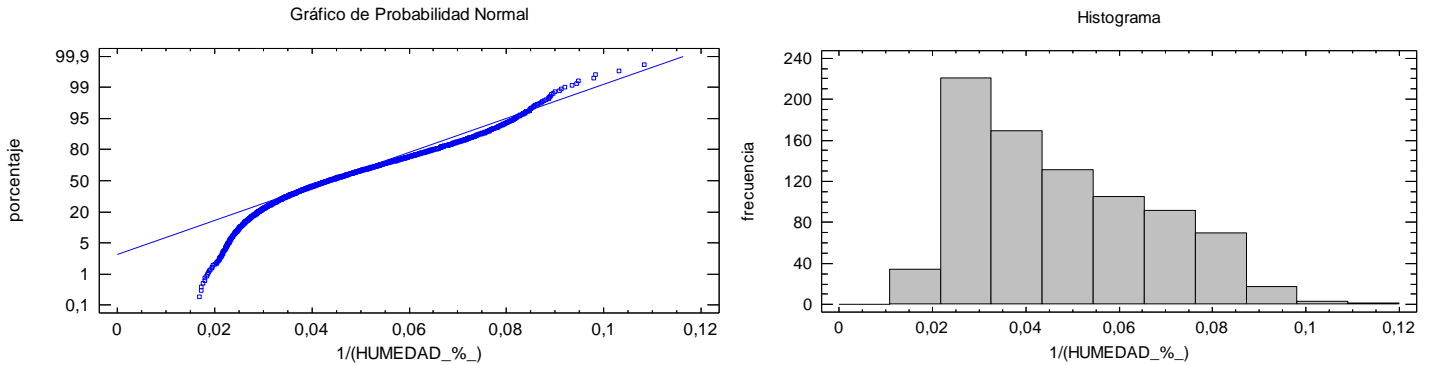


Figura A5.11- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia

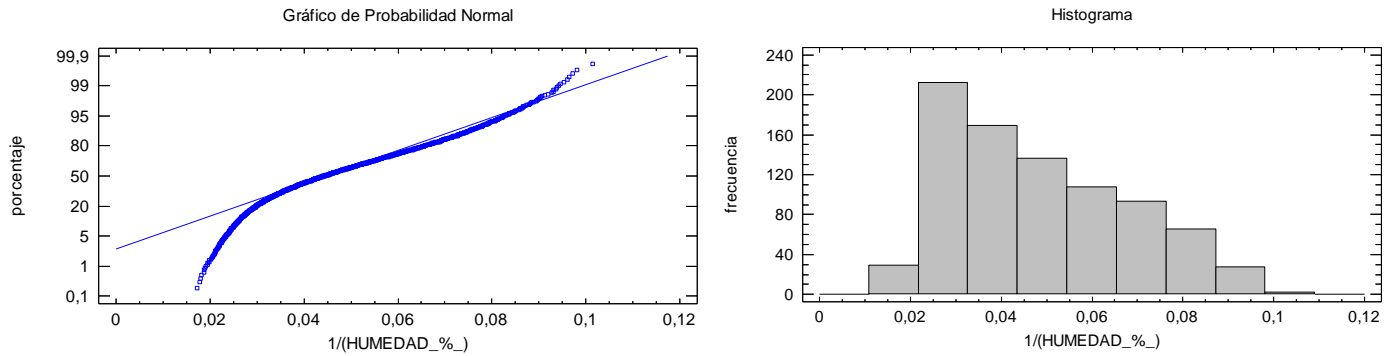


Figura A5.12- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia

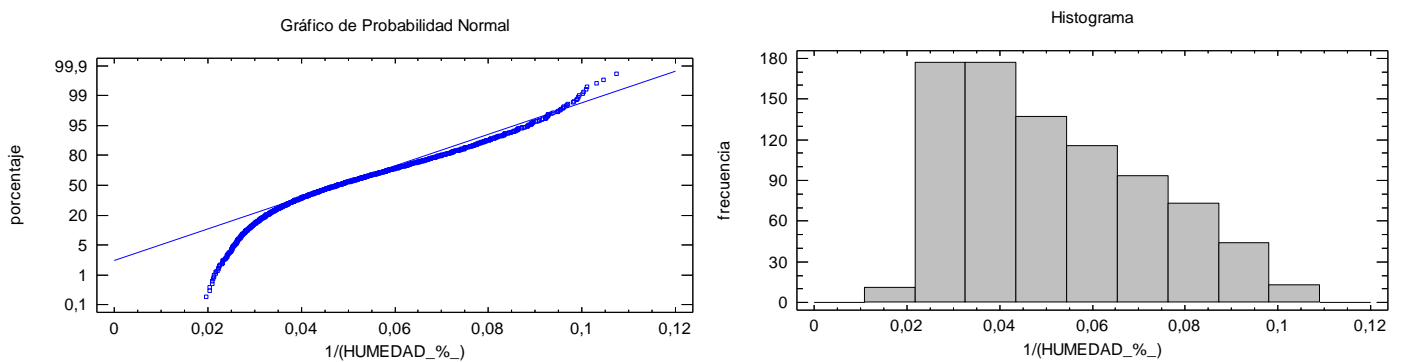


Figura A5.13- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

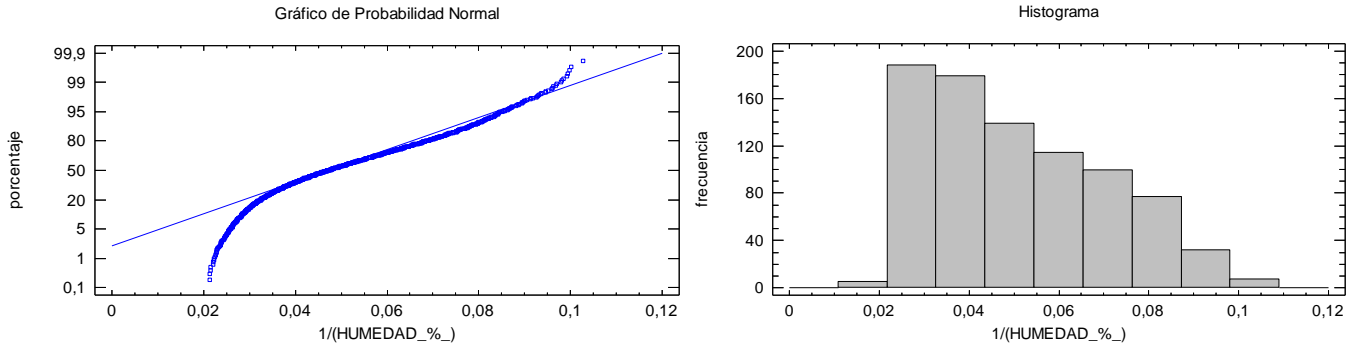


Figura A5.14- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable  $1/(\text{humedad})$ . Fuente: Elaboración propia

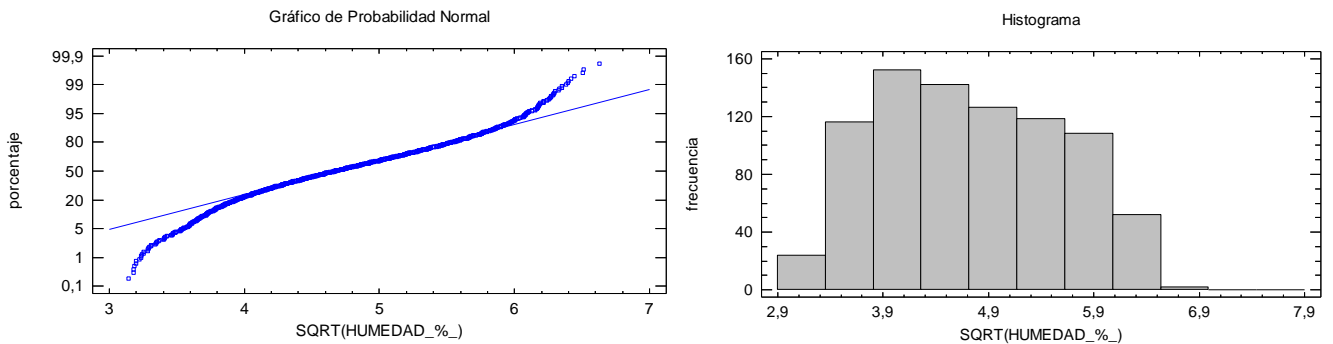


Figura A5.15- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 1, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

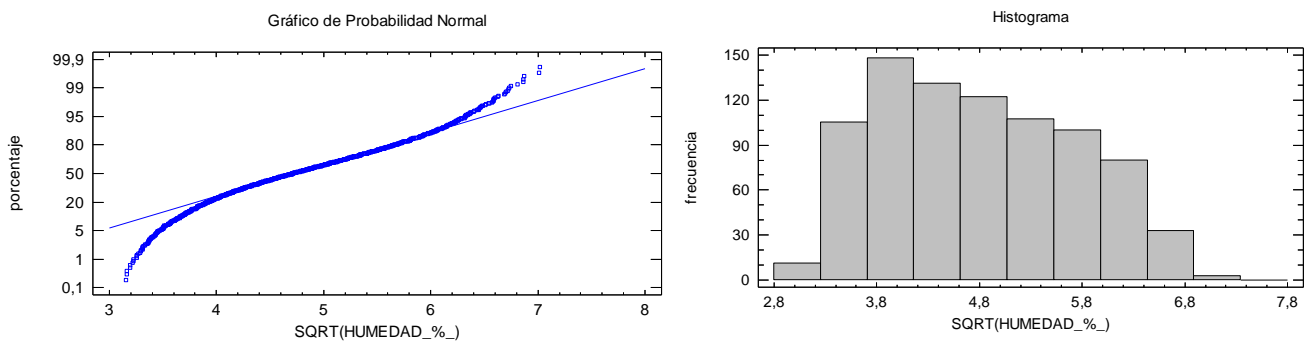


Figura A5.16- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 2, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

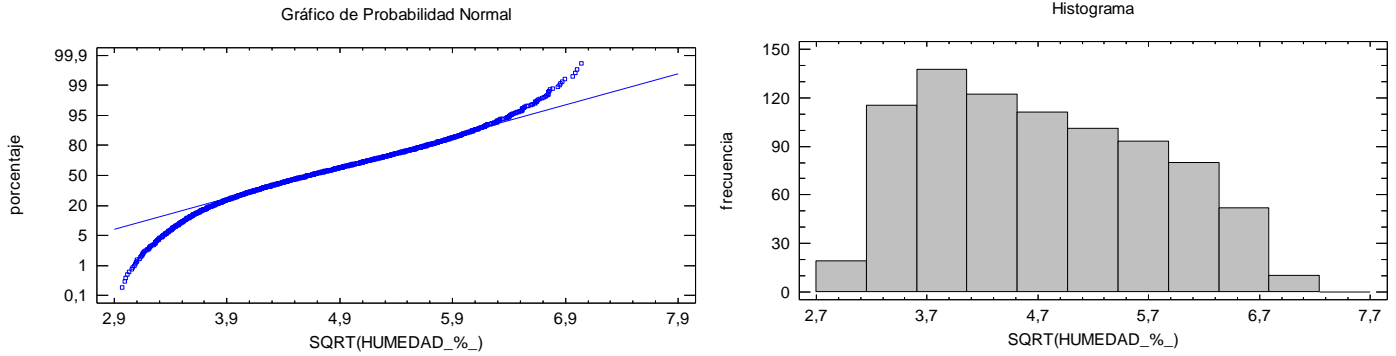


Figura A5.17- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 3, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

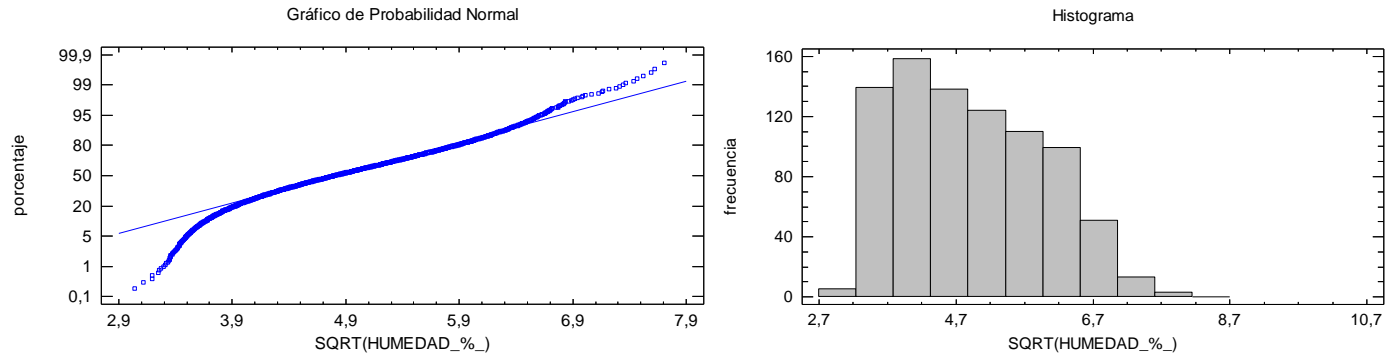


Figura A5.18- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 4, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

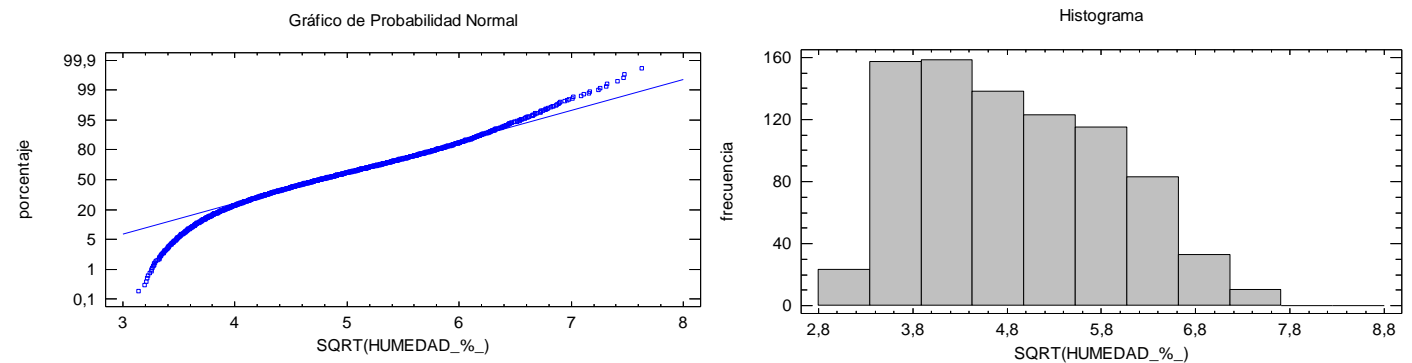


Figura A5.19- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 5, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

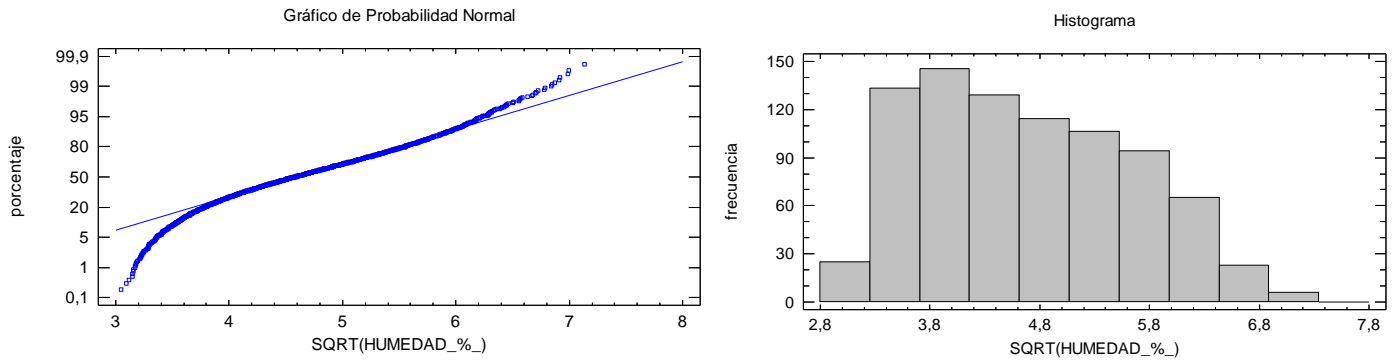


Figura A5.20: Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 6, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

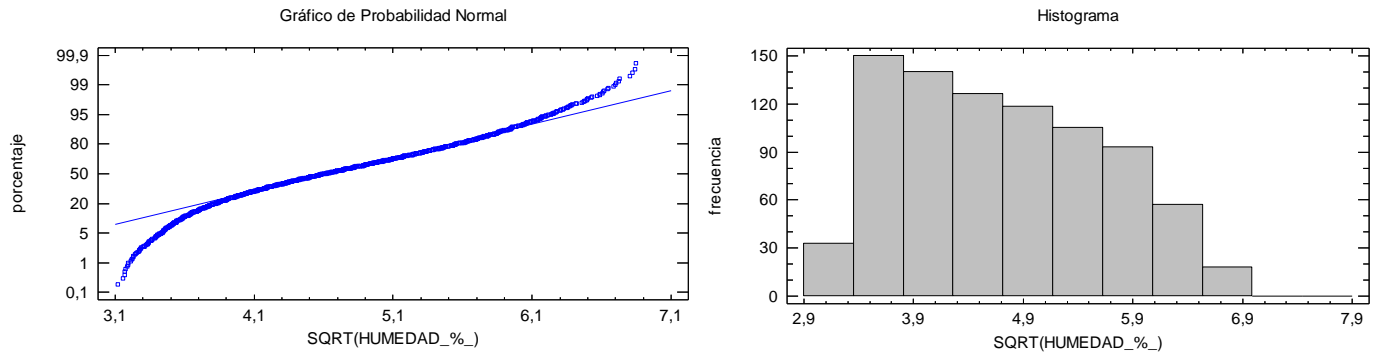


Figura A5.21: Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la fila 7, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

## 2. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR COLUMNAS DE LA VARIABLE HUMEDAD TRANSFORMADA

Análogamente a lo expuesto para las filas de la pila de madera, ahora se ofrecen los valores obtenidos (p- valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en la comprobación analítica de la Normalidad de los datos de humedad transformada, por columnas, de las 49 vigas.



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Tabla A5.2- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad transformada

COLUMNAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo $\text{Log}(x)$	Inversa $1/(X)$	Raíz $\sqrt{X}$
C1	840	Chi Cuadrado	0,00000173834	0,0	9,59637E-10
		Kolmogorov-Smirnov	0,0206888	0,00000887165	0,00114048
C2	840	Chi Cuadrado	2,63546E-8	0,0	2,45093E-12
		Kolmogorov-Smirnov	0,0126211	0,0000034263	0,000676436
C3	840	Chi Cuadrado	0,00000597594	0,0	2,78159E-9
		Kolmogorov-Smirnov	0,0191874	0,00000133738	0,000744277
C4	840	Chi Cuadrado	0,000024506	0,0	3,15748E-9
		Kolmogorov-Smirnov	0,0156941	0,00000345517	0,000538808
C5	840	Chi Cuadrado	0,0000747906	0,0	1,60221E-9
		Kolmogorov-Smirnov	0,0221576	0,00000280447	0,000975048
C6	840	Chi Cuadrado	0,000013336	0,0	0,00000149311
		Kolmogorov-Smirnov	0,0196988	0,00000327898	0,00152921
C7	840	Chi Cuadrado	5,68884E-9	0,0	1,70219E-12
		Kolmogorov-Smirnov	0,0123715	0,0000023518	0,000680756

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de la variable humedad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

La falta de normalidad de los datos de humedad, por columnas, puede apreciarse de igual manera mediante el estudio de las siguientes gráficas.

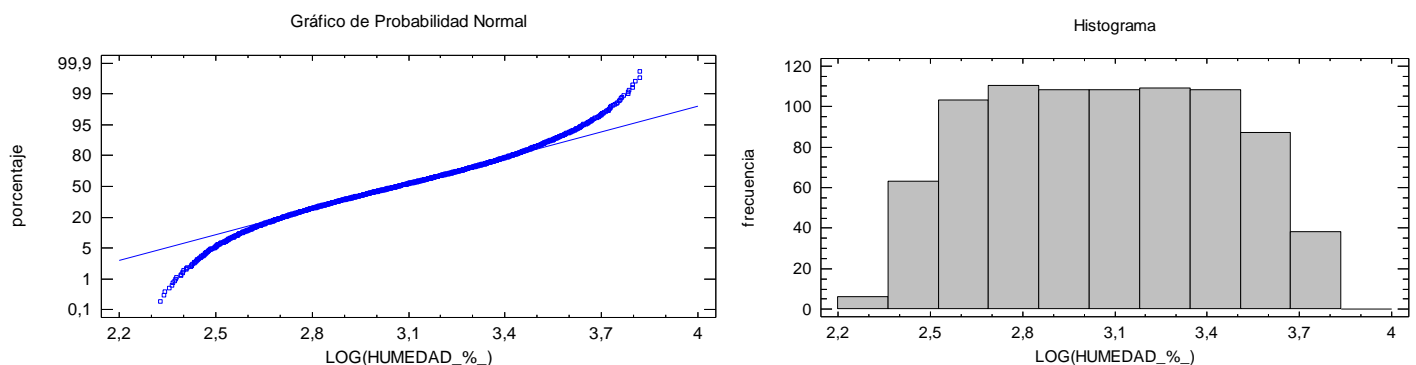


Figura A5.22- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable  $\text{Log}(\text{humedad})$ . Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

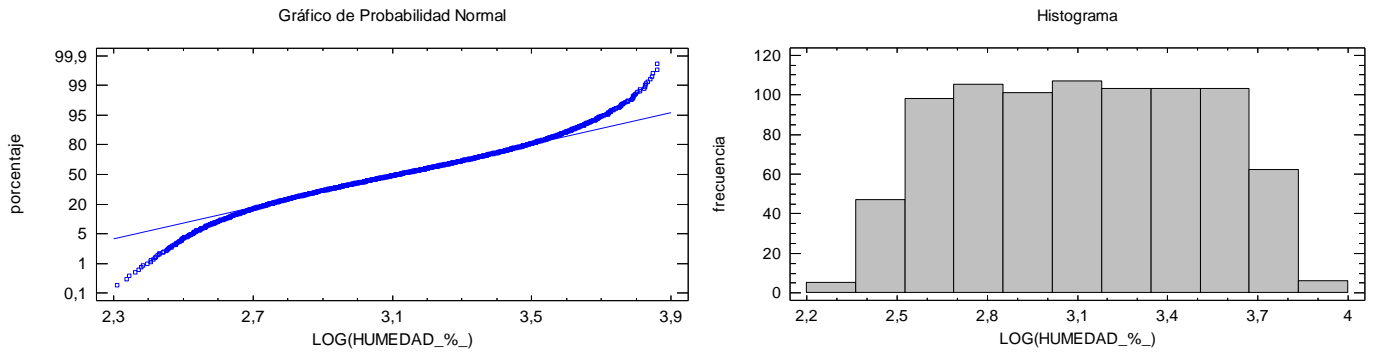


Figura A5.23- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

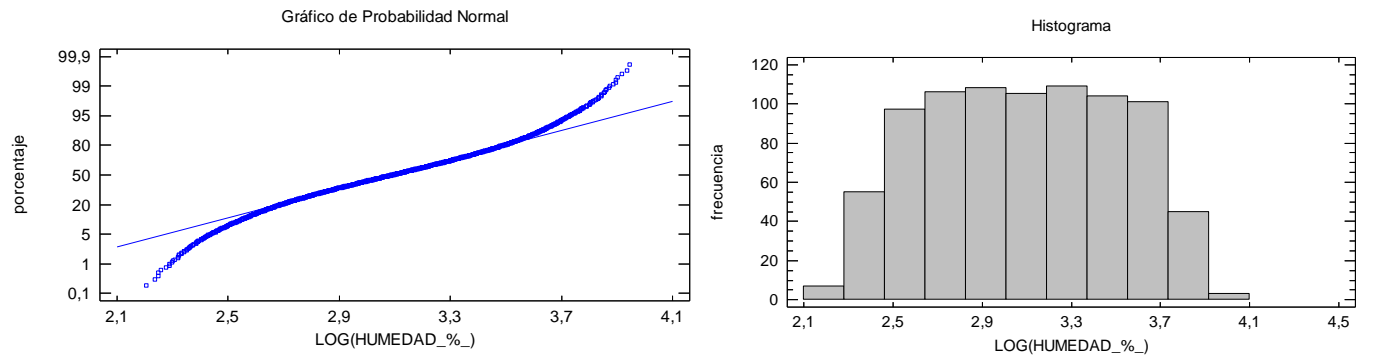


Figura A5.24- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

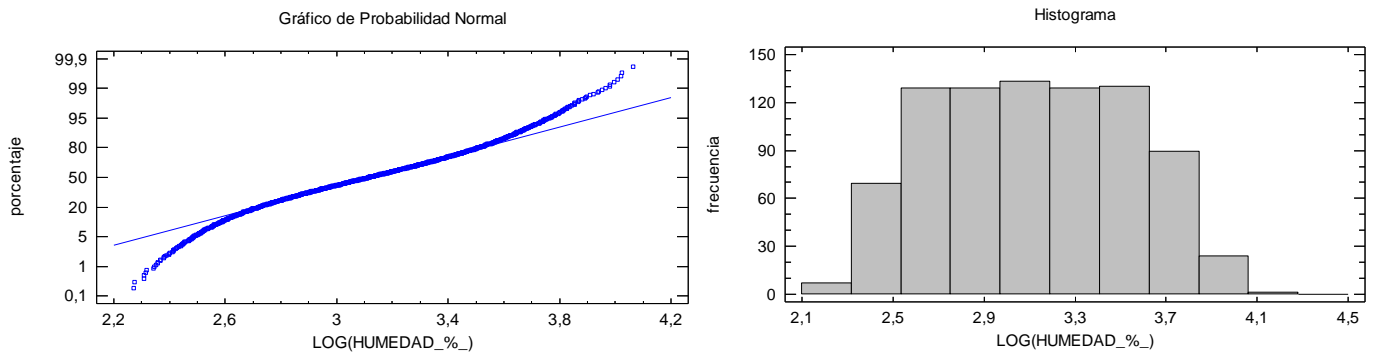


Figura A5.25- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

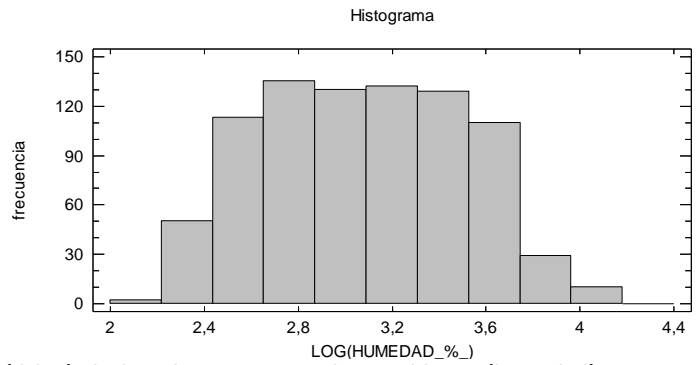
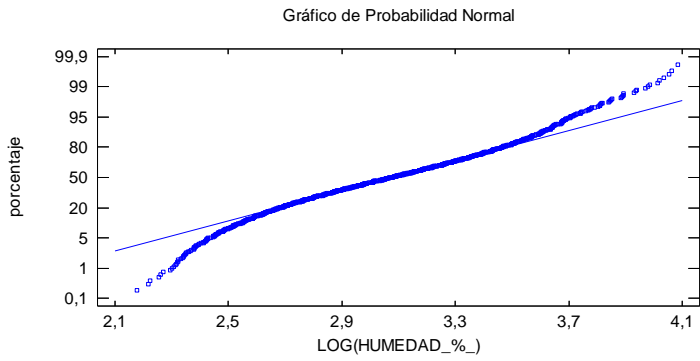


Figura A5.26- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

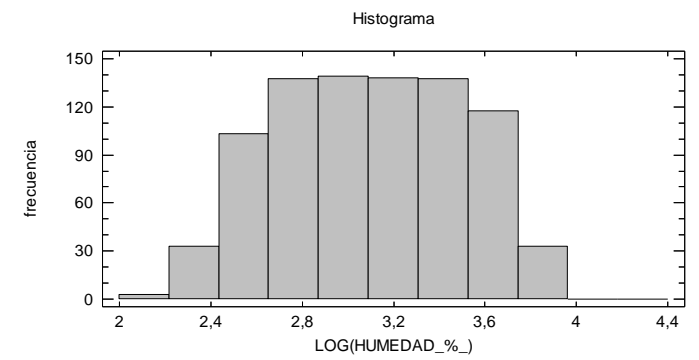
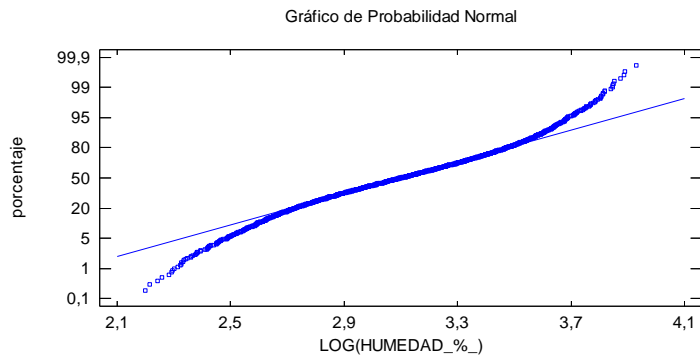


Figura A5.27- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

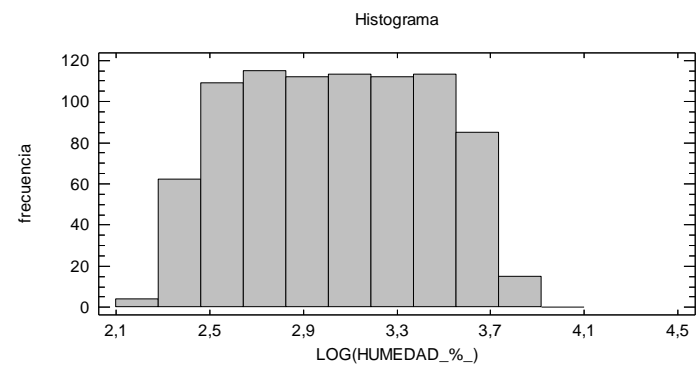
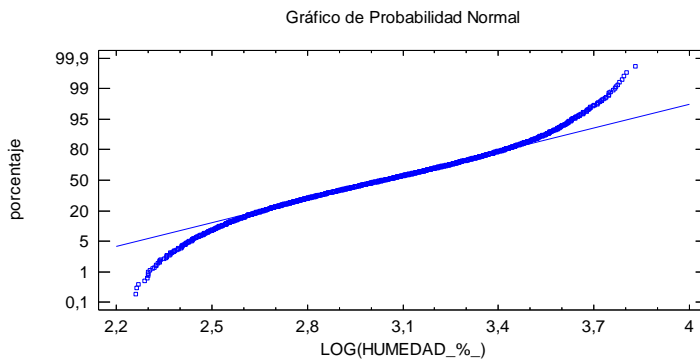


Figura A5.28- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

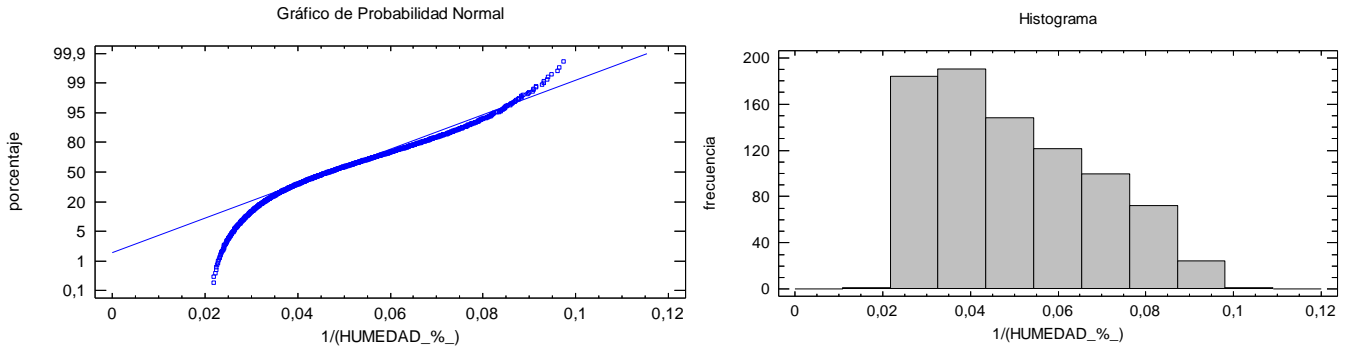


Figura A5.29- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable  $1/(humedad)$ . Fuente: Elaboración propia

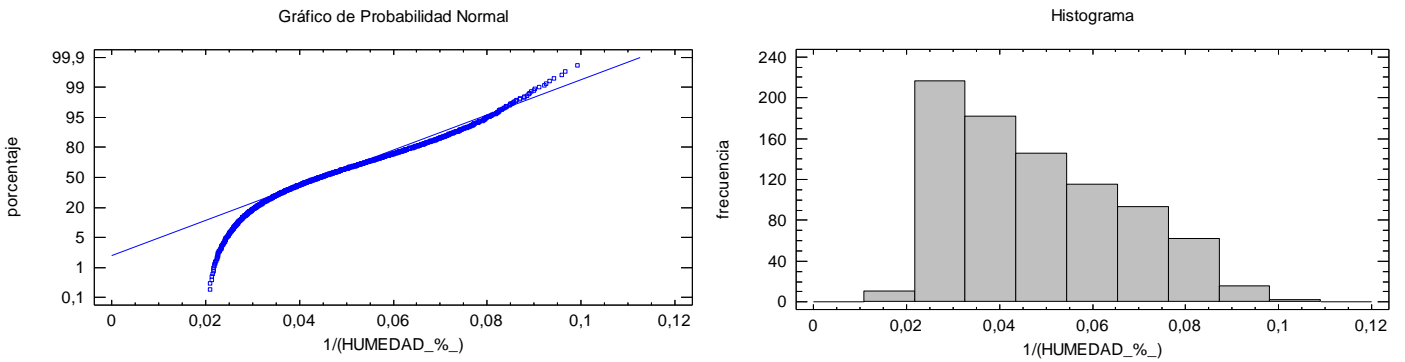


Figura A5.30- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable  $1/(humedad)$ . Fuente: Elaboración propia

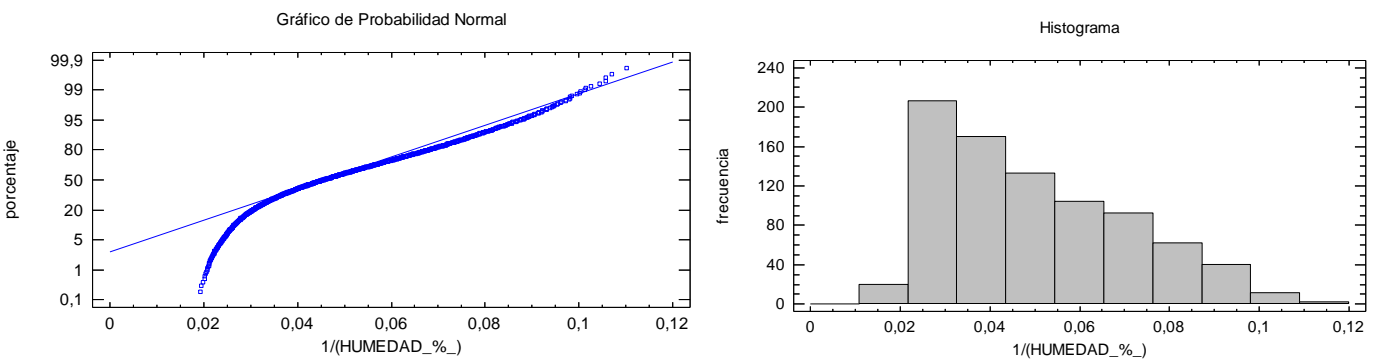


Figura A5.31- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable  $1/(humedad)$ . Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

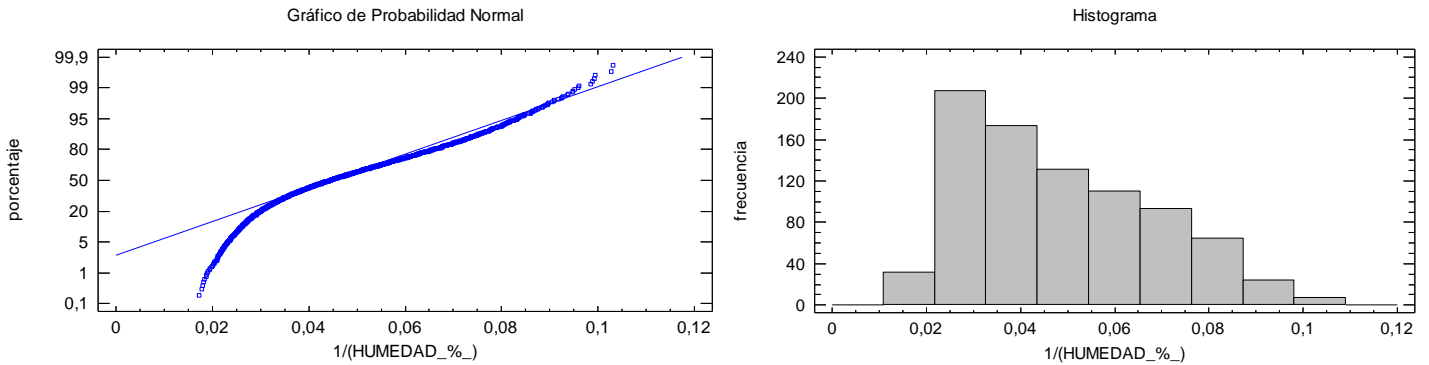


Figura A5.32- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable  $1/(humedad)$ . Fuente: Elaboración propia

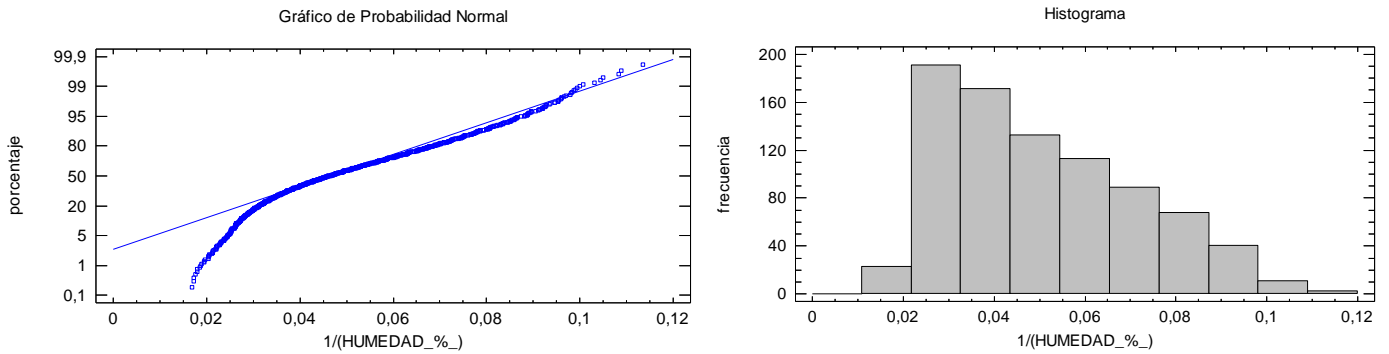


Figura A5.33- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable  $1/(humedad)$ . Fuente: Elaboración propia

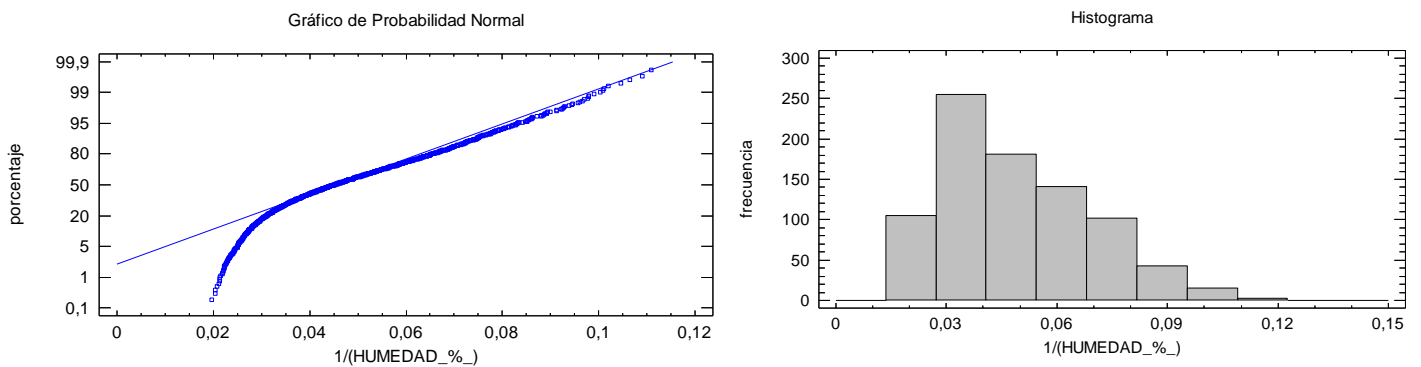


Figura A5.34- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable  $1/(humedad)$ . Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

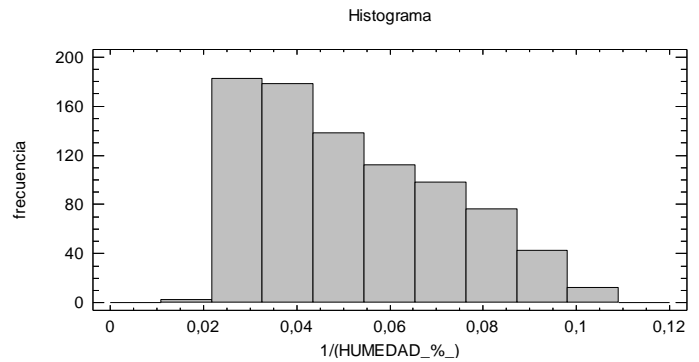
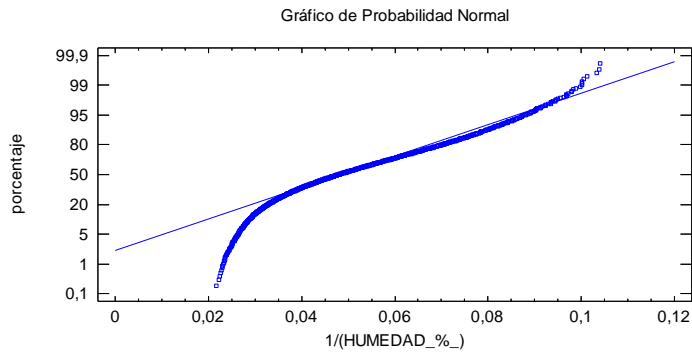


Figura A5.35- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable  $1/(\text{humedad})$ . Fuente: Elaboración propia

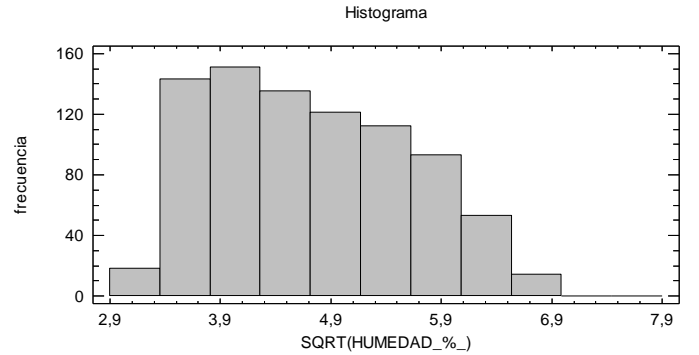
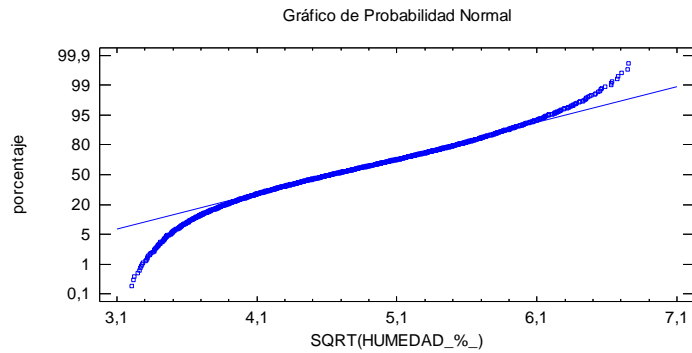


Figura A5.36- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 1, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

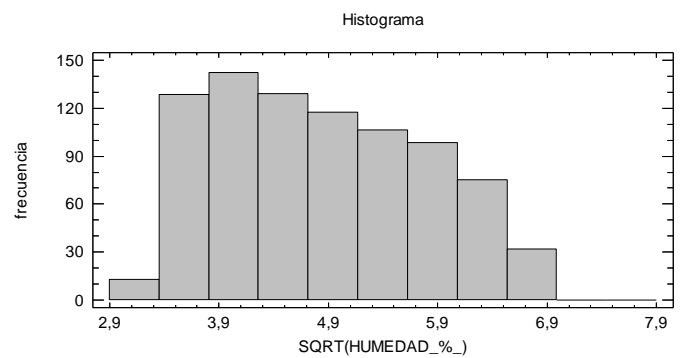
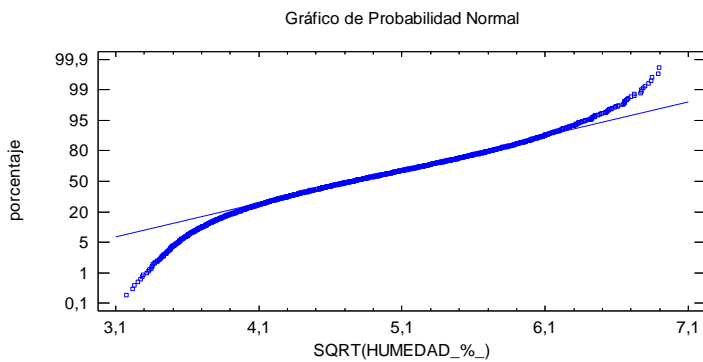
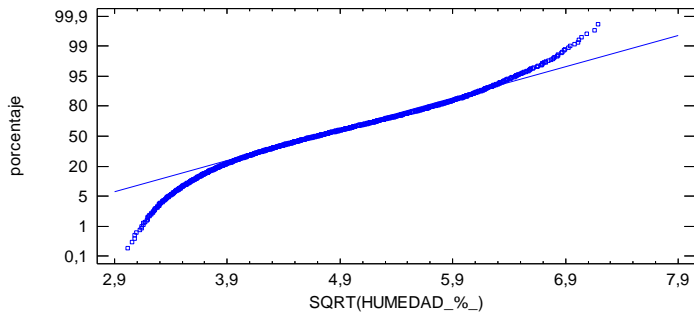


Figura A5.37- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 2, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Gráfico de Probabilidad Normal



Histograma

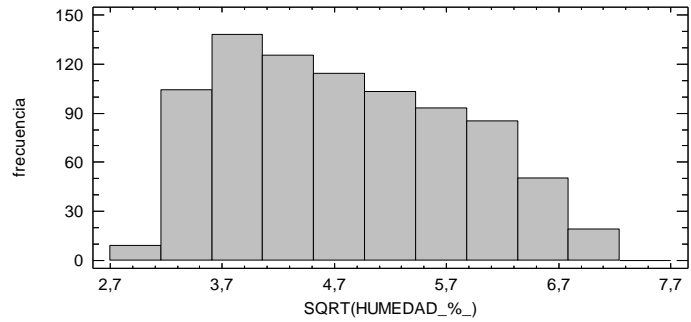
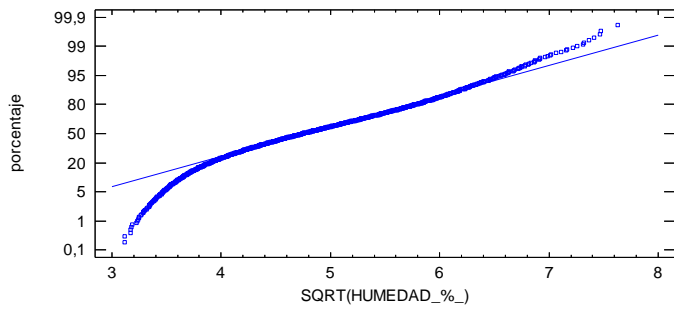


Figura A5.38- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 3, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Probabilidad Normal



Histograma

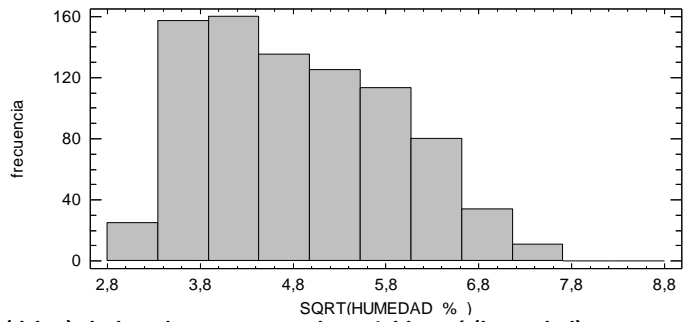
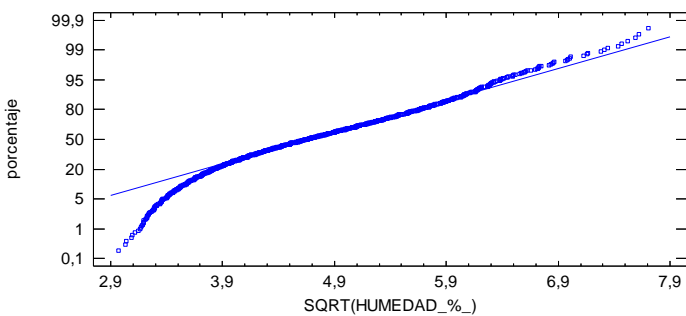


Figura A5.39- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 4, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

Gráfico de Probabilidad Normal



Histograma

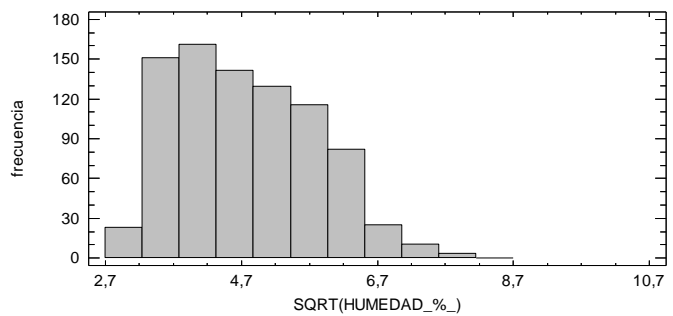


Figura A5.40- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 5, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

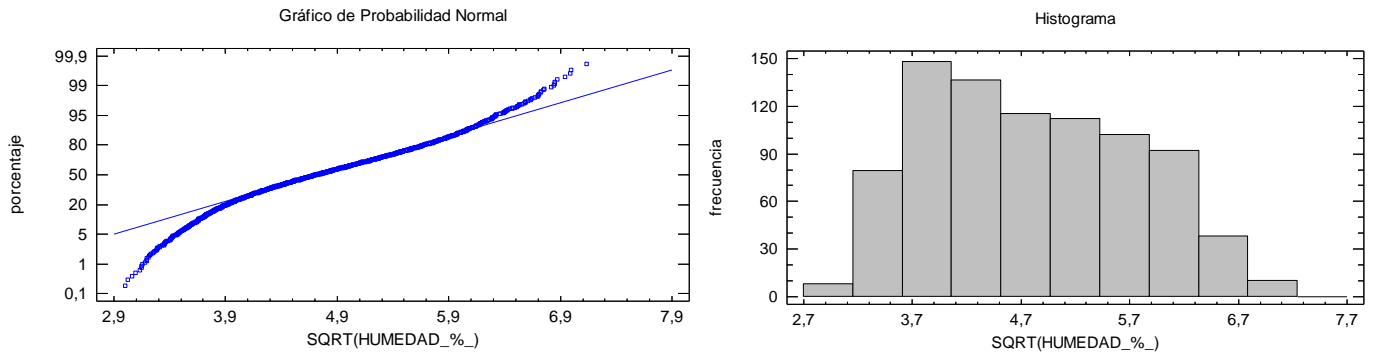


Figura A5.41- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 6, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

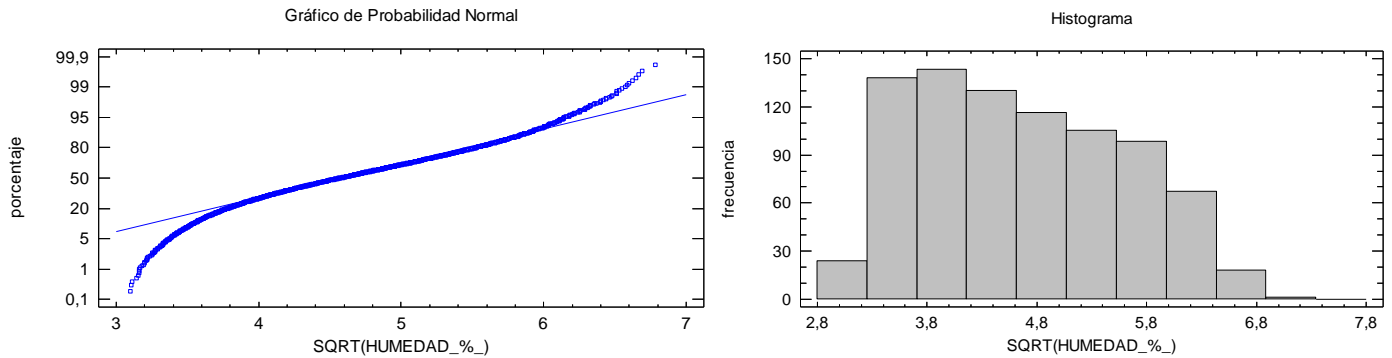


Figura A5.42- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) de la columna 7, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

### 3. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR PUNTO DE MEDICIÓN EN LA VIGA DE LA VARIABLE HUMEDAD TRANSFORMADA

Por último, según los tres puntos donde se tomaron las mediciones de humedad con el xilohigrómetro de resistencia, se han realizado las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si dicha variable humedad transformada proviene de una población Normal.



ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Tabla A5.3- Pruebas de Normalidad por punto de medición, para la variable humedad transformada

PUNTO DE MEDICIÓN	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo Log(x)	Inversa 1/(X)	Raíz √(X)
TESTA ESTE	1960	Chi Cuadrado	0,0	0,0	0,0
		Kolmogorov-Smirnov	0,0000759322	0,0	2,69664E-8
TESTA OESTE	1960	Chi Cuadrado	0,0	0,0	0,0
		Kolmogorov-Smirnov	0,0000900859	0,0	7,65653E-8
CENTRO	1960	Chi Cuadrado	0,0	0,0	0,0
		Kolmogorov-Smirnov	0,0001055	0,0	6,4968E-8

Fuente: Elaboración propia

Debido a que los p- valores de las pruebas realizadas son menores a 0,05, se puede rechazar la idea de la variable humedad transformada proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Por último, y análogamente a lo expuesto para filas y columnas de la pila de madera, se ofrecen los gráficos para comprobar la normalidad de los datos de humedad transformada, esta vez, según el punto donde se midió con el xilohigrómetro en la viga.

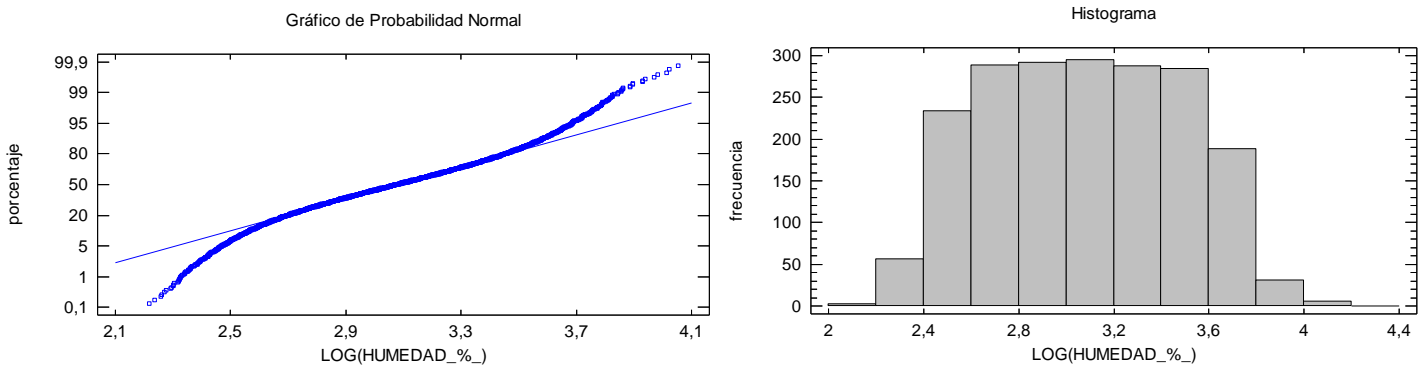


Figura A5.43- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable Log(humedad).

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

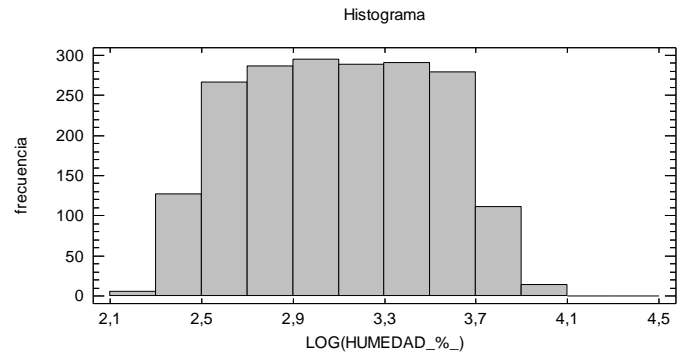
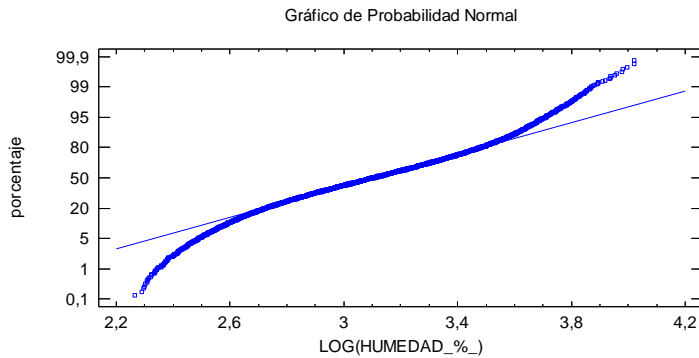


Figura A5.44- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

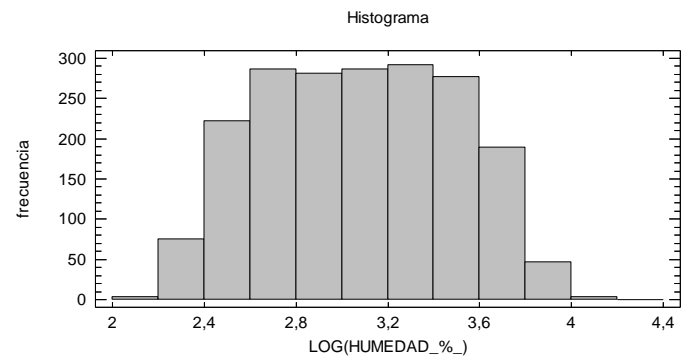
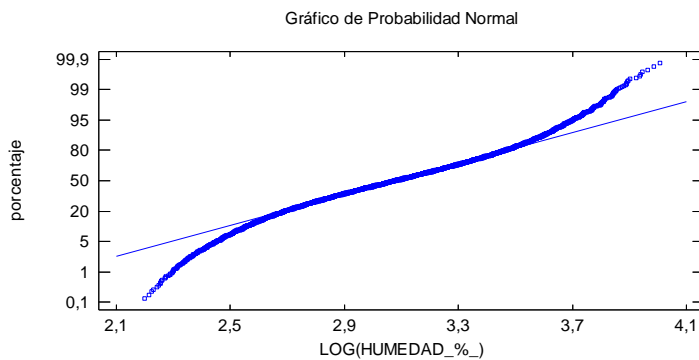


Figura A5.45- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable Log(humedad). Fuente: Elaboración propia

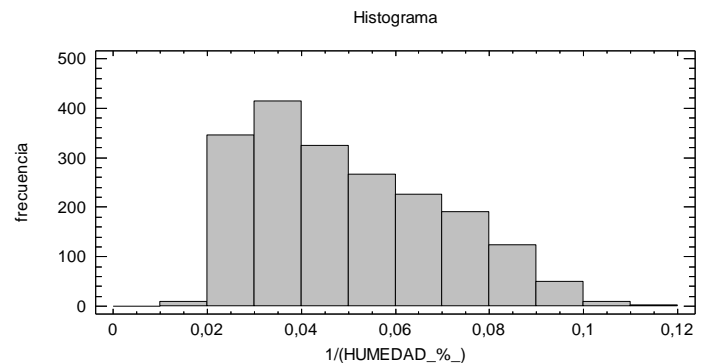
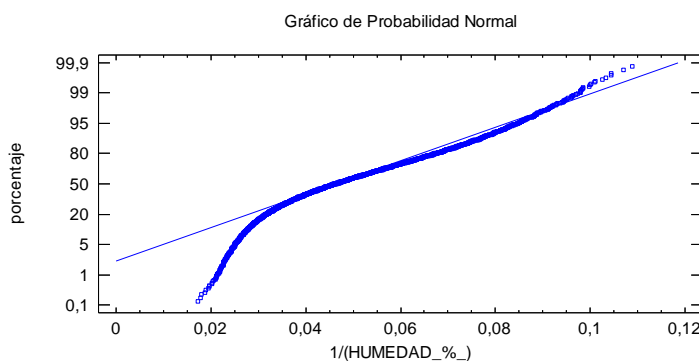


Figura A5.46- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

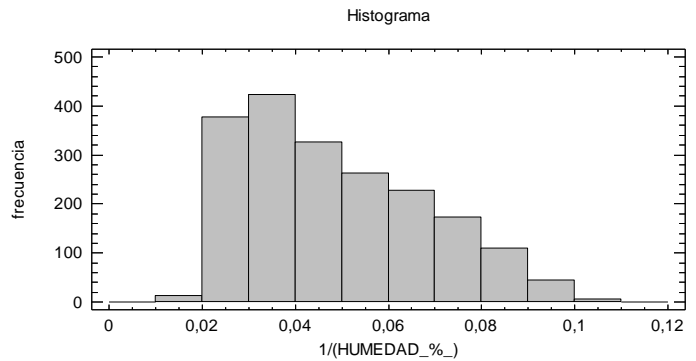
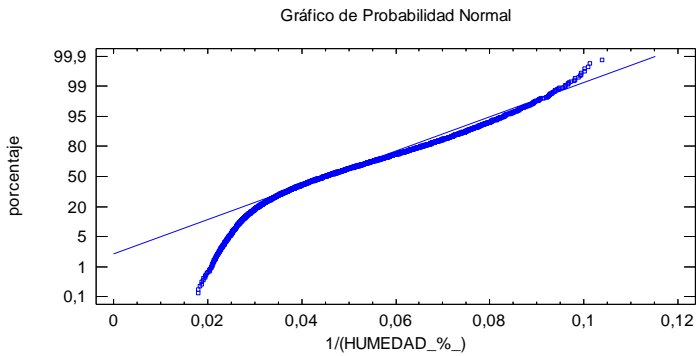


Figura A5.47- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia

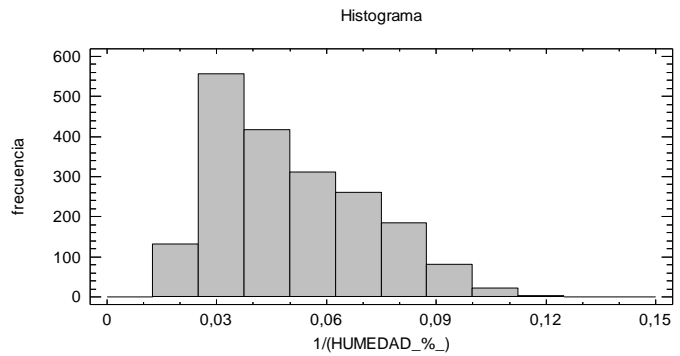
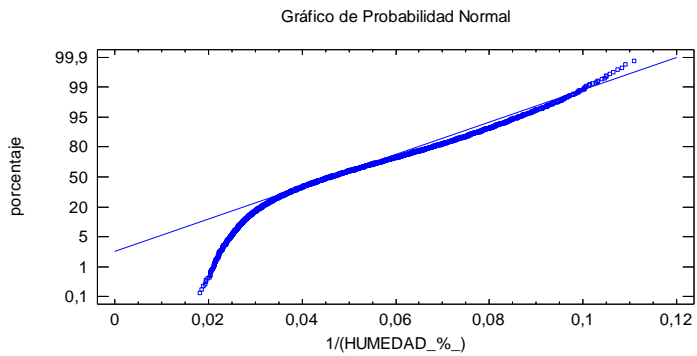


Figura A5.48- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable 1/(humedad). Fuente: Elaboración propia

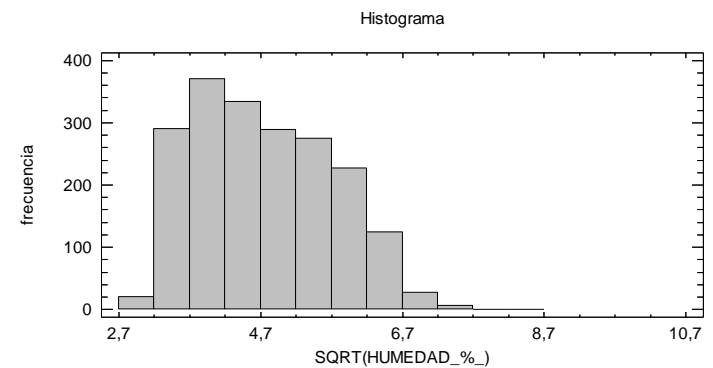
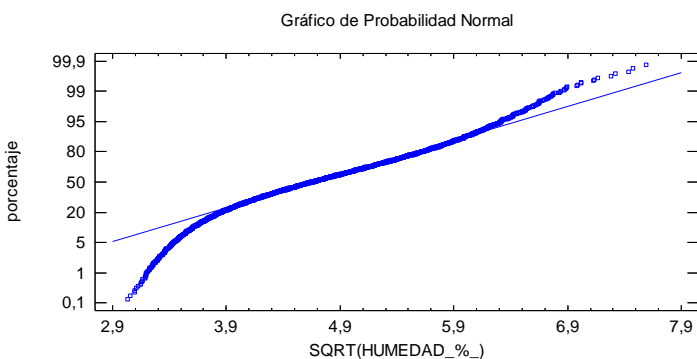


Figura A5.49- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa este, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

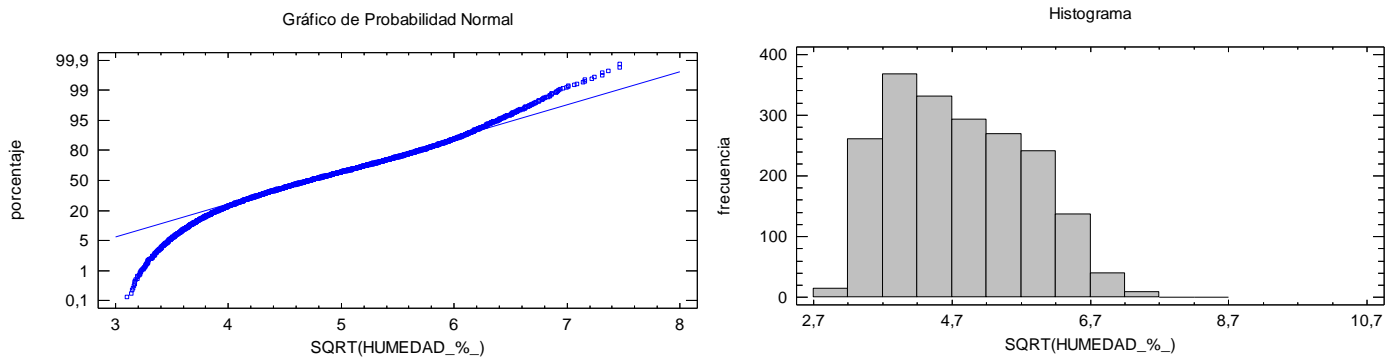


Figura A5.50- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición testa oeste, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

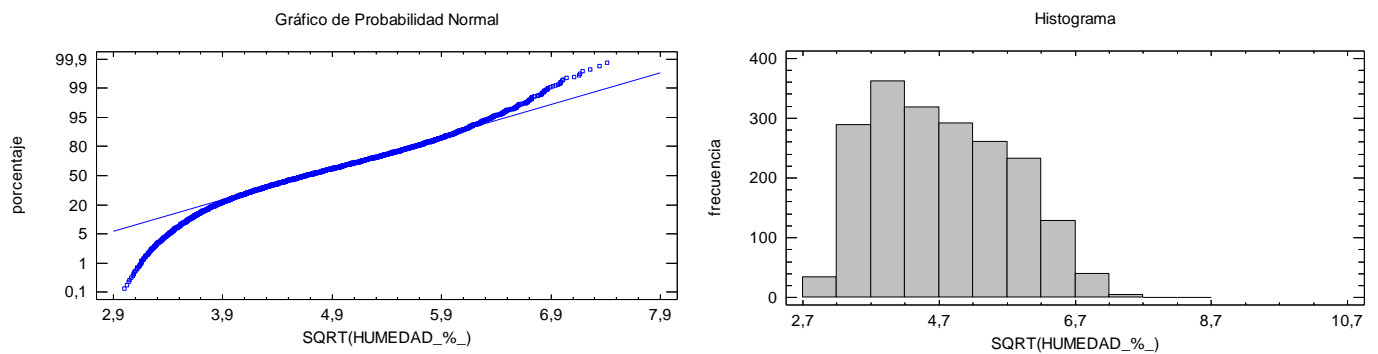


Figura A5.51- Gráfico de probabilidad normal (izq.) e histograma (dcha.) del punto de medición centro de la viga, para la variable Raíz(humedad). Fuente: Elaboración propia

Como se acaba de exponer tanto analíticamente como gráficamente, puede afirmarse con un 95% de confianza, que los datos de la variable humedad transformada (logarítmica, inversa y raíz) no provienen de una distribución Normal.

#### 4. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD POR ORIENTACIÓN DE LA VIGA

A continuación se exponen los valores obtenidos ( $p$ - valores) en las pruebas Chi Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov en la comprobación analítica de la Normalidad de los datos de humedad transformados de las 49 vigas de la pila de madera aserrada, por filas y columnas, según el punto de la viga donde se tomaron las mediciones; es decir, para la humedad de las testas orientadas al este, para las orientadas al oeste y para el centro. Esta vez sólo se llevó a cabo la comprobación analítica de la normalidad, pues no hubo necesidad de llevar a cabo una comprobación gráfica de la normalidad.



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Tabla A5.4- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al este

FILAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo $\text{Log}(x)$	Inversa $1/(X)$	Raíz $\sqrt{X}$
F1	280	Chi Cuadrado	0,114657	0,0000197077	0,0753582
		Kolmogorov- Smirnov	0,280278	0,0267927	0,179287
F2	280	Chi Cuadrado	0,0505726	0,0000197077	0,0266541
		Kolmogorov- Smirnov	0,362031	0,0225087	0,106281
F3	280	Chi Cuadrado	0,258221	4,46702E-7	0,0829503
		Kolmogorov- Smirnov	0,339897	0,0128231	0,125841
F4	280	Chi Cuadrado	0,119892	0,00000545672	0,00502461
		Kolmogorov- Smirnov	0,290778	0,0153486	0,086461
F5	280	Chi Cuadrado	0,31801	0,000406733	0,0532255
		Kolmogorov- Smirnov	0,313205	0,0185271	0,108957
F6	280	Chi Cuadrado	0,198273	0,00022721	0,0252142
		Kolmogorov- Smirnov	0,332533	0,0221651	0,107328
F7	280	Chi Cuadrado	0,0225419	0,0000155357	0,0142221
		Kolmogorov- Smirnov	0,268286	0,0177596	0,0862752

Fuente: Elaboración propia

Tabla A5.5- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al este

COLUMNAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo $\text{Log}(x)$	Inversa $1/(X)$	Raíz $\sqrt{X}$
C1	280	Chi Cuadrado	0,231213	0,00024453	0,114657
		Kolmogorov- Smirnov	0,36794	0,028	0,140272
C2	280	Chi Cuadrado	0,033176	0,0000112893	0,015081
		Kolmogorov- Smirnov	0,262127	0,0134792	0,108044
C3	280	Chi Cuadrado	0,350626	0,00000260756	0,136739
		Kolmogorov- Smirnov	0,355642	0,0153592	0,132677
C4	280	Chi Cuadrado	0,155369	0,000169039	0,0179491
		Kolmogorov- Smirnov	0,294866	0,0224263	0,122506
C5	280	Chi Cuadrado	0,32869	0,000624204	0,0266541
		Kolmogorov- Smirnov	0,328913	0,0202136	0,115235
C6	280	Chi Cuadrado	0,0869785	0,0000132474	0,190585
		Kolmogorov- Smirnov	0,35879	0,0175477	0,110985
C7	280	Chi Cuadrado	0,0790782	0,0000132474	0,0456083
		Kolmogorov- Smirnov	0,309607	0,0170934	0,123994

Fuente: Elaboración propia



ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Tabla A5.6- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al oeste

FILAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo Log(x)	Inversa 1/(X)	Raíz √(X)
F1	280	Chi Cuadrado	0,0532255	0,0000104193	0,00732064
		Kolmogorov- Smirnov	0,289467	0,0228057	0,138288
F2	280	Chi Cuadrado	0,297248	0,0000033394	0,206179
		Kolmogorov- Smirnov	0,333361	0,019608	0,223116
F3	280	Chi Cuadrado	0,0790782	0,00000104207	0,0314249
		Kolmogorov- Smirnov	0,301455	0,012286	0,116929
F4	280	Chi Cuadrado	0,222649	0,000182062	0,00880406
		Kolmogorov- Smirnov	0,304659	0,0166204	0,0976166
F5	280	Chi Cuadrado	0,350626	0,0000796754	0,0252142
		Kolmogorov- Smirnov	0,326681	0,0176749	0,103193
F6	280	Chi Cuadrado	0,161989	0,0000543419	0,0480348
		Kolmogorov- Smirnov	0,343265	0,0140442	0,115409
F7	280	Chi Cuadrado	0,470047	0,00201443	0,109606
		Kolmogorov- Smirnov	0,355861	0,0248714	0,106027

Fuente: Elaboración propia

Tabla A5.7- Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad transformada de las testas orientadas al oeste

COLUMNAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo Log(x)	Inversa 1/(X)	Raíz √(X)
C1	280	Chi Cuadrado	0,109606	0,000100032	0,0911671
		Kolmogorov- Smirnov	0,366737	0,0269717	0,14326
C2	280	Chi Cuadrado	0,183115	0,214304	0,0753582
		Kolmogorov- Smirnov	0,335484	0,342105	0,121091
C3	280	Chi Cuadrado	0,214304	0,00000187144	0,0717861
		Kolmogorov- Smirnov	0,342105	0,0127253	0,127984
C4	280	Chi Cuadrado	0,637174	0,000886847	0,033176
		Kolmogorov- Smirnov	0,369925	0,020235	0,112609
C5	280	Chi Cuadrado	0,57276	0,000581496	0,222649
		Kolmogorov- Smirnov	0,401629	0,0193959	0,148812
C6	280	Chi Cuadrado	0,521028	0,000135148	0,155369
		Kolmogorov- Smirnov	0,362933	0,0205128	0,149438
C7	280	Chi Cuadrado	0,168818	0,00000641998	0,0142221
		Kolmogorov- Smirnov	0,277817	0,0153625	0,0963813

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 5: TRANSFORMACIONES

Tabla A5.8- Pruebas de Normalidad por filas, para la variable humedad transformada del centro de las vigas

FILAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo $\text{Log}(x)$	Inversa $1/(X)$	Raíz $\sqrt{X}$
F1	280	Chi Cuadrado	0,0559976	0,00000240052	0,035013
		Kolmogorov- Smirnov	0,260579	0,0192499	0,203913
F2	280	Chi Cuadrado	0,17586	0,00000696212	0,0134082
		Kolmogorov- Smirnov	0,296606	0,0141753	0,0942023
F3	280	Chi Cuadrado	0,190585	8,80537E-7	0,0252142
		Kolmogorov- Smirnov	0,349664	0,0101489	0,103844
F4	280	Chi Cuadrado	0,119892	8,80537E-7	0,0119069
		Kolmogorov- Smirnov	0,289359	0,011144	0,0924698
F5	280	Chi Cuadrado	0,214304	0,00000696212	0,0281671
		Kolmogorov- Smirnov	0,323991	0,0112249	0,108648
F6	280	Chi Cuadrado	0,37329	0,000169039	0,0829503
		Kolmogorov- Smirnov	0,348637	0,0198932	0,115871
F7	280	Chi Cuadrado	0,0717861	0,0000213273	0,0717861
		Kolmogorov- Smirnov	0,291555	0,0150887	0,291555

Fuente: Elaboración propia

Tabla A5.9 Pruebas de Normalidad por columnas, para la variable humedad transformada del centro de las vigas

COLUMNAS	RECUENTO	PRUEBAS DE NORMALIDAD	TRANSFORMACIONES		
			Logaritmo $\text{Log}(x)$	Inversa $1/(X)$	Raíz $\sqrt{X}$
C1	280	Chi Cuadrado	0,231213	0,00109204	0,0456083
		Kolmogorov- Smirnov	0,319851	0,0333118	0,11737
C2	280	Chi Cuadrado	0,0314249	0,0000249651	0,0159869
		Kolmogorov- Smirnov	0,281921	0,0158228	0,101752
C3	280	Chi Cuadrado	0,249	0,0000213273	0,033176
		Kolmogorov- Smirnov	0,331449	0,0136064	0,113665
C4	280	Chi Cuadrado	0,508181	0,000034143	0,17586
		Kolmogorov- Smirnov	0,399607	0,0169484	0,124084
C5	280	Chi Cuadrado	0,559802	0,0000684024	0,0717861
		Kolmogorov- Smirnov	0,418755	0,0159949	0,119958
C6	280	Chi Cuadrado	0,470047	0,0000030755	0,350626
		Kolmogorov- Smirnov	0,374328	0,014042	0,196099
C7	280	Chi Cuadrado	0,00201443	2,24893E-7	0,000827046
		Kolmogorov- Smirnov	0,238601	0,0111958	0,0756453

Fuente: Elaboración propia





# ANEXO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO





## ANEXO 6. ANÁLISIS COMPARATIVO

La prueba de Kruskal- Wallis supone una generalización del test de Mann- Whitney para el caso de k muestras independientes. Se trata de un método no paramétrico con el que se examina si un conjunto de observaciones provienen de una misma población.

La prueba de Kruskal- Wallis no asume la normalidad de los datos (pues es un método no paramétrico) y se aplica cuando las observaciones resultan ser heterocedásticas (varianzas distintas).

La comprobación de la heterocedasticidad se llevó a cabo mediante la realización del Test de Levene's con el programa Statgraphics®.

El test de Levene's se emplea para contrastar si existe homogeneidad de varianzas entre k muestras. Se trata de una alternativa al test de Barlett, presentando este último mayor sensibilidad a la falta de normalidad.

Una vez comprobada la heterocedasticidad mediante el test de Levene's de los grupos entre los que se desea realizar comparaciones, se realizó la prueba de Kruskal- Wallis.

A continuación se recogen los resultados de todas las pruebas realizadas para la variable humedad, por filas, columnas, punto de medición de la humedad en las vigas y por orientación.

### 1. ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS

Con carácter previo a la realización de la prueba de Kruskal- Wallis, se llevó a cabo el test de Levene's de las filas de la pila de madera aserrada.

Tabla A6.1- Verificación de la Varianza por filas, para la variable humedad

Levene's	Prueba	Valor-P
	11,7673	0,0

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de la variable humedad dentro de cada uno de los 7 niveles de filas es la misma. Puesto que el p-valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Por lo que se concluye que las siete filas de la pila presentan varianzas distintas.

El resultado de la prueba de Kruskal- Wallis en base a las siete filas de la pila de madera aserrada se presenta en el “CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN” de la Memoria (p-valor=0,0000177061), luego al ser menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

La prueba de Kruskal-Wallis nos revela que existen diferencias entre las siete filas de la pila de madera aserrada, pero no nos confirma exactamente entre cuales las hay. Para ello, se hace necesario recurrir al Test de Rangos Múltiples a través del método de Tukey.

El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Los resultados se muestran a continuación:

**Tabla A6.2- Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por filas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD**

<b>FILAS</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>F6</b>	840	22,7983	X
<b>F7</b>	840	22,9553	X
<b>F1</b>	840	23,1428	X
<b>F3</b>	840	23,4327	XX
<b>F2</b>	840	23,8892	XXX
<b>F5</b>	840	24,7339	XX
<b>F4</b>	840	25,2641	X

Fuente: Elaboración propia

Se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.



**ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO**

**Tabla A6.3- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por filas**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F1 - F2		-0,746353	1,38138
F1 - F3		-0,289905	1,38138
F1 - F4	*	-2,12128	1,38138
F1 - F5	*	-1,59111	1,38138
F1 - F6		0,344572	1,38138
F1 - F7		0,187551	1,38138
F2 - F3		0,456447	1,38138
F2 - F4		-1,37493	1,38138
F2 - F5		-0,844753	1,38138
F2 - F6		1,09092	1,38138
F2 - F7		0,933904	1,38138
F3 - F4	*	-1,83138	1,38138
F3 - F5		-1,3012	1,38138
F3 - F6		0,634477	1,38138
F3 - F7		0,477457	1,38138
F4 - F5		0,530175	1,38138
F4 - F6	*	2,46585	1,38138
F4 - F7	*	2,30883	1,38138
F5 - F6	*	1,93568	1,38138
F5 - F7	*	1,77866	1,38138
F6 - F7		-0,157021	1,38138

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

**2. ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS**

El test de Levene's por columnas de la pila de madera aserrada resultó:

**Tabla A6.4- Verificación de la Varianza por columnas, para la variable humedad**

Levene's	Prueba	Valor-P
	6,43585	8,96106E-7

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que se concluye que las siete columnas de la pila presentan varianzas distintas, lo mismo que ocurrió por filas.



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Análogamente a lo llevado a cabo para las filas, se realiza la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los 7 niveles correspondientes a las columnas de la pila y cuyo resultado se presenta en el “CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN” de la Memoria (p-valor=0,00108781), luego al ser menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Análogamente al estudio de las filas, se ha realizado la prueba de Rango Múltiple, para el caso de las columnas, con el ánimo de conocer entre qué columnas existe diferencia significativa:

Tabla A6.5- Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por columnas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<b>COLUMNAS</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>C7</b>	840	22,5489	X
<b>C1</b>	840	23,0164	XX
<b>C5</b>	840	23,724	XXX
<b>C6</b>	840	23,9366	XX
<b>C3</b>	840	24,0025	XX
<b>C2</b>	840	24,3068	XX
<b>C4</b>	840	24,6812	X

Fuente: Elaboración propia

Se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Tabla A6.6- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por columnas

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
<b>C1 - C2</b>		-1,29037	1,38355
<b>C1 - C3</b>		-0,986061	1,38355
<b>C1 - C4</b>	*	-1,66477	1,38355
<b>C1 - C5</b>		-0,707592	1,38355
<b>C1 - C6</b>		-0,920216	1,38355
<b>C1 - C7</b>		0,46747	1,38355
<b>C2 - C3</b>		0,304306	1,38355
<b>C2 - C4</b>		-0,374405	1,38355
<b>C2 - C5</b>		0,582776	1,38355
<b>C2 - C6</b>		0,370152	1,38355
<b>C2 - C7</b>	*	1,75784	1,38355
<b>C3 - C4</b>		-0,678711	1,38355
<b>C3 - C5</b>		0,27847	1,38355
<b>C3 - C6</b>		0,0658453	1,38355
<b>C3 - C7</b>	*	1,45353	1,38355
<b>C4 - C5</b>		0,957181	1,38355
<b>C4 - C6</b>		0,744556	1,38355



**ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO**

**Tabla A6.6- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por columnas (continuación)**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
C4 - C7	*	2,13224	1,38355
C5 - C6		-0,212624	1,38355
C5 - C7		1,17506	1,38355
C6 - C7	*	1,38769	1,38355
* indica una diferencia significativa.			

Fuente: Elaboración propia

El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

**3. ANÁLISIS COMPARATIVO POR PUNTO DE MEDICIÓN EN LA VIGA DE LA VARIABLE HUMEDAD**

**Tabla A6.7- Verificación de la Varianza por punto de medición, para la variable humedad**

Levene's	Prueba	Valor-P
	0,836997	0,433061

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la humedad según el punto donde se midió con el xilohigrómetro (testa este, testa oeste y centro de la viga) se observa que el p-valor es mayor que 0,05, luego no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza, por lo que es posible concluir que los tres puntos de medición no presentan varianzas distintas.

Se realizó la prueba de Kruskal- Wallis para los 3 niveles del punto de las piezas donde se realizó la medición con el xilohigrómetro (p-valor= 0,100642), que al ser mayor que 0,05, es posible afirmar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

A continuación se expone el resultado de la Prueba de Rango Múltiple realizada por el método (HSD) de Tukey, para confirmar la no existencia de diferencias entre los tres puntos de medición de la humedad con el xilohigrómetro:



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla A6.8- Prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por punto de medición. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>PUNTO</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
<b>ESTE</b>	1960	23,4958	X
<b>CENTRO</b>	1960	23,6214	X
<b>OESTE</b>	1960	24,1184	X

Fuente: Elaboración propia

Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna, por lo que se aprecia la no existencia de diferencias entre los puntos de medición.

Tabla A6.9- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples para la variable humedad, por punto de medición

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
<b>CENTRO - ESTE</b>		0,125584	0,721264
<b>CENTRO - OESTE</b>		-0,497052	0,721264
<b>ESTE - OESTE</b>		-0,622636	0,721264

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95,0% de confianza.

### 4. ANÁLISIS COMPARATIVO POR ORIENTACIÓN

Dentro de los tres grupos de humedad definidos según donde fueron tomados los datos con el xilohigrómetro, es posible hacer una diferenciación entre filas y columnas.

A continuación exponemos por cada uno de estos tres niveles (humedad de las testas este, de las testas oeste y del centro de las vigas), los resultados de las pruebas correspondientes.

#### 4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE

A continuación se compararán las siete filas de la pila de madera aserrada, pero considerando exclusivamente la humedad de las testas orientadas al este.





**ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO**

**Tabla A6.10- Verificación de la Varianza por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este**

Levene's	Prueba	Valor-P
	4,14492	0,000381809

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor de la prueba fue menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que se concluye que la humedad de las testas orientadas al este de acuerdo a las siete filas de la pila, presentan varianzas distintas.

A continuación se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (p-valor= 0,0710303), que al ser mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza (véase “CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN”).

**Tabla A6.11- Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD**

FILAS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F7	280	22,6507	X
F6	280	22,8309	X
F1	280	23,0403	XX
F2	280	23,0671	XX
F3	280	23,0859	XX
F5	280	24,6072	XX
F4	280	25,1884	X

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A6.12- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F1 - F2		-0,0267982	2,35696
F1 - F3		-0,0456028	2,35696
F1 - F4		-2,14808	2,35696
F1 - F5		-1,56688	2,35696
F1 - F6		0,209398	2,35696
F1 - F7		0,389563	2,35696
F2 - F3		-0,0188047	2,35696
F2 - F4		-2,12128	2,35696
F2 - F5		-1,54008	2,35696
F2 - F6		0,236196	2,35696
F2 - F7		0,416361	2,35696
F3 - F4		-2,10248	2,35696
F3 - F5		-1,52127	2,35696
F3 - F6		0,255001	2,35696



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla A6.12- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al este (continuación)

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F3 - F7		0,435166	2,35696
F4 - F5		0,581207	2,35696
F4 - F6	*	2,35748	2,35696
F4 - F7	*	2,53765	2,35696
F5 - F6		1,77627	2,35696
F5 - F7		1,95644	2,35696
F6 - F7		0,180165	2,35696

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

### 4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL ESTE

Análogamente a lo recogido por filas para la humedad de las testas orientadas al este, a continuación se presentan las pruebas para comparar las siete columnas de la pila de madera aserrada.

Tabla A6.13- Verificación de la Varianza por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este

Levene's	Prueba	Valor-P
	2,34497	0,0292615

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el p-valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

A continuación se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, que se expone en el "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN" (p-valor= 0,0890257), y que al ser mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla A6.14- Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<b>COLUMNAS</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>C7</b>	280	22,4237	X
<b>C1</b>	280	22,5378	X
<b>C5</b>	280	23,1636	X
<b>C6</b>	280	23,6312	X
<b>C3</b>	280	23,9797	X
<b>C4</b>	280	24,1542	X
<b>C2</b>	280	24,5803	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla A6.15- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al este

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
<b>C1 - C2</b>		-2,04243	2,36031
<b>C1 - C3</b>		-1,44188	2,36031
<b>C1 - C4</b>		-1,61635	2,36031
<b>C1 - C5</b>		-0,625789	2,36031
<b>C1 - C6</b>		-1,09332	2,36031
<b>C1 - C7</b>		0,114132	2,36031
<b>C2 - C3</b>		0,600554	2,36031
<b>C2 - C4</b>		0,426081	2,36031
<b>C2 - C5</b>		1,41664	2,36031
<b>C2 - C6</b>		0,949109	2,36031
<b>C2 - C7</b>		2,15656	2,36031
<b>C3 - C4</b>		-0,174473	2,36031
<b>C3 - C5</b>		0,816088	2,36031
<b>C3 - C6</b>		0,348556	2,36031
<b>C3 - C7</b>		1,55601	2,36031
<b>C4 - C5</b>		0,99056	2,36031
<b>C4 - C6</b>		0,523028	2,36031
<b>C4 - C7</b>		1,73048	2,36031
<b>C5 - C6</b>		-0,467532	2,36031
<b>C5 - C7</b>		0,739921	2,36031
<b>C6 - C7</b>		1,20745	2,36031

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

### 4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE

A continuación se presenta las pruebas en base a las siete filas de la pila de madera aserrada, pero considerando exclusivamente la humedad de las testas orientadas al oeste.

Tabla A6.16- Verificación de la Varianza por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

Levene's	Prueba	Valor-P
	3,56544	0,00162149

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor de la prueba es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

En el "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN" se expone la prueba de Kruskal-Wallis (p-valor= 0,25821), que al ser mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla A6.17- Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

FILAS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F6	280	23,3944	X
F7	280	23,5066	X
F1	280	23,6137	X
F3	280	23,6361	X
F2	280	24,1464	X
F4	280	25,24	X
F5	280	25,2919	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla A6.18- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F1 - F2		-0,532649	2,41517
F1 - F3		-0,0223703	2,41517
F1 - F4		-1,62625	2,41517
F1 - F5		-1,67817	2,41517
F1 - F6		0,219339	2,41517
F1 - F7		0,107153	2,41517
F2 - F3		0,510279	2,41517
F2 - F4		-1,0936	2,41517



**ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO**

**Tabla A6.18- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste (continuación)**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F2 - F5		-1,14553	2,41517
F2 - F6		0,751988	2,41517
F2 - F7		0,639802	2,41517
F3 - F4		-1,60388	2,41517
F3 - F5		-1,6558	2,41517
F3 - F6		0,241709	2,41517
F3 - F7		0,129523	2,41517
F4 - F5		-0,0519214	2,41517
F4 - F6		1,84559	2,41517
F4 - F7		1,73341	2,41517
F5 - F6		1,89751	2,41517
F5 - F7		1,78533	2,41517
F6 - F7		-0,112186	2,41517

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

**4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO POR COLUMNAS DE LA HUMEDAD DE LAS TESTAS ORIENTADAS AL OESTE**

Ahora, por columnas, se expone la prueba de Kruskal- Wallis de la humedad de las testas con orientación oeste.

**Tabla A6.19- Verificación de la Varianza por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste**

Levene's	Prueba	Valor-P
	1,83624	0,0884461

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Debido a que el p- valor de la prueba de Kruskal-Wallis (p-valor=0,511651) es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza (véase "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN").



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla A6.20- Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<b>COLUMNAS</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>C7</b>	280	23,0989	X
<b>C1</b>	280	23,7366	X
<b>C2</b>	280	23,827	X
<b>C3</b>	280	23,9919	X
<b>C6</b>	280	24,4955	X
<b>C5</b>	280	24,5669	X
<b>C4</b>	280	25,112	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla A6.21- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad de las testas orientadas al oeste

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
<b>C1 - C2</b>		-0,0903913	2,41776
<b>C1 - C3</b>		-0,255283	2,41776
<b>C1 - C4</b>		-1,3754	2,41776
<b>C1 - C5</b>		-0,830264	2,41776
<b>C1 - C6</b>		-0,758893	2,41776
<b>C1 - C7</b>		0,637753	2,41776
<b>C2 - C3</b>		-0,164891	2,41776
<b>C2 - C4</b>		-1,28501	2,41776
<b>C2 - C5</b>		-0,739873	2,41776
<b>C2 - C6</b>		-0,668502	2,41776
<b>C2 - C7</b>		0,728145	2,41776
<b>C3 - C4</b>		-1,12012	2,41776
<b>C3 - C5</b>		-0,574982	2,41776
<b>C3 - C6</b>		-0,50361	2,41776
<b>C3 - C7</b>		0,893036	2,41776
<b>C4 - C5</b>		0,545135	2,41776
<b>C4 - C6</b>		0,616507	2,41776
<b>C4 - C7</b>		2,01315	2,41776
<b>C5 - C6</b>		0,0713714	2,41776
<b>C5 - C7</b>		1,46802	2,41776
<b>C6 - C7</b>		1,39665	2,41776

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.



ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO POR FILAS DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS

Por último, se procede a ofrecer los resultados de la prueba de Kruskal- Wallis por filas, pero en este caso, de la humedad del centro de las vigas.

Tabla A6.22- Verificación de la Varianza por filas, para la variable humedad del centro de las vigas

Levene's	Prueba	Valor-P
	4,7497	0,0000817375

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Puesto que el p- valor de la Prueba de Kruskal- Wallis es menor que 0,05 (p-valor=0,0084174), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza (véase "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN").

Tabla A6.23- Prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad del centro de las vigas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

FILAS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F6	280	22,1695	X
F7	280	22,7086	X
F1	280	22,7745	X
F3	280	23,5762	XX
F5	280	24,3028	XX
F2	280	24,4541	XX
F4	280	25,364	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla A6.24- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad del centro de las vigas

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F1 - F2		-1,67961	2,41266
F1 - F3		-0,801742	2,41266
F1 - F4	*	-2,58951	2,41266
F1 - F5		-1,52827	2,41266
F1 - F6		0,60498	2,41266
F1 - F7		0,0659383	2,41266
F2 - F3		0,877868	2,41266
F2 - F4		-0,909896	2,41266
F2 - F5		0,151343	2,41266
F2 - F6		2,28459	2,41266
F2 - F7		1,74555	2,41266
F3 - F4		-1,78776	2,41266



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla A6.24- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por filas, para la variable humedad del centro de las vigas (continuación)

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
F3 - F5		-0,726524	2,41266
F3 - F6		1,40672	2,41266
F3 - F7		0,867681	2,41266
F4 - F5		1,06124	2,41266
F4 - F6	*	3,19449	2,41266
F4 - F7	*	2,65544	2,41266
F5 - F6		2,13325	2,41266
F5 - F7		1,59421	2,41266
F6 - F7		-0,539041	2,41266
* indica una diferencia significativa.			

Fuente: Elaboración propia

Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

### 4.6 ANÁLISIS COMPRATIVO POR COLUMNAS DE LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS

Al igual que se acaba de hacer para las filas, seguidamente se exponen los resultados de la prueba de de Kruskal- Wallis del centro de las vigas, pero por columnas.

Tabla A6.25- Verificación de la Varianza por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas

Levene's	Prueba	Valor-P
	2,6253	0,01543

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el p- valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Por la prueba de de Kruskal- Wallis expuesta en el "CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN" es posible señalar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza, debido a que el valor-P es menor que 0,05 (p-valor=0,0297742).





## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla A6.26- Prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<b>COLUMNAS</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
<b>C7</b>	280	22,1242	X
<b>C1</b>	280	22,7747	XX
<b>C5</b>	280	23,4415	XX
<b>C6</b>	280	23,6832	XX
<b>C3</b>	280	24,0358	XX
<b>C2</b>	280	24,513	XX
<b>C4</b>	280	24,7773	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla A6.27- Detalle del análisis entre grupos de la prueba de Rangos Múltiples por columnas, para la variable humedad del centro de las vigas

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
<b>C1 - C2</b>		-1,73828	2,41738
<b>C1 - C3</b>		-1,26102	2,41738
<b>C1 - C4</b>		-2,00257	2,41738
<b>C1 - C5</b>		-0,666721	2,41738
<b>C1 - C6</b>		-0,908433	2,41738
<b>C1 - C7</b>		0,650526	2,41738
<b>C2 - C3</b>		0,477256	2,41738
<b>C2 - C4</b>		-0,264287	2,41738
<b>C2 - C5</b>		1,07156	2,41738
<b>C2 - C6</b>		0,829847	2,41738
<b>C2 - C7</b>		2,38881	2,41738
<b>C3 - C4</b>		-0,741543	2,41738
<b>C3 - C5</b>		0,594303	2,41738
<b>C3 - C6</b>		0,352591	2,41738
<b>C3 - C7</b>		1,91155	2,41738
<b>C4 - C5</b>		1,33585	2,41738
<b>C4 - C6</b>		1,09413	2,41738
<b>C4 - C7</b>	*	2,65309	2,41738
<b>C5 - C6</b>		-0,241712	2,41738
<b>C5 - C7</b>		1,31725	2,41738
<b>C6 - C7</b>		1,55896	2,41738

\* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.



## ANEXO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO

---



Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS





ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

# ANEXO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

Tras realizar las regresiones lineales simples con las que se obtuvieron los modelos individuales logarítmicos para predecir la pérdida de humedad en las piezas de madera aserrada, se llevó a cabo un análisis de los residuos estudentizados generados, en concreto, se procedió a determinar su normalidad.

Para la verificación de la normalidad de los residuos estudentizados se utilizaron la prueba de Kolmogorov- Smirnov, y el contraste Chi cuadrado de Pearson como principales métodos analíticos (aunque también se recurrió a la prueba de Shapiro- Wilk aún sabiendo con certeza que dicha prueba sólo se aconseja para muestras pequeñas). Como prueba gráfica se utilizó el Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.). Además, se expone el gráfico de dispersión para determinar gráficamente la aleatoriedad de los residuos.

A continuación se exponen los resultados de dichas pruebas individualizados por vigas.

Tabla A7.1- Pruebas de Normalidad de los residuos, individualizadas por vigas

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECUENTO	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov	Estadístico W de Shapiro-Wilk	
<b>VIGAS</b>	F1-C1	1	120	0,117168	0,120962	3,06429E-7
	F1-C2	2	120	0,0456484	0,60873	0,0000347174
	F1-C3	3	120	0,17811	0,751774	0,000345316
	F1-C4	4	120	0,0456484	0,636264	0,0000495032
	F1-C5	5	120	0,0412533	0,18136	0,00000264353
	F1-C6	6	120	0,242045	0,386159	0,0000203372
	F1-C7	7	120	0,00095915	0,360868	0,00000378625
	F2-C1	8	120	0,0816492	0,905754	0,0124325
	F2-C2	9	120	0,833044	0,596752	0,000299019
	F2-C3	10	120	0,0	0,000354156	0,0
	F2-C4	11	120	0,387355	0,541698	1,08272E-7
	F2-C5	12	120	0,0895501	0,587313	0,0110125
	F2-C6	13	120	0,0556913	0,405578	1,47776E-7
	F2-C7	14	120	0,695405	0,555817	0,00044497
	F3-C1	15	120	0,1643	0,585401	0,00000698581
	F3-C2	16	120	0,151325	0,511259	0,0000442271
	F3-C3	17	120	0,00000441769	0,00399961	2,99918E-10
	F3-C4	18	120	0,000219086	0,00667321	7,88543E-8
	F3-C5	19	120	0,0000538133	0,452504	0,00565994
	F3-C6	20	120	0,00000379861	0,154183	0,00000214327
	F3-C7	21	120	0,00341731	0,14135	4,32525E-8



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

Tabla A7.1- Pruebas de Normalidad de los residuos, individualizadas por vigas (continuación)

PRUEBAS DE NORMALIDAD		RECUENTO	Chi Cuadrado	Kolmogorov-Smirnov	Estadístico W de Shapiro-Wilk	
VIGAS	F4-C1	22	120	0,1643	0,488792	2,73208E-9
	F4-C2	23	120	0,00793409	0,396863	6,88464E-10
	F4-C3	24	120	0,435718	0,501132	0,00016164
	F4-C4	25	120	0,00010932	0,0170906	5,05983E-10
	F4-C5	26	120	0,0000195338	0,0152666	0,0000883623
	F4-C6	27	120	0,00000693162	0,00367716	0,0000159584
	F4-C7	28	120	0,00124389	0,240775	1,48992E-12
	F5-C1	29	120	0,0176234	0,0402471	0,000107701
	F5-C2	30	120	0,000219086	0,124511	3,97615E-12
	F5-C3	31	120	0,435718	0,55707	1,41163E-7
	F5-C4	32	120	0,117168	0,426267	0,000926405
	F5-C5	33	120	0,0743458	0,304508	0,000015598
	F5-C6	34	120	0,0000715642	0,0588334	1,64738E-10
	F5-C7	35	120	0,512215	0,294234	0,0000776117
	F6-C1	36	120	0,151325	0,365093	1,05081E-9
	F6-C2	37	120	0,320109	0,567491	0,0000015745
	F6-C3	38	120	0,320109	0,439761	0,000043861
	F6-C4	39	120	0,0140982	0,0527171	3,88664E-11
	F6-C5	40	120	0,00626385	0,448959	7,95924E-7
	F6-C6	41	120	0,669873	0,76515	0,0000369369
	F6-C7	42	120	0,0196741	0,182329	0,0000671175
	F7-C1	43	120	0,0456484	0,343805	9,55566E-8
	F7-C2	44	120	0,139163	0,628754	2,78374E-7
	F7-C3	45	120	0,0980816	0,194381	0,0000672674
	F7-C4	46	120	0,460771	0,524797	3,7185E-8
	F7-C5	47	120	0,000144609	0,182542	1,39E-13
	F7-C6	48	120	0,192775	0,34653	0,00000719676
	F7-C7	49	120	0,151325	0,131576	0,0000676231

Fuente: Elaboración propia

Los p valores de las pruebas Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov resultaron ser mayores a 0,05, mientras que en la mayoría de los casos, los p valores del test de Shapiro-Wilk fueron menores. Dado el número de observaciones (120) se aconseja emplear los dos primeros métodos analíticos por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza que los residuos provienen de una distribución normal.

Es posible corroborar los resultados obtenidos en los test de normalidad, mediante una comprobación de los gráficos de probabilidad normal. También se exponen los gráficos de dispersión en los que se aprecia con claridad la aleatoriedad de distribución de los residuos.



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

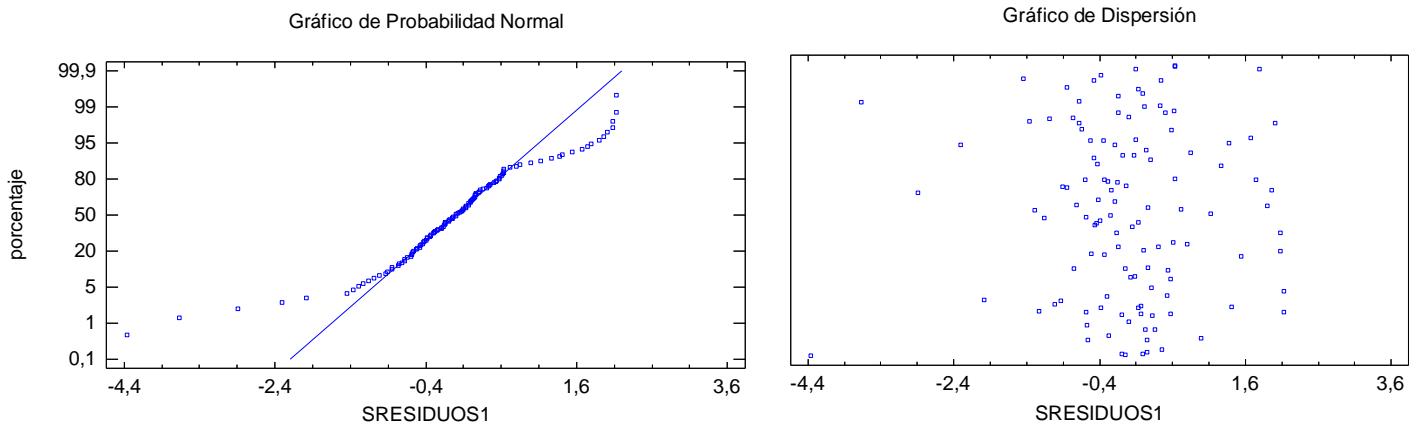


Figura A7.1- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C1. Fuente: Elaboración propia

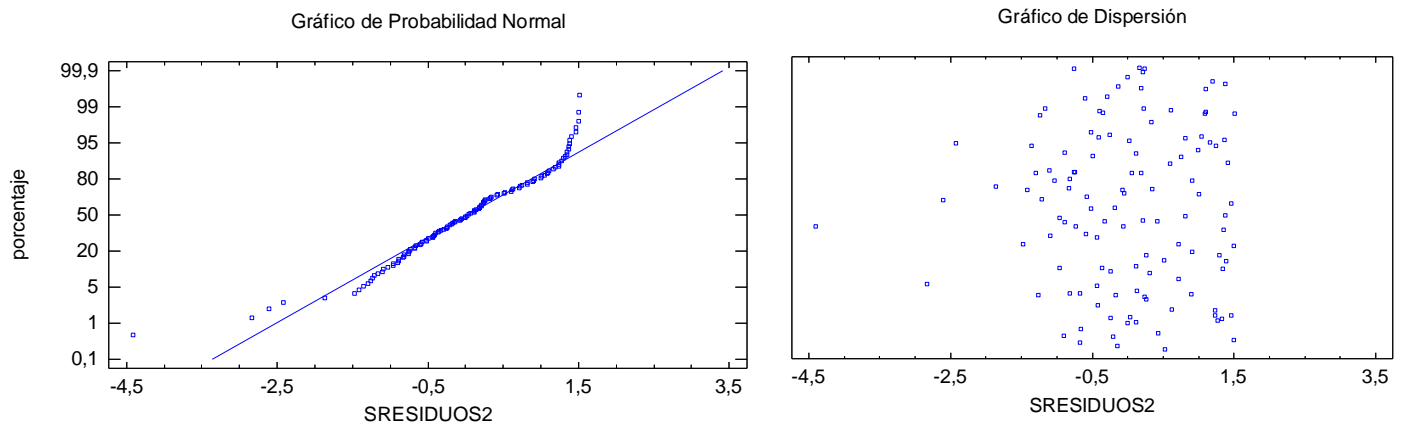


Figura A7.2- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C2. Fuente: Elaboración propia

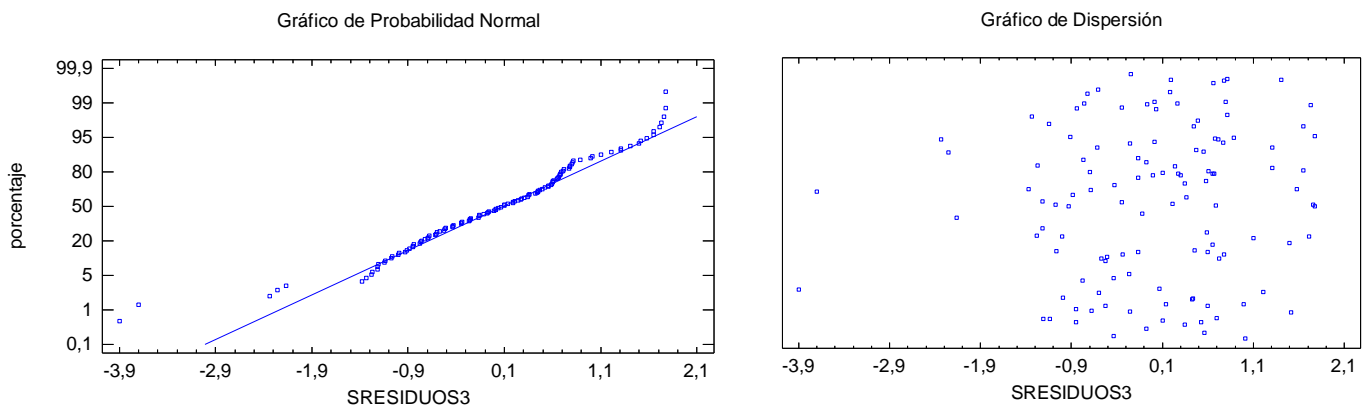


Figura A7.3- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

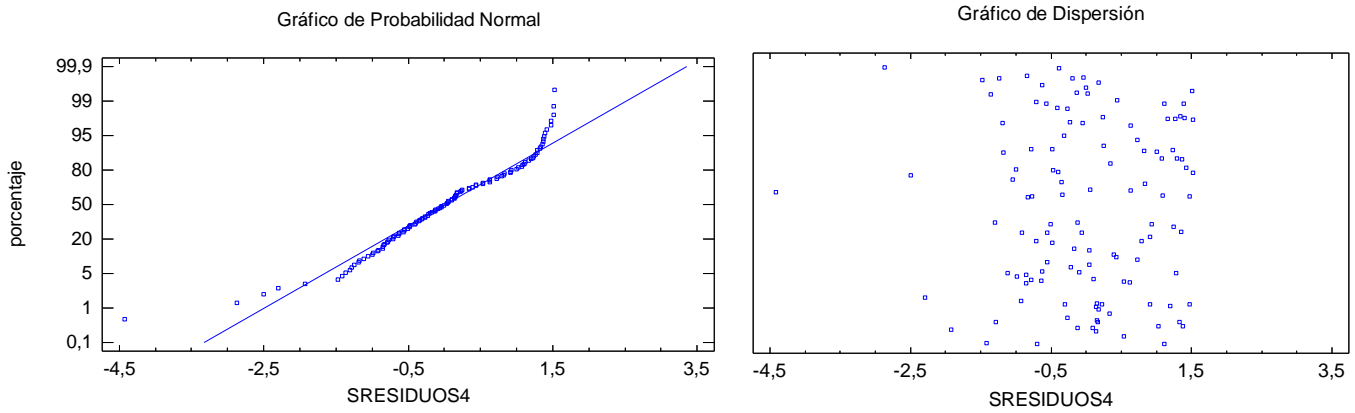


Figura A7.4- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C4. Fuente: Elaboración propia

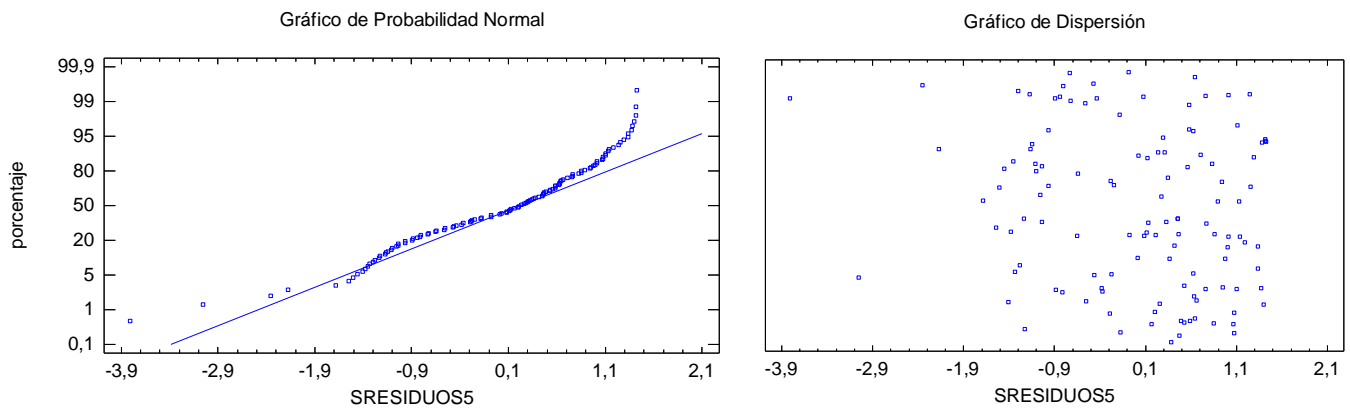


Figura A7.5- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C5. Fuente: Elaboración propia

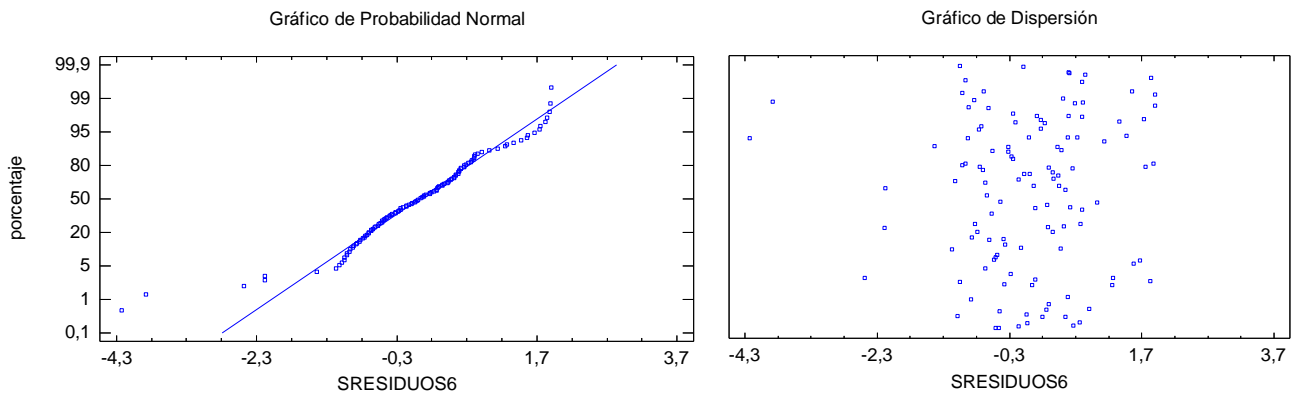


Figura A7.6- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C6. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

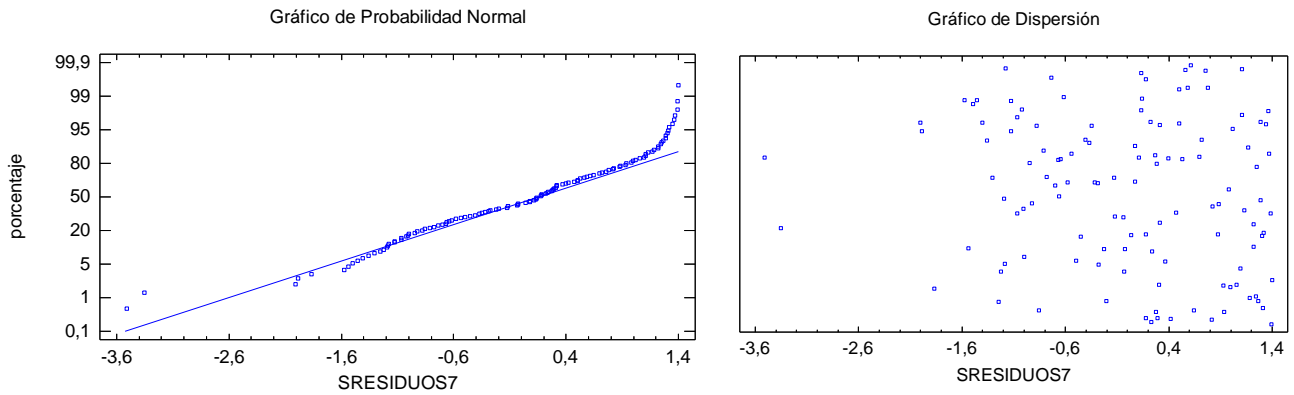


Figura A7.7- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F1-C7. Fuente: Elaboración propia

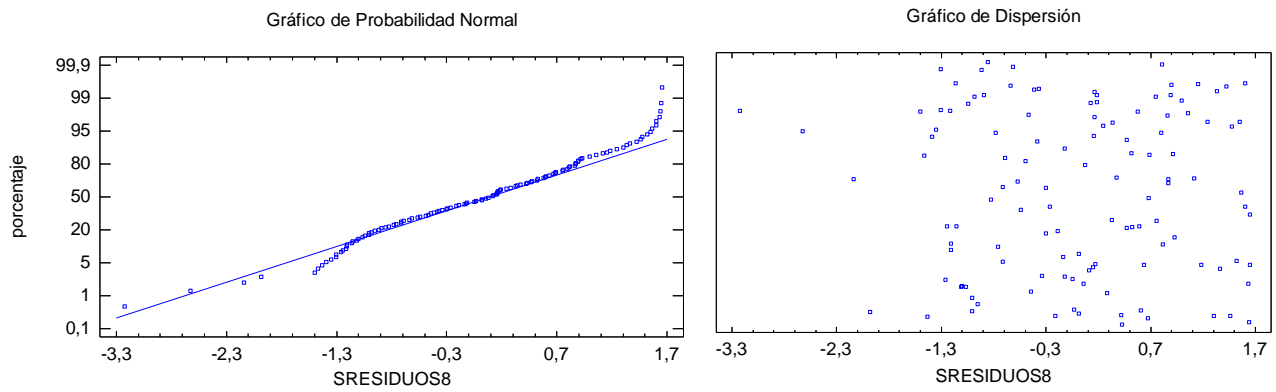


Figura A7.8- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C1. Fuente: Elaboración propia

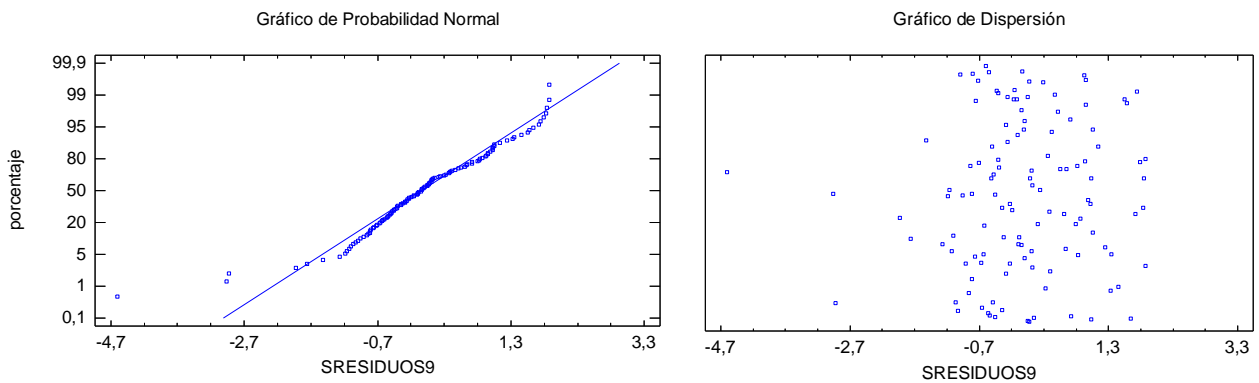


Figura A7.9- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C2. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

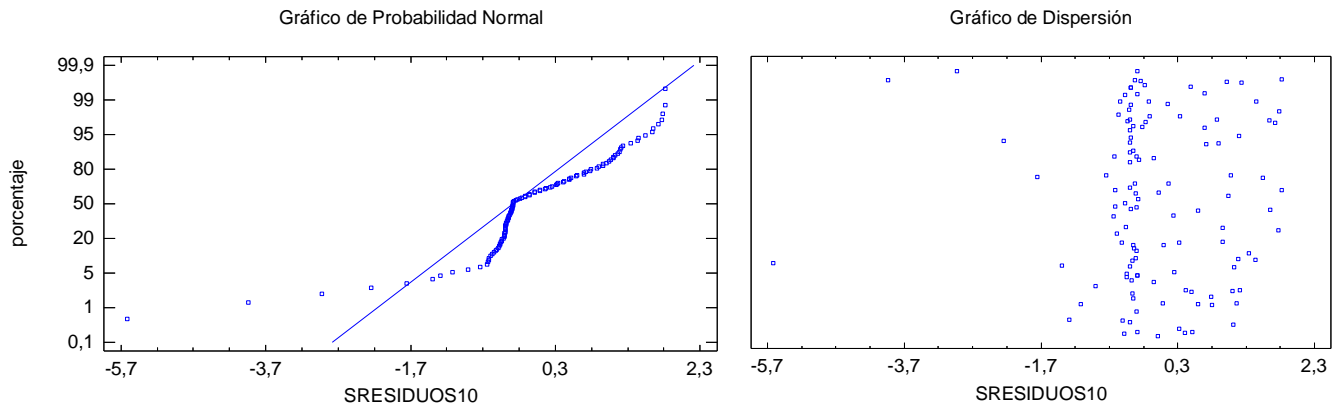


Figura A7.10- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C3. Fuente: Elaboración propia

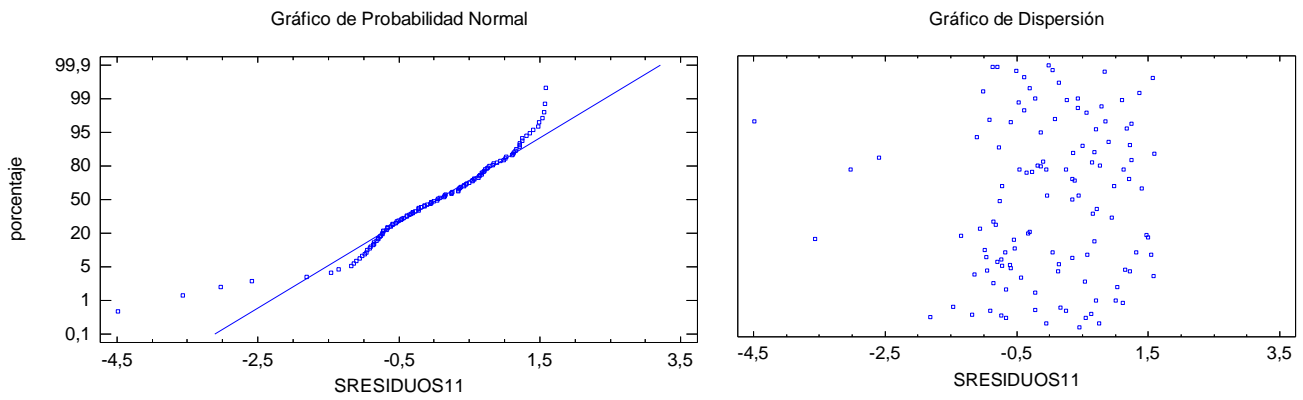


Figura A7.11- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C4. Fuente: Elaboración propia

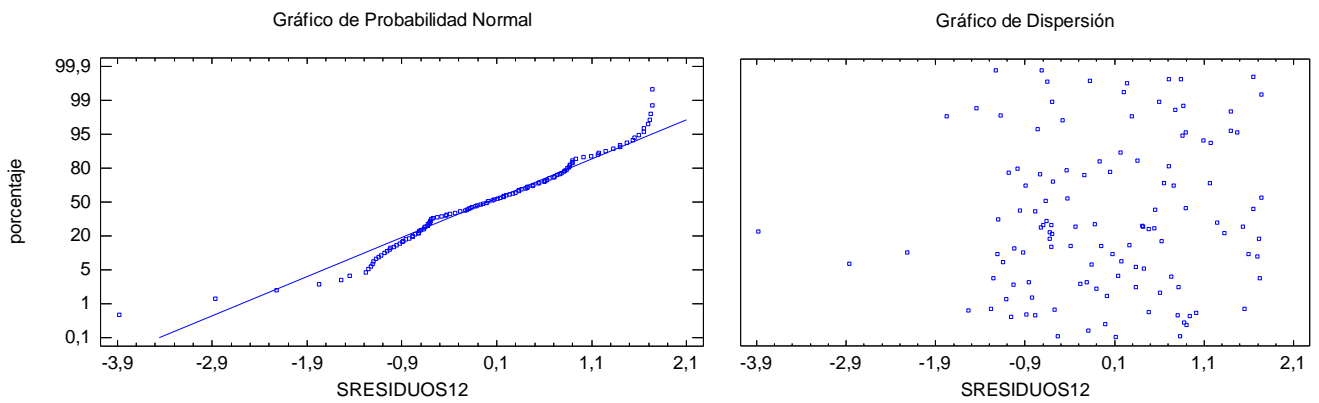


Figura A7.12- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C5. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

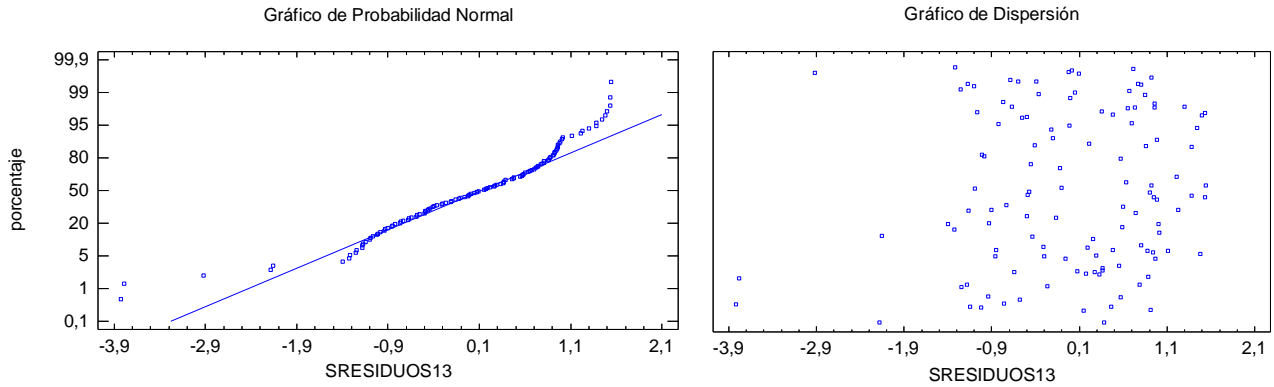


Figura A7.13- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C6. Fuente: Elaboración propia

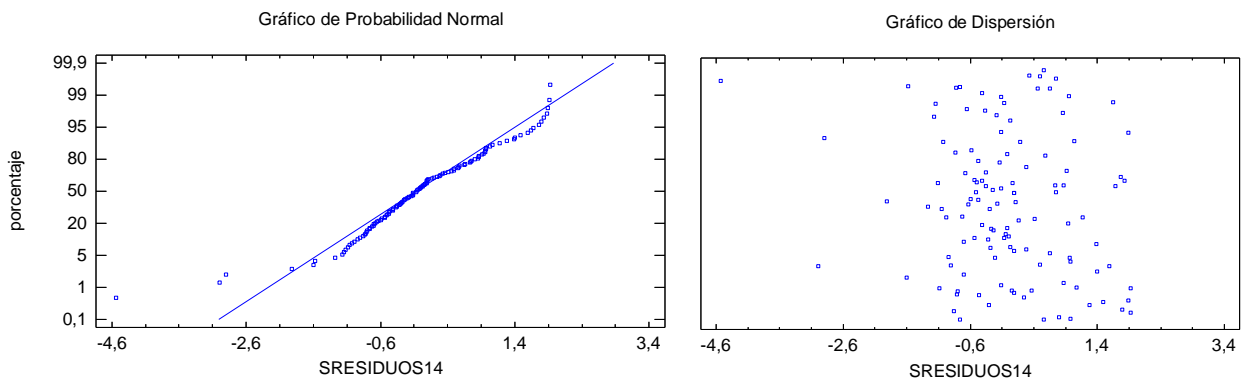


Figura A7.14- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F2-C7. Fuente: Elaboración propia

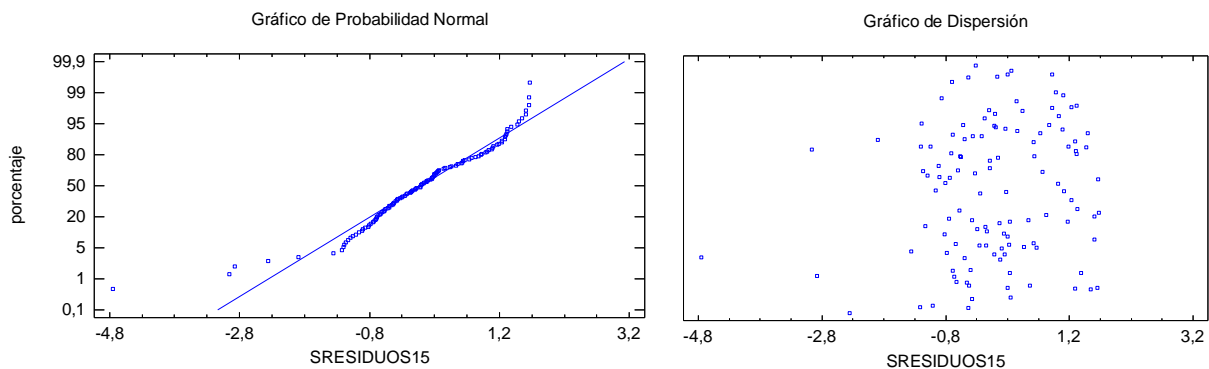


Figura A7.15- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C1. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

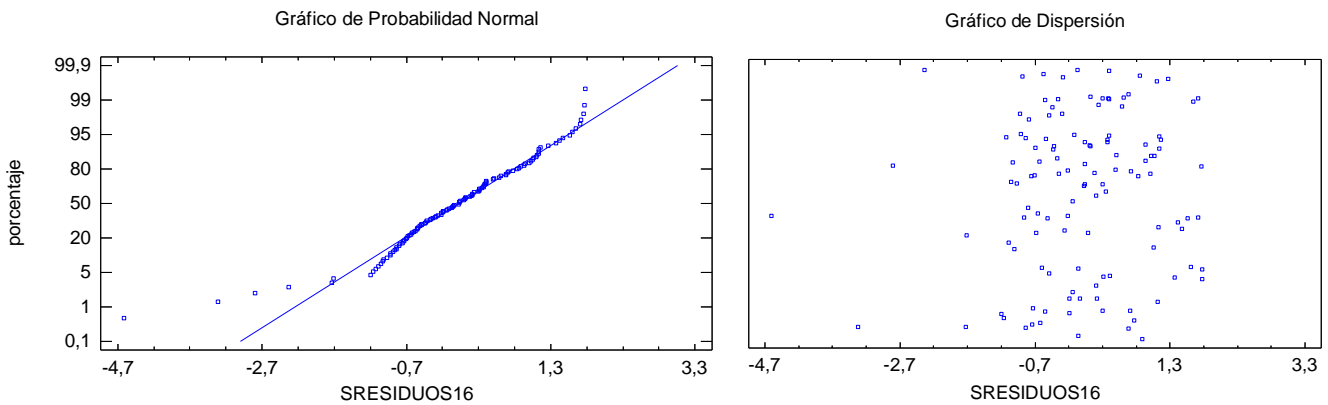


Figura A7.16- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C2. Fuente: Elaboración propia

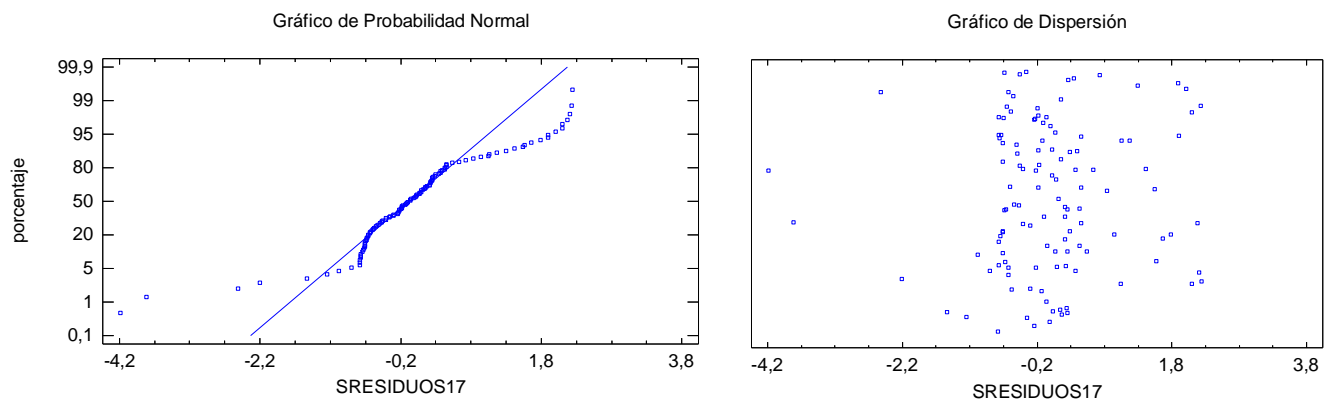


Figura A7.17- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C3. Fuente: Elaboración propia

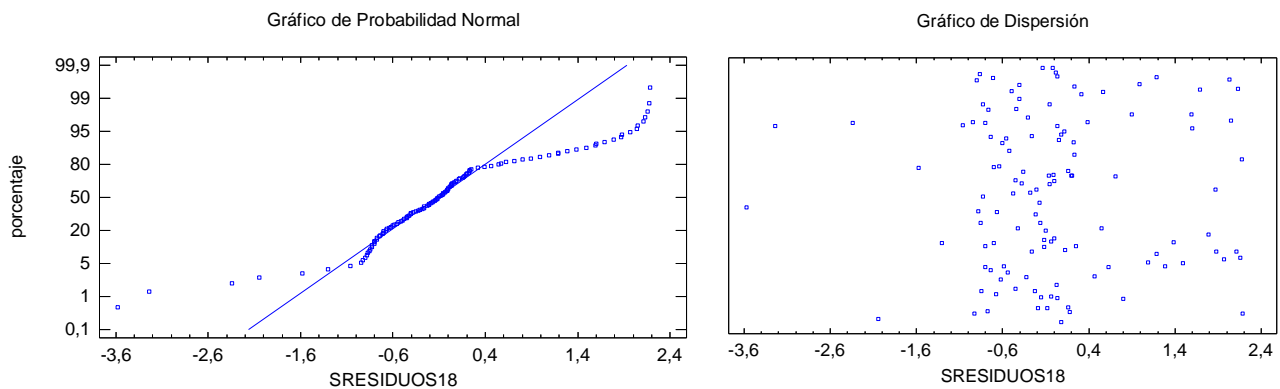


Figura A7.18- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C4. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

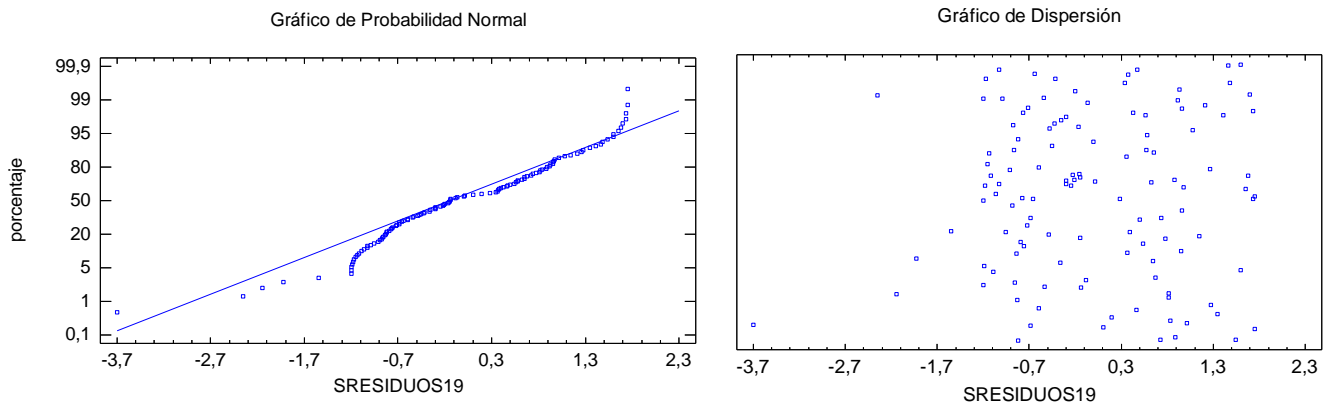


Figura A7.19- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C5. Fuente: Elaboración propia

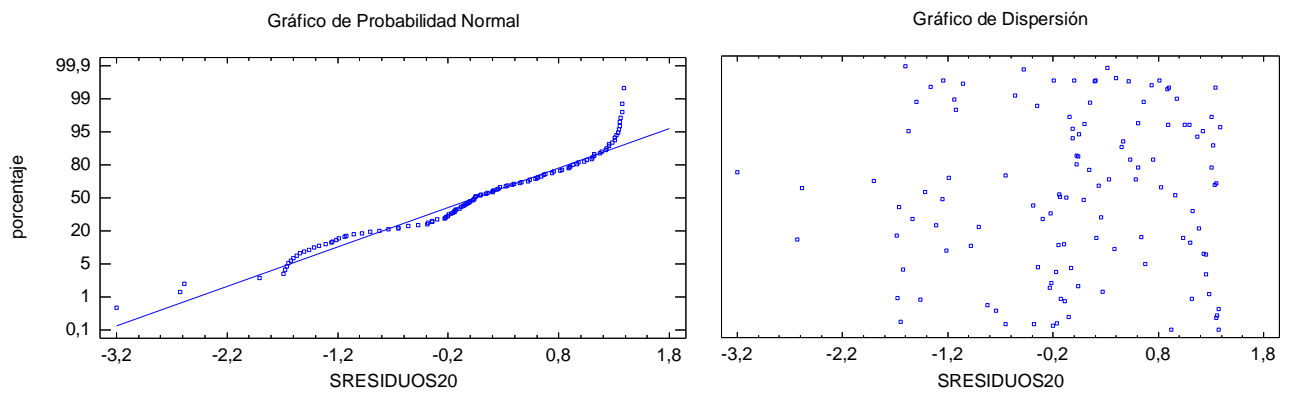


Figura A7.20- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C6. Fuente: Elaboración propia

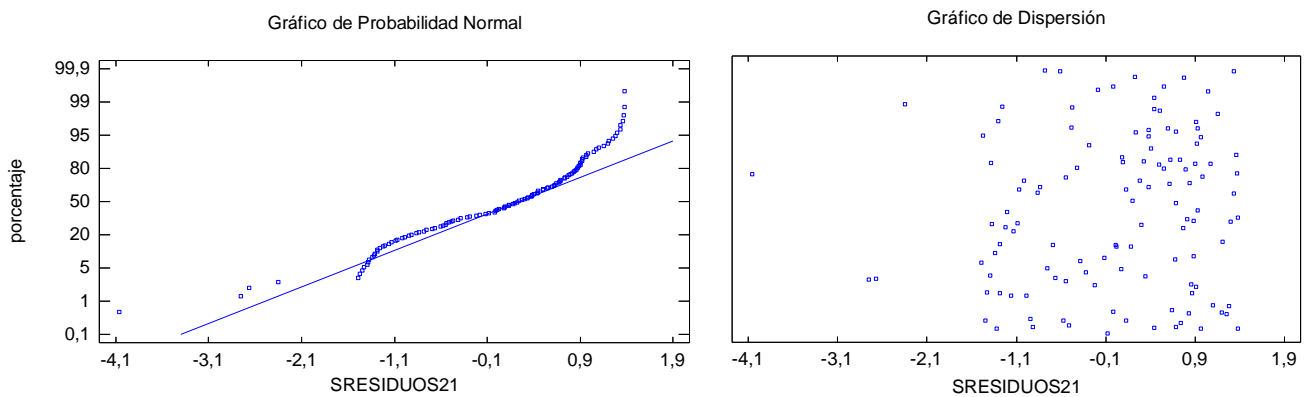


Figura A7.21- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F3-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

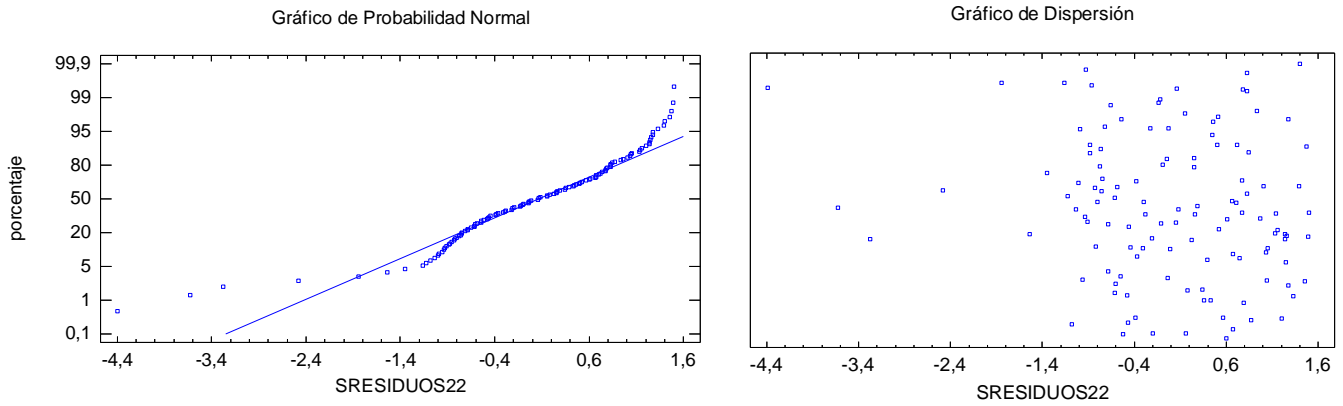


Figura A7.22- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C1. Fuente: Elaboración propia

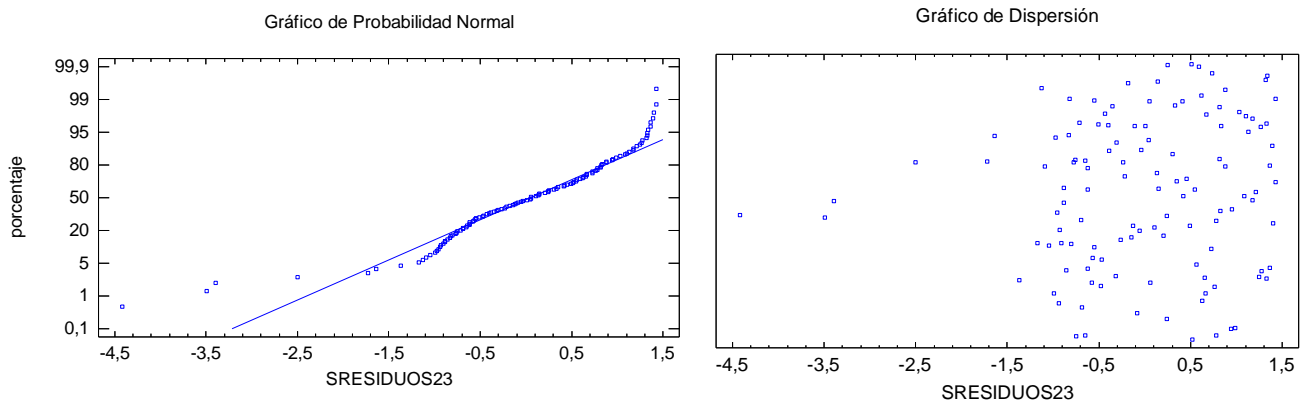


Figura A7.23- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C2. Fuente: Elaboración propia

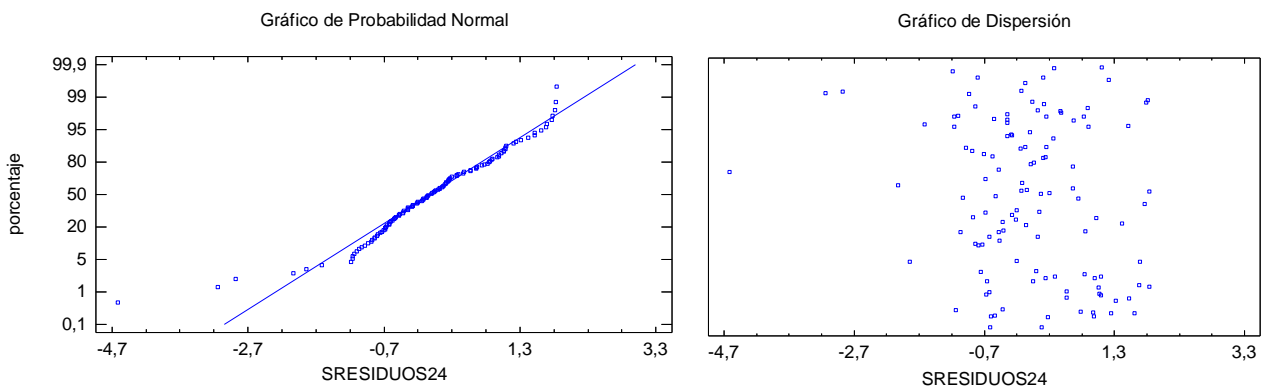


Figura A7.24- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

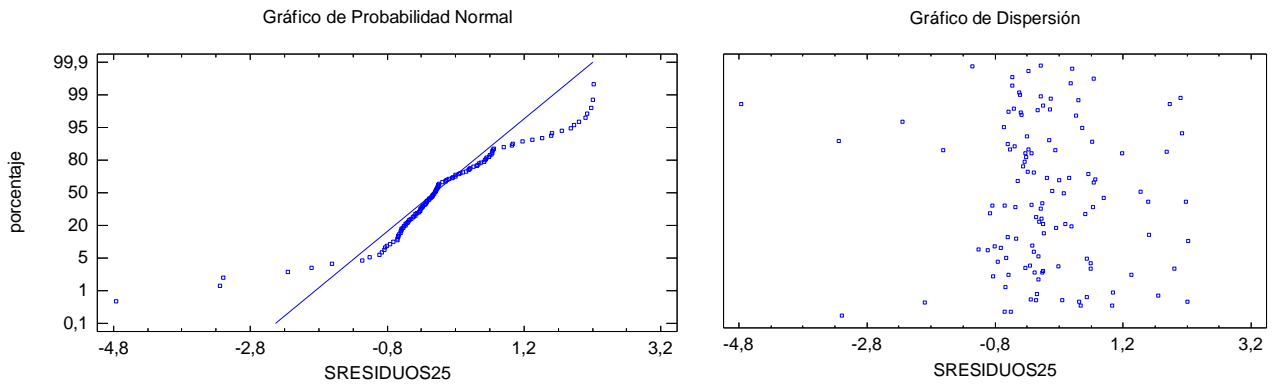


Figura A7.25- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C4. Fuente: Elaboración propia

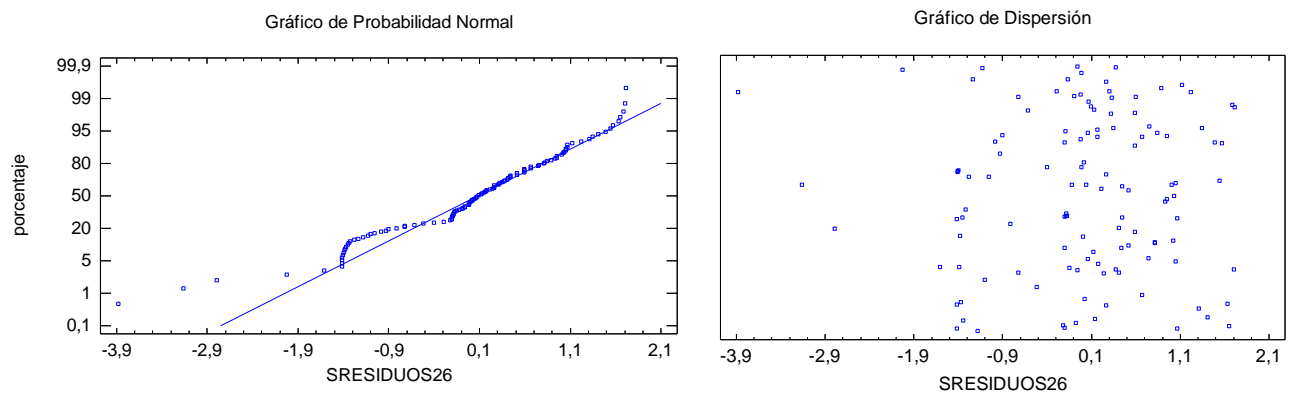


Figura A7.26- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C5. Fuente: Elaboración propia

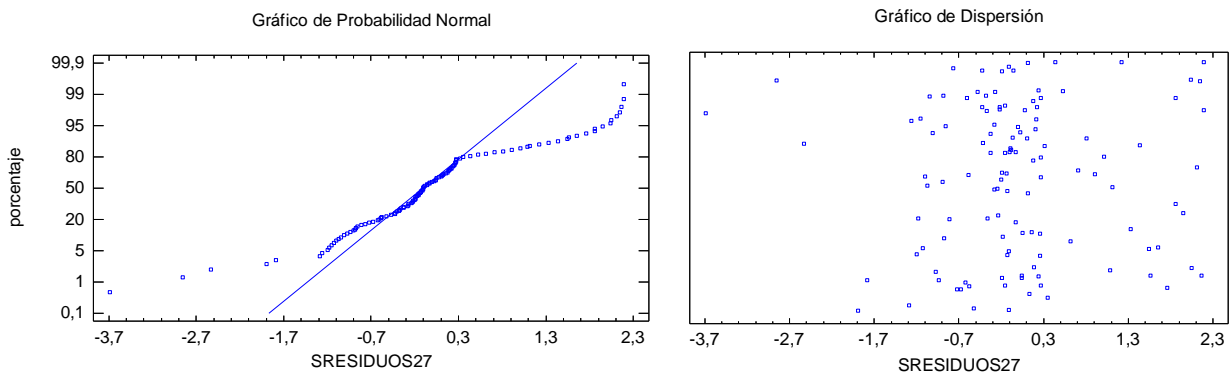


Figura A7.27- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C6. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

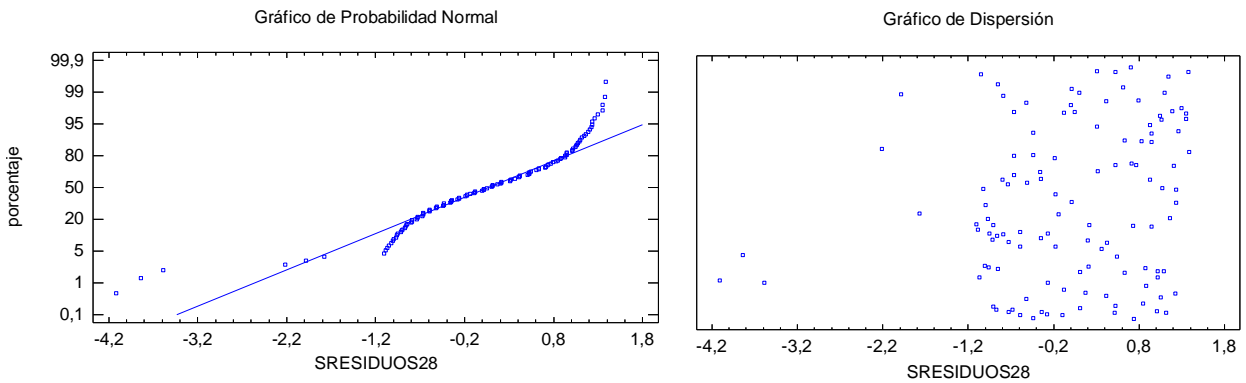


Figura A7.28- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F4-C7. Fuente: Elaboración propia

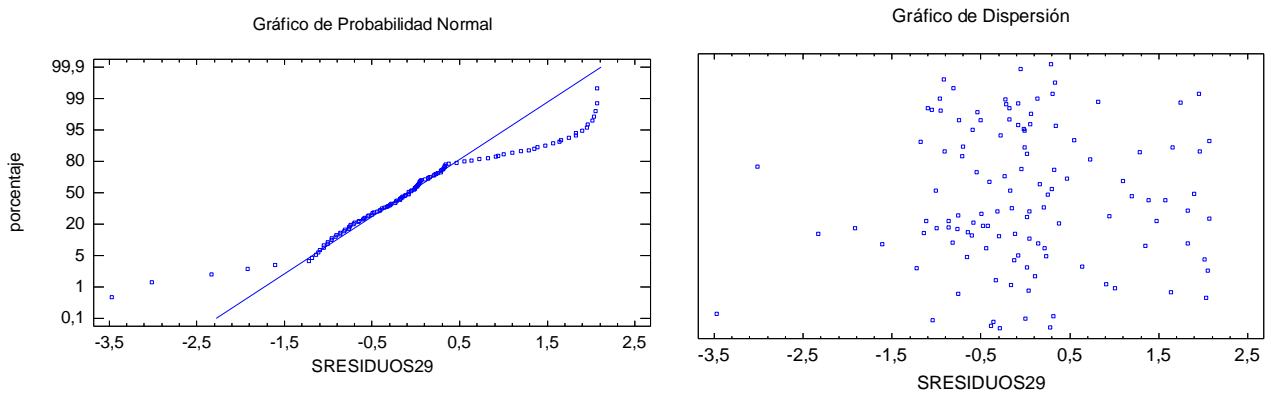


Figura A7.29- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C1. Fuente: Elaboración propia

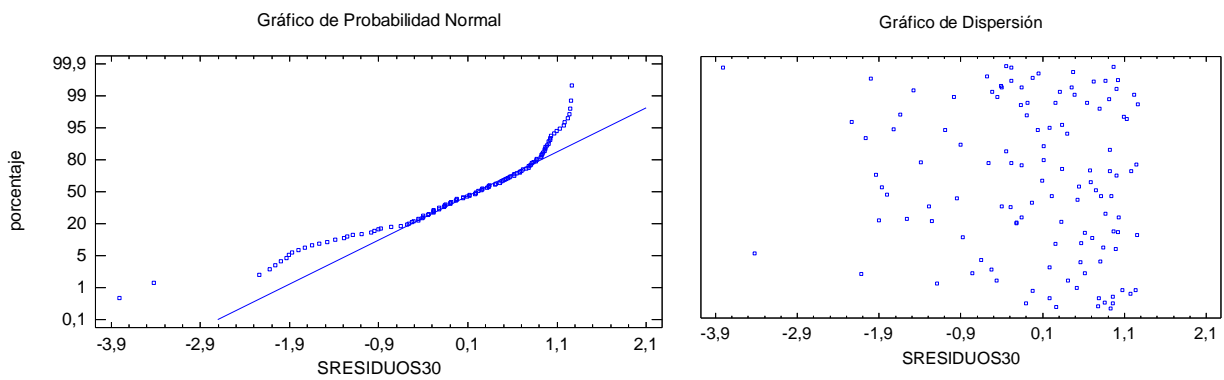


Figura A7.30- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C2. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

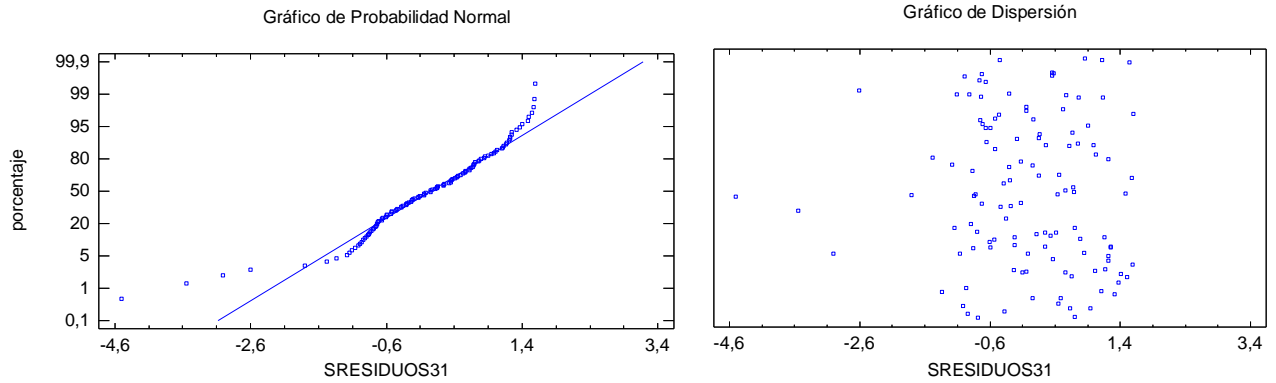


Figura A7.31- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C3. Fuente: Elaboración propia

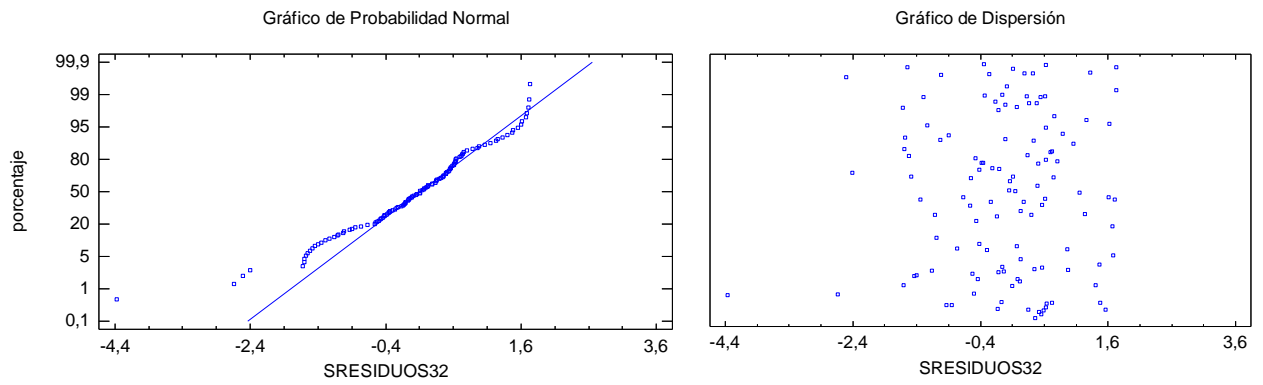


Figura A7.32- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C4. Fuente: Elaboración propia

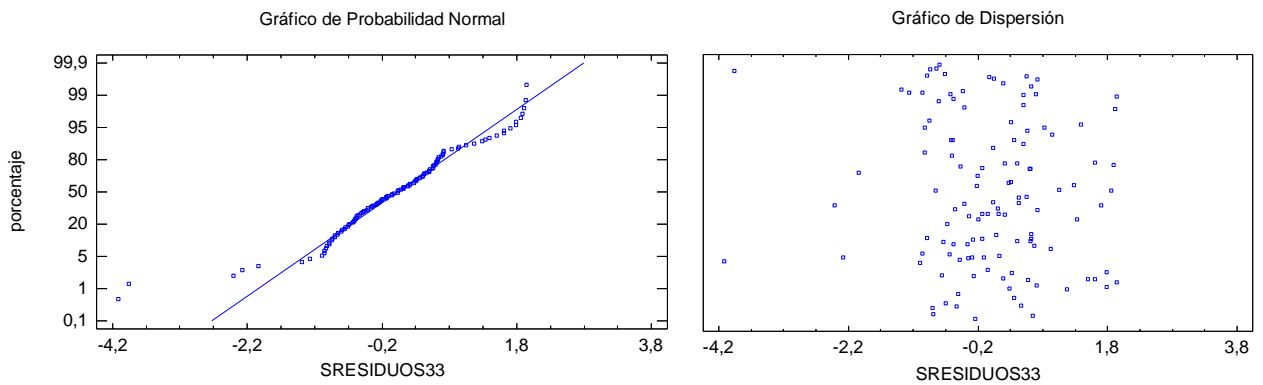


Figura A7.33- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C5. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

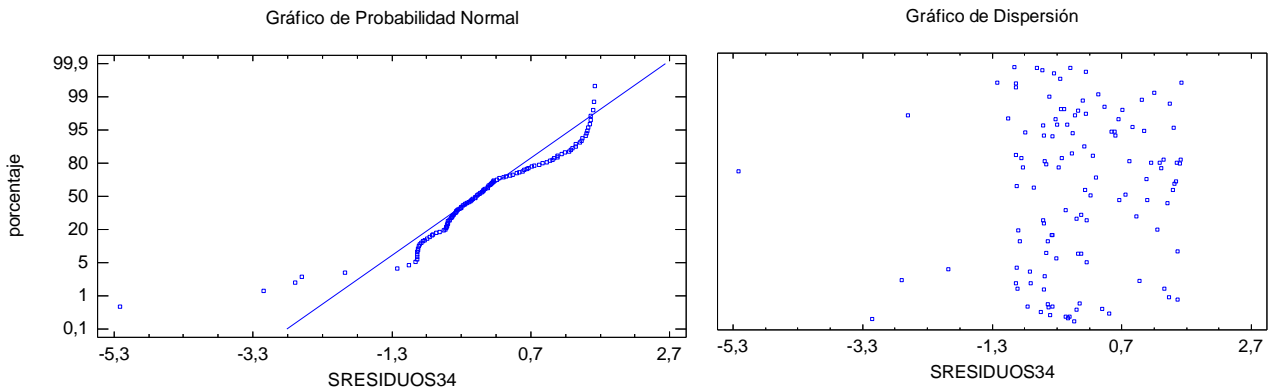


Figura A7.34- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C6. Fuente: Elaboración propia

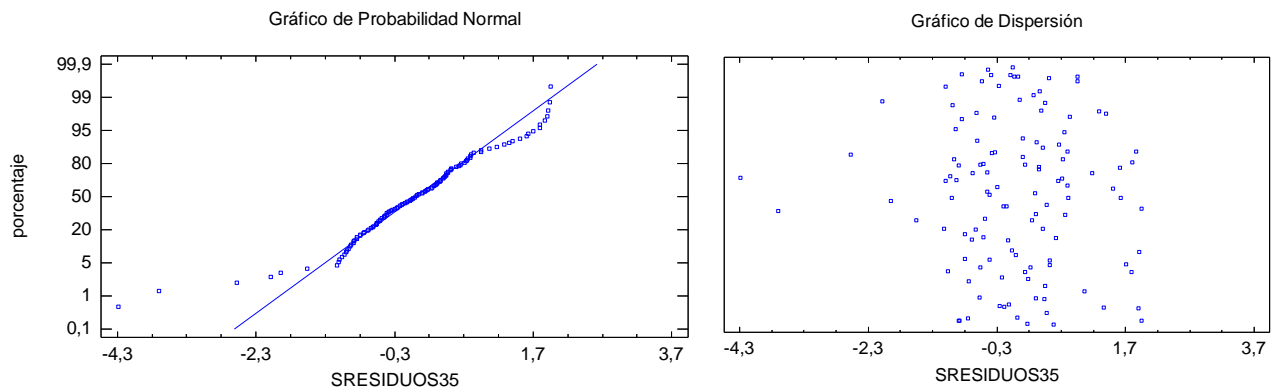


Figura A7.35- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F5-C7. Fuente: Elaboración propia

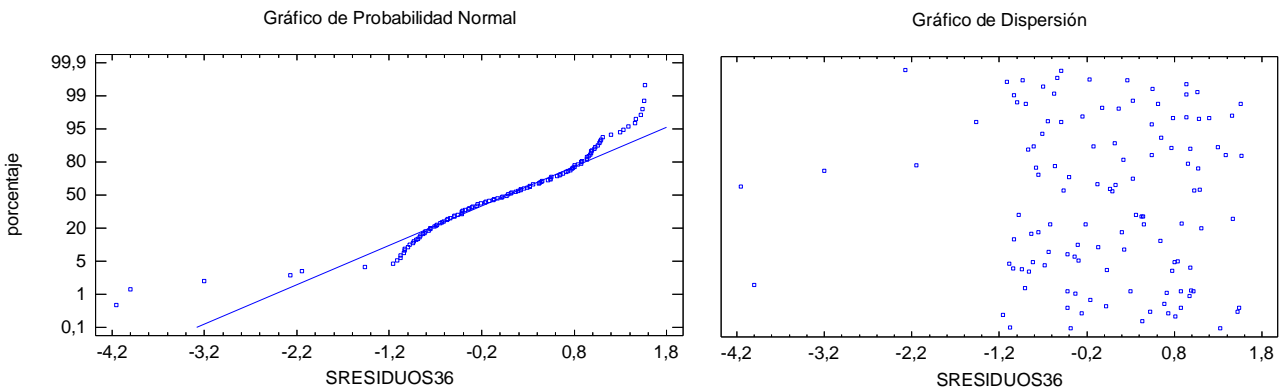


Figura A7.36- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C1. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

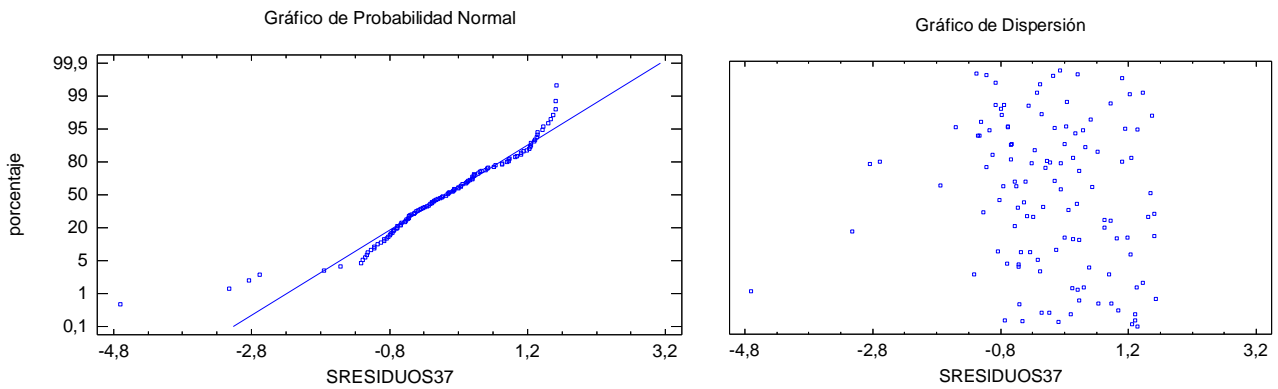


Figura A7.37- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C2. Fuente: Elaboración propia

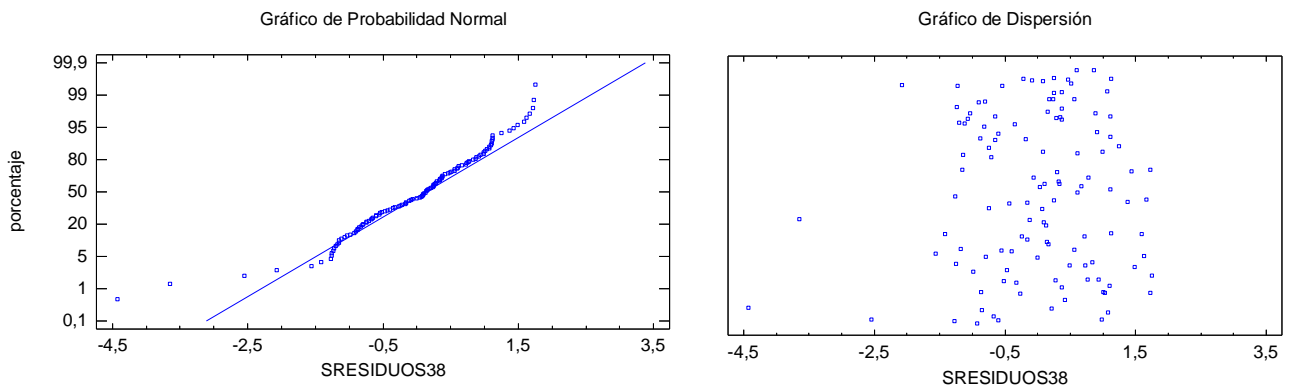


Figura A7.38- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C3. Fuente: Elaboración propia

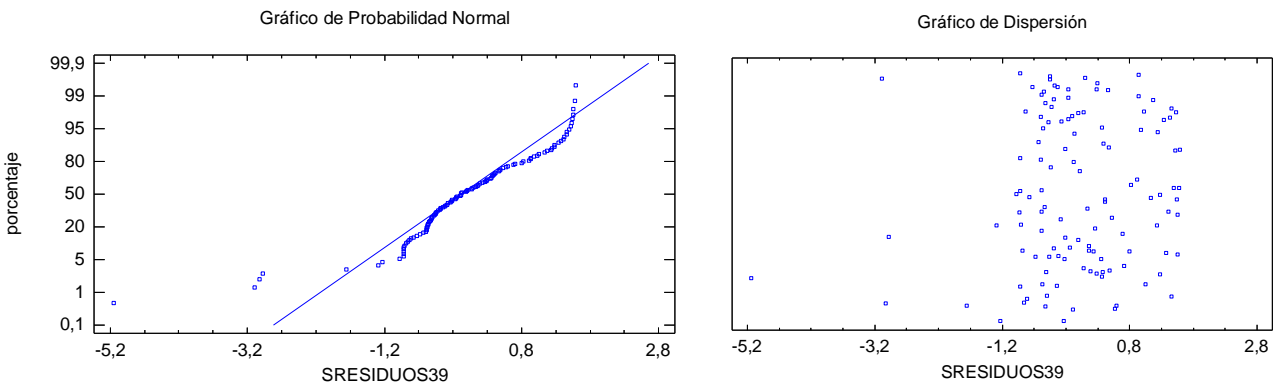


Figura A7.39- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C4. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

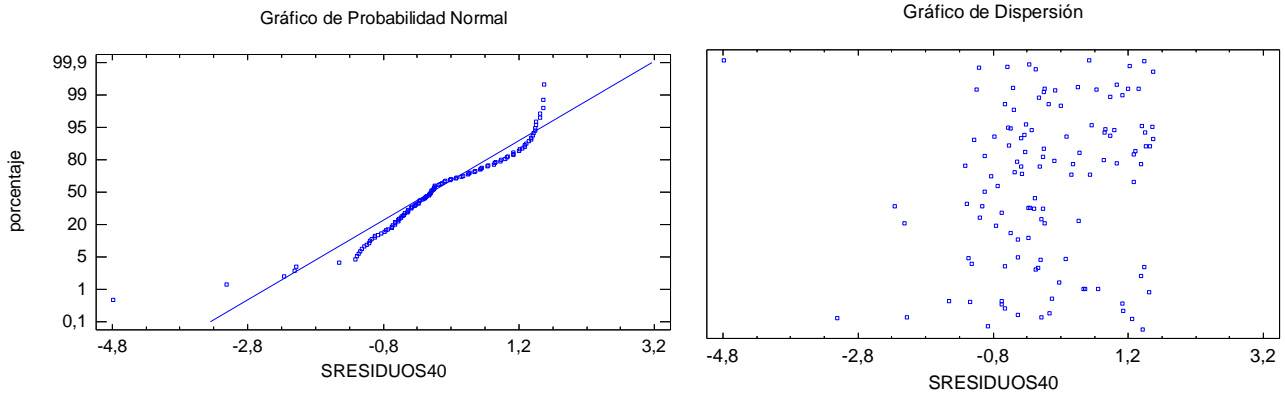


Figura A7.40- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C5. Fuente: Elaboración propia

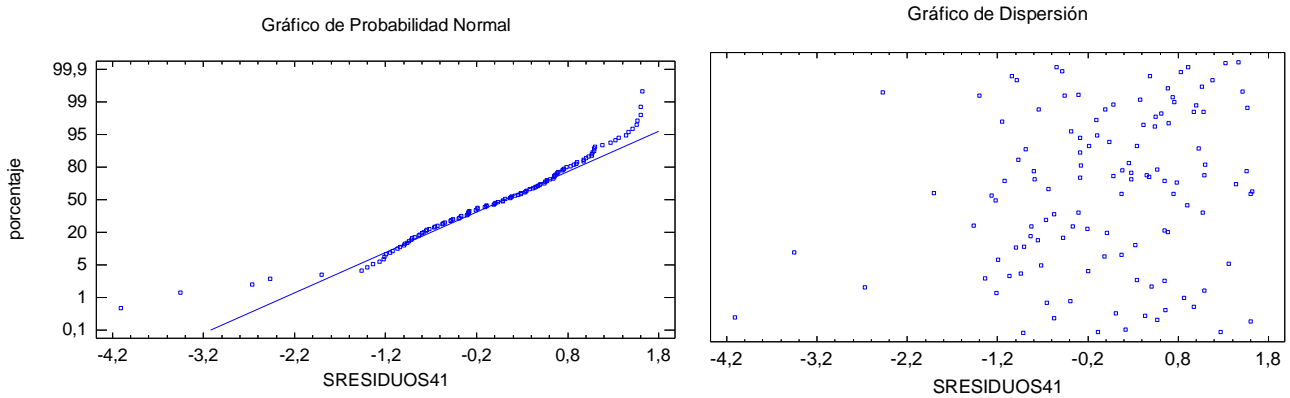


Figura A7.41- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C6. Fuente: Elaboración propia

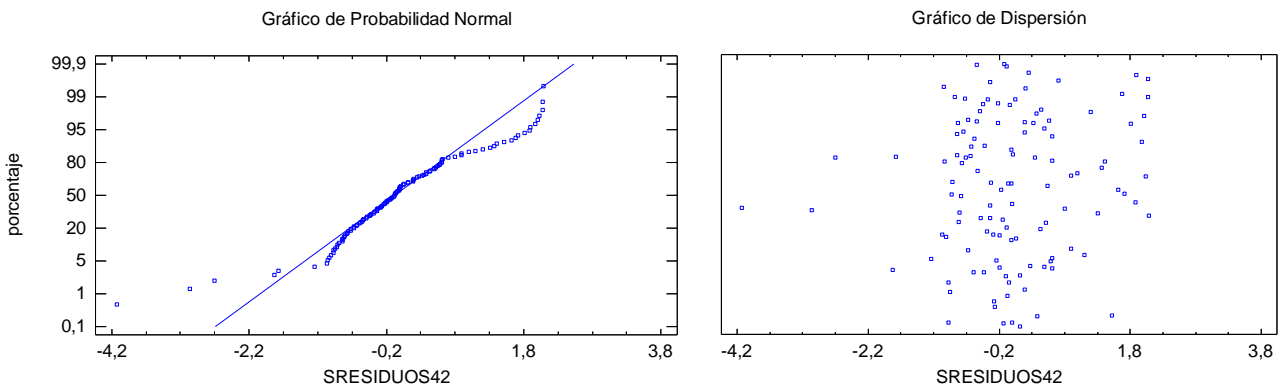


Figura A7.42- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F6-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

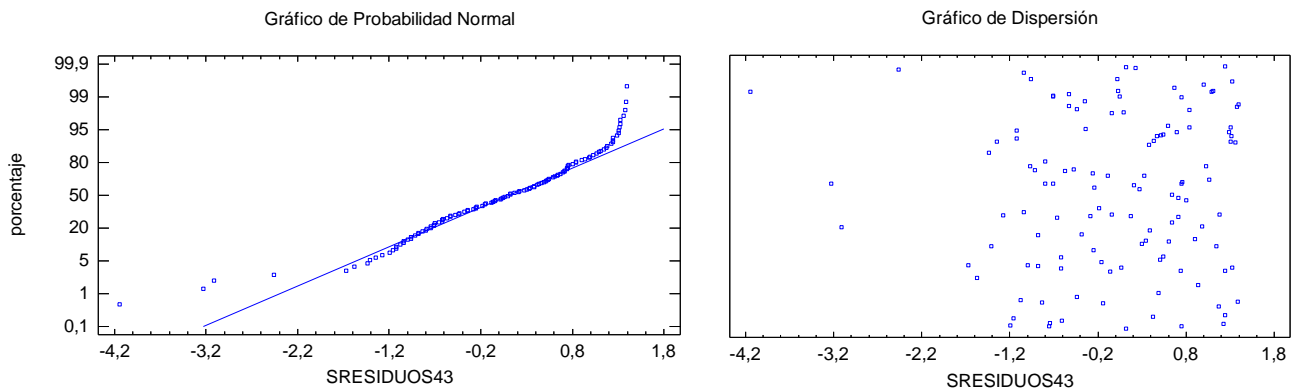


Figura A7.43- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C1. Fuente: Elaboración propia

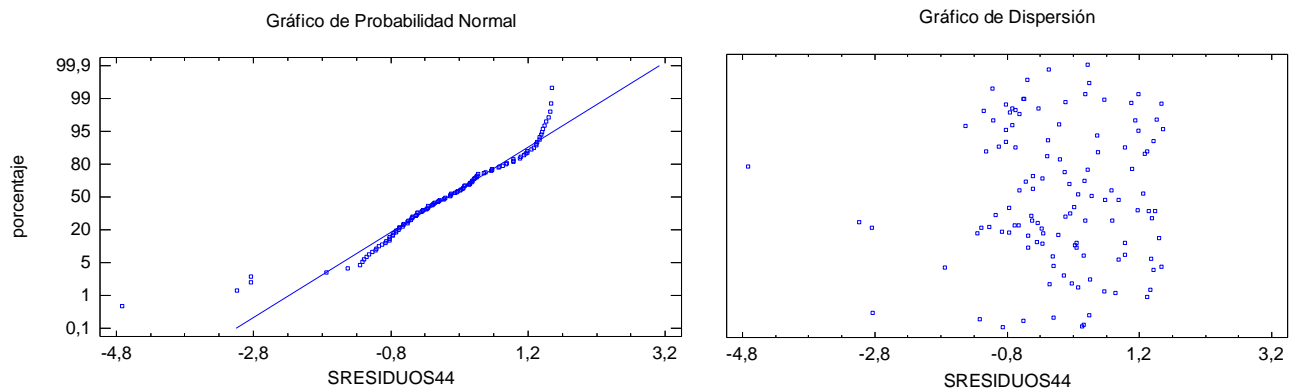


Figura A7.44- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C2. Fuente: Elaboración propia

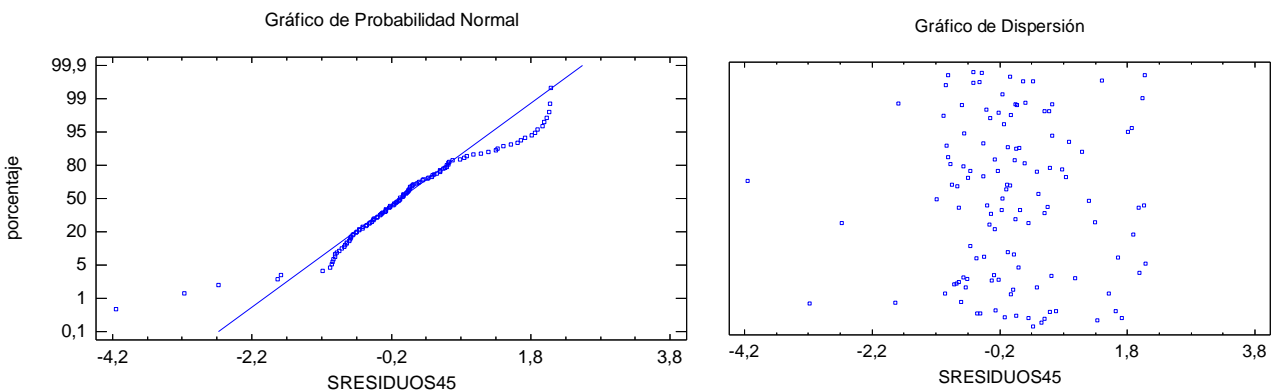


Figura A7.45- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

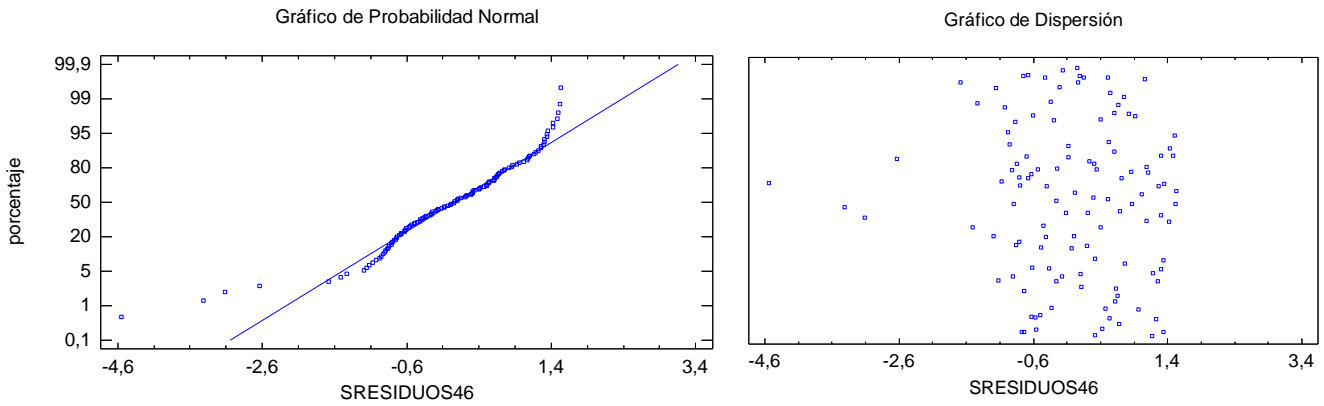


Figura A7.46- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C4. Fuente: Elaboración propia

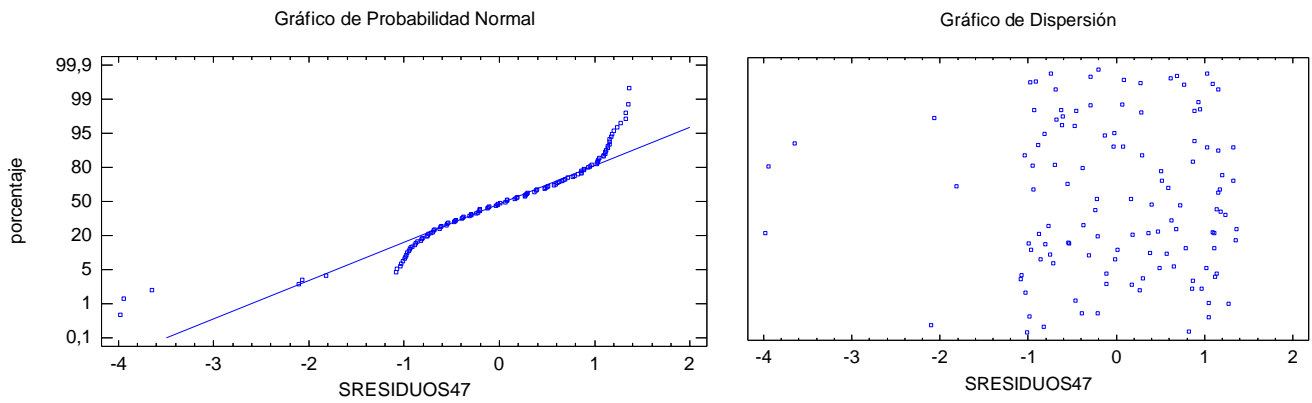


Figura A7.47- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C5. Fuente: Elaboración propia

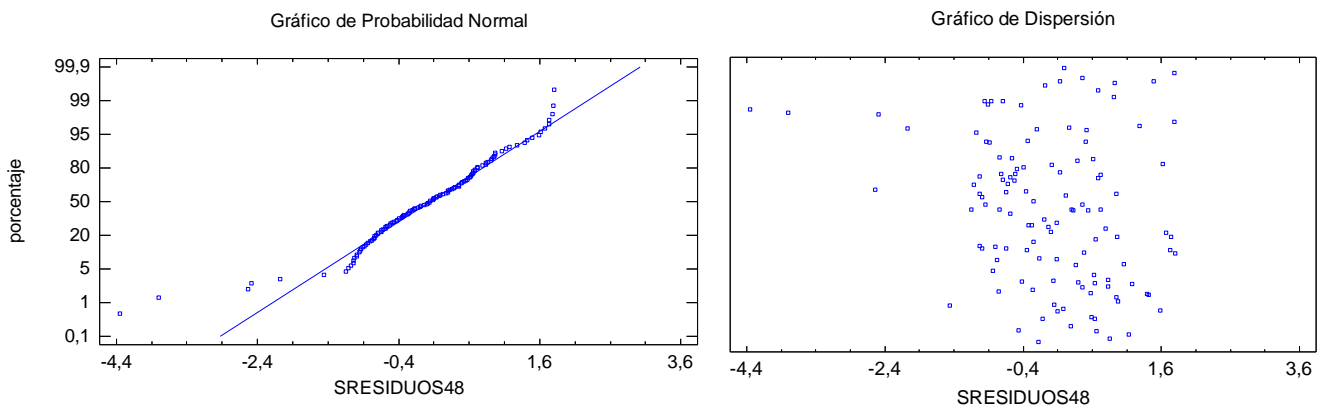


Figura A7.48- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C6. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

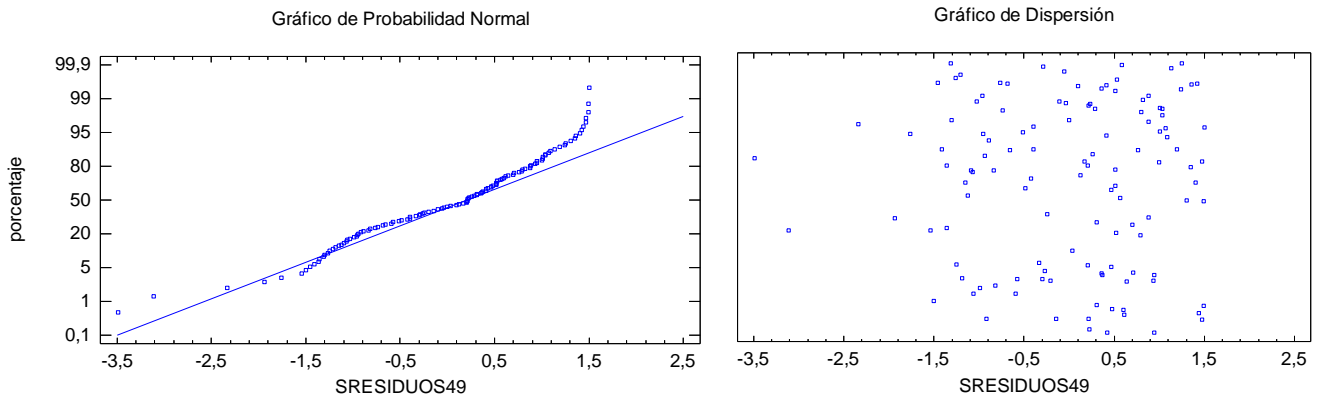


Figura A7.49- Gráfico de probabilidad normal (izq.) y gráfico de dispersión (dcha.) de F7-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESIDUOS

---





## **ANEXO 8. MODELOS DE SECADO**





## ANEXO 8. MODELOS DE SECADO

Mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel 2007 se han elaborado una serie de modelos que explican su pérdida de humedad en función de la zona de la viga, testas este y oeste, y centro.

Los modelos calculados son el exponencial y el logarítmico. A continuación se presentan dichos modelos por filas, por columnas y por orientación de la viga (dentro de cada una de las tres orientaciones, también por filas y por columnas).

### 1. MODELOS DE SECADO PARA LA HUMEDAD DE LAS FILAS DE LA PILA

Para cada una de las 49 vigas de la pila se se obtuvieron con el xilohigrómetro valores de humedad en las testas este y oeste y en su centro. Se calculó la media aritmética de la variable humedad de las medidas de esta variable (testas este, testas oeste y centro) para cada día de medición y para las siete vigas que conformaron cada una de las filas de la pila.

De esta forma, se obtuvieron para cada una de las filas, unos valores de humedad medios que provenían de la media aritmética de los valores de humedad de las siete vigas que conformaban cada una de las filas de la pila. Dichos valores fueron los que posteriormente se emplearon para determinar los modelos de secado.

Tabla A8.1- Modelos para la humedad por filas de las vigas

FILAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
F1	$y = 0,4272e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9385	$y = -0,123\ln(x) + 0,8291$	R <sup>2</sup> = 0,9402
F2	$y = 0,4742e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9451	$y = -0,148\ln(x) + 0,958$	R <sup>2</sup> = 0,9687
F3	$y = 0,4867e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9543	$y = -0,149\ln(x) + 0,9653$	R <sup>2</sup> = 0,9637
F4	$y = 0,5283e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9549	$y = -0,169\ln(x) + 1,0716$	R <sup>2</sup> = 0,9821
F5	$y = 0,5155e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9639	$y = -0,162\ln(x) + 1,03$	R <sup>2</sup> = 0,9913
F6	$y = 0,4868e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9589	$y = -0,151\ln(x) + 0,9732$	R <sup>2</sup> = 0,9898
F7	$y = 0,4513e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,936	$y = -0,139\ln(x) + 0,905$	R <sup>2</sup> = 0,9579

Fuente: Elaboración propia



**ANEXO 8: MODELOS DE SECADO**

**2. MODELOS DE SECADO PARA LA HUMEDAD DE LAS COLUMNAS DE LA PILA**

Análogamente a lo realizado por las filas, se obtuvieron para cada una de las columnas, unos valores de humedad medios que provenían de la media aritmética de los valores de humedad de las siete vigas que conformaban cada una de las columnas de la pila, y que sirvieron para formular los siguientes modelos de secado.

Tabla A8.2- Modelos para la humedad por columnas de las vigas

COLUMNAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
C1	$y = 0,4465e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9285	$y = -0,137\ln(x) + 0,8993$	R <sup>2</sup> = 0,9457
C2	$y = 0,4857e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,952	$y = -0,151\ln(x) + 0,9744$	R <sup>2</sup> = 0,9807
C3	$y = 0,5074e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9546	$y = -0,161\ln(x) + 1,0242$	R <sup>2</sup> = 0,9771
C4	$y = 0,5299e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9563	$y = -0,165\ln(x) + 1,0567$	R <sup>2</sup> = 0,9636
C5	$y = 0,4978e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9576	$y = -0,152\ln(x) + 0,9831$	R <sup>2</sup> = 0,9703
C6	$y = 0,4779e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9498	$y = -0,149\ln(x) + 0,9638$	R <sup>2</sup> = 0,975
C7	$y = 0,458e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9471	$y = -0,141\ln(x) + 0,9149$	R <sup>2</sup> = 0,9714

Fuente: Elaboración propia

**3. MODELOS DE SECADO POR ORIENTACIÓN**

Se realizó la misma operación que en los puntos anteriores, es decir, la obtención de modelos de secado por filas y por columnas, pero en este caso la variable humedad con la que se construyeron dichos modelos fue separada según el punto de la viga donde se realizó la medición con el xilohigrómetro. De esta forma, se obtuvieron modelos de secado para la humedad de las testas orientadas al este, de las testas orientadas al oeste y del centro de las vigas, por filas y por columnas.

Tabla A8.3- Modelos por filas para la humedad de las testas orientadas al este de las vigas

FILAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
F1	$y = 0,4246e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9295	$y = -0,125\ln(x) + 0,8377$	R <sup>2</sup> = 0,9426
F2	$y = 0,464e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9333	$y = -0,147\ln(x) + 0,9498$	R <sup>2</sup> = 0,9566
F3	$y = 0,4725e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9455	$y = -0,146\ln(x) + 0,9432$	R <sup>2</sup> = 0,9486
F4	$y = 0,5156e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9538	$y = -0,163\ln(x) + 1,0402$	R <sup>2</sup> = 0,979
F5	$y = 0,5075e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9613	$y = -0,159\ln(x) + 1,015$	R <sup>2</sup> = 0,9912
F6	$y = 0,4804e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,951	$y = -0,15\ln(x) + 0,967$	R <sup>2</sup> = 0,977
F7	$y = 0,449e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9277	$y = -0,139\ln(x) + 0,905$	R <sup>2</sup> = 0,9486

Fuente: Elaboración propia



ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

Tabla A8.4- Modelos por columnas para la humedad de las testas orientadas al este de las vigas

COLUMNAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
C1	$y = 0,4421e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9123	$y = -0,139\ln(x) + 0,9043$	R <sup>2</sup> = 0,9284
C2	$y = 0,4889e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9399	$y = -0,157\ln(x) + 1,0075$	R <sup>2</sup> = 0,9737
C3	$y = 0,5033e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9508	$y = -0,159\ln(x) + 1,0171$	R <sup>2</sup> = 0,9635
C4	$y = 0,5092e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9569	$y = -0,157\ln(x) + 1,01$	R <sup>2</sup> = 0,9665
C5	$y = 0,4881e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9628	$y = -0,147\ln(x) + 0,9539$	R <sup>2</sup> = 0,9712
C6	$y = 0,4714e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,95	$y = -0,145\ln(x) + 0,942$	R <sup>2</sup> = 0,9705
C7	$y = 0,448e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9342	$y = -0,14\ln(x) + 0,9082$	R <sup>2</sup> = 0,9605

Fuente: Elaboración propia

Tabla A8.5- Modelos por filas para la humedad de las testas orientadas al oeste de las vigas

FILAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
F1	$y = 0,4291e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9383	$y = -0,121\ln(x) + 0,8219$	R <sup>2</sup> = 0,9321
F2	$y = 0,4673e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9498	$y = -0,142\ln(x) + 0,9305$	R <sup>2</sup> = 0,9751
F3	$y = 0,4839e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9512	$y = -0,149\ln(x) + 0,9643$	R <sup>2</sup> = 0,9654
F4	$y = 0,5393e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9547	$y = -0,172\ln(x) + 1,0931$	R <sup>2</sup> = 0,9817
F5	$y = 0,5315e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9652	$y = -0,164\ln(x) + 1,048$	R <sup>2</sup> = 0,9825
F6	$y = 0,5019e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9609	$y = -0,156\ln(x) + 1,0014$	R <sup>2</sup> = 0,9911
F7	$y = 0,4548e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9318	$y = -0,141\ln(x) + 0,9196$	R <sup>2</sup> = 0,9528

Fuente: Elaboración propia

Tabla A8.6- Modelos por columnas para la humedad de las testas orientadas al oeste de las vigas

COLUMNAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
C1	$y = 0,4491e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9403	$y = -0,135\ln(x) + 0,893$	R <sup>2</sup> = 0,9625
C2	$y = 0,4804e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9609	$y = -0,145\ln(x) + 0,9419$	R <sup>2</sup> = 0,9859
C3	$y = 0,5023e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9584	$y = -0,158\ln(x) + 1,0087$	R <sup>2</sup> = 0,9882
C4	$y = 0,5525e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9461	$y = -0,175\ln(x) + 1,1113$	R <sup>2</sup> = 0,944
C5	$y = 0,5002e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9502	$y = -0,153\ln(x) + 0,991$	R <sup>2</sup> = 0,9585
C6	$y = 0,4787e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9448	$y = -0,148\ln(x) + 0,959$	R <sup>2</sup> = 0,957
C7	$y = 0,4693e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9534	$y = -0,144\ln(x) + 0,9335$	R <sup>2</sup> = 0,9804

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

Tabla A8.7- Modelos por filas para la humedad del centro de las vigas

FILAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
F1	$y = 0,4277e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9415	$y = -0,124\ln(x) + 0,8276$	R <sup>2</sup> = 0,9378
F2	$y = 0,4906e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9451	$y = -0,154\ln(x) + 0,9936$	R <sup>2</sup> = 0,9604
F3	$y = 0,5034e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9608	$y = -0,154\ln(x) + 0,9883$	R <sup>2</sup> = 0,9672
F4	$y = 0,5294e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9529	$y = -0,172\ln(x) + 1,0816$	R <sup>2</sup> = 0,9788
F5	$y = 0,5068e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9595	$y = -0,162\ln(x) + 1,027$	R <sup>2</sup> = 0,9893
F6	$y = 0,4773e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9566	$y = -0,148\ln(x) + 0,9512$	R <sup>2</sup> = 0,9893
F7	$y = 0,4498e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9441	$y = -0,136\ln(x) + 0,8905$	R <sup>2</sup> = 0,9618

Fuente: Elaboración propia

Tabla A8.8- Modelos por columnas para la humedad del centro de las vigas

COLUMNAS	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
C1	$y = 0,448e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9273	$y = -0,138\ln(x) + 0,9006$	R <sup>2</sup> = 0,9352
C2	$y = 0,4869e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,951	$y = -0,151\ln(x) + 0,9738$	R <sup>2</sup> = 0,9708
C3	$y = 0,516e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9508	$y = -0,165\ln(x) + 1,0466$	R <sup>2</sup> = 0,9718
C4	$y = 0,5272e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,962	$y = -0,164\ln(x) + 1,0489$	R <sup>2</sup> = 0,9739
C5	$y = 0,5044e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9539	$y = -0,157\ln(x) + 1,0046$	R <sup>2</sup> = 0,9678
C6	$y = 0,4826e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9466	$y = -0,155\ln(x) + 0,9903$	R <sup>2</sup> = 0,981
C7	$y = 0,4566e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9486	$y = -0,14\ln(x) + 0,903$	R <sup>2</sup> = 0,9644

Fuente: Elaboración propia

### 4. MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL DE LAS 49 VIGAS

Ahora se ofrecen para cada viga en particular los siguientes modelos de secado.

#### 4.1 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL DE CADA VIGA

Para cada una de las 49 vigas de la pila de madera aserrada se contruyeron los modelos logarítmicos de secado, tomando la totalidad de los datos de humedad sin hacer distinción en los puntos donde se realizaron las mediciones (testas y centro de las vigas).



ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

Tabla A8.9- Modelos de secado individual para la humedad de las vigas

CÓDIGO VIGAS			MODELO
VIGAS	F1-C1	1	HUMEDAD % = 82,2261 - 11,9669*ln(Tiempo_dias_)
	F1-C2	2	HUMEDAD % = 80,0302 - 11,3609*ln(Tiempo_dias_)
	F1-C3	3	HUMEDAD % = 76,9735 - 10,927*ln(Tiempo_dias_)
	F1-C4	4	HUMEDAD % = 75,6999 - 10,7462*ln(Tiempo_dias_)
	F1-C5	5	HUMEDAD % = 81,3033 - 12,0619*ln(Tiempo_dias_)
	F1-C6	6	HUMEDAD % = 84,6154 - 12,8*ln(Tiempo_dias_)
	F1-C7	7	HUMEDAD % = 77,889 - 11,5546*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C1	8	HUMEDAD % = 89,9775 - 13,3409*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C2	9	HUMEDAD % = 86,2284 - 13,044*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C3	10	HUMEDAD % = 99,9624 - 15,6153*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C4	11	HUMEDAD % = 96,188 - 14,5507*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C5	12	HUMEDAD % = 73,3953 - 10,419*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C6	13	HUMEDAD % = 79,7876 - 11,3265*ln(Tiempo_dias_)
	F2-C7	14	HUMEDAD % = 88,3104 - 13,359*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C1	15	HUMEDAD % = 84,8718 - 12,8388*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C2	16	HUMEDAD % = 92,0304 - 13,9217*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C3	17	HUMEDAD % = 103,778 - 16,4085*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C4	18	HUMEDAD % = 92,3992 - 13,9775*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C5	19	HUMEDAD % = 101,438 - 15,8082*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C6	20	HUMEDAD % = 95,2129 - 14,6216*ln(Tiempo_dias_)
	F3-C7	21	HUMEDAD % = 75,9816 - 11,2735*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C1	22	HUMEDAD % = 94,6437 - 14,3171*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C2	23	HUMEDAD % = 98,1449 - 14,8467*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C3	24	HUMEDAD % = 93,0557 - 14,0768*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C4	25	HUMEDAD % = 101,828 - 15,6706*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C5	26	HUMEDAD % = 128,476 - 20,5404*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C6	27	HUMEDAD % = 86,3585 - 12,8295*ln(Tiempo_dias_)
	F4-C7	28	HUMEDAD % = 91,3614 - 13,8205*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C1	29	HUMEDAD % = 68,8498 - 9,77376*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C2	30	HUMEDAD % = 76,6422 - 11,1352*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C3	31	HUMEDAD % = 85,2134 - 12,8905*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C4	32	HUMEDAD % = 98,4855 - 15,1334*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C5	33	HUMEDAD % = 84,1443 - 12,7288*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C6	34	HUMEDAD % = 107,076 - 16,93*ln(Tiempo_dias_)
	F5-C7	35	HUMEDAD % = 84,2394 - 12,7432*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C1	36	HUMEDAD % = 85,4594 - 12,9277*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C2	37	HUMEDAD % = 96,4568 - 14,5913*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C3	38	HUMEDAD % = 105,538 - 16,4615*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C4	39	HUMEDAD % = 123,083 - 19,4608*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C5	40	HUMEDAD % = 91,4927 - 13,8404*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C6	41	HUMEDAD % = 76,27 - 10,8271*ln(Tiempo_dias_)
	F6-C7	42	HUMEDAD % = 91,9928 - 13,916*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C1	43	HUMEDAD % = 69,2835 - 9,83531*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C2	44	HUMEDAD % = 95,4252 - 14,4353*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C3	45	HUMEDAD % = 92,8744 - 14,0494*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C4	46	HUMEDAD % = 81,4019 - 12,3139*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C5	47	HUMEDAD % = 83,5213 - 12,6345*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C6	48	HUMEDAD % = 94,4374 - 14,2858*ln(Tiempo_dias_)
	F7-C7	49	HUMEDAD % = 78,127 - 11,5889*ln(Tiempo_dias_)

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

A continuación se ofrecen las representaciones gráficas de todos los modelos logarítmicos anteriores, en las siguientes siete figuras:

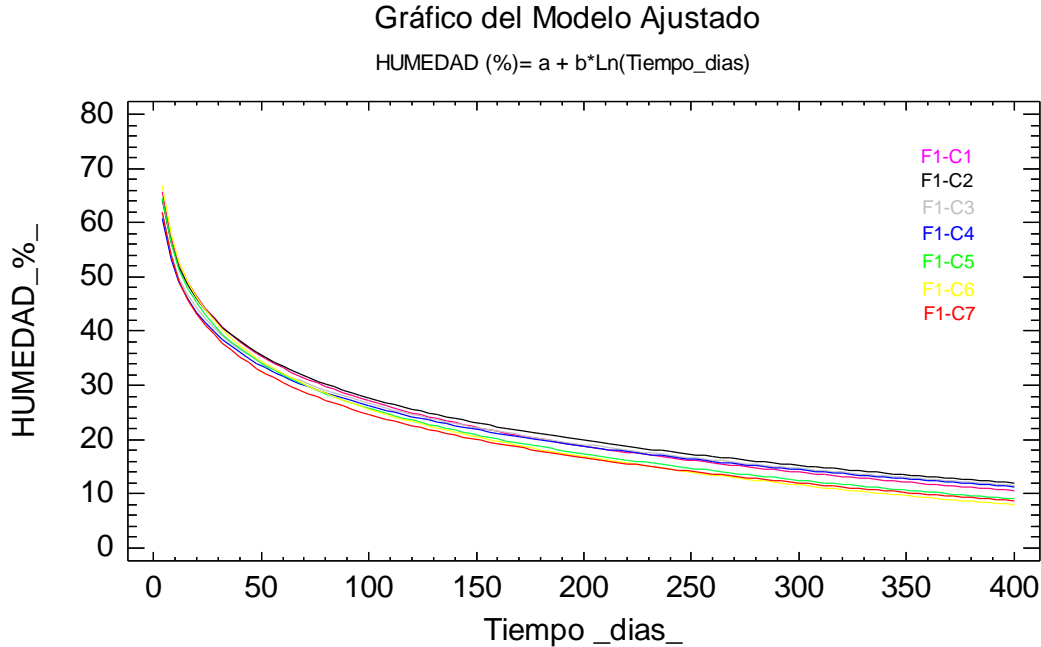


Figura A8.1- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 1.  
 Fuente: Elaboración propia

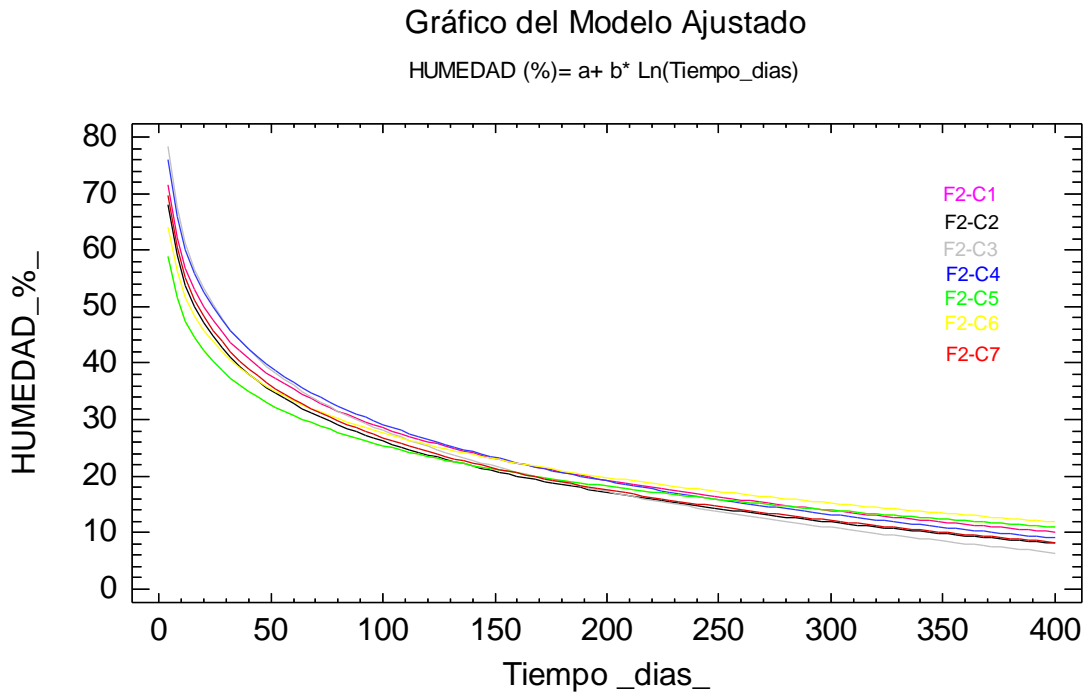


Figura A8.2- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 2.  
 Fuente: Elaboración propia





### ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

#### Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{HUMEDAD}(\%) = a + b \cdot \ln(\text{Tiempo\_dias\_})$$

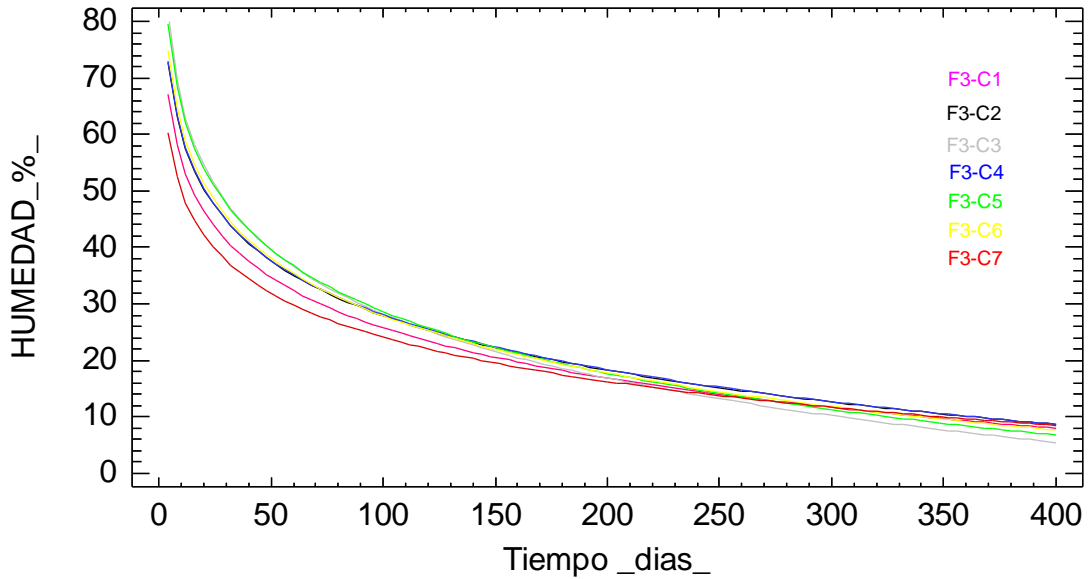


Figura A8.3- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 3.  
Fuente: Elaboración propia

#### Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{HUMEDAD}(\%) = a + b \cdot \ln(\text{Tiempo\_dias\_})$$

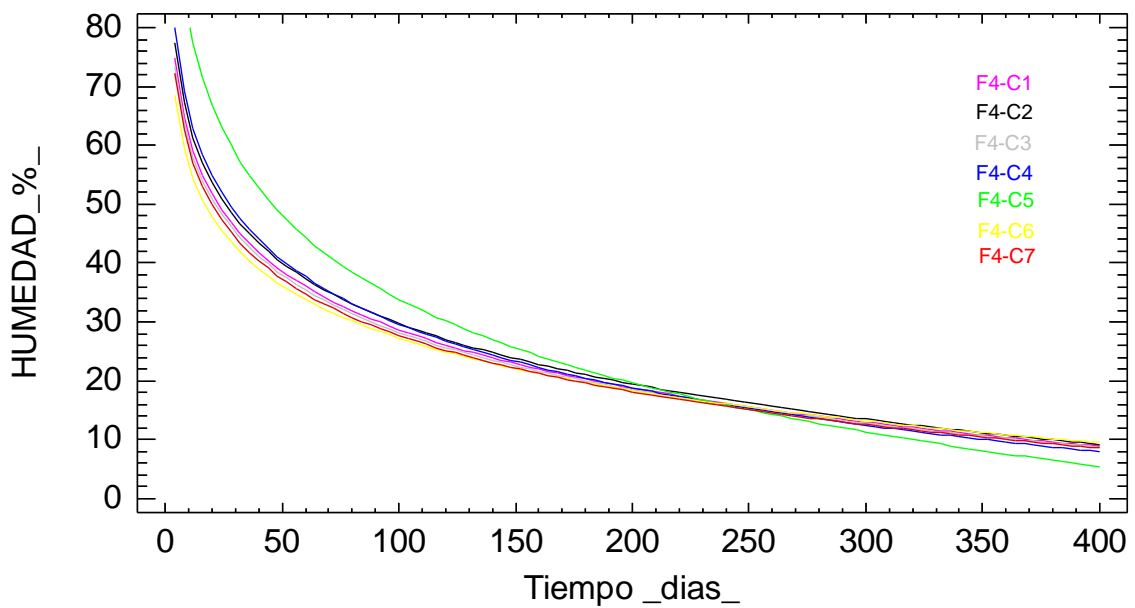


Figura A8.4- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 4.  
Fuente: Elaboración propia



ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{HUMEDAD}(\%) = a + b \cdot \ln(\text{Tiempo\_dias})$$

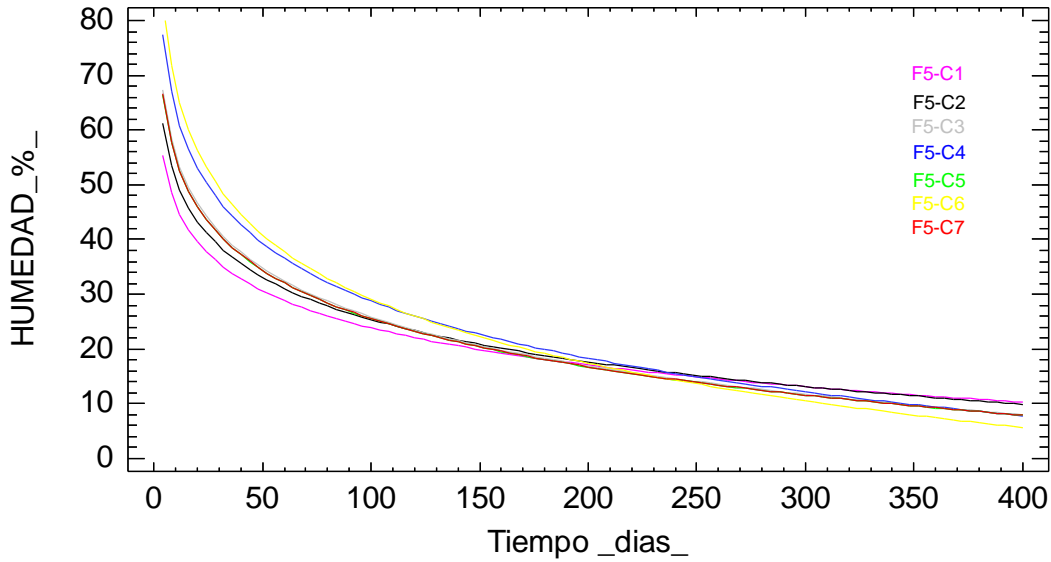


Figura A8.5- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 5.  
Fuente: Elaboración propia

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{HUMEDAD}(\%) = a + b \cdot \ln(\text{Tiempo\_dias})$$

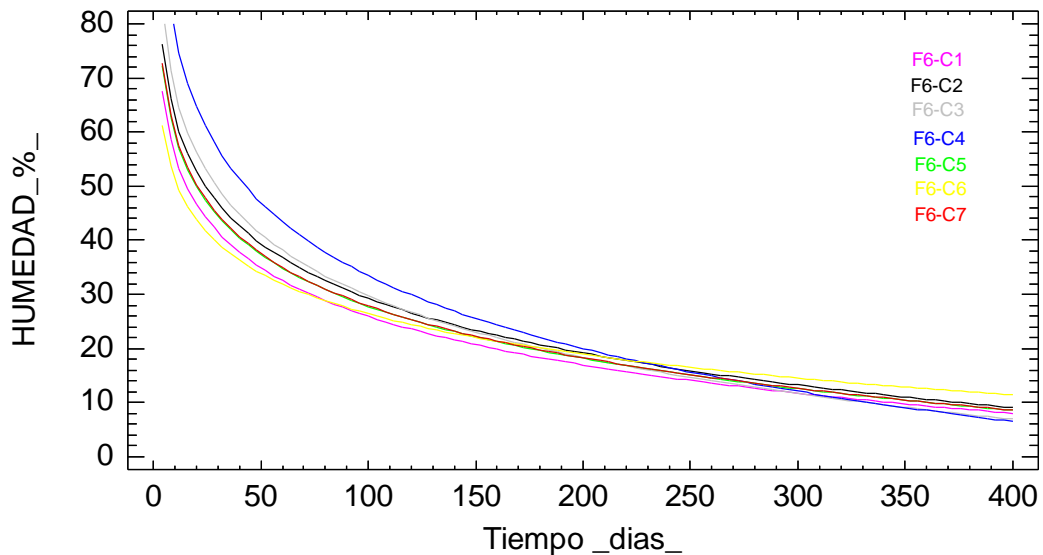


Figura A8.6- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 6.  
Fuente: Elaboración propia



ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

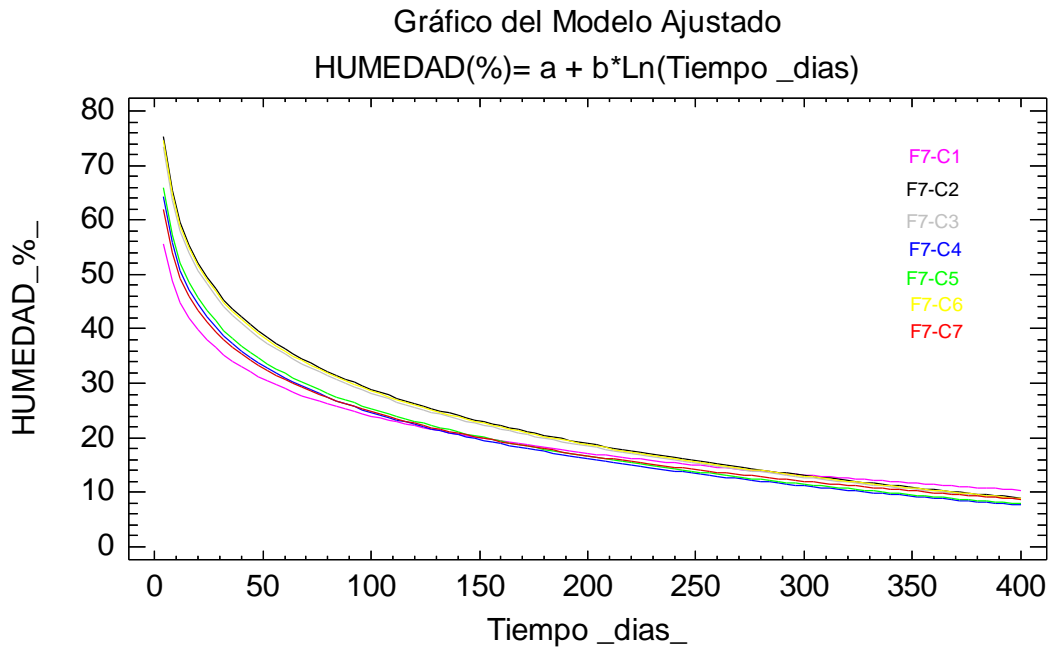


Figura A8.7- Representación de los modelos de secado individual para la humedad de las vigas de la fila 7.  
 Fuente: Elaboración propia

**4.2 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL SEGÚN LA HUMEDAD MEDIA DE CADA VIGA**

Para cada una de las 49 vigas de la pila de madera aserrada se determinó su humedad media como la media aritméticas de las humedades alcanzadas en sus testas este y oeste y en su centro.

Una vez obtenidas las humedades medias de todas las vigas, se contruyeron los modelos de secado.

Tabla A8.10- Modelos de secado individual para la humedad media de las vigas

VIGA	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
F1-C1	$y = 0,411e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,8938	$y = -0,119\ln(x) + 0,8079$	R <sup>2</sup> = 0,8937
F1-C2	$y = 0,44e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9254	$y = -0,124\ln(x) + 0,8452$	R <sup>2</sup> = 0,9268
F1-C3	$y = 0,4228e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9142	$y = -0,123\ln(x) + 0,824$	R <sup>2</sup> = 0,9031
F1-C4	$y = 0,4161e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9881	$y = -0,108\ln(x) + 0,7588$	R <sup>2</sup> = 0,972
F1-C5	$y = 0,4389e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9312	$y = -0,13\ln(x) + 0,8601$	R <sup>2</sup> = 0,9395
F1-C6	$y = 0,4513e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9221	$y = -0,144\ln(x) + 0,9242$	R <sup>2</sup> = 0,9644
F1-C7	$y = 0,4193e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9335	$y = -0,116\ln(x) + 0,7844$	R <sup>2</sup> = 0,9166



**ANEXO 8: MODELOS DE SECADO**

**Tabla A8.10- Modelos de secado individual para la humedad media de las vigas (continuación)**

VIGA	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
F2-C1	$y = 0,4866e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,923	$y = -0,15\ln(x) + 0,9803$	R <sup>2</sup> = 0,9785
F2-C2	$y = 0,4604e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9579	$y = -0,143\ln(x) + 0,9275$	R <sup>2</sup> = 0,9678
F2-C3	$y = 0,5286e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9591	$y = -0,172\ln(x) + 1,0874$	R <sup>2</sup> = 0,9741
F2-C4	$y = 0,5128e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9244	$y = -0,169\ln(x) + 1,0668$	R <sup>2</sup> = 0,9534
F2-C5	$y = 0,4036e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9869	$y = -0,099\ln(x) + 0,7083$	R <sup>2</sup> = 0,9384
F2-C6	$y = 0,4393e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9637	$y = -0,13\ln(x) + 0,869$	R <sup>2</sup> = 0,9723
F2-C7	$y = 0,4706e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9174	$y = -0,15\ln(x) + 0,9614$	R <sup>2</sup> = 0,9649
F3-C1	$y = 0,4525e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9287	$y = -0,143\ln(x) + 0,9305$	R <sup>2</sup> = 0,9139
F3-C2	$y = 0,4917e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9599	$y = -0,145\ln(x) + 0,9471$	R <sup>2</sup> = 0,9927
F3-C3	$y = 0,5471e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,949	$y = -0,173\ln(x) + 1,0916$	R <sup>2</sup> = 0,9753
F3-C4	$y = 0,4927e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9848	$y = -0,138\ln(x) + 0,9131$	R <sup>2</sup> = 0,9586
F3-C5	$y = 0,538e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,9385	$y = -0,172\ln(x) + 1,0864$	R <sup>2</sup> = 0,968
F3-C6	$y = 0,5056e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9302	$y = -0,167\ln(x) + 1,051$	R <sup>2</sup> = 0,9655
F3-C7	$y = 0,4093e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9768	$y = -0,107\ln(x) + 0,7348$	R <sup>2</sup> = 0,9504
F4-C1	$y = 0,5046e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9278	$y = -0,164\ln(x) + 1,0389$	R <sup>2</sup> = 0,9622
F4-C2	$y = 0,5236e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9463	$y = -0,183\ln(x) + 1,1398$	R <sup>2</sup> = 0,9833
F4-C3	$y = 0,4964e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9429	$y = -0,177\ln(x) + 1,0965$	R <sup>2</sup> = 0,9777
F4-C4	$y = 0,5417e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9622	$y = -0,164\ln(x) + 1,0574$	R <sup>2</sup> = 0,9674
F4-C5	$y = 0,6767e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,9409	$y = -0,226\ln(x) + 1,3901$	R <sup>2</sup> = 0,909
F4-C6	$y = 0,4664e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9624	$y = -0,143\ln(x) + 0,9303$	R <sup>2</sup> = 0,9778
F4-C7	$y = 0,4872e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9311	$y = -0,159\ln(x) + 1,0083$	R <sup>2</sup> = 0,9806
F5-C1	$y = 0,4556e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9382	$y = -0,141\ln(x) + 0,9083$	R <sup>2</sup> = 0,9719
F5-C2	$y = 0,5157e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9618	$y = -0,171\ln(x) + 1,0796$	R <sup>2</sup> = 0,9875
F5-C3	$y = 0,5582e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,9526	$y = -0,191\ln(x) + 1,1875$	R <sup>2</sup> = 0,9818
F5-C4	$y = 0,6486e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,9435	$y = -0,196\ln(x) + 1,2308$	R <sup>2</sup> = 0,896
F5-C5	$y = 0,4886e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9458	$y = -0,167\ln(x) + 1,0525$	R <sup>2</sup> = 0,9826
F5-C6	$y = 0,4192e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9685	$y = -0,121\ln(x) + 0,8113$	R <sup>2</sup> = 0,975
F5-C7	$y = 0,4908e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9631	$y = -0,145\ln(x) + 0,9431$	R <sup>2</sup> = 0,9845
F6-C1	$y = 0,3984e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9707	$y = -0,107\ln(x) + 0,7362$	R <sup>2</sup> = 0,9621
F6-C2	$y = 0,4385e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9396	$y = -0,129\ln(x) + 0,8532$	R <sup>2</sup> = 0,9484
F6-C3	$y = 0,4785e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9562	$y = -0,145\ln(x) + 0,9368$	R <sup>2</sup> = 0,9866
F6-C4	$y = 0,5511e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,9407	$y = -0,192\ln(x) + 1,1942$	R <sup>2</sup> = 0,973
F6-C5	$y = 0,4722e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9545	$y = -0,142\ln(x) + 0,921$	R <sup>2</sup> = 0,9748
F6-C6	$y = 0,595e^{-0,006x}$	R <sup>2</sup> = 0,9493	$y = -0,182\ln(x) + 1,1438$	R <sup>2</sup> = 0,9454
F6-C7	$y = 0,473e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9347	$y = -0,162\ln(x) + 1,0252$	R <sup>2</sup> = 0,9691



**ANEXO 8: MODELOS DE SECADO**

**Tabla A8.10- Modelos de secado individual para la humedad media de las vigas (continuación).**

VIGA	TIPO DE CURVA			
	Exponencial	R <sup>2</sup>	Logarítmica	R <sup>2</sup>
<b>F7-C1</b>	$y = 0,3809e^{-0,004x}$	R <sup>2</sup> = 0,9453	$y = -0,103\ln(x) + 0,7068$	R <sup>2</sup> = 0,9322
<b>F7-C2</b>	$y = 0,5088e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,938	$y = -0,16\ln(x) + 1,0264$	R <sup>2</sup> = 0,9736
<b>F7-C3</b>	$y = 0,496e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,966	$y = -0,144\ln(x) + 0,9462$	R <sup>2</sup> = 0,9883
<b>F7-C4</b>	$y = 0,4341e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9245	$y = -0,148\ln(x) + 0,9436$	R <sup>2</sup> = 0,9347
<b>F7-C5</b>	$y = 0,4453e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9402	$y = -0,132\ln(x) + 0,8723$	R <sup>2</sup> = 0,9539
<b>F7-C6</b>	$y = 0,5039e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,941	$y = -0,159\ln(x) + 1,0166$	R <sup>2</sup> = 0,9778
<b>F7-C7</b>	$y = 0,4213e^{-0,005x}$	R <sup>2</sup> = 0,9548	$y = -0,122\ln(x) + 0,8124$	R <sup>2</sup> = 0,9521

Fuente: Elaboración propia

**4.3 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL PARA LA HUMEDAD DE LAS TESTAS DE LAS VIGAS**

Seguidamente se presentan los modelos logarítmico y exponencial para la humedad de las testas orientadas al este y al oeste.



### ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

Tabla A8.11- Modelos para la humedad de las testas orientadas al ESTE (izq.) y para las testas orientadas al OESTE (dcha.) de las vigas

	TIPO DE CURVA					TIPO DE CURVA			
	Logarítmica	R2	Exponencial	R2		Logarítmica	R2	Exponencial	R2
F1-C1	$y = -0,129\ln(x) + 0,8635$	$R^2 = 0,8735$	$y = 0,4235e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,8659$	F1-C1	$y = -0,109\ln(x) + 0,7603$	$R^2 = 0,8907$	$y = 0,3983e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,8891$
F1-C2	$y = -0,132\ln(x) + 0,885$	$R^2 = 0,9563$	$y = 0,4482e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,927$	F1-C2	$y = -0,119\ln(x) + 0,8141$	$R^2 = 0,9044$	$y = 0,4201e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9098$
F1-C3	$y = -0,121\ln(x) + 0,811$	$R^2 = 0,8909$	$y = 0,4168e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9085$	F1-C3	$y = -0,124\ln(x) + 0,837$	$R^2 = 0,9114$	$y = 0,4384e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9259$
F1-C4	$y = -0,099\ln(x) + 0,7071$	$R^2 = 0,96$	$y = 0,3955e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9859$	F1-C4	$y = -0,111\ln(x) + 0,778$	$R^2 = 0,9683$	$y = 0,4247e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9868$
F1-C5	$y = -0,141\ln(x) + 0,9175$	$R^2 = 0,9696$	$y = 0,4526e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9251$	F1-C5	$y = -0,116\ln(x) + 0,7889$	$R^2 = 0,8638$	$y = 0,4197e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9071$
F1-C6	$y = -0,145\ln(x) + 0,9269$	$R^2 = 0,9559$	$y = 0,4441e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,907$	F1-C6	$y = -0,144\ln(x) + 0,93$	$R^2 = 0,9713$	$y = 0,4702e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9385$
F1-C7	$y = -0,11\ln(x) + 0,7544$	$R^2 = 0,9049$	$y = 0,4034e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9273$	F1-C7	$y = -0,127\ln(x) + 0,8477$	$R^2 = 0,9179$	$y = 0,44e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9332$
F2-C1	$y = -0,154\ln(x) + 0,9975$	$R^2 = 0,9284$	$y = 0,476e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,8776$	F2-C1	$y = -0,138\ln(x) + 0,9218$	$R^2 = 0,9611$	$y = 0,4784e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9401$
F2-C2	$y = -0,154\ln(x) + 0,9825$	$R^2 = 0,9318$	$y = 0,4614e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9362$	F2-C2	$y = -0,12\ln(x) + 0,8088$	$R^2 = 0,9667$	$y = 0,4347e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,975$
F2-C3	$y = -0,188\ln(x) + 1,172$	$R^2 = 0,976$	$y = 0,5585e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9539$	F2-C3	$y = -0,137\ln(x) + 0,8947$	$R^2 = 0,9647$	$y = 0,4443e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9553$
F2-C4	$y = -0,168\ln(x) + 1,0577$	$R^2 = 0,9474$	$y = 0,5007e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9129$	F2-C4	$y = -0,17\ln(x) + 1,074$	$R^2 = 0,9584$	$y = 0,5232e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9318$
F2-C5	$y = -0,082\ln(x) + 0,6004$	$R^2 = 0,9019$	$y = 0,3557e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9779$	F2-C5	$y = -0,115\ln(x) + 0,8028$	$R^2 = 0,9575$	$y = 0,4419e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9837$
F2-C6	$y = -0,119\ln(x) + 0,8172$	$R^2 = 0,9753$	$y = 0,4341e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9814$	F2-C6	$y = -0,146\ln(x) + 0,9529$	$R^2 = 0,9169$	$y = 0,4469e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9225$
F2-C7	$y = -0,142\ln(x) + 0,9213$	$R^2 = 0,9518$	$y = 0,4446e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,8928$	F2-C7	$y = -0,145\ln(x) + 0,9417$	$R^2 = 0,9786$	$y = 0,4708e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9325$
F3-C1	$y = -0,132\ln(x) + 0,8706$	$R^2 = 0,9031$	$y = 0,431e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9231$	F3-C1	$y = -0,15\ln(x) + 0,9747$	$R^2 = 0,9238$	$y = 0,4675e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9308$
F3-C2	$y = -0,16\ln(x) + 1,0239$	$R^2 = 0,9821$	$y = 0,5085e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9427$	F3-C2	$y = -0,144\ln(x) + 0,9395$	$R^2 = 0,9866$	$y = 0,4918e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9552$
F3-C3	$y = -0,168\ln(x) + 1,0576$	$R^2 = 0,9822$	$y = 0,5229e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,945$	F3-C3	$y = -0,166\ln(x) + 1,0497$	$R^2 = 0,9899$	$y = 0,5298e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9559$
F3-C4	$y = -0,134\ln(x) + 0,8857$	$R^2 = 0,9478$	$y = 0,4714e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9724$	F3-C4	$y = -0,125\ln(x) + 0,8433$	$R^2 = 0,9495$	$y = 0,4637e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9838$
F3-C5	$y = -0,161\ln(x) + 1,0188$	$R^2 = 0,9342$	$y = 0,5143e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9377$	F3-C5	$y = -0,175\ln(x) + 1,1049$	$R^2 = 0,9584$	$y = 0,5389e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,925$
F3-C6	$y = -0,171\ln(x) + 1,0683$	$R^2 = 0,9541$	$y = 0,5056e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9191$	F3-C6	$y = -0,165\ln(x) + 1,0429$	$R^2 = 0,9698$	$y = 0,5064e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9318$
F3-C7	$y = -0,095\ln(x) + 0,6749$	$R^2 = 0,9246$	$y = 0,3903e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9765$	F3-C7	$y = -0,118\ln(x) + 0,7926$	$R^2 = 0,9602$	$y = 0,419e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9642$
F4-C1	$y = -0,165\ln(x) + 1,0453$	$R^2 = 0,9526$	$y = 0,5065e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,923$	F4-C1	$y = -0,159\ln(x) + 1,0149$	$R^2 = 0,9722$	$y = 0,4954e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9289$
F4-C2	$y = -0,187\ln(x) + 1,1584$	$R^2 = 0,9756$	$y = 0,5274e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9388$	F4-C2	$y = -0,187\ln(x) + 1,1597$	$R^2 = 0,9783$	$y = 0,529e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9424$
F4-C3	$y = -0,179\ln(x) + 1,116$	$R^2 = 0,9819$	$y = 0,5179e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,951$	F4-C3	$y = -0,171\ln(x) + 1,0642$	$R^2 = 0,9646$	$y = 0,473e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9317$
F4-C4	$y = -0,139\ln(x) + 0,916$	$R^2 = 0,9711$	$y = 0,486e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9735$	F4-C4	$y = -0,198\ln(x) + 1,2459$	$R^2 = 0,9188$	$y = 0,6159e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9339$
F4-C5	$y = -0,227\ln(x) + 1,3963$	$R^2 = 0,8959$	$y = 0,682e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9342$	F4-C5	$y = -0,221\ln(x) + 1,365$	$R^2 = 0,9136$	$y = 0,659e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9396$
F4-C6	$y = -0,135\ln(x) + 0,8856$	$R^2 = 0,9642$	$y = 0,4446e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9527$	F4-C6	$y = -0,102\ln(x) + 0,7248$	$R^2 = 0,9275$	$y = 0,4145e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9831$
F4-C7	$y = -0,163\ln(x) + 1,0272$	$R^2 = 0,9682$	$y = 0,4907e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,922$	F4-C7	$y = -0,156\ln(x) + 0,9918$	$R^2 = 0,9841$	$y = 0,4872e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9358$
F5-C1	$y = -0,139\ln(x) + 0,8999$	$R^2 = 0,9678$	$y = 0,4507e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9315$	F5-C1	$y = -0,145\ln(x) + 0,9296$	$R^2 = 0,9795$	$y = 0,4635e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9434$
F5-C2	$y = -0,187\ln(x) + 1,1618$	$R^2 = 0,9625$	$y = 0,5277e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9371$	F5-C2	$y = -0,146\ln(x) + 0,9467$	$R^2 = 0,9803$	$y = 0,4949e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9825$
F5-C3	$y = -0,183\ln(x) + 1,1406$	$R^2 = 0,9855$	$y = 0,5269e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9474$	F5-C3	$y = -0,2\ln(x) + 1,2386$	$R^2 = 0,9644$	$y = 0,5945e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9518$
F5-C4	$y = -0,194\ln(x) + 1,2296$	$R^2 = 0,9004$	$y = 0,6609e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9537$	F5-C4	$y = -0,2\ln(x) + 1,257$	$R^2 = 0,8581$	$y = 0,6597e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9215$
F5-C5	$y = -0,138\ln(x) + 0,9027$	$R^2 = 0,9903$	$y = 0,4563e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9743$	F5-C5	$y = -0,186\ln(x) + 1,1498$	$R^2 = 0,9706$	$y = 0,5053e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9259$
F5-C6	$y = -0,117\ln(x) + 0,7921$	$R^2 = 0,9823$	$y = 0,4096e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9717$	F5-C6	$y = -0,121\ln(x) + 0,8169$	$R^2 = 0,9643$	$y = 0,4296e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9678$
F5-C7	$y = -0,146\ln(x) + 0,947$	$R^2 = 0,9842$	$y = 0,4817e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9496$	F5-C7	$y = -0,152\ln(x) + 0,986$	$R^2 = 0,9833$	$y = 0,5294e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9773$
F6-C1	$y = -0,104\ln(x) + 0,7178$	$R^2 = 0,9654$	$y = 0,3845e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9686$	F6-C1	$y = -0,119\ln(x) + 0,8106$	$R^2 = 0,9681$	$y = 0,4348e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9777$
F6-C2	$y = -0,122\ln(x) + 0,8231$	$R^2 = 0,9226$	$y = 0,4303e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9308$	F6-C2	$y = -0,139\ln(x) + 0,9037$	$R^2 = 0,9675$	$y = 0,4613e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9445$
F6-C3	$y = -0,14\ln(x) + 0,9136$	$R^2 = 0,9712$	$y = 0,4666e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,946$	F6-C3	$y = -0,146\ln(x) + 0,9444$	$R^2 = 0,9867$	$y = 0,4881e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9596$
F6-C4	$y = -0,188\ln(x) + 1,1661$	$R^2 = 0,9684$	$y = 0,5215e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9292$	F6-C4	$y = -0,192\ln(x) + 1,196$	$R^2 = 0,9764$	$y = 0,5577e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9435$
F6-C5	$y = -0,15\ln(x) + 0,9669$	$R^2 = 0,9859$	$y = 0,494e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9566$	F6-C5	$y = -0,135\ln(x) + 0,888$	$R^2 = 0,96$	$y = 0,4602e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9504$
F6-C6	$y = -0,178\ln(x) + 1,133$	$R^2 = 0,8874$	$y = 0,6075e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9358$	F6-C6	$y = -0,187\ln(x) + 1,1784$	$R^2 = 0,936$	$y = 0,6094e^{-0,006x}$	$R^2 = 0,9471$
F6-C7	$y = -0,166\ln(x) + 1,0432$	$R^2 = 0,9551$	$y = 0,4659e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9197$	F6-C7	$y = -0,174\ln(x) + 1,0906$	$R^2 = 0,9695$	$y = 0,4955e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9344$
F7-C1	$y = -0,111\ln(x) + 0,7482$	$R^2 = 0,893$	$y = 0,3854e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9166$	F7-C1	$y = -0,099\ln(x) + 0,6895$	$R^2 = 0,9417$	$y = 0,373e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,9481$
F7-C2	$y = -0,158\ln(x) + 1,0162$	$R^2 = 0,9549$	$y = 0,49e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,913$	F7-C2	$y = -0,159\ln(x) + 1,0189$	$R^2 = 0,9889$	$y = 0,5164e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9525$
F7-C3	$y = -0,137\ln(x) + 0,9126$	$R^2 = 0,9642$	$y = 0,4861e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,963$	F7-C3	$y = -0,159\ln(x) + 1,0298$	$R^2 = 0,9915$	$y = 0,5324e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,965$
F7-C4	$y = -0,148\ln(x) + 0,9464$	$R^2 = 0,943$	$y = 0,4415e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9338$	F7-C4	$y = -0,153\ln(x) + 0,9722$	$R^2 = 0,9256$	$y = 0,4375e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9158$
F7-C5	$y = -0,133\ln(x) + 0,8785$	$R^2 = 0,9559$	$y = 0,448e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9412$	F7-C5	$y = -0,131\ln(x) + 0,8644$	$R^2 = 0,9519$	$y = 0,4437e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9363$
F7-C6	$y = -0,151\ln(x) + 0,9701$	$R^2 = 0,9863$	$y = 0,4907e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9487$	F7-C6	$y = -0,168\ln(x) + 1,0645$	$R^2 = 0,9605$	$y = 0,5207e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,936$
F7-C7	$y = -0,129\ln(x) + 0,8521$	$R^2 = 0,8871$	$y = 0,4212e^{-0,005x}$	$R^2 = 0,9148$	F7-C7	$y = -0,117\ln(x) + 0,7856$	$R^2 = 0,9485$	$y = 0,4065e^{-0,004x}$	$R^2 = 0,952$

Fuente: Elaboración propia



ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

4.4 MODELOS DE SECADO INDIVIDUAL PARA LA HUMEDAD DEL CENTRO DE LAS VIGAS

La siguiente tabla recoge los modelos exponencial, lineal, logarítmico, polinómico de grado 2 y potencial de pérdida de humedad en el centro de las vigas.

Tabla A8.12- Modelos para la humedad del CENTRO de las vigas

Table with 7 columns: Exponencial, Lineal, Logarítmico, Polinómica (grado 2), Potencial, R2, and R2. It lists 49 models (F1-C1 to F7-C7) with their respective equations and R-squared values.

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 8: MODELOS DE SECADO

---





# **ANEXO 9. AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON**





## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

---

# ANEXO 9. AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Como se ha comentado con anterioridad, el modelo de Peleg es una ecuación empírica desarrollada por medio de ajustes a datos experimentales y que tiene como forma la siguiente expresión:

$$H_t = H_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t}$$

Dónde:

$H_t$ : el contenido de humedad en base seca (%) a un tiempo dado  $t$ ;

$H_0$ : el contenido de humedad inicial (%);

$K_1$ : la constante de velocidad;

$K_2$ : la constante de capacidad.

El objetivo fue tratar de explicar el funcionamiento del secado de la madera aserrada, para conocer si el proceso de deshidratación de este material con respecto al tiempo se ajusta a dicha ecuación. Para ello, se hizo necesario determinar las constantes del modelo  $k_1$  (constante de velocidad, y  $k_2$  (constante de capacidad).

Se determinaron 49 modelos de secado teóricos de Peleg, uno por cada viga, en los que únicamente cambiaban las constantes del modelo. En todos ellos se estableció como valor de referencia 1 para la constante de velocidad  $k_1$ , mientras que la constante de capacidad  $k_2$  era la que fue variando.

Los resultados de las humedades teóricas alcanzadas con el modelo de secado de Peleg vienen recogidos en las siguientes tablas. Asimismo, es posible certificar visualmente el buen ajuste mediante los gráficos que acompañan a dichas tablas.



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

---

A parte del secado mediante el modelo de Peleg, se ha aprovechado para conocer el ajuste al modelo de deshidratación propuesto por Newton, que tiene la siguiente expresión:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Dónde:

- N el contenido de humedad a un tiempo dado, t;  
 H<sub>0</sub> el contenido de humedad inicial presente en el instante t=0;  
 λ la constante de secado, que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{0,693}{t_{1/2}}$$

Dónde:

- λ la constante de secado  
 t<sub>1/2</sub> período de secado medio para que el contenido de humedad baje a la mitad

A continuación se presentan para las 49 vigas las tablas donde se muestran los resultados de las humedades reales que se determinaron mediante xilohigrómetro, y teóricas para los modelos de Peleg y Newton. Cada una de las mismas viene acompañada con una gráfica que por medio de líneas punteadas, refleja la evolución de la humedad real (puntos azules), con respecto a la humedad teórica obtenida con el modelo de deshidratación de Peleg (puntos de color rojo). Se ha omitido la representación gráfica de la evolución de la humedad resultante de la aplicación del modelo teórico de Newton debido a que su ajuste no fue tan bueno (no obstante, las tablas sí que ofrecen los valores obtenidos con dicho modelo).



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.1- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C1

F1-C1							F1-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
55		10	1	0,0195	46,631	49,491	55		163	1	0,0195	15,990	9,846
55	54,900	16	1	0,0195	42,804	46,454	55	19,600	170	1	0,0195	15,602	9,144
55		23	1	0,0195	39,121	43,146	55		177	1	0,0195	15,238	8,493
55	30,866	34	1	0,0195	34,555	38,417	55	19,933	184	1	0,0195	14,895	7,888
55		52	1	0,0195	29,180	31,770	55		191	1	0,0195	14,572	7,327
55	28,433	58	1	0,0195	27,782	29,821	55	18,466	198	1	0,0195	14,267	6,805
55		68	1	0,0195	25,765	26,834	55		206	1	0,0195	13,939	6,254
55	27,566	72	1	0,0195	25,049	25,725	55	22,500	213	1	0,0195	13,668	5,808
55		83	1	0,0195	23,302	22,905	55		229	1	0,0195	13,100	4,9063
55	27,100	92	1	0,0195	22,072	20,829	55	17,900	233	1	0,0195	12,968	4,703
55		97	1	0,0195	21,453	19,759	55		254	1	0,0195	12,332	3,768
55	26,166	101	1	0,0195	20,987	18,942	55	10,600	268	1	0,0195	11,954	3,250
55		107	1	0,0195	20,332	17,780	55		281	1	0,0195	11,632	2,834
55	24,366	114	1	0,0195	19,629	16,513	55	11,933	309	1	0,0195	11,0173	2,109
55		122	1	0,0195	18,894	15,176	55		324	1	0,0195	10,725	1,800
55	24,0333	128	1	0,0195	18,386	14,245	55	10,533	326	1	0,0195	10,688	1,762
55		135	1	0,0195	17,835	13,231	55		345	1	0,0195	10,354	1,442
55	23,033	143	1	0,0195	17,254	12,159	55	10,233	351	1	0,0195	10,255	1,353
55		149	1	0,0195	16,848	11,413							
55	22,366	156	1	0,0195	16,405	10,601							

\*λ=0,0105537292420772

Fuente: Elaboración propia

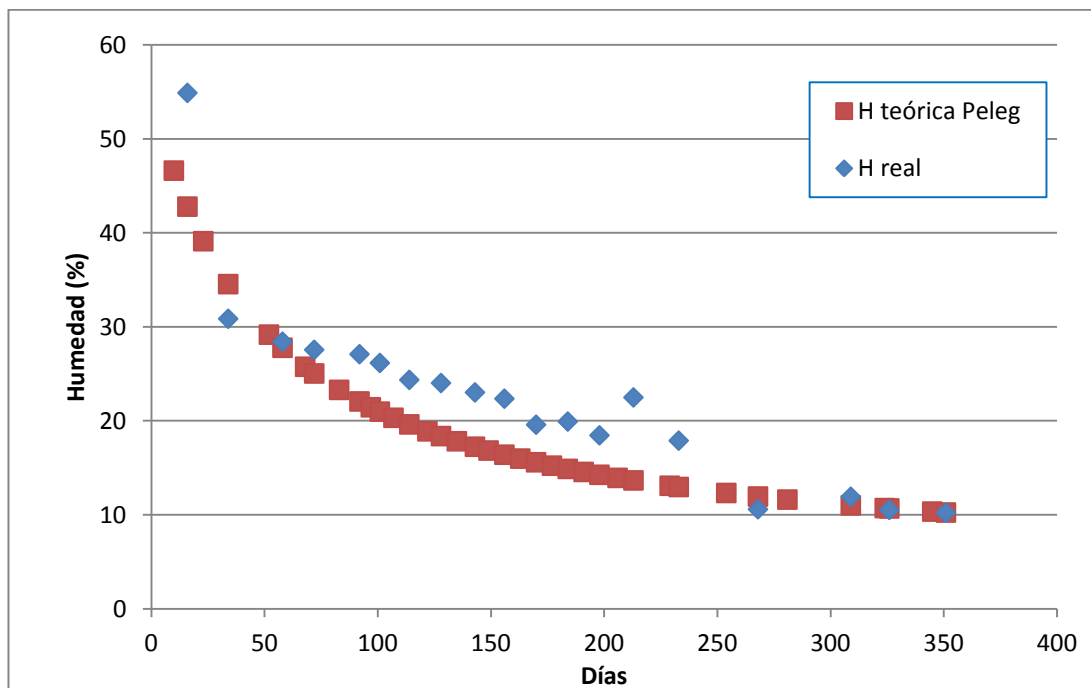


Figura A9.1- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C1. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.2- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C2

F1-C2							F1-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
63,7	63,666	10	1	0,0163	55,101	57,498	63,7	23,166	163	1	0,0163	19,126	11,996
63,7		16	1	0,0163	51,009	54,071	63,7		170	1	0,0163	18,619	11,166
63,7	35,466	23	1	0,0163	46,971	50,330	63,7	21,333	177	1	0,0163	18,141	10,394
63,7		34	1	0,0163	41,823	44,967	63,7		184	1	0,0163	17,690	9,674
63,7	33,833	52	1	0,0163	35,555	37,396	63,7	20,333	191	1	0,0163	17,265	9,005
63,7		58	1	0,0163	33,886	35,167	63,7		198	1	0,0163	16,862	8,382
63,7	31,366	68	1	0,0163	31,448	31,743	63,7	18,6	206	1	0,0163	16,428	7,723
63,7		72	1	0,0163	30,575	30,469	63,7		213	1	0,0163	16,069	7,188
63,7	29,733	83	1	0,0163	28,424	27,222	63,7	18,2	229	1	0,0163	15,313	6,102
63,7		92	1	0,0163	26,894	24,825	63,7		233	1	0,0163	15,137	5,857
63,7	26,966	97	1	0,0163	26,119	23,585	63,7	15,766	254	1	0,0163	14,285	4,723
63,7		101	1	0,0163	25,533	22,639	63,7		268	1	0,0163	13,778	4,092
63,7	25,600	107	1	0,0163	24,707	21,289	63,7	13,7	281	1	0,0163	13,344	3,582
63,7		114	1	0,0163	23,814	19,816	63,7		309	1	0,0163	12,513	2,689
63,7	25,1333	122	1	0,0163	22,878	18,257	63,7	11,233	324	1	0,0163	12,117	2,306
63,7		128	1	0,0163	22,227	17,169	63,7		326	1	0,0163	12,067	2,259
63,7	24,600	135	1	0,0163	21,519	15,981	63,7	11,733	345	1	0,0163	11,612	1,859
63,7		143	1	0,0163	20,768	14,724	63,7		351	1	0,0163	11,477	1,748
63,7	23,700	149	1	0,0163	20,243	13,846							
63,7		156	1	0,0163	19,667	12,888							

\*λ=0,0102426211058468

Fuente: Elaboración propia

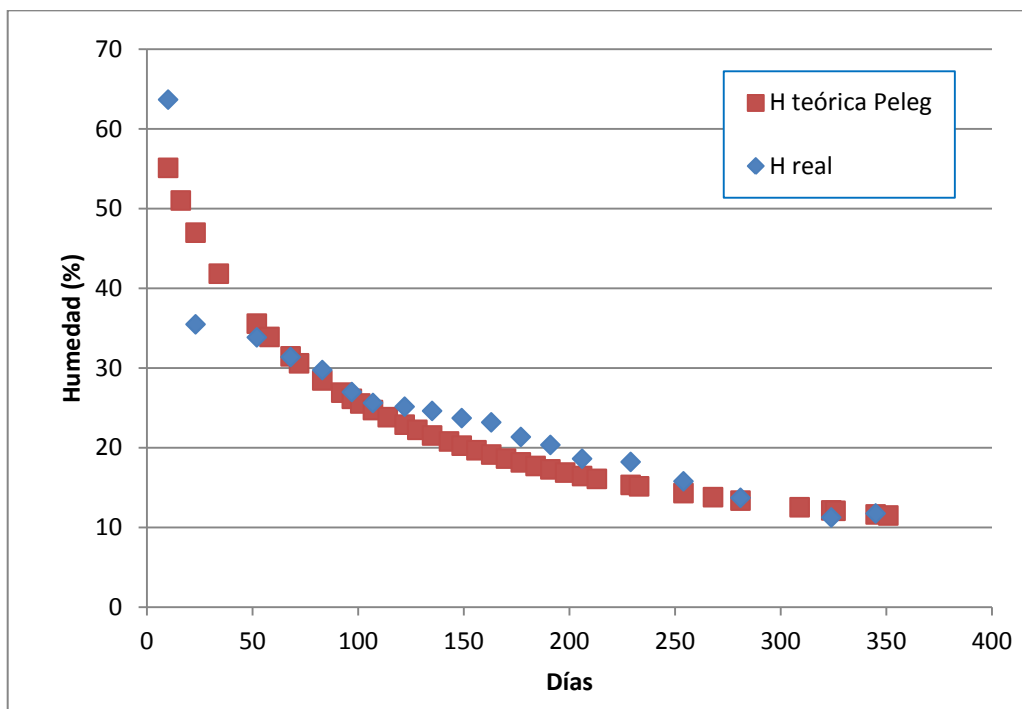


Figura A9.2- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C2. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.3- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C3

F1-C3							F1-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
63,4	63,333	10	1	0,016	54,779	56,534	63,4	21,633	163	1	0,016	18,222	9,789
63,4		16	1	0,016	50,661	52,777	63,4		170	1	0,016	17,701	9,035
63,4	32,933	23	1	0,016	46,587	48,708	63,4	21,333	177	1	0,016	17,210	8,338
63,4		34	1	0,016	41,379	42,939	63,4		184	1	0,016	16,746	7,695
63,4	30,366	52	1	0,016	35,015	34,935	63,4	19,133	191	1	0,016	16,309	7,102
63,4		58	1	0,016	33,317	32,613	63,4		198	1	0,016	15,895	6,554
63,4	30,433	68	1	0,016	30,832	29,082	63,4	18,033	206	1	0,016	15,448	5,980
63,4		72	1	0,016	29,942	27,778	63,4		213	1	0,016	15,078	5,519
63,4	27,966	83	1	0,016	27,747	24,488	63,4	16,966	229	1	0,016	14,300	4,594
63,4		92	1	0,016	26,183	22,088	63,4		233	1	0,016	14,119	4,388
63,4	25,300	97	1	0,016	25,390	20,858	63,4	13,7333	254	1	0,016	13,242	3,450
63,4		101	1	0,016	24,791	19,923	63,4		268	1	0,016	12,719	2,938
63,4	24,300	107	1	0,016	23,945	18,599	63,4	11,700	281	1	0,016	12,271	2,531
63,4		114	1	0,016	23,031	17,165	63,4		309	1	0,016	11,414	1,836
63,4	23,466	122	1	0,016	22,072	15,661	63,4	11,333	324	1	0,016	11,006	1,546
63,4		128	1	0,016	21,405	14,621	63,4		326	1	0,016	10,954	1,511
63,4	23,166	135	1	0,016	20,678	13,493	63,4	10,033	345	1	0,016	10,485	1,215
63,4		143	1	0,016	19,908	12,311	63,4		351	1	0,016	10,346	1,135
63,4	22,333	149	1	0,016	19,369	11,493							
63,4		156	1	0,016	18,777	10,607							

\*λ=0,011460925012472

Fuente: Elaboración propia

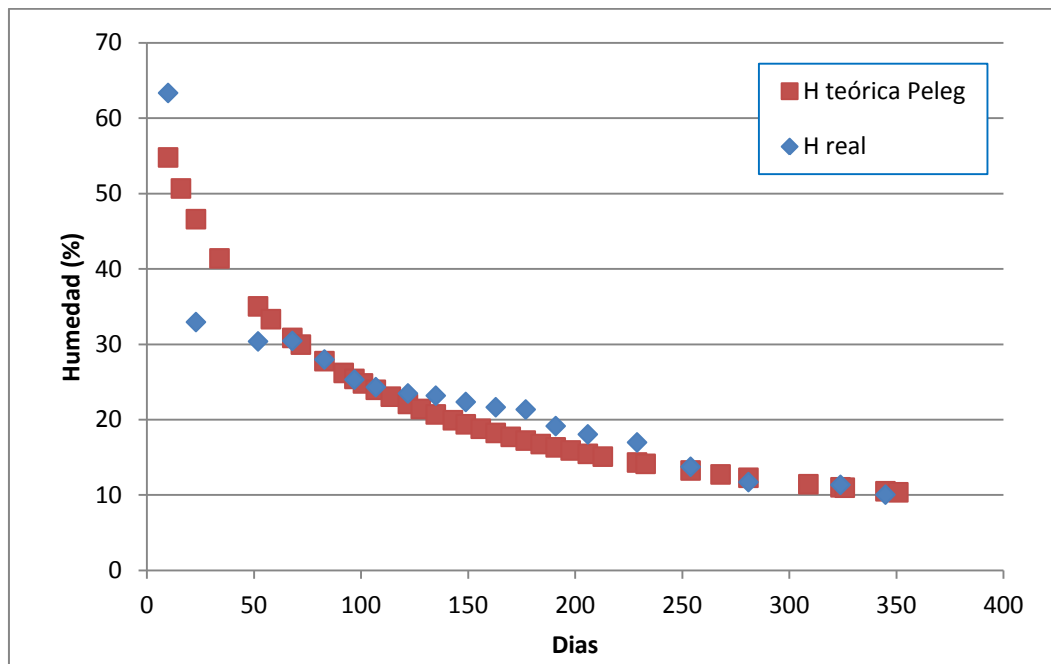


Figura A9.3- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.4- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C4

F1-C4							F1-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
44,3		10	1	0,0272	36,438	39,273	44,3		163	1	0,0272	14,301	6,221
44,3	44,200	16	1	0,0272	33,151	36,536	44,3	19,966	170	1	0,0272	14,072	5,718
44,3		23	1	0,0272	30,151	33,582	44,3		177	1	0,0272	13,858	5,256
44,3	34,833	34	1	0,0272	26,635	29,416	44,3	20,266	184	1	0,0272	13,657	4,831
44,3		52	1	0,0272	22,762	23,683	44,3		191	1	0,0272	13,469	4,440
44,3	32,133	58	1	0,0272	21,798	22,0324	44,3	19,366	198	1	0,0272	13,292	4,081
44,3		68	1	0,0272	20,437	19,532	44,3		206	1	0,0272	13,103	3,707
44,3	30,700	72	1	0,0272	19,962	18,614	44,3	17,800	213	1	0,0272	12,946	3,407
44,3		83	1	0,0272	18,821	16,304	44,3		229	1	0,0272	12,621	2,810
44,3	28,600	92	1	0,0272	18,032	14,629	44,3	16,500	233	1	0,0272	12,545	2,678
44,3		97	1	0,0272	17,639	13,775	44,3		254	1	0,0272	12,183	2,079
44,3	27,500	101	1	0,0272	17,346	13,127	44,3	14,066	268	1	0,0272	11,970	1,756
44,3		107	1	0,0272	16,937	12,212	44,3		281	1	0,0272	11,788	1,502
44,3	25,766	114	1	0,0272	16,500	11,224	44,3	11,466	309	1	0,0272	11,444	1,072
44,3		122	1	0,0272	16,048	10,193	44,3		324	1	0,0272	11,281	0,895
44,3	24,366	128	1	0,0272	15,738	9,483	44,3	11,166	326	1	0,0272	11,261	0,873
44,3		135	1	0,0272	15,404	8,716	44,3		345	1	0,0272	11,075	0,695
44,3	23,433	143	1	0,0272	15,054	7,916	44,3	11,066	351	1	0,0272	11,0210	0,646
44,3		149	1	0,0272	14,811	7,364							
44,3	22,800	156	1	0,0272	14,547	6,768							

\*λ=0,0120425229922483

Fuente: Elaboración propia

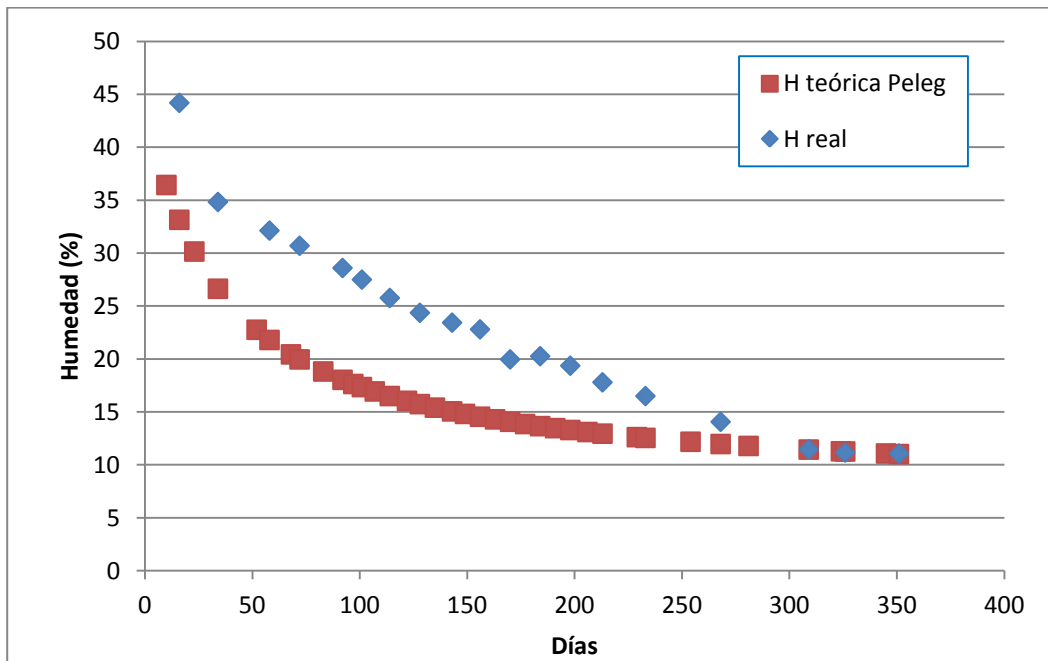


Figura A9.4- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C4. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.5- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C5

F1-C5							F1-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
63,9	63,833	10	1	0,0156	55,249	56,802	63,9	21,833	163	1	0,0156	17,891	9,375
63,9		16	1	0,0156	51,095	52,927	63,9		170	1	0,0156	17,350	8,633
63,9	37,033	23	1	0,0156	46,973	48,740	63,9	21,366	177	1	0,0156	16,840	7,950
63,9		34	1	0,0156	41,683	42,819	63,9		184	1	0,0156	16,359	7,321
63,9	31,733	52	1	0,0156	35,189	34,641	63,9	18,866	191	1	0,0156	15,905	6,742
63,9		58	1	0,0156	33,450	32,278	63,9		198	1	0,0156	15,475	6,208
63,9	29,500	68	1	0,0156	30,903	28,692	63,9	17,400	206	1	0,0156	15,010	5,650
63,9		72	1	0,0156	29,988	27,372	63,9		213	1	0,0156	14,626	5,203
63,9	27,733	83	1	0,0156	27,731	24,047	63,9	16,266	229	1	0,0156	13,816	4,310
63,9		92	1	0,0156	26,120	21,629	63,9		233	1	0,0156	13,628	4,111
63,9	25,233	97	1	0,0156	25,303	20,392	63,9	14,033	254	1	0,0156	12,715	3,210
63,9		101	1	0,0156	24,685	19,454	63,9		268	1	0,0156	12,170	2,722
63,9	24,133	107	1	0,0156	23,813	18,127	63,9	11,400	281	1	0,0156	11,704	2,336
63,9		114	1	0,0156	22,869	16,693	63,9		309	1	0,0156	10,810	1,680
63,9	23,266	122	1	0,0156	21,877	15,192	63,9	10,033	324	1	0,0156	10,385	1,408
63,9		128	1	0,0156	21,187	14,156	63,9		326	1	0,0156	10,330	1,375
63,9	23,000	135	1	0,0156	20,435	13,0364	63,9	9,866	345	1	0,0156	9,841	1,099
63,9		143	1	0,0156	19,638	11,864	63,9		351	1	0,0156	9,696	1,024
63,9	22,233	149	1	0,0156	19,079	11,055							
63,9		156	1	0,0156	18,466	10,180							

\*λ=0,0117745724166863

Fuente: Elaboración propia

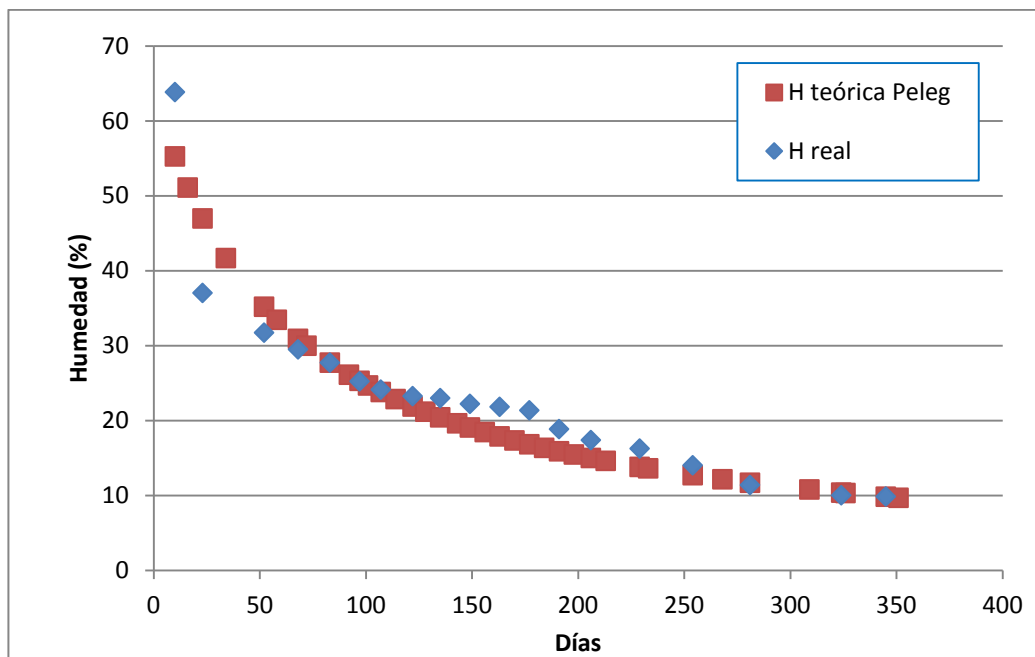


Figura A9.5- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C5. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.6- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C6

F1-C6							F1-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0151	56,411	58,029	65,1	21,300	163	1	0,0151	18,007	9,991
65,1		16	1	0,0151	52,213	54,160	65,1		170	1	0,0151	17,440	9,219
65,1	46,600	23	1	0,0151	48,028	49,972	65,1	20,633	177	1	0,0151	16,906	8,506
65,1		34	1	0,0151	42,634	44,035	65,1		184	1	0,0151	16,402	7,848
65,1	29,700	52	1	0,0151	35,971	35,802	65,1	17,966	191	1	0,0151	15,925	7,241
65,1		58	1	0,0151	34,179	33,416	65,1		198	1	0,0151	15,473	6,681
65,1	27,866	68	1	0,0151	31,549	29,786	65,1	16,400	206	1	0,0151	14,985	6,094
65,1		72	1	0,0151	30,604	28,447	65,1		213	1	0,0151	14,581	5,622
65,1	27,633	83	1	0,0151	28,265	25,068	65,1	15,866	229	1	0,0151	13,730	4,678
65,1		92	1	0,0151	26,593	22,603	65,1		233	1	0,0151	13,531	4,467
65,1	24,433	97	1	0,0151	25,744	21,340	65,1	12,833	254	1	0,0151	12,570	3,509
65,1		101	1	0,0151	25,101	20,381	65,1		268	1	0,0151	11,997	2,987
65,1	23,500	107	1	0,0151	24,193	19,022	65,1	10,266	281	1	0,0151	11,505	2,572
65,1		114	1	0,0151	23,209	17,551	65,1		309	1	0,0151	10,563	1,864
65,1	22,633	122	1	0,0151	22,175	16,009	65,1	9,833	324	1	0,0151	10,113	1,569
65,1		128	1	0,0151	21,455	14,942	65,1		326	1	0,0151	10,056	1,533
65,1	22,266	135	1	0,0151	20,670	13,786	65,1	9,433	345	1	0,0151	9,539	1,232
65,1		143	1	0,0151	19,836	12,575	65,1		351	1	0,0151	9,386	1,150
65,1	21,800	149	1	0,0151	19,252	11,736							
65,1		156	1	0,0151	18,610	10,829							

\*λ=0,0114979714503727

Fuente: Elaboración propia

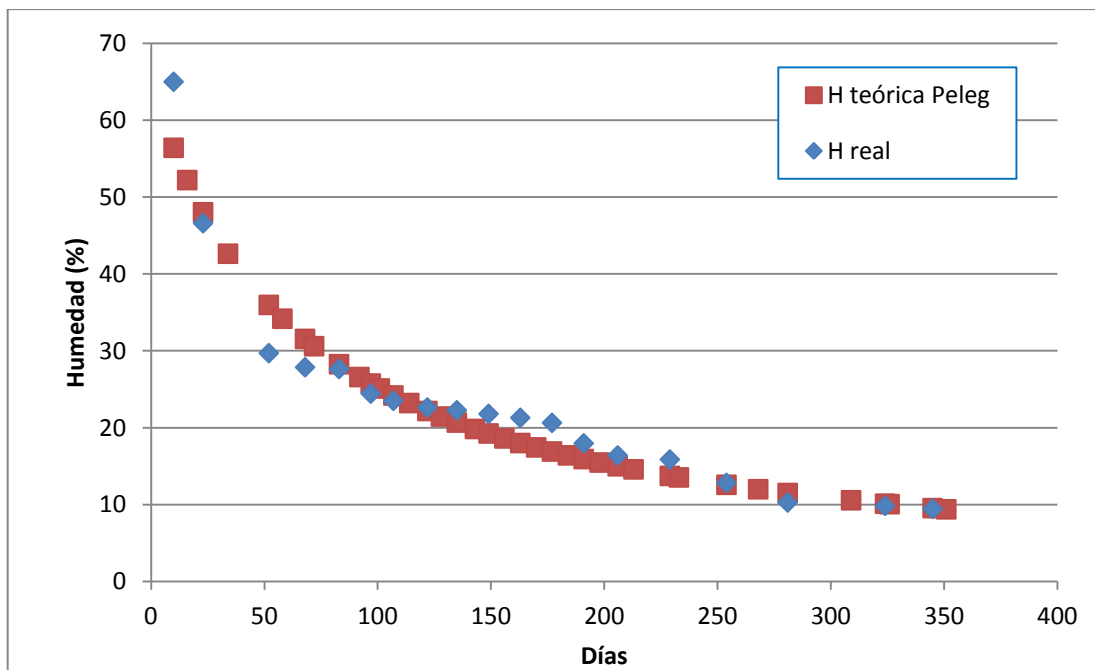


Figura A9.6- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C6. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.7- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F1-C7

F1-C7							F1-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
50,4		10	1	0,0218	42,189	44,154	50,4		163	1	0,0218	14,602	5,832
50,4	50,366	16	1	0,0218	38,537	40,784	50,4	19,266	170	1	0,0218	14,275	5,316
50,4		23	1	0,0218	35,080	37,177	50,4		177	1	0,0218	13,969	4,846
50,4	29,633	34	1	0,0218	30,873	32,141	50,4	20,233	184	1	0,0218	13,682	4,417
50,4		52	1	0,0218	26,028	25,330	50,4		191	1	0,0218	13,411	4,0268
50,4	29,000	58	1	0,0218	24,786	23,397	50,4	18,766	198	1	0,0218	13,156	3,670
50,4		68	1	0,0218	23,007	20,497	50,4		206	1	0,0218	12,882	3,301
50,4	28,700	72	1	0,0218	22,380	19,441	50,4	18,433	213	1	0,0218	12,656	3,009
50,4		83	1	0,0218	20,856	16,808	50,4		229	1	0,0218	12,183	2,435
50,4	27,533	92	1	0,0218	19,790	14,921	50,4	16,200	233	1	0,0218	12,073	2,310
50,4		97	1	0,0218	19,256	13,966	50,4		254	1	0,0218	11,545	1,749
50,4	26,033	101	1	0,0218	18,855	13,246	50,4	10,066	268	1	0,0218	11,232	1,453
50,4		107	1	0,0218	18,292	12,235	50,4		281	1	0,0218	10,965	1,224
50,4	24,000	114	1	0,0218	17,690	11,153	50,4	10,300	309	1	0,0218	10,457	0,845
50,4		122	1	0,0218	17,063	10,032	50,4		324	1	0,0218	10,217	0,693
50,4	23,900	128	1	0,0218	16,630	9,267	50,4	9,133	326	1	0,0218	10,186	0,674
50,4		135	1	0,0218	16,162	8,447	50,4		345	1	0,0218	9,911	0,524
50,4	23,333	143	1	0,0218	15,669	7,599	50,4	9,800	351	1	0,0218	9,830	0,484
50,4		149	1	0,0218	15,326	7,019	*λ=0,0132304364705342						
50,4	22,800	156	1	0,0218	14,951	6,398							

Fuente: Elaboración propia

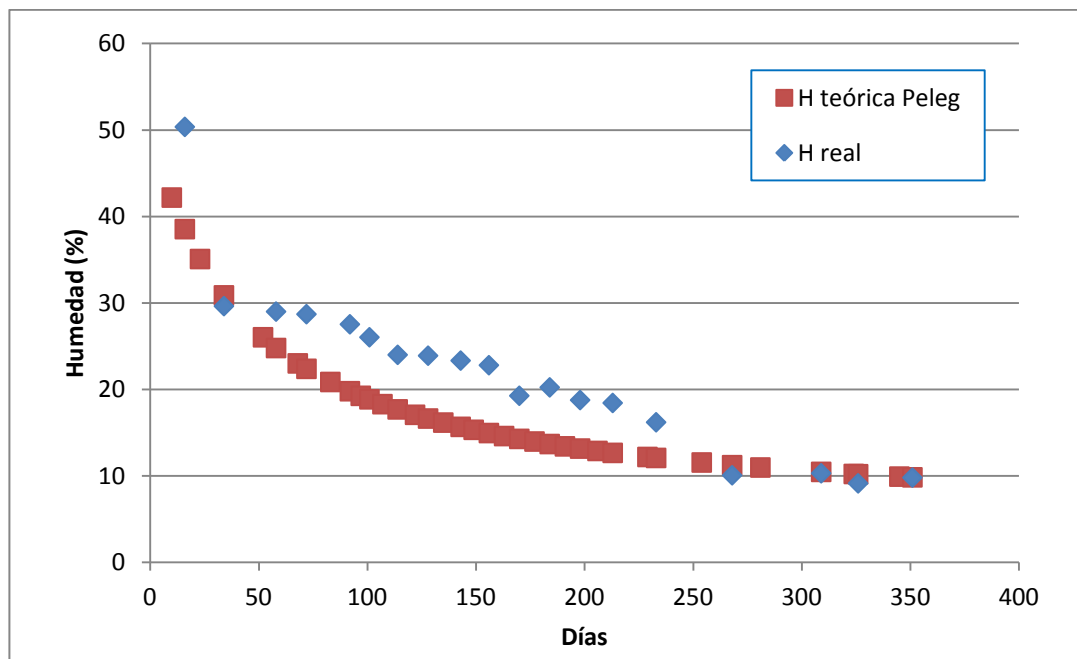


Figura A9.7- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F1-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.8- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C1

F2-C1							F2-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0157	56,456	59,447	65,1	23,033	163	1	0,0157	19,301	14,810
65,1		16	1	0,0157	52,312	56,294	65,1		170	1	0,0157	18,765	13,898
65,1	54,900	23	1	0,0157	48,201	52,826	65,1	21,900	177	1	0,0157	18,260	13,042
65,1		34	1	0,0157	42,932	47,803	65,1		184	1	0,0157	17,784	12,238
65,1	35,933	52	1	0,0157	36,471	40,593	65,1	19,066	191	1	0,0157	17,334	11,484
65,1		58	1	0,0157	34,743	38,439	65,1		198	1	0,0157	16,908	10,777
65,1	30,766	68	1	0,0157	32,211	35,102	65,1	18,700	206	1	0,0157	16,448	10,022
65,1		72	1	0,0157	31,303	33,849	65,1		213	1	0,0157	16,067	9,404
65,1	29,600	83	1	0,0157	29,061	30,631	65,1	19,433	229	1	0,0157	15,266	8,132
65,1		92	1	0,0157	27,462	28,226	65,1		233	1	0,0157	15,079	7,842
65,1	26,600	97	1	0,0157	26,652	26,973	65,1	15,200	254	1	0,0157	14,175	6,480
65,1		101	1	0,0157	26,039	26,011	65,1		268	1	0,0157	13,636	5,706
65,1	26,333	107	1	0,0157	25,173	24,631	65,1	12,433	281	1	0,0157	13,175	5,071
65,1		114	1	0,0157	24,236	23,114	65,1		309	1	0,0157	12,291	3,932
65,1	25,733	122	1	0,0157	23,253	21,493	65,1	11,666	324	1	0,0157	11,870	3,431
65,1		128	1	0,0157	22,569	20,353	65,1		326	1	0,0157	11,816	3,369
65,1	24,833	135	1	0,0157	21,823	19,100	65,1	11,266	345	1	0,0157	11,332	2,835
65,1		143	1	0,0157	21,033	17,761	65,1		351	1	0,0157	11,188	2,685
65,1	24,033	149	1	0,0157	20,479	16,819							
65,1		156	1	0,0157	19,872	15,783							

\*λ=0,00908320756393317

Fuente: Elaboración propia

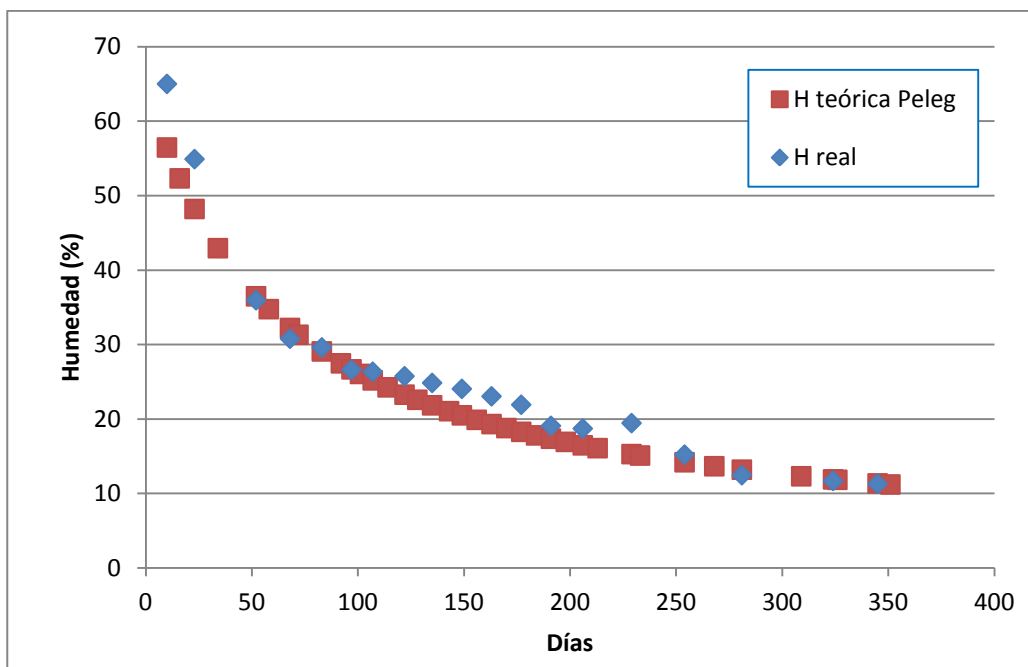


Figura A9.8- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C1. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.9- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C2

F2-C2							F2-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
57,9		10	1	0,018	49,425	51,884	57,9		163	1	0,018	16,466	9,684
57,9	57,833	16	1	0,018	45,477	48,579	57,9	19,033	170	1	0,018	16,028	8,969
57,9		23	1	0,018	41,634	44,988	57,9		177	1	0,018	15,616	8,306
57,9	36,233	34	1	0,018	36,808	39,874	57,9	19,100	184	1	0,018	15,228	7,692
57,9		52	1	0,018	31,040	32,729	57,9		191	1	0,018	14,862	7,123
57,9	33,833	58	1	0,018	29,524	30,644	57,9	18,500	198	1	0,018	14,517	6,596
57,9		68	1	0,018	27,324	27,460	57,9		206	1	0,018	14,144	6,042
57,9	30,133	72	1	0,018	26,541	26,281	57,9	16,7	213	1	0,018	13,837	5,596
57,9		83	1	0,018	24,620	23,293	57,9		229	1	0,018	13,190	4,695
57,9	28,466	92	1	0,018	23,261	21,103	57,9	15,500	233	1	0,018	13,040	4,493
57,9		97	1	0,018	22,575	19,977	57,9		254	1	0,018	12,314	3,568
57,9	27,266	101	1	0,018	22,058	19,119	57,9	10,766	268	1	0,018	11,883	3,060
57,9		107	1	0,018	21,331	17,901	57,9		281	1	0,018	11,515	2,654
57,9	25,233	114	1	0,018	20,547	16,578	57,9	10,266	309	1	0,018	10,810	1,952
57,9		122	1	0,018	19,727	15,185	57,9		324	1	0,018	10,476	1,655
57,9	24,033	128	1	0,018	19,159	14,218	57,9	9,633	326	1	0,018	10,433	1,619
57,9		135	1	0,018	18,541	13,167	57,9		345	1	0,018	10,049	1,315
57,9	23,133	143	1	0,018	17,888	12,060	57,9	10,066	351	1	0,018	9,936	1,231
57,9		149	1	0,018	17,432	11,292							
57,9	22,500	156	1	0,018	16,933	10,457							

\*λ=0,0109702291879568

Fuente: Elaboración propia

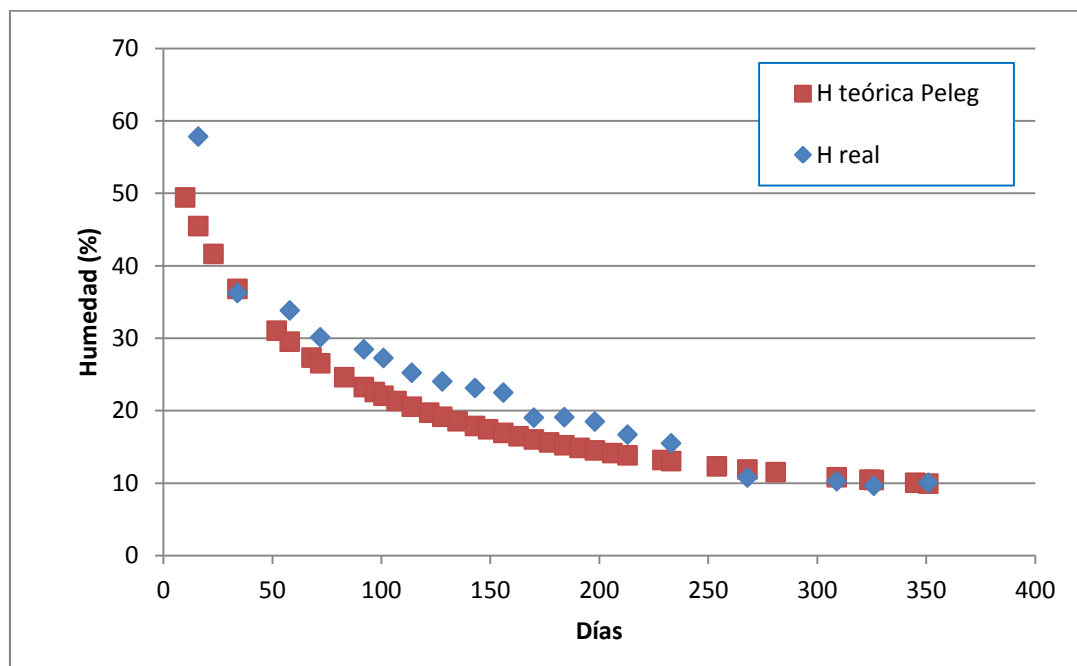


Figura A9.9- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C2. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.10- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C3

F2-C3							F2-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
62,1		10	1	0,0162	53,494	56,749	62,1		163	1	0,0162	17,327	14,297
62,1	62,000	16	1	0,0162	49,393	53,762	62,1	18,566	170	1	0,0162	16,814	13,423
62,1		23	1	0,0162	45,343	50,476	62,1		177	1	0,0162	16,332	12,603
62,1	42,633	34	1	0,0162	40,175	45,713	62,1	18,666	184	1	0,0162	15,878	11,833
62,1		52	1	0,0162	33,875	38,870	62,1		191	1	0,0162	15,448	11,109
62,1	45,066	58	1	0,0162	32,196	36,824	62,1	17,933	198	1	0,0162	15,042	10,430
62,1		68	1	0,0162	29,743	33,651	62,1		206	1	0,0162	14,603	9,705
62,1	36,366	72	1	0,0162	28,865	32,460	62,1	16,033	213	1	0,0162	14,241	9,112
62,1		83	1	0,0162	26,699	29,397	62,1		229	1	0,0162	13,477	7,888
62,1	32,533	92	1	0,0162	25,158	27,107	62,1	14,966	233	1	0,0162	13,300	7,609
62,1		97	1	0,0162	24,377	25,913	62,1		254	1	0,0162	12,440	6,297
62,1	28,933	101	1	0,0162	23,787	24,996	62,1		268	1	0,0162	11,927	5,551
62,1		107	1	0,0162	22,954	23,680	62,1	10,666	281	1	0,0162	11,489	4,937
62,1	25,333	114	1	0,0162	22,055	22,233	62,1		281	1	0,0162	11,489	4,937
62,1		122	1	0,0162	21,110	20,687	62,1	10,333	309	1	0,0162	10,649	3,836
62,1	23,933	128	1	0,0162	20,455	19,598	62,1		324	1	0,0162	10,250	3,351
62,1		135	1	0,0162	19,740	18,4007	62,1	9,500	326	1	0,0162	10,199	3,291
62,1	23,200	143	1	0,0162	18,983	17,121	62,1		345	1	0,0162	9,740	2,773
62,1		149	1	0,0162	18,453	16,220	62,1	10,00	351	1	0,0162	9,603	2,627
62,1	22,533	156	1	0,0162	17,872	15,228	*λ=0,00901004852710941						

Fuente: Elaboración propia

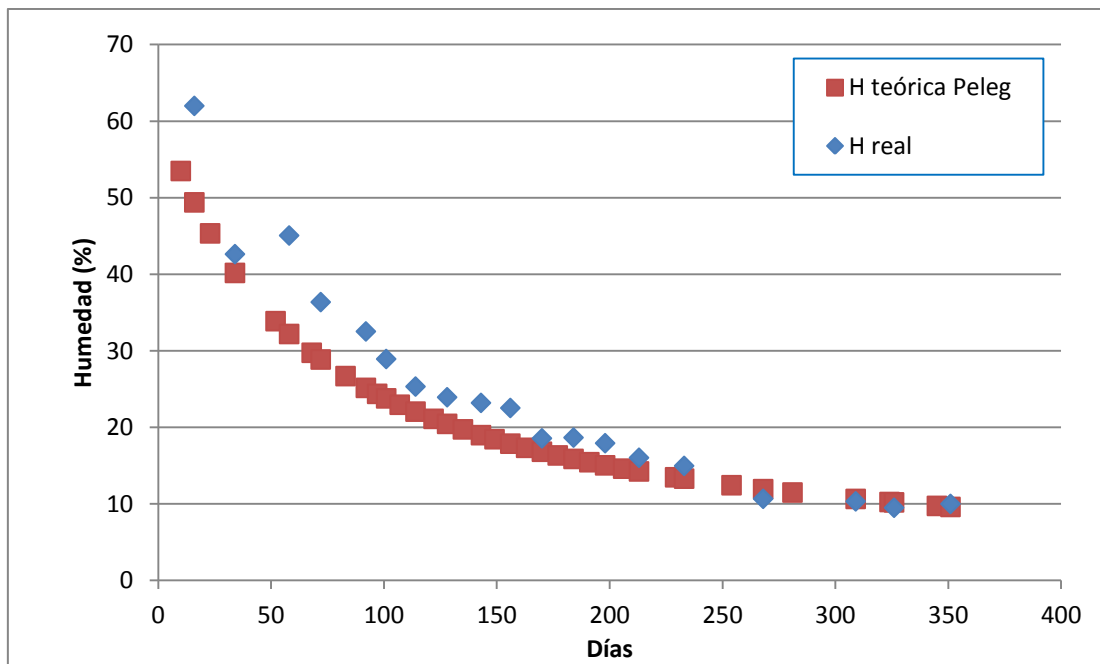


Figura A9.10- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.11- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C4

F2-C4							F2-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0153	56,427	59,795	65,1	21,700	163	1	0,0153	18,447	16,289
65,1		16	1	0,0153	52,247	56,823	65,1		170	1	0,0153	17,891	15,348
65,1	65,000	23	1	0,0153	48,087	53,540	65,1	21,133	177	1	0,0153	17,367	14,462
65,1		34	1	0,0153	42,735	48,762	65,1		184	1	0,0153	16,872	13,627
65,1	37,567	52	1	0,0153	36,140	41,844	65,1	18,400	191	1	0,0153	16,404	12,839
65,1		58	1	0,0153	34,370	39,764	65,1		198	1	0,0153	15,961	12,098
65,1	31,533	68	1	0,0153	31,773	36,524	65,1	17,300	206	1	0,0153	15,483	11,303
65,1		72	1	0,0153	30,840	35,303	65,1		213	1	0,0153	15,087	10,650
65,1	29,633	83	1	0,0153	28,535	32,152	65,1	16,167	229	1	0,0153	14,253	9,296
65,1		92	1	0,0153	26,888	29,784	65,1		233	1	0,0153	14,058	8,985
65,1	25,133	97	1	0,0153	26,052	28,545	65,1	12,900	254	1	0,0153	13,117	7,516
65,1		101	1	0,0153	25,419	27,591	65,1		268	1	0,0153	12,555	6,673
65,1	24,300	107	1	0,0153	24,525	26,219	65,1		281	1	0,0153	12,074	5,975
65,1		114	1	0,0153	23,558	24,704	65,1	11,067	309	1	0,0153	11,152	4,710
65,1	24,133	122	1	0,0153	22,541	23,081	65,1		324	1	0,0153	10,712	4,146
65,1		128	1	0,0153	21,833	21,933	65,1	10,167	326	1	0,0153	10,656	4,076
65,1	23,433	135	1	0,0153	21,062	20,666	65,1		345	1	0,0153	10,151	3,468
65,1		143	1	0,0153	20,243	19,308	65,1	9,900	351	1	0,0153	10,001	3,296
65,1	22,567	149	1	0,0153	19,669	18,348							
65,1		156	1	0,0153	19,039	17,288							

\*λ=0,0084994768876042

Fuente: Elaboración propia

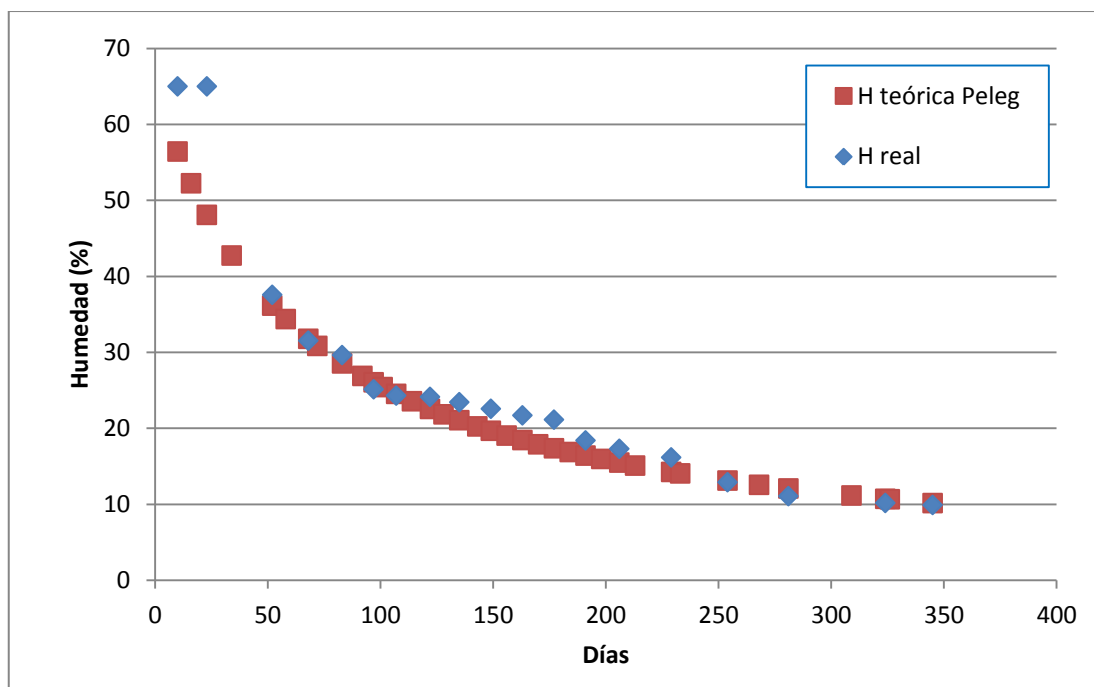


Figura A9.11- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para viga F2-C4. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.12- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C5

F2-C5							F2-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
40,5		10	1	0,031	32,866	35,482	40,5		163	1	0,031	13,571	4,688
40,5	40,433	16	1	0,031	29,805	32,774	40,5	20,167	170	1	0,031	13,387	4,274
40,5		23	1	0,031	27,073	29,876	40,5		177	1	0,031	13,215	3,896
40,5	32,400	34	1	0,031	23,947	25,830	40,5	20,100	184	1	0,031	13,054	3,551
40,5		52	1	0,031	20,592	20,357	40,5		191	1	0,031	12,903	3,237
40,5	32,267	58	1	0,031	19,771	18,804	40,5	19,033	198	1	0,031	12,761	2,951
40,5		68	1	0,031	18,621	16,474	40,5		206	1	0,031	12,609	2,654
40,5	29,467	72	1	0,031	18,223	15,625	40,5	17,667	213	1	0,031	12,485	2,420
40,5		83	1	0,031	17,270	13,509	40,5		229	1	0,031	12,225	1,958
40,5	27,933	92	1	0,031	16,616	11,993	40,5	15,833	233	1	0,031	12,165	1,857
40,5		97	1	0,031	16,292	11,225	40,5		254	1	0,031	11,877	1,407
40,5	27,267	101	1	0,031	16,051	10,646	40,5	12,967	268	1	0,031	11,708	1,169
40,5		107	1	0,031	15,714	9,834	40,5		281	1	0,031	11,564	0,984
40,5	25,567	114	1	0,031	15,357	8,964	40,5	11,400	309	1	0,031	11,291	0,680
40,5		122	1	0,031	14,988	8,064	40,5		324	1	0,031	11,163	0,557
40,5	24,767	128	1	0,031	14,735	7,449	40,5	11,000	326	1	0,031	11,146	0,543
40,5		135	1	0,031	14,463	6,790	40,5		345	1	0,031	11,000	0,422
40,5	23,700	143	1	0,031	14,179	6,108	40,5	11,000	351	1	0,031	10,957	0,390
40,5		149	1	0,031	13,983	5,642							
40,5	23,167	156	1	0,031	13,769	5,143							

\*λ=0,0132284252125833

Fuente: Elaboración propia

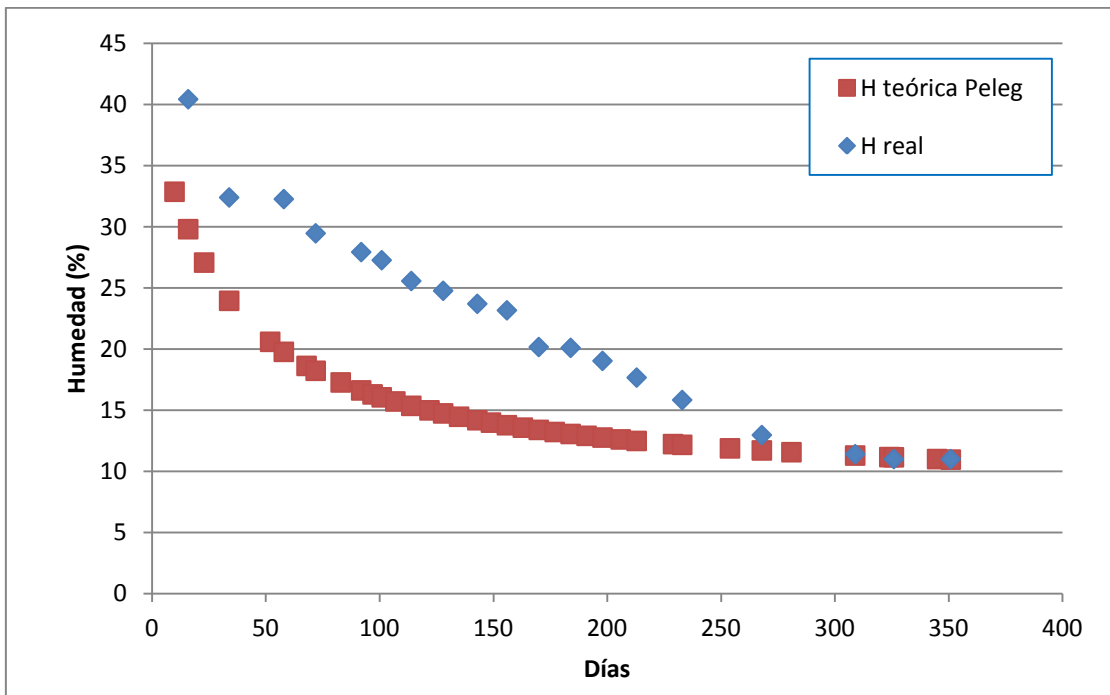


Figura A9.12- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C5. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.13- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C6

F2-C6							F2-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
54,4		10	1	0,0201	46,074	49,060	54,4		163	1	0,0201	16,283	10,098
54,4	54,300	16	1	0,0201	42,293	46,112	54,4	20,467	170	1	0,0201	15,912	9,394
54,4		23	1	0,0201	38,671	42,895	54,4		177	1	0,0201	15,565	8,738
54,4	35,233	34	1	0,0201	34,203	38,287	54,4	19,733	184	1	0,0201	15,238	8,129
54,4		52	1	0,0201	28,975	31,790	54,4		191	1	0,0201	14,930	7,562
54,4	34,400	58	1	0,0201	27,620	29,879	54,4	19,200	198	1	0,0201	14,639	7,034
54,4		68	1	0,0201	25,669	26,946	54,4		206	1	0,0201	14,327	6,476
54,4	30,967	72	1	0,0201	24,979	25,855	54,4	18,033	213	1	0,0201	14,069	6,024
54,4		83	1	0,0201	23,294	23,078	54,4		229	1	0,0201	13,528	5,106
54,4	28,667	92	1	0,0201	22,110	21,029	54,4	16,333	233	1	0,0201	13,403	4,900
54,4		97	1	0,0201	21,515	19,970	54,4		254	1	0,0201	12,797	3,944
54,4	27,233	101	1	0,0201	21,068	19,162	54,4	13,167	268	1	0,0201	12,438	3,413
54,4		107	1	0,0201	20,439	18,010	54,4		281	1	0,0201	12,132	2,984
54,4	24,867	114	1	0,0201	19,764	16,753	54,4	11,433	309	1	0,0201	11,548	2,234
54,4		122	1	0,0201	19,060	15,424	54,4		324	1	0,0201	11,271	1,914
54,4	24,067	128	1	0,0201	18,574	14,497	54,4	11,067	326	1	0,0201	11,236	1,875
54,4		135	1	0,0201	18,046	13,486	54,4		345	1	0,0201	10,919	1,540
54,4	23,367	143	1	0,0201	17,490	12,416	54,4	11,000	351	1	0,0201	10,825	1,448
54,4		149	1	0,0201	17,102	11,670							
54,4	22,967	156	1	0,0201	16,679	10,856							

\*λ=0,0103312829285237

Fuente: Elaboración propia

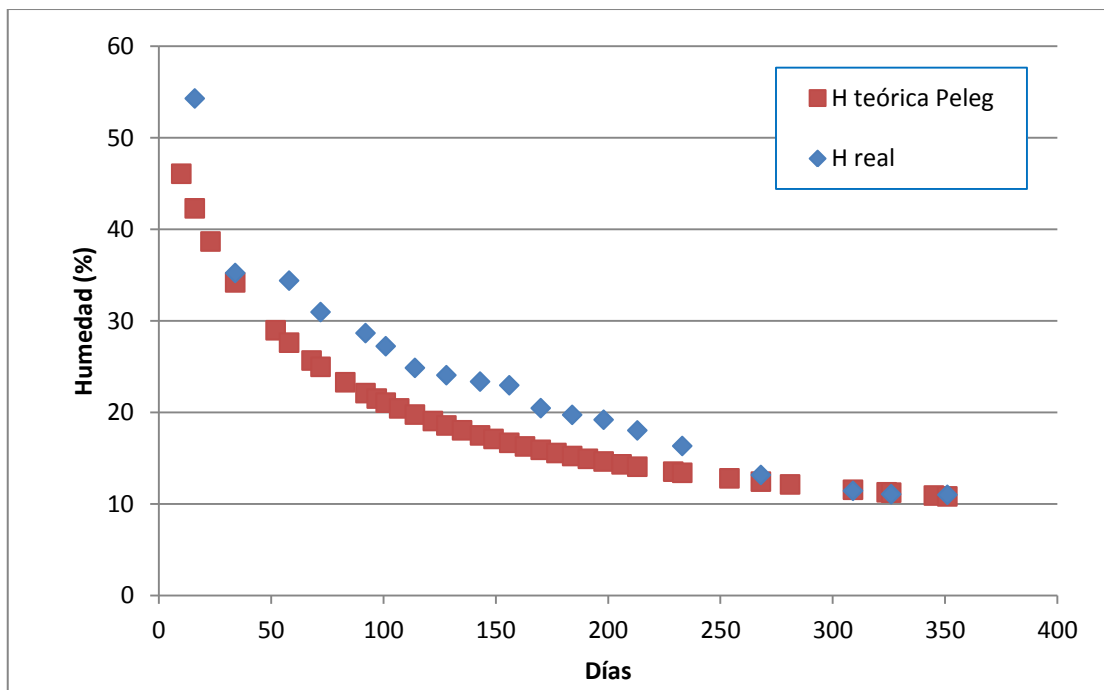


Figura A9.13- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C6. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.14- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F2-C7

F2-C7							F2-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,1	64,000	10	1	0,0155	55,442	57,797	64,1	21,533	163	1	0,0155	17,879	11,861
64,1		16	1	0,0155	51,279	54,316	64,1		170	1	0,0155	17,332	11,032
64,1	53,867	23	1	0,0155	47,145	50,520	64,1	20,900	177	1	0,0155	16,818	10,260
64,1		34	1	0,0155	41,834	45,083	64,1		184	1	0,0155	16,333	9,543
64,1	31,400	52	1	0,0155	35,307	37,419	64,1	20,700	191	1	0,0155	15,874	8,876
64,1		58	1	0,0155	33,558	35,166	64,1		198	1	0,0155	15,439	8,256
64,1	28,567	68	1	0,0155	30,994	31,708	64,1	17,200	206	1	0,0155	14,970	7,600
64,1		72	1	0,0155	30,074	30,422	64,1		213	1	0,0155	14,582	7,069
64,1	27,933	83	1	0,0155	27,800	27,148	64,1	16,233	229	1	0,0155	13,765	5,990
64,1		92	1	0,0155	26,177	24,733	64,1		233	1	0,0155	13,574	5,747
64,1	24,800	97	1	0,0155	25,354	23,486	64,1	12,467	254	1	0,0155	12,652	4,624
64,1		101	1	0,0155	24,731	22,533	64,1		268	1	0,0155	12,102	4,000
64,1	24,033	107	1	0,0155	23,852	21,176	64,1	10,667	281	1	0,0155	11,631	3,497
64,1		114	1	0,0155	22,900	19,696	64,1		309	1	0,0155	10,728	2,617
64,1	23,300	122	1	0,0155	21,900	18,131	64,1	9,967	324	1	0,0155	10,297	2,240
64,1		128	1	0,0155	21,205	17,039	64,1		326	1	0,0155	10,242	2,195
64,1	22,733	135	1	0,0155	20,446	15,848	64,1	9,833	345	1	0,0155	9,748	1,803
64,1		143	1	0,0155	19,642	14,589	64,1		351	1	0,0155	9,601	1,694
64,1	22,167	149	1	0,0155	19,078	13,710							
64,1		156	1	0,0155	18,459	12,752							

\*λ=0,0103510977689969

Fuente: Elaboración propia

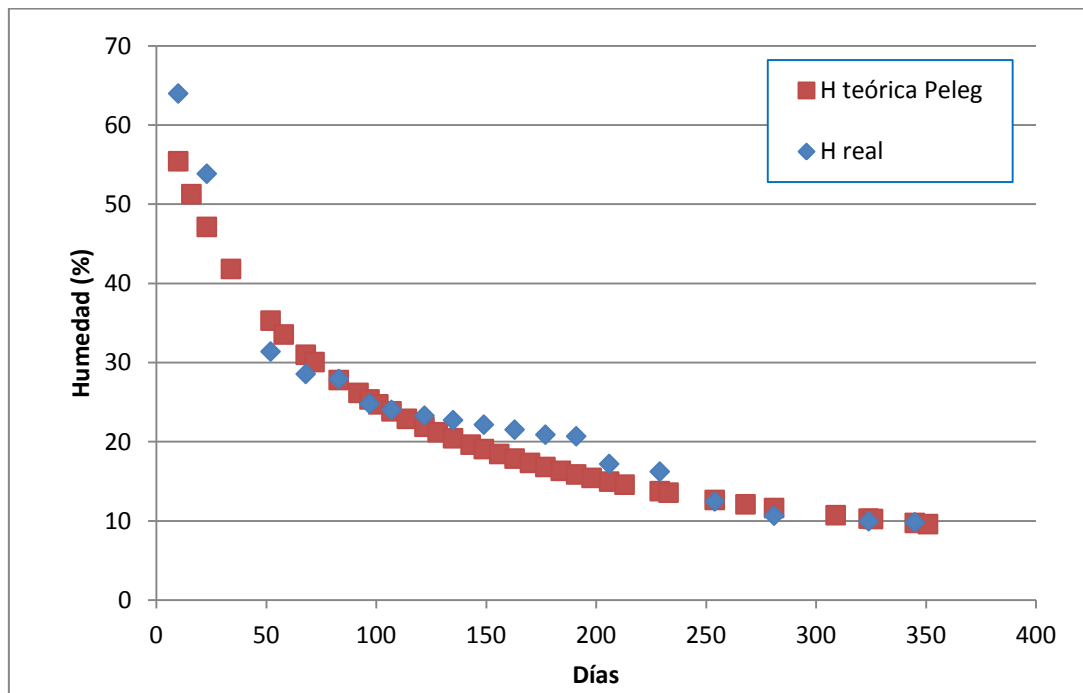


Figura A9.14- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F2-C7. Fuente: Elaboración propia



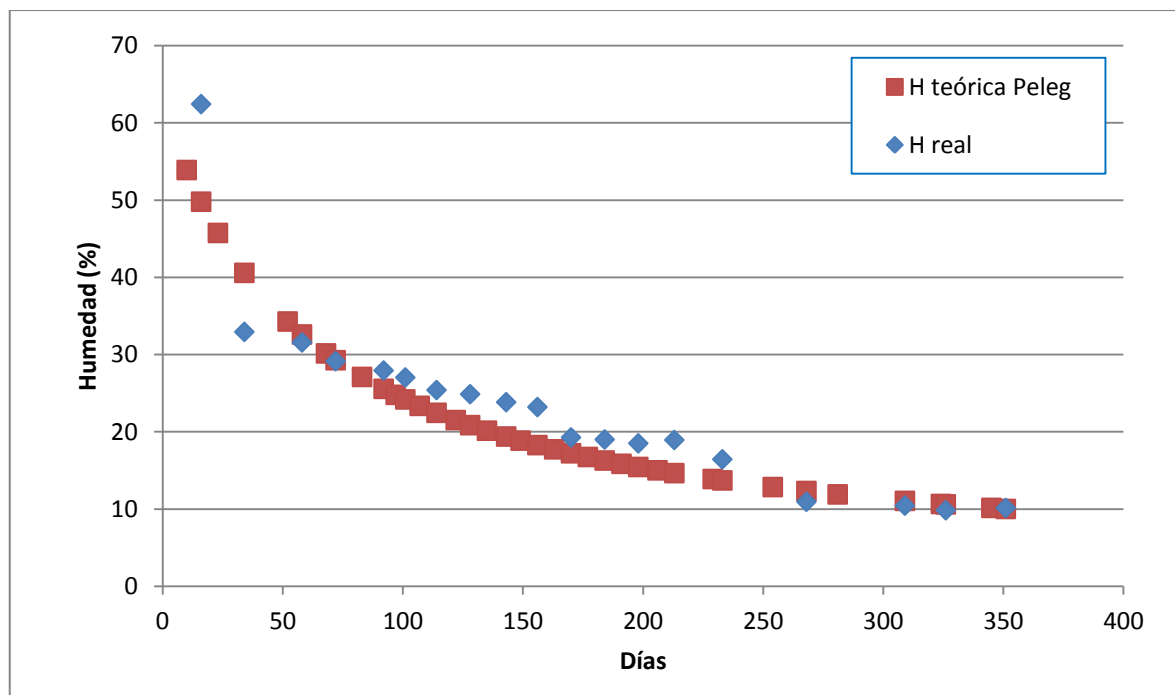
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.15- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C1**

F3-C1							F3-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
62,5		10	1	0,0162	53,894	55,760	62,5		163	1	0,0162	17,727	9,729
62,5	62,433	16	1	0,0162	49,794	52,070	62,5	19,267	170	1	0,0162	17,215	8,983
62,5		23	1	0,0162	45,743	48,073	62,5		177	1	0,0162	16,733	8,293
62,5	32,933	34	1	0,0162	40,576	42,402	62,5	19,000	184	1	0,0162	16,278	7,656
62,5		52	1	0,0162	34,276	34,529	62,5		191	1	0,0162	15,849	7,068
62,5	31,567	58	1	0,0162	32,597	32,244	62,5	18,500	198	1	0,0162	15,442	6,526
62,5		68	1	0,0162	30,144	28,766	62,5		206	1	0,0162	15,004	5,956
62,5	29,133	72	1	0,0162	29,265	27,483	62,5	18,933	213	1	0,0162	14,641	5,499
62,5		83	1	0,0162	27,100	24,241	62,5		229	1	0,0162	13,878	4,581
62,5	27,933	92	1	0,0162	25,558	21,875	62,5	16,433	233	1	0,0162	13,700	4,377
62,5		97	1	0,0162	24,777	20,662	62,5		254	1	0,0162	12,840	3,444
62,5	27,033	101	1	0,0162	24,187	19,740	62,5	10,933	268	1	0,0162	12,328	2,936
62,5		107	1	0,0162	23,355	18,434	62,5		281	1	0,0162	11,889	2,531
62,5	25,400	114	1	0,0162	22,455	17,018	62,5	10,433	309	1	0,0162	11,050	1,839
62,5		122	1	0,0162	21,511	15,534	62,5		324	1	0,0162	10,650	1,550
62,5	24,867	128	1	0,0162	20,855	14,506	62,5	9,833	326	1	0,0162	10,599	1,515
62,5		135	1	0,0162	20,140	13,392	62,5		345	1	0,0162	10,140	1,219
62,5	23,833	143	1	0,0162	19,384	12,224	62,5	10,133	351	1	0,0162	10,004	1,139
62,5		149	1	0,0162	18,854	11,415							
62,5	23,200	156	1	0,0162	18,272	10,538							

\*λ=0,0114111052896619

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.15- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C1. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.16- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C2

F3-C2							F3-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
63,1	63,000	10	1	0,016	54,479	57,444	63,1	21,967	163	1	0,016	17,923	13,652
63,1		16	1	0,016	50,361	54,296	63,1		170	1	0,016	17,401	12,784
63,1	47,900	23	1	0,016	46,287	50,842	63,1	21,667	177	1	0,016	16,910	11,970
63,1		34	1	0,016	41,079	45,852	63,1		184	1	0,016	16,447	11,209
63,1	35,533	52	1	0,016	34,716	38,720	63,1	19,167	191	1	0,016	16,009	10,496
63,1		58	1	0,016	33,017	36,599	63,1		198	1	0,016	15,595	9,828
63,1	32,767	68	1	0,016	30,533	33,318	63,1	17,367	206	1	0,016	15,148	9,116
63,1		72	1	0,016	29,643	32,090	63,1		213	1	0,016	14,779	8,536
63,1	30,933	83	1	0,016	27,447	28,940	63,1	16,600	229	1	0,016	14,001	7,345
63,1		92	1	0,016	25,883	26,595	63,1		233	1	0,016	13,819	7,075
63,1	26,767	97	1	0,016	25,091	25,375	63,1		233	1	0,016	13,819	7,075
63,1		101	1	0,016	24,491	24,439	63,1	13,600	254	1	0,016	12,942	5,808
63,1	25,733	107	1	0,016	23,646	23,100	63,1		268	1	0,016	12,419	5,093
63,1		114	1	0,016	22,732	21,630	63,1	11,600	281	1	0,016	11,972	4,507
63,1	24,700	122	1	0,016	21,772	20,065	63,1		309	1	0,016	11,115	3,465
63,1		128	1	0,016	21,105	18,965	63,1	9,567	324	1	0,016	10,707	3,010
63,1	23,600	135	1	0,016	20,378	17,759	63,1		326	1	0,016	10,655	2,954
63,1		143	1	0,016	19,609	16,473	63,1	10,100	345	1	0,016	10,186	2,471
63,1	22,733	149	1	0,016	19,069	15,571	63,1		351	1	0,016	10,047	2,336
63,1		156	1	0,016	18,478	14,580	*λ=0,00939147552910254						

Fuente: Elaboración propia

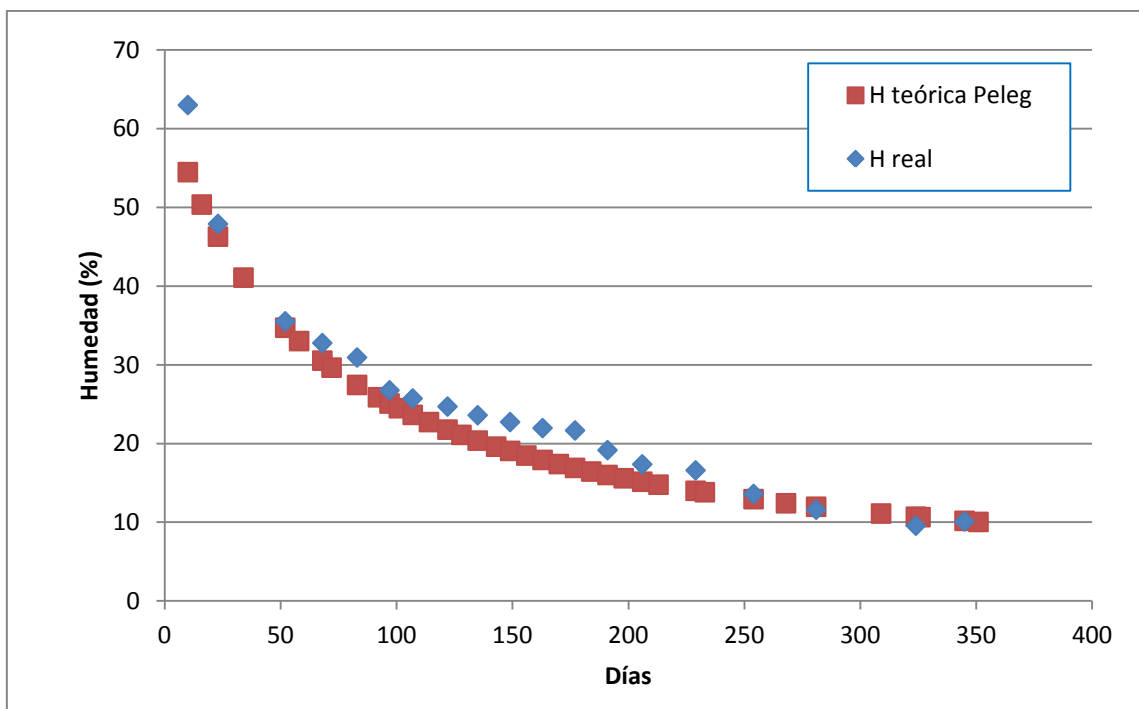


Figura A9.16- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C2. Fuente: Elaboración propia

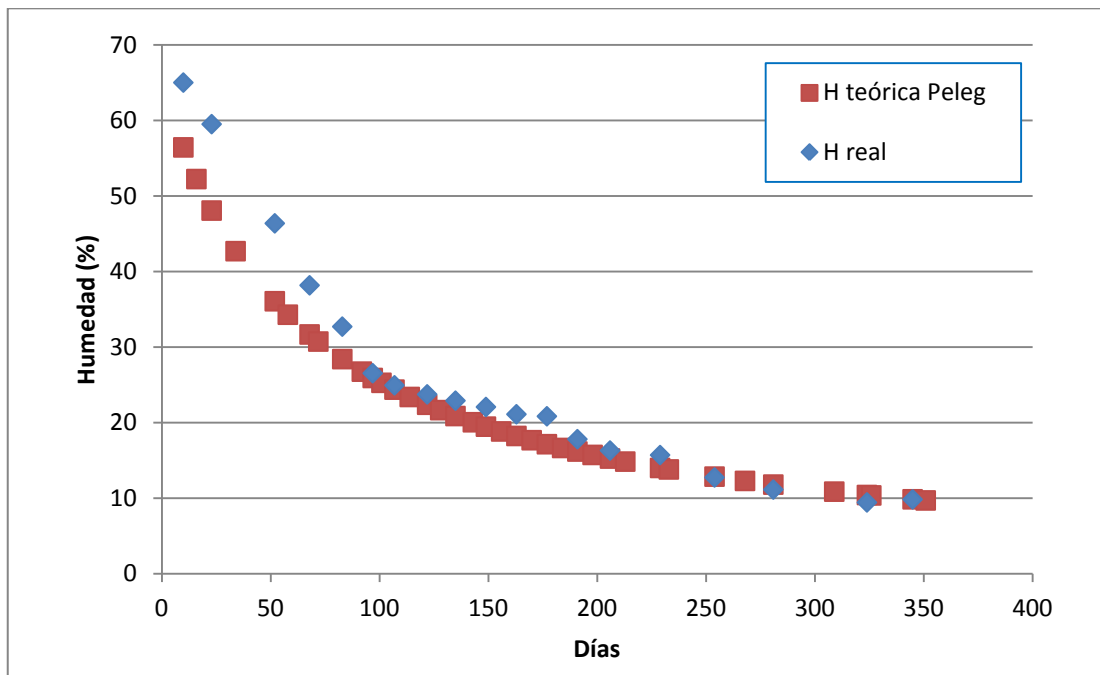


## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.17- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C3**

F3-C3							F3-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0152	56,419	59,611	65,1	21,100	163	1	0,0152	18,229	15,489
65,1		16	1	0,0152	52,230	56,542	65,1		170	1	0,0152	17,667	14,563
65,1	59,500	23	1	0,0152	48,058	53,161	65,1	20,833	177	1	0,0152	17,138	13,692
65,1		34	1	0,0152	42,684	48,252	65,1		184	1	0,0152	16,638	12,873
65,1	46,367	52	1	0,0152	36,056	41,177	65,1	17,800	191	1	0,0152	16,166	12,103
65,1		58	1	0,0152	34,275	39,057	65,1		198	1	0,0152	15,719	11,380
65,1	38,167	68	1	0,0152	31,662	35,764	65,1	16,300	206	1	0,0152	15,236	10,605
65,1		72	1	0,0152	30,723	34,526	65,1		213	1	0,0152	14,836	9,971
65,1	32,700	83	1	0,0152	28,400	31,337	65,1		229	1	0,0152	14,836	9,971
65,1		92	1	0,0152	26,741	28,949	65,1	15,700	229	1	0,0152	13,993	8,660
65,1	26,533	97	1	0,0152	25,899	27,702	65,1		233	1	0,0152	13,796	8,360
65,1		101	1	0,0152	25,261	26,742	65,1	12,733	254	1	0,0152	12,845	6,949
65,1	24,933	107	1	0,0152	24,360	25,366	65,1		268	1	0,0152	12,278	6,142
65,1		114	1	0,0152	23,385	23,849	65,1	11,133	281	1	0,0152	11,791	5,478
65,1	23,733	122	1	0,0152	22,359	22,226	65,1		309	1	0,0152	10,859	4,280
65,1		128	1	0,0152	21,645	21,082	65,1	9,433	324	1	0,0152	10,415	3,751
65,1	22,900	135	1	0,0152	20,867	19,821	65,1		326	1	0,0152	10,358	3,685
65,1		143	1	0,0152	20,041	18,473	65,1	9,833	345	1	0,0152	9,847	3,117
65,1	22,067	149	1	0,0152	19,462	17,522	65,1		351	1	0,0152	9,695	2,957
65,1		156	1	0,0152	18,826	16,474	*λ=0,00880862650376378						

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.17- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C3. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.18- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C4

F3-C4							F3-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
50,1		10	1	0,0221	41,910	45,648	50,1		163	1	0,0221	14,683	10,993
50,1	50,033	16	1	0,0221	38,280	43,170	50,1	19,700	170	1	0,0221	14,363	10,300
50,1		23	1	0,0221	34,851	40,447	50,1		177	1	0,0221	14,064	9,650
50,1	37,967	34	1	0,0221	30,687	36,512	50,1	19,433	184	1	0,0221	13,782	9,042
50,1		52	1	0,0221	25,905	30,881	50,1		191	1	0,0221	13,518	8,471
50,1	38,600	58	1	0,0221	24,681	29,204	50,1	18,267	198	1	0,0221	13,268	7,937
50,1		68	1	0,0221	22,930	26,609	50,1		206	1	0,0221	13,000	7,368
50,1	35,533	72	1	0,0221	22,314	25,637	50,1	16,967	213	1	0,0221	12,779	6,903
50,1		83	1	0,0221	20,816	23,143	50,1		229	1	0,0221	12,317	5,948
50,1	31,600	92	1	0,0221	19,769	21,283	50,1	15,200	233	1	0,0221	12,210	5,731
50,1		97	1	0,0221	19,245	20,316	50,1		254	1	0,0221	11,693	4,714
50,1	31,267	101	1	0,0221	18,851	19,574	50,1	11,800	268	1	0,0221	11,387	4,138
50,1		107	1	0,0221	18,299	18,511	50,1		281	1	0,0221	11,127	3,666
50,1	26,867	114	1	0,0221	17,708	17,343	50,1	10,200	309	1	0,0221	10,631	2,825
50,1		122	1	0,0221	17,093	16,099	50,1		324	1	0,0221	10,396	2,457
50,1	25,500	128	1	0,0221	16,669	15,225	50,1	9,900	326	1	0,0221	10,366	2,412
50,1		135	1	0,0221	16,210	14,265	50,1		345	1	0,0221	10,098	2,021
50,1	24,467	143	1	0,0221	15,727	13,242	50,1	10,033	351	1	0,0221	10,018	1,911
50,1		149	1	0,0221	15,392	12,522							
50,1	23,333	156	1	0,0221	15,025	11,733							

\*λ=0,00930533803502782

Fuente: Elaboración propia

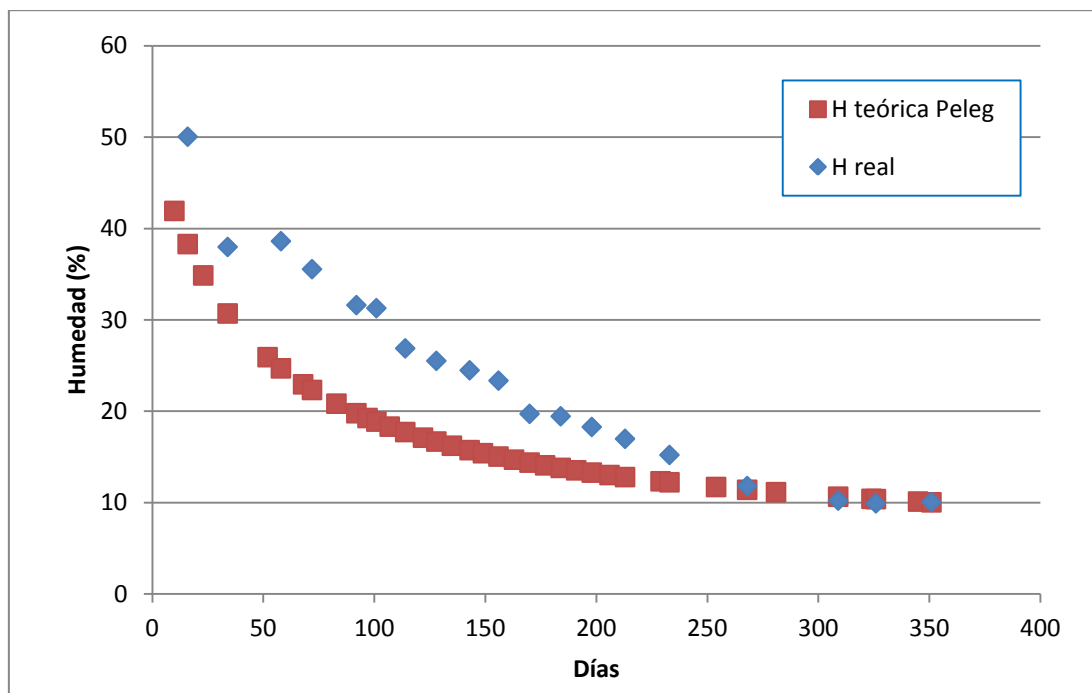


Figura A9.18- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C4. Fuente: Elaboración propia



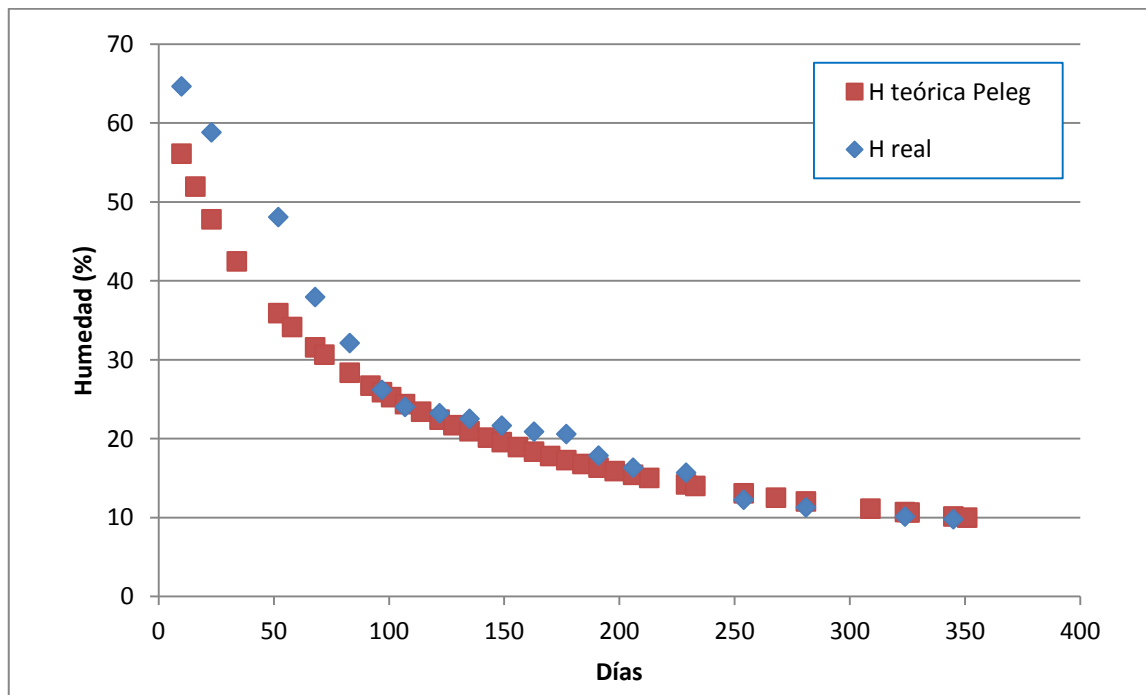
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.19- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C5**

F3-C5							F3-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,8	64,667	10	1	0,0154	56,134	59,428	64,8	20,900	163	1	0,0154	18,364	15,812
64,8		16	1	0,0154	51,963	56,421	64,8		170	1	0,0154	17,813	14,882
64,8	58,833	23	1	0,0154	47,816	53,105	64,8	20,600	177	1	0,0154	17,293	14,008
64,8		34	1	0,0154	42,484	48,283	64,8		184	1	0,0154	16,803	13,184
64,8	48,100	52	1	0,0154	35,924	41,319	64,8	17,867	191	1	0,0154	16,340	12,409
64,8		58	1	0,0154	34,164	39,228	64,8		198	1	0,0154	15,901	11,680
64,8	37,967	68	1	0,0154	31,584	35,976	64,8	16,333	206	1	0,0154	15,428	10,899
64,8		72	1	0,0154	30,657	34,752	64,8		213	1	0,0154	15,036	10,258
64,8	32,133	83	1	0,0154	28,368	31,597	64,8	15,700	229	1	0,0154	14,210	8,932
64,8		92	1	0,0154	26,733	29,229	64,8		233	1	0,0154	14,018	8,628
64,8	26,200	97	1	0,0154	25,904	27,991	64,8	12,267	254	1	0,0154	13,086	7,194
64,8		101	1	0,0154	25,276	27,039	64,8		268	1	0,0154	12,530	6,373
64,8	24,033	107	1	0,0154	24,389	25,671	64,8	11,300	281	1	0,0154	12,054	5,695
64,8		114	1	0,0154	23,430	24,162	64,8		309	1	0,0154	11,141	4,470
64,8	23,233	122	1	0,0154	22,421	22,546	64,8	10,133	324	1	0,0154	10,706	3,926
64,8		128	1	0,0154	21,720	21,405	64,8		326	1	0,0154	10,651	3,858
64,8	22,533	135	1	0,0154	20,955	20,147	64,8	9,800	345	1	0,0154	10,151	3,273
64,8		143	1	0,0154	20,143	18,799	64,8		351	1	0,0154	10,002	3,108
64,8	21,667	149	1	0,0154	19,574	17,848							
64,8		156	1	0,0154	18,950	16,799							

\*λ=0,00865371134941748

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.19- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C5. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.20- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C6

F3-C6							F3-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0151	56,412	59,330	65,1	21,067	163	1	0,0151	18,008	14,340
65,1		16	1	0,0151	52,213	56,116	65,1		170	1	0,0151	17,441	13,438
65,1	61,867	23	1	0,0151	48,029	52,586	65,1	20,633	177	1	0,0151	16,907	12,592
65,1		34	1	0,0151	42,634	47,482	65,1		184	1	0,0151	16,402	11,800
65,1	36,767	52	1	0,0151	35,972	40,176	65,1	17,867	191	1	0,0151	15,925	11,058
65,1		58	1	0,0151	34,180	38,000	65,1		198	1	0,0151	15,473	10,362
65,1	30,900	68	1	0,0151	31,550	34,632	65,1	16,233	206	1	0,0151	14,986	9,621
65,1		72	1	0,0151	30,604	33,370	65,1		213	1	0,0151	14,582	9,015
65,1	29,533	83	1	0,0151	28,265	30,131	65,1	15,667	229	1	0,0151	13,731	7,771
65,1		92	1	0,0151	26,593	27,716	65,1		233	1	0,0151	13,532	7,488
65,1	25,067	97	1	0,0151	25,744	26,459	65,1	12,500	254	1	0,0151	12,571	6,162
65,1		101	1	0,0151	25,102	25,495	65,1		268	1	0,0151	11,997	5,411
65,1	23,967	107	1	0,0151	24,193	24,114	65,1	10,400	281	1	0,0151	11,506	4,796
65,1		114	1	0,0151	23,210	22,597	65,1		309	1	0,0151	10,563	3,698
65,1	23,167	122	1	0,0151	22,176	20,980	65,1	9,700	324	1	0,0151	10,114	3,218
65,1		128	1	0,0151	21,456	19,844	65,1		326	1	0,0151	10,057	3,159
65,1	22,333	135	1	0,0151	20,670	18,595	65,1	9,467	345	1	0,0151	9,540	2,648
65,1		143	1	0,0151	19,837	17,265	65,1		351	1	0,0151	9,387	2,504
65,1	21,800	149	1	0,0151	19,252	16,329							
65,1		156	1	0,0151	18,611	15,302							

\*λ=0,00928160196483972

Fuente: Elaboración propia

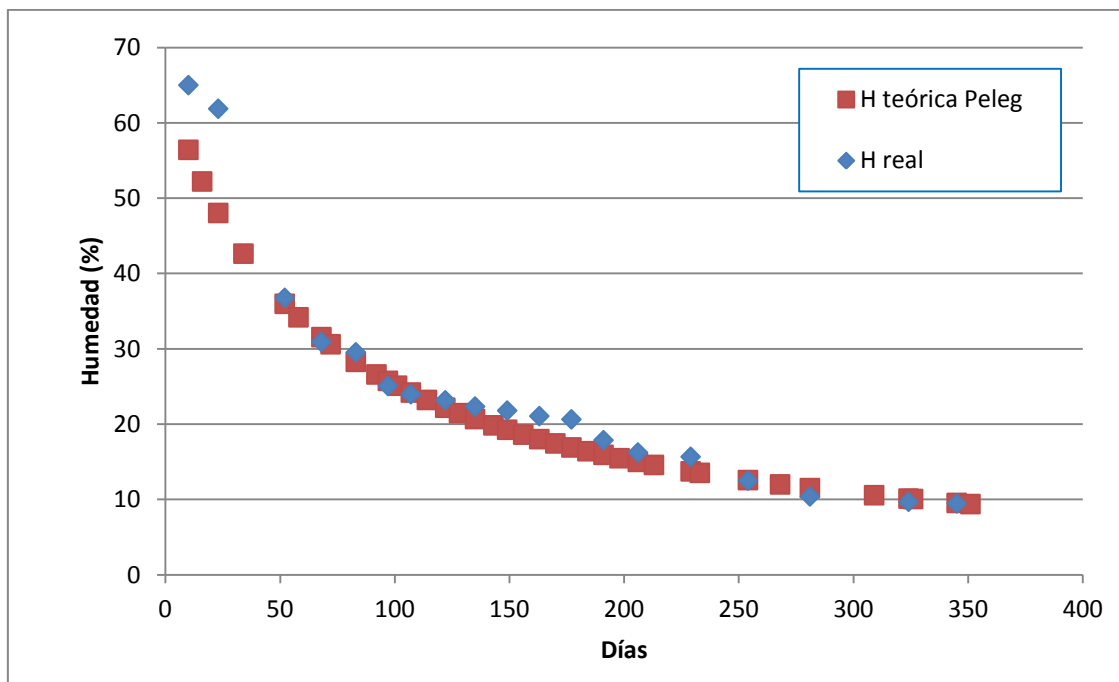


Figura A9.20- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C6. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.21- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F3-C7

F3-C7							F3-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
42,1		10	1	0,028	34,288	36,528	42,1		163	1	0,028	12,805	4,162
42,1	42,067	16	1	0,028	31,050	33,545	42,1	19,133	170	1	0,028	12,586	3,768
42,1		23	1	0,028	28,110	30,372	42,1		177	1	0,028	12,382	3,412
42,1	31,767	34	1	0,028	24,682	25,981	42,1	19,000	184	1	0,028	12,191	3,089
42,1		52	1	0,028	20,927	20,122	42,1		191	1	0,028	12,012	2,797
42,1	31,167	58	1	0,028	19,996	18,479	42,1	17,700	198	1	0,028	11,843	2,532
42,1		68	1	0,028	18,684	16,033	42,1		206	1	0,028	11,663	2,260
42,1	28,700	72	1	0,028	18,227	15,148	42,1	15,933	213	1	0,028	11,514	2,047
42,1		83	1	0,028	17,130	12,958	42,1		229	1	0,028	11,204	1,631
42,1	26,667	92	1	0,028	16,373	11,404	42,1	14,700	233	1	0,028	11,132	1,541
42,1		97	1	0,028	15,997	10,622	42,1		254	1	0,028	10,788	1,143
42,1	25,967	101	1	0,028	15,715	10,036	42,1	10,567	268	1	0,028	10,585	0,937
42,1		107	1	0,028	15,323	9,217	42,1		281	1	0,028	10,413	0,779
42,1	23,867	114	1	0,028	14,905	8,345	42,1	9,600	309	1	0,028	10,086	0,524
42,1		122	1	0,028	14,473	7,449	42,1		324	1	0,028	9,932	0,423
42,1	23,133	128	1	0,028	14,177	6,841	42,1	9,400	326	1	0,028	9,912	0,411
42,1		135	1	0,028	13,857	6,193	42,1		345	1	0,028	9,736	0,314
42,1	22,733	143	1	0,028	13,523	5,529	42,1	9,633	351	1	0,028	9,684	0,289
42,1		149	1	0,028	13,291	5,077							
42,1	22,167	156	1	0,028	13,039	4,597							

\*λ=0,0141966982498615

Fuente: Elaboración propia

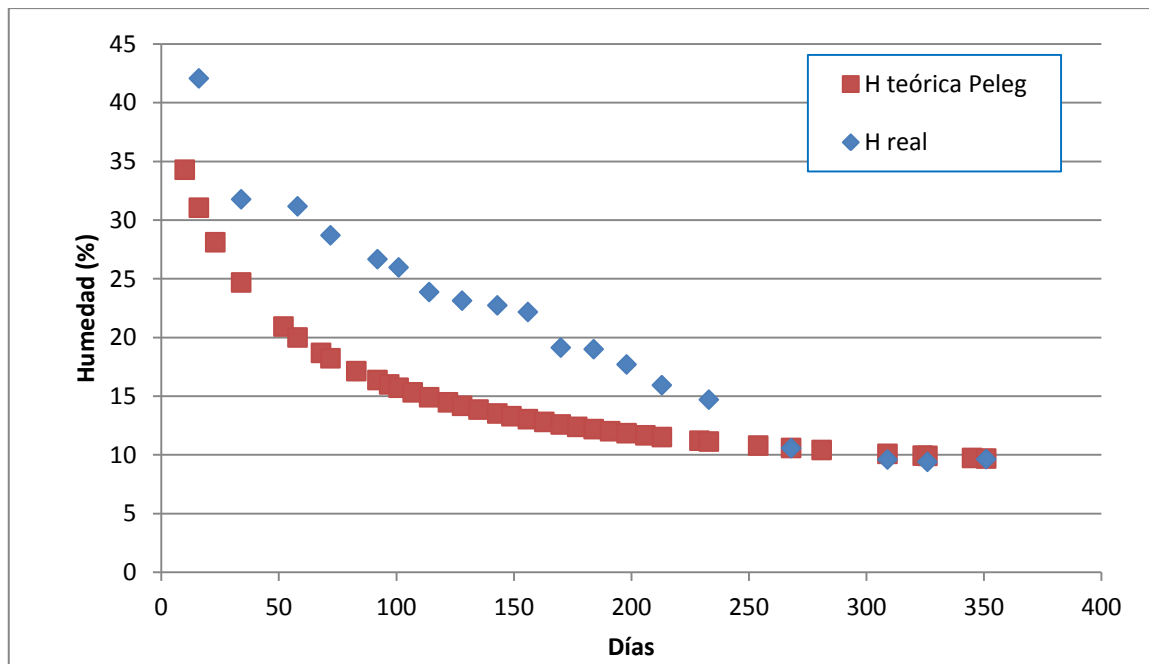


Figura A9.21- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F3-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.22- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C1

F4-C1							F4-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0153	56,427	59,609	65,1	21,833	163	1	0,0153	18,447	15,481
65,1		16	1	0,0153	52,247	56,540	65,1		170	1	0,0153	17,891	14,555
65,1	61,800	23	1	0,0153	48,087	53,158	65,1	20,567	177	1	0,0153	17,367	13,685
65,1		34	1	0,0153	42,735	48,247	65,1		184	1	0,0153	16,872	12,866
65,1	35,400	52	1	0,0153	36,140	41,171	65,1	18,567	191	1	0,0153	16,404	12,097
65,1		58	1	0,0153	34,370	39,051	65,1		198	1	0,0153	15,961	11,373
65,1	30,167	68	1	0,0153	31,773	35,757	65,1	16,867	206	1	0,0153	15,483	10,599
65,1		72	1	0,0153	30,840	34,518	65,1		213	1	0,0153	15,087	9,965
65,1	28,933	83	1	0,0153	28,535	31,330	65,1	16,667	229	1	0,0153	14,253	8,655
65,1		92	1	0,0153	26,888	28,941	65,1		233	1	0,0153	14,058	8,355
65,1	25,900	97	1	0,0153	26,052	27,694	65,1	13,067	254	1	0,0153	13,117	6,943
65,1		101	1	0,0153	25,419	26,735	65,1		268	1	0,0153	12,555	6,138
65,1	25,633	107	1	0,0153	24,525	25,358	65,1	10,767	281	1	0,0153	12,074	5,473
65,1		114	1	0,0153	23,558	23,841	65,1		309	1	0,0153	11,152	4,277
65,1	24,833	122	1	0,0153	22,541	22,218	65,1	9,933	324	1	0,0153	10,712	3,747
65,1		128	1	0,0153	21,833	21,074	65,1		326	1	0,0153	10,656	3,682
65,1	23,633	135	1	0,0153	21,062	19,814	65,1	10,200	345	1	0,0153	10,151	3,114
65,1		143	1	0,0153	20,243	18,465	65,1		351	1	0,0153	10,001	2,954
65,1	22,667	149	1	0,0153	19,669	17,514							
65,1		156	1	0,0153	19,039	16,466							

\*λ=0,00881152775554773

Fuente: Elaboración propia

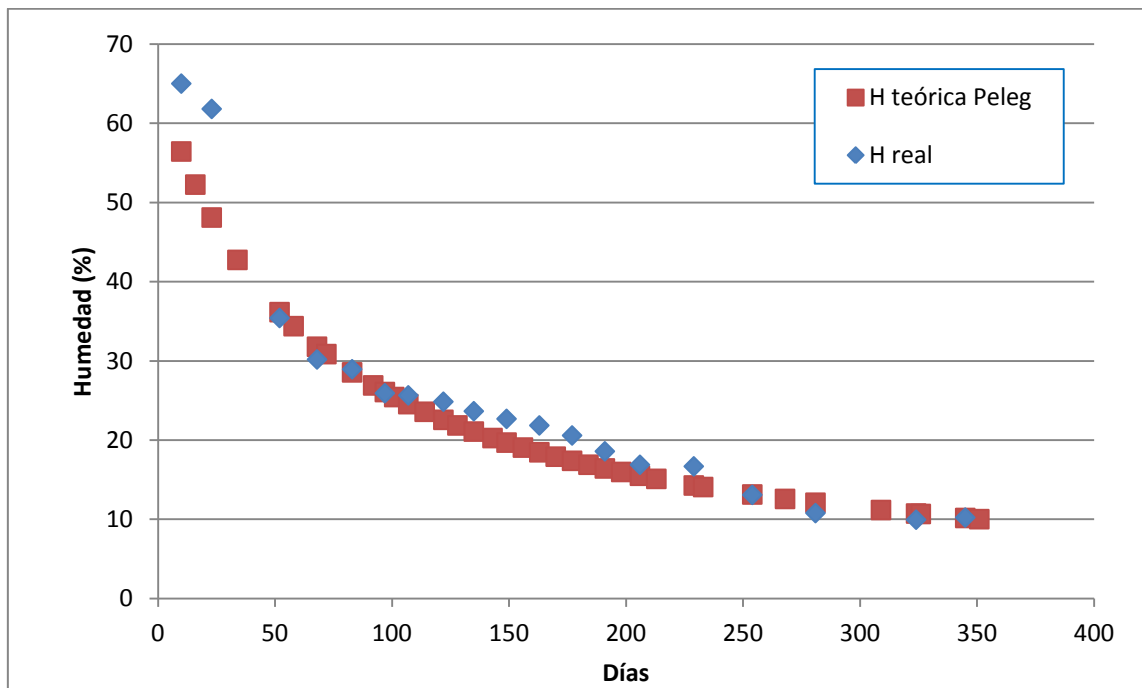


Figura A9.22- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C1. Fuente: Elaboración propia



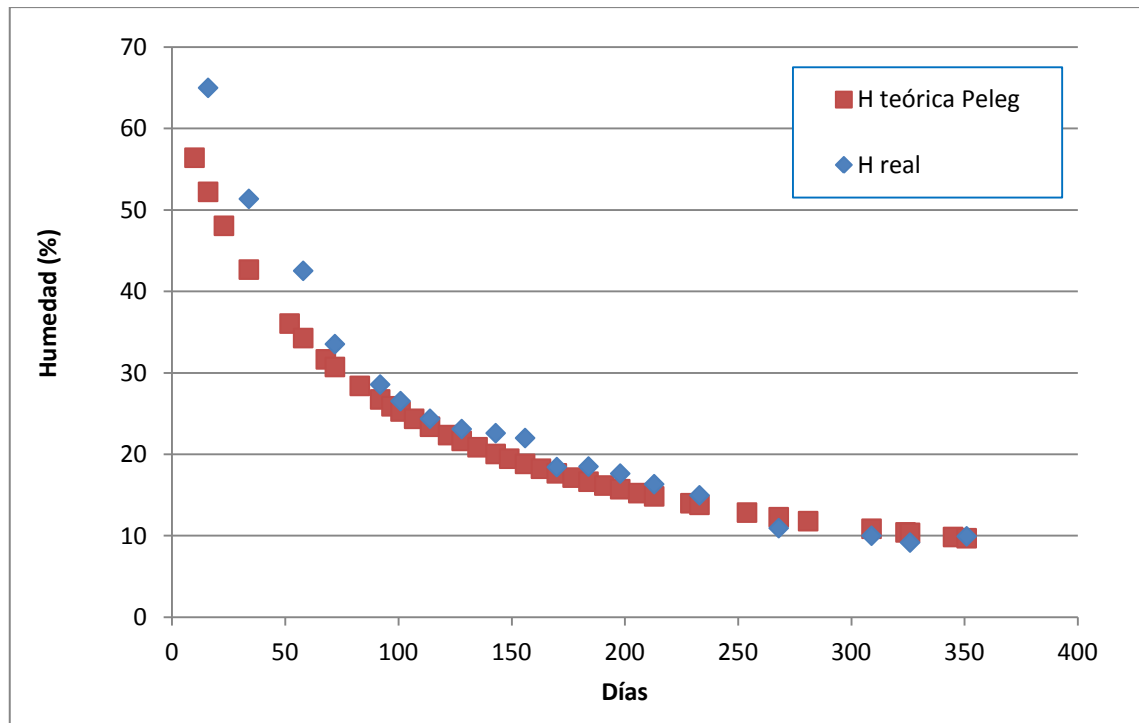
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.23- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C2**

F4-C2							F4-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1		10	1	0,0152	56,419	60,015	65,1		163	1	0,0152	18,229	17,292
65,1	65,000	16	1	0,0152	52,230	57,157	65,1	18,433	170	1	0,0152	17,667	16,335
65,1		23	1	0,0152	48,058	53,993	65,1		177	1	0,0152	17,138	15,431
65,1	51,367	34	1	0,0152	42,684	49,373	65,1	18,500	184	1	0,0152	16,638	14,577
65,1		52	1	0,0152	36,056	42,649	65,1		191	1	0,0152	16,166	13,770
65,1	42,533	58	1	0,0152	34,275	40,618	65,1	17,633	198	1	0,0152	15,719	13,008
65,1		68	1	0,0152	31,662	37,445	65,1		206	1	0,0152	15,236	12,189
65,1	33,533	72	1	0,0152	30,723	36,246	65,1	16,333	213	1	0,0152	14,836	11,514
65,1		83	1	0,0152	28,400	33,145	65,1		229	1	0,0152	13,993	10,109
65,1	28,567	92	1	0,0152	26,741	30,805	65,1	14,967	233	1	0,0152	13,796	9,786
65,1		97	1	0,0152	25,899	29,578	65,1		254	1	0,0152	12,845	8,249
65,1	26,533	101	1	0,0152	25,261	28,631	65,1	10,933	268	1	0,0152	12,278	7,361
65,1		107	1	0,0152	24,360	27,267	65,1		281	1	0,0152	11,791	6,623
65,1	24,367	114	1	0,0152	23,385	25,758	65,1	10,000	309	1	0,0152	10,859	5,274
65,1		122	1	0,0152	22,359	24,136	65,1		324	1	0,0152	10,415	4,668
65,1	23,100	128	1	0,0152	21,645	22,986	65,1	9,167	326	1	0,0152	10,358	4,593
65,1		135	1	0,0152	20,867	21,714	65,1		345	1	0,0152	9,847	3,935
65,1	22,600	143	1	0,0152	20,041	20,346	65,1	9,933	351	1	0,0152	9,695	3,748
65,1		149	1	0,0152	19,462	19,377							
65,1	22,000	156	1	0,0152	18,826	18,305							

\*λ=0,00813309216686191

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.23- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C2. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.24- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C3

F4-C3							F4-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1		10	1	0,0152	56,419	59,404	65,1		163	1	0,0152	18,229	14,637
65,1	65,000	16	1	0,0152	52,230	56,229	65,1	17,800	170	1	0,0152	17,667	13,729
65,1		23	1	0,0152	48,058	52,739	65,1		177	1	0,0152	17,138	12,876
65,1	49,367	34	1	0,0152	42,684	47,686	65,1	18,133	184	1	0,0152	16,638	12,077
65,1		52	1	0,0152	36,056	40,441	65,1		191	1	0,0152	16,166	11,327
65,1	36,933	58	1	0,0152	34,275	38,279	65,1	17,100	198	1	0,0152	15,719	10,624
65,1		68	1	0,0152	31,662	34,930	65,1		206	1	0,0152	15,236	9,874
65,1	30,333	72	1	0,0152	30,723	33,674	65,1	15,500	213	1	0,0152	14,836	9,261
65,1		83	1	0,0152	28,400	30,448	65,1		229	1	0,0152	13,993	7,999
65,1	26,800	92	1	0,0152	26,741	28,040	65,1	14,367	233	1	0,0152	13,796	7,711
65,1		97	1	0,0152	25,899	26,785	65,1		254	1	0,0152	12,845	6,362
65,1	25,400	101	1	0,0152	25,261	25,822	65,1	10,600	268	1	0,0152	12,278	5,597
65,1		107	1	0,0152	24,360	24,442	65,1		281	1	0,0152	11,791	4,969
65,1	23,400	114	1	0,0152	23,385	22,924	65,1	9,533	309	1	0,0152	10,859	3,845
65,1		122	1	0,0152	22,359	21,305	65,1		324	1	0,0152	10,415	3,352
65,1	22,867	128	1	0,0152	21,645	20,166	65,1	8,933	326	1	0,0152	10,358	3,291
65,1		135	1	0,0152	20,867	18,914	65,1		345	1	0,0152	9,847	2,766
65,1	22,167	143	1	0,0152	20,041	17,579	65,1	9,433	351	1	0,0152	9,695	2,618
65,1		149	1	0,0152	19,462	16,639							
65,1	21,533	156	1	0,0152	18,826	15,606							

\*λ=0,00915552703194941

Fuente: Elaboración propia

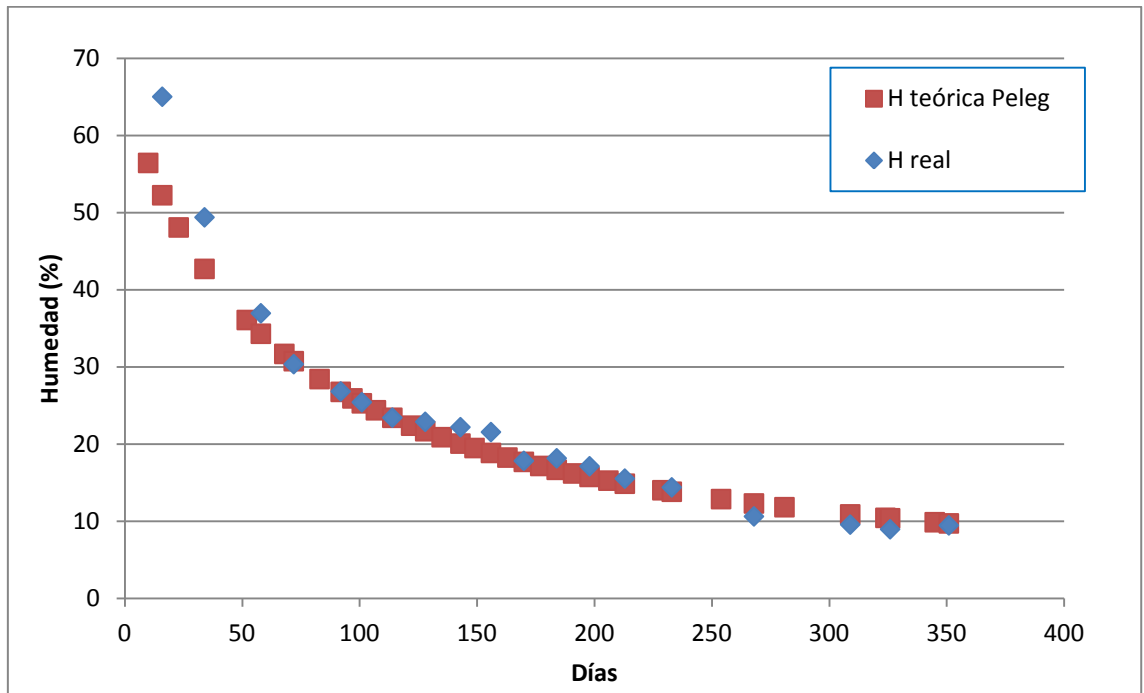


Figura A9.24- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C3. Fuente: Elaboración propia



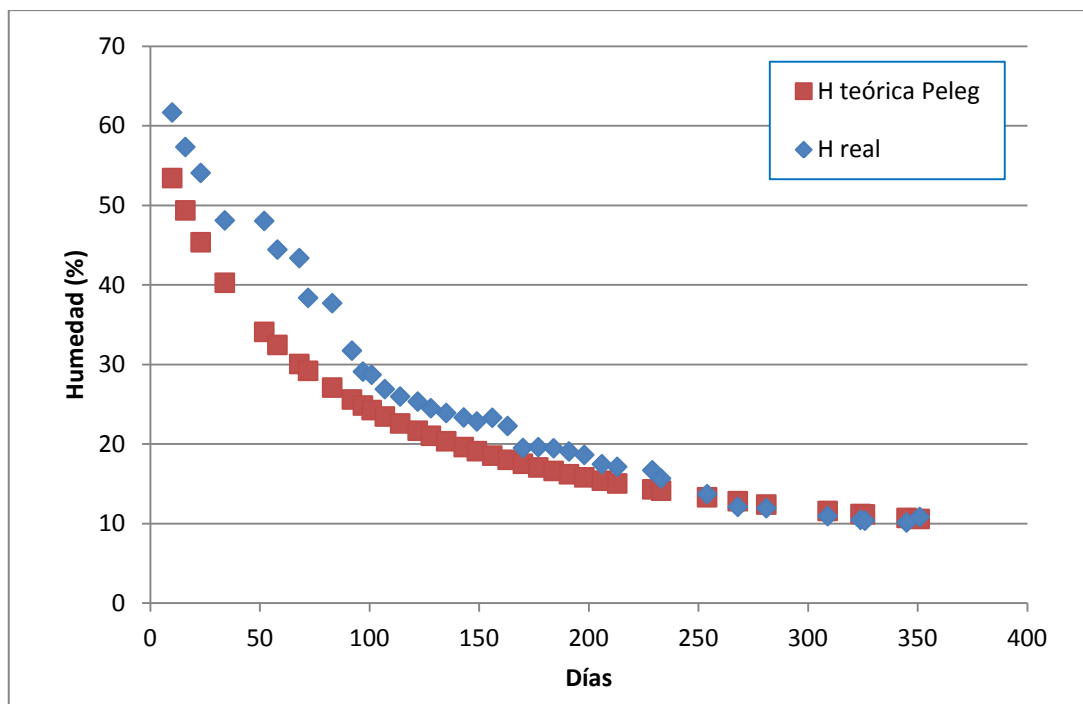
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.25- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C4**

F4-C4							F4-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
62	61,667	10	1	0,0166	53,424	57,163	62	22,267	163	1	0,0166	18,015	16,497
62	57,333	16	1	0,0166	49,358	54,444	62	19,500	170	1	0,0166	17,521	15,586
62	54,067	23	1	0,0166	45,355	51,435	62	19,600	177	1	0,0166	17,056	14,724
62	48,100	34	1	0,0166	40,266	47,039	62	19,467	184	1	0,0166	16,617	13,910
62	48,033	52	1	0,0166	34,091	40,641	62	19,067	191	1	0,0166	16,203	13,141
62	44,433	58	1	0,0166	32,450	38,708	62	18,633	198	1	0,0166	15,812	12,415
62	43,367	68	1	0,0166	30,057	35,688	62	17,467	206	1	0,0166	15,389	11,634
62	38,367	72	1	0,0166	29,201	34,547	62	17,133	213	1	0,0166	15,040	10,991
62	37,700	83	1	0,0166	27,094	31,594	62	16,700	229	1	0,0166	14,306	9,652
62	31,733	92	1	0,0166	25,596	29,367	62	15,667	233	1	0,0166	14,134	9,343
62	29,100	97	1	0,0166	24,838	28,199	62	13,700	254	1	0,0166	13,307	7,878
62	28,700	101	1	0,0166	24,266	27,297	62	12,100	268	1	0,0166	12,815	7,031
62	26,900	107	1	0,0166	23,458	25,999	62	11,933	281	1	0,0166	12,394	6,327
62	25,967	114	1	0,0166	22,586	24,562	62	10,933	309	1	0,0166	11,587	5,040
62	25,333	122	1	0,0166	21,672	23,017	62	10,467	324	1	0,0166	11,204	4,462
62	24,500	128	1	0,0166	21,037	21,922	62	10,367	326	1	0,0166	11,155	4,390
62	23,900	135	1	0,0166	20,346	20,710	62	10,133	345	1	0,0166	10,714	3,762
62	23,333	143	1	0,0166	19,615	19,407	62	10,833	351	1	0,0166	10,583	3,583
62	22,833	149	1	0,0166	19,103	18,484							
62	23,300	156	1	0,0166	18,541	17,462							

\*λ=0,00812230855379164

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.25: Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C4. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.26- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C5

F4-C5							F4-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1		10	1	0,0152	56,419	61,083	65,1		163	1	0,0152	18,229	23,053
65,1	65,000	16	1	0,0152	52,230	58,793	65,1	18,667	170	1	0,0152	17,667	22,047
65,1		23	1	0,0152	48,058	56,229	65,1		177	1	0,0152	17,138	21,086
65,1	62,500	34	1	0,0152	42,684	52,425	65,1	18,700	184	1	0,0152	16,638	20,167
65,1		52	1	0,0152	36,056	46,746	65,1		191	1	0,0152	16,166	19,287
65,1	61,300	58	1	0,0152	34,275	44,994	65,1	17,733	198	1	0,0152	15,719	18,446
65,1		68	1	0,0152	31,662	42,217	65,1		206	1	0,0152	15,236	17,530
65,1	54,000	72	1	0,0152	30,723	41,155	65,1	16,200	213	1	0,0152	14,836	16,766
65,1		83	1	0,0152	28,400	38,371	65,1		229	1	0,0152	13,993	15,141
65,1	41,067	92	1	0,0152	26,741	36,233	65,1	14,933	233	1	0,0152	13,796	14,760
65,1		97	1	0,0152	25,899	35,098	65,1		254	1	0,0152	12,845	12,913
65,1	33,433	101	1	0,0152	25,261	34,215	65,1	10,933	268	1	0,0152	12,278	11,811
65,1		107	1	0,0152	24,360	32,932	65,1		281	1	0,0152	11,791	10,872
65,1	27,367	114	1	0,0152	23,385	31,496	65,1	10,333	309	1	0,0152	10,859	9,097
65,1		122	1	0,0152	22,359	29,931	65,1		324	1	0,0152	10,415	8,268
65,1	25,700	128	1	0,0152	21,645	28,809	65,1	9,433	326	1	0,0152	10,358	8,163
65,1		135	1	0,0152	20,867	27,553	65,1		345	1	0,0152	9,847	7,233
65,1	23,833	143	1	0,0152	20,041	26,184	65,1	9,867	351	1	0,0152	9,695	6,962
65,1		149	1	0,0152	19,462	25,203							
65,1	22,667	156	1	0,0152	18,826	24,104							

\*λ=0,00636900113363429

Fuente: Elaboración propia

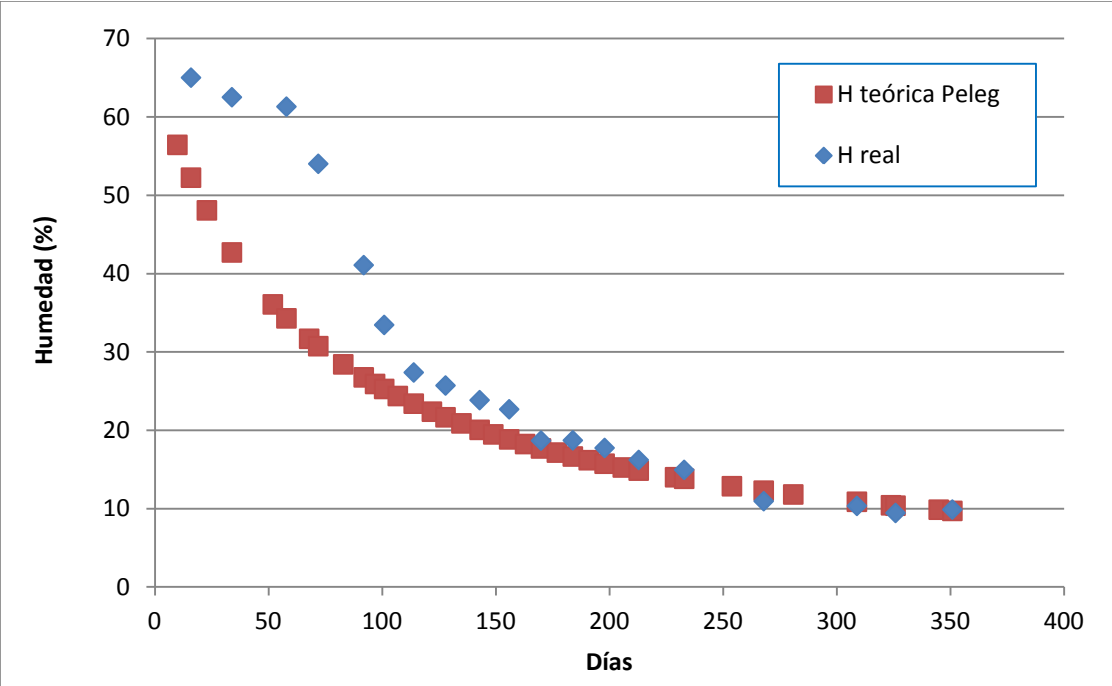


Figura A9.26- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C5. Fuente: Elaboración propia



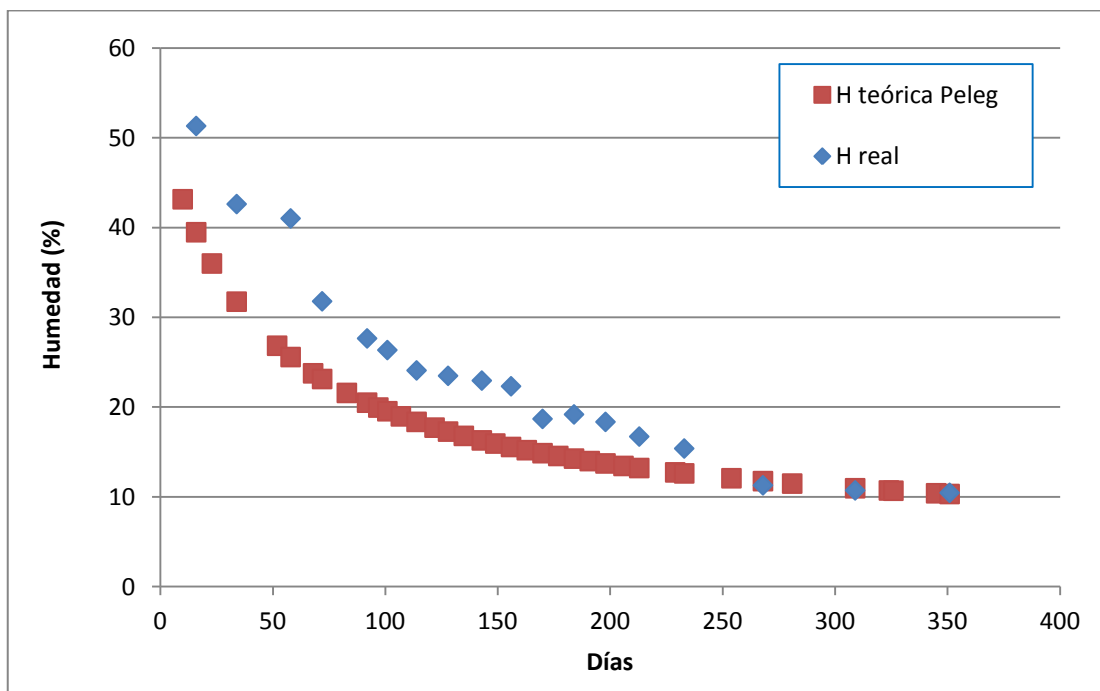
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.27- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C6**

F4-C6							F4-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
51,4		10	1	0,0215	43,170	46,447	51,4		163	1	0,0215	15,214	9,856
51,4	51,333	16	1	0,0215	39,495	43,708	51,4	18,700	170	1	0,0215	14,880	9,181
51,4		23	1	0,0215	36,010	40,715	51,4		177	1	0,0215	14,567	8,552
51,4	42,633	34	1	0,0215	31,758	36,421	51,4	19,200	184	1	0,0215	14,273	7,967
51,4		52	1	0,0215	26,849	30,349	51,4		191	1	0,0215	13,997	7,421
51,4	41,033	58	1	0,0215	25,588	28,559	51,4	18,367	198	1	0,0215	13,736	6,913
51,4		68	1	0,0215	23,780	25,807	51,4		206	1	0,0215	13,456	6,375
51,4	31,800	72	1	0,0215	23,143	24,782	51,4	16,733	213	1	0,0215	13,225	5,939
51,4		83	1	0,0215	21,592	22,168	51,4		229	1	0,0215	12,740	5,050
51,4	27,667	92	1	0,0215	20,507	20,236	51,4	15,400	233	1	0,0215	12,628	4,849
51,4		97	1	0,0215	19,963	19,236	51,4		254	1	0,0215	12,087	3,920
51,4	26,367	101	1	0,0215	19,554	18,472	51,4	11,300	268	1	0,0215	11,767	3,401
51,4		107	1	0,0215	18,981	17,383	51,4		281	1	0,0215	11,494	2,982
51,4	24,100	114	1	0,0215	18,366	16,193	51,4	10,733	309	1	0,0215	10,973	2,245
51,4		122	1	0,0215	17,726	14,932	51,4		324	1	0,0215	10,727	1,929
51,4	23,500	128	1	0,0215	17,285	14,051	51,4		326	1	0,0215	10,696	1,890
51,4		135	1	0,0215	16,807	13,089	51,4		345	1	0,0215	10,414	1,559
51,4	22,967	143	1	0,0215	16,304	12,070	51,4		351	1	0,0215	10,331	1,467
51,4		149	1	0,0215	15,953	11,358							
51,4	22,333	156	1	0,0215	15,571	10,580							

\*λ=0,0101323060223932

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.27- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C6. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.28- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F4-C7

F4-C7							F4-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0153	56,427	59,170	65,1	20,767	163	1	0,0153	18,447	13,722
65,1		16	1	0,0153	52,247	55,874	65,1		170	1	0,0153	17,891	12,835
65,1	55,800	23	1	0,0153	48,087	52,260	65,1	19,100	177	1	0,0153	17,367	12,005
65,1		34	1	0,0153	42,735	47,048	65,1		184	1	0,0153	16,872	11,228
65,1	36,367	52	1	0,0153	36,140	39,616	65,1	18,100	191	1	0,0153	16,404	10,502
65,1		58	1	0,0153	34,370	37,410	65,1		198	1	0,0153	15,961	9,823
65,1	29,733	68	1	0,0153	31,773	34,002	65,1	16,833	206	1	0,0153	15,483	9,100
65,1		72	1	0,0153	30,840	32,727	65,1		213	1	0,0153	15,087	8,512
65,1	28,733	83	1	0,0153	28,535	29,463	65,1	15,933	229	1	0,0153	14,253	7,305
65,1		92	1	0,0153	26,888	27,036	65,1		233	1	0,0153	14,058	7,031
65,1	25,000	97	1	0,0153	26,052	25,775	65,1	12,233	254	1	0,0153	13,117	5,753
65,1		101	1	0,0153	25,419	24,809	65,1		268	1	0,0153	12,555	5,033
65,1	23,933	107	1	0,0153	24,525	23,427	65,1	10,500	281	1	0,0153	12,074	4,446
65,1		114	1	0,0153	23,558	21,912	65,1		309	1	0,0153	11,152	3,402
65,1	23,133	122	1	0,0153	22,541	20,300	65,1	9,833	324	1	0,0153	10,712	2,948
65,1		128	1	0,0153	21,833	19,169	65,1		326	1	0,0153	10,656	2,892
65,1	22,700	135	1	0,0153	21,062	17,930	65,1	9,833	345	1	0,0153	10,151	2,412
65,1		143	1	0,0153	20,243	16,611	65,1		351	1	0,0153	10,001	2,278
65,1	21,867	149	1	0,0153	19,669	15,685							
65,1		156	1	0,0153	19,039	14,671							

\*λ=0,009551643399315

Fuente: Elaboración propia

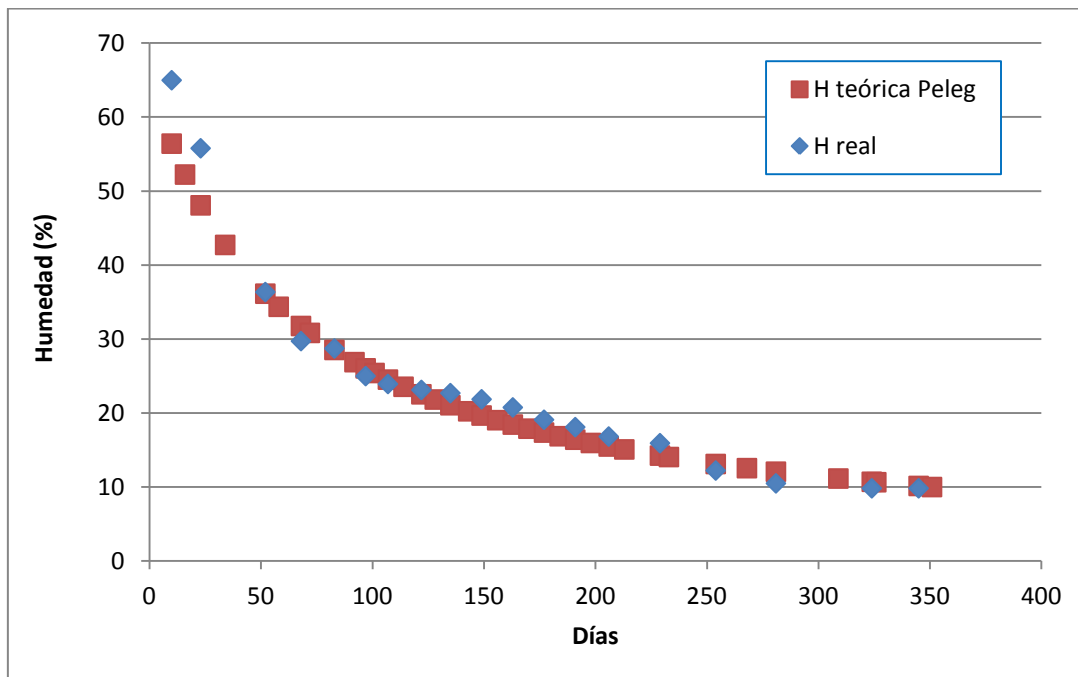


Figura A9.28: Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F4-C7. Fuente: Elaboración propia



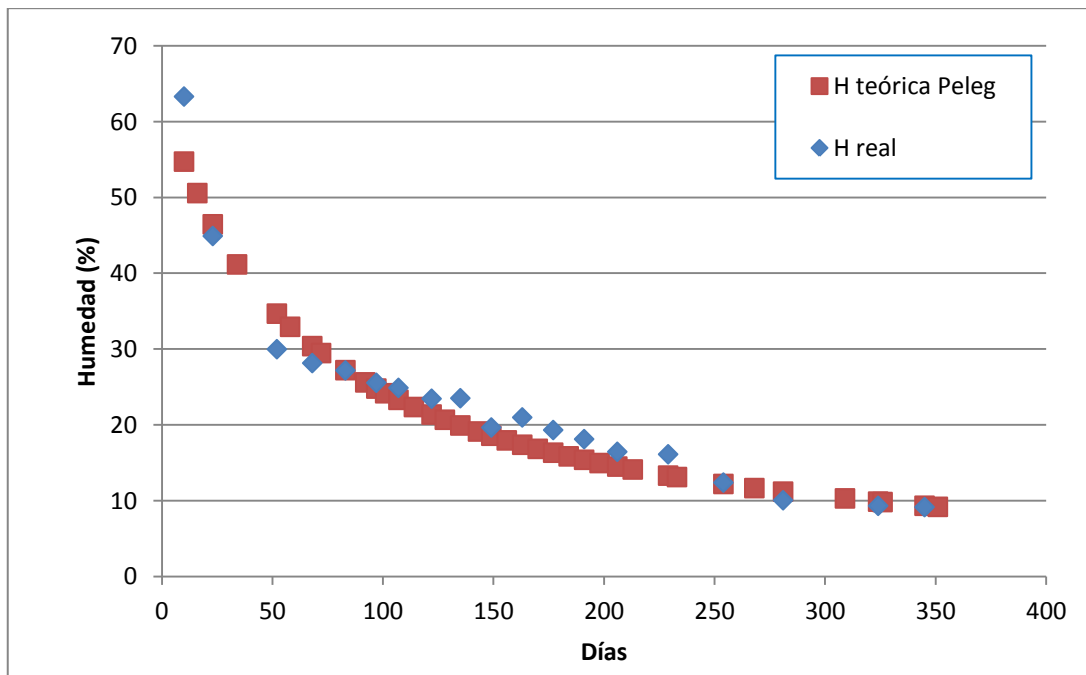


## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.29- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C1**

F5-C1							F5-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
63,4	63,333	10	1	0,0156	54,749	53,908	63,4	21,000	163	1	0,0156	17,391	4,509
63,4		16	1	0,0156	50,596	48,910	63,4		170	1	0,0156	16,850	4,025
63,4	44,933	23	1	0,0156	46,473	43,661	63,4	19,333	177	1	0,0156	16,341	3,593
63,4		34	1	0,0156	41,184	36,527	63,4		184	1	0,0156	15,860	3,207
63,4	30,000	52	1	0,0156	34,690	27,280	63,4	18,133	191	1	0,0156	15,405	2,863
63,4		58	1	0,0156	32,951	24,750	63,4		198	1	0,0156	14,975	2,556
63,4	28,167	68	1	0,0156	30,403	21,045	63,4	16,467	206	1	0,0156	14,511	2,245
63,4		72	1	0,0156	29,489	19,723	63,4		213	1	0,0156	14,126	2,004
63,4	27,200	83	1	0,0156	27,231	16,501	63,4	16,133	229	1	0,0156	13,317	1,546
63,4		92	1	0,0156	25,621	14,260	63,4		233	1	0,0156	13,128	1,449
63,4	25,567	97	1	0,0156	24,804	13,149	63,4	12,400	254	1	0,0156	12,215	1,031
63,4		101	1	0,0156	24,186	12,323	63,4		268	1	0,0156	11,671	0,821
63,4	24,900	107	1	0,0156	23,313	11,181	63,4	10,067	281	1	0,0156	11,204	0,665
63,4		114	1	0,0156	22,369	9,981	63,4		309	1	0,0156	10,311	0,422
63,4	23,467	122	1	0,0156	21,377	8,766	63,4	9,333	324	1	0,0156	9,885	0,331
63,4		128	1	0,0156	20,688	7,953	63,4		326	1	0,0156	9,831	0,321
63,4	23,533	135	1	0,0156	19,936	7,100	63,4	9,167	345	1	0,0156	9,342	0,236
63,4		143	1	0,0156	19,139	6,236	63,4		351	1	0,0156	9,197	0,214
63,4	19,667	149	1	0,0156	18,580	5,658	*λ=0,0162176219755613						
63,4		156	1	0,0156	17,967	5,051							

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.29- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C1. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.30- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C2

F5-C2							F5-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
60,4		10	1	0,0168	51,838	53,171	60,4		163	1	0,0168	16,798	7,561
60,4	60,333	16	1	0,0168	47,790	49,255	60,4	18,967	170	1	0,0168	16,313	6,916
60,4		23	1	0,0168	43,810	45,050	60,4		177	1	0,0168	15,856	6,325
60,4	51,400	34	1	0,0168	38,760	39,156	60,4	18,400	184	1	0,0168	15,425	5,785
60,4		52	1	0,0168	32,646	31,127	60,4		191	1	0,0168	15,019	5,291
60,4	39,033	58	1	0,0168	31,024	28,835	60,4	17,833	198	1	0,0168	14,634	4,840
60,4		68	1	0,0168	28,660	25,384	60,4		206	1	0,0168	14,220	4,370
60,4	31,933	72	1	0,0168	27,815	24,122	60,4	16,233	213	1	0,0168	13,877	3,997
60,4		83	1	0,0168	25,736	20,966	60,4		229	1	0,0168	13,156	3,260
60,4	28,800	92	1	0,0168	24,259	18,693	60,4	15,167	233	1	0,0168	12,988	3,098
60,4		97	1	0,0168	23,512	17,539	60,4		254	1	0,0168	12,177	2,370
60,4	27,233	101	1	0,0168	22,948	16,667	60,4	11,000	268	1	0,0168	11,694	1,983
60,4		107	1	0,0168	22,153	15,439	60,4		281	1	0,0168	11,281	1,680
60,4	25,133	114	1	0,0168	21,295	14,121	60,4	10,067	309	1	0,0168	10,490	1,176
60,4		122	1	0,0168	20,395	12,752	60,4		324	1	0,0168	10,114	0,971
60,4	23,567	128	1	0,0168	19,770	11,813	60,4	9,433	326	1	0,0168	10,067	0,947
60,4		135	1	0,0168	19,090	10,805	60,4		345	1	0,0168	9,635	0,743
60,4	24,233	143	1	0,0168	18,371	9,757	60,4	9,433	351	1	0,0168	9,507	0,688
60,4		149	1	0,0168	17,867	9,039							
60,4	22,533	156	1	0,0168	17,316	8,267							

\*λ=0,0127482567513481

Fuente: Elaboración propia

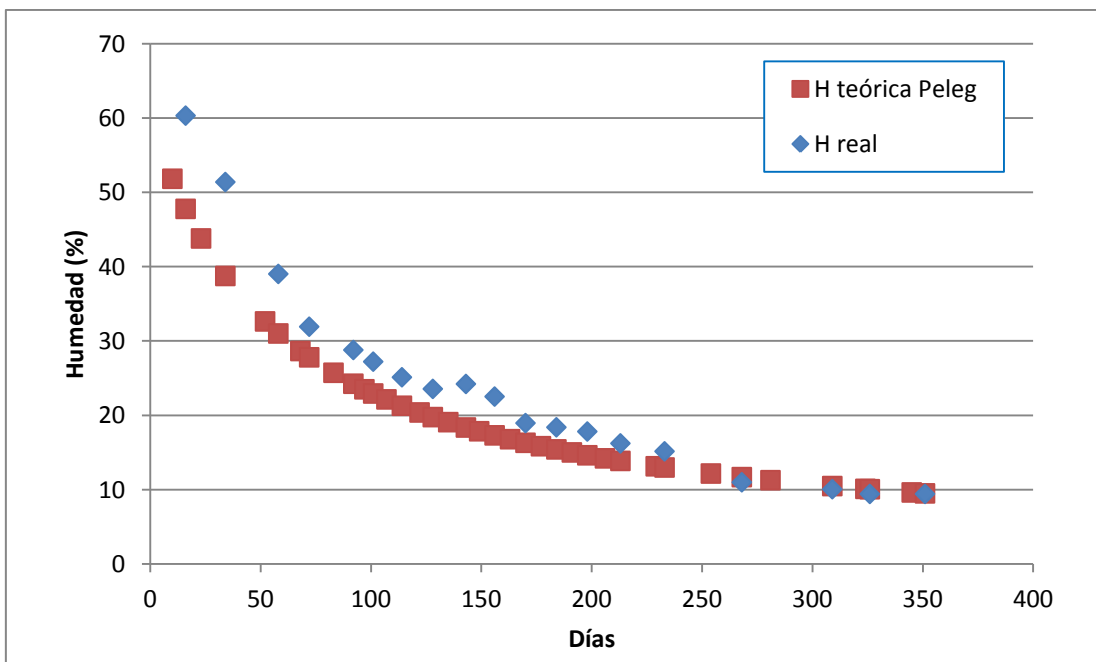


Figura A9.30- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C2. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.31- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C3

F5-C3							F5-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1		10	1	0,0152	56,419	58,146	65,1		163	1	0,0152	18,229	10,324
65,1	65,000	16	1	0,0152	52,230	54,335	65,1	18,333	170	1	0,0152	17,667	9,539
65,1		23	1	0,0152	48,058	50,204	65,1		177	1	0,0152	17,138	8,814
65,1	51,700	34	1	0,0152	42,684	44,337	65,1	18,067	184	1	0,0152	16,638	8,144
65,1		52	1	0,0152	36,056	36,179	65,1		191	1	0,0152	16,166	7,524
65,1	47,033	58	1	0,0152	34,275	33,808	65,1	17,433	198	1	0,0152	15,719	6,952
65,1		68	1	0,0152	31,662	30,196	65,1		206	1	0,0152	15,236	6,352
65,1	37,700	72	1	0,0152	30,723	28,862	65,1	15,800	213	1	0,0152	14,836	5,869
65,1		83	1	0,0152	28,400	25,489	65,1		229	1	0,0152	13,993	4,898
65,1	32,000	92	1	0,0152	26,741	23,025	65,1	14,800	233	1	0,0152	13,796	4,682
65,1		97	1	0,0152	25,899	21,760	65,1		254	1	0,0152	12,845	3,693
65,1	28,200	101	1	0,0152	25,261	20,799	65,1	10,367	268	1	0,0152	12,278	3,153
65,1		107	1	0,0152	24,360	19,436	65,1		281	1	0,0152	11,791	2,722
65,1	25,100	114	1	0,0152	23,385	17,958	65,1	10,100	309	1	0,0152	10,859	1,984
65,1		122	1	0,0152	22,359	16,406	65,1		324	1	0,0152	10,415	1,675
65,1	23,300	128	1	0,0152	21,645	15,331	65,1	9,233	326	1	0,0152	10,358	1,637
65,1		135	1	0,0152	20,867	14,165	65,1		345	1	0,0152	9,847	1,321
65,1	23,600	143	1	0,0152	20,041	12,941	65,1	9,733	351	1	0,0152	9,695	1,234
65,1		149	1	0,0152	19,462	12,093							
65,1	22,067	156	1	0,0152	18,826	11,174							

\*λ=0,0112972194303382

Fuente: Elaboración propia

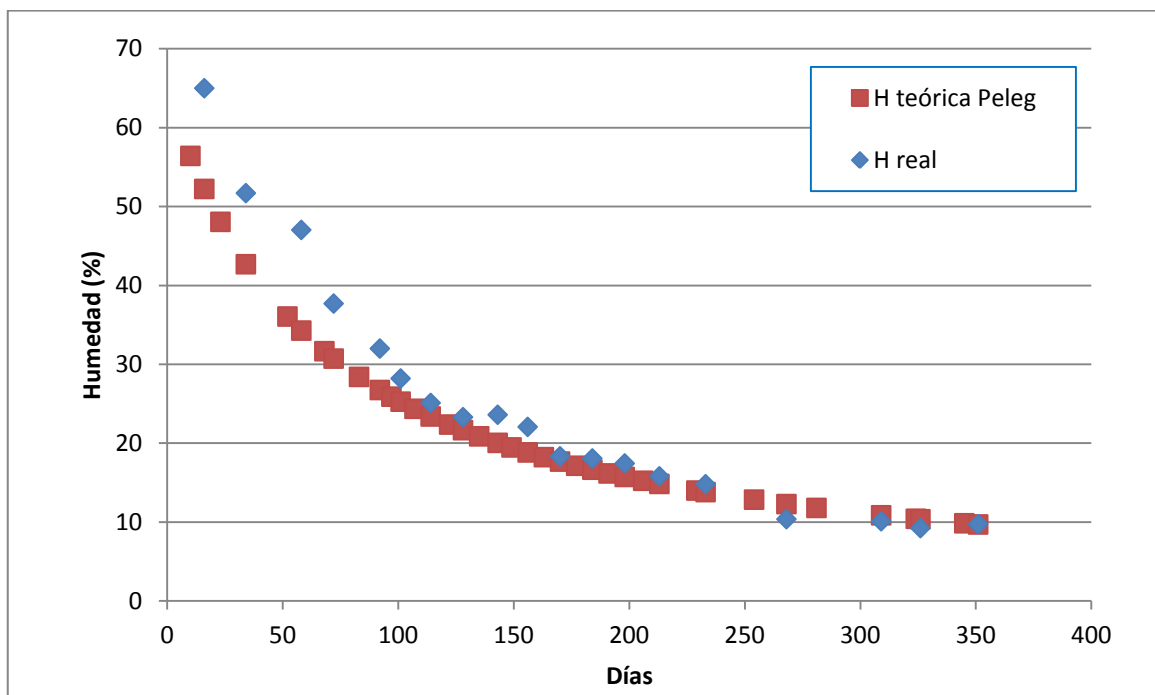


Figura A9.31- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.32- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C4

F5-C4							F5-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0152	56,419	59,705	65,1	21,467	163	1	0,0152	18,229	15,893
65,1		16	1	0,0152	52,230	56,685	65,1		170	1	0,0152	17,667	14,959
65,1	65,000	23	1	0,0152	48,058	53,354	65,1	19,133	177	1	0,0152	17,138	14,080
65,1		34	1	0,0152	42,684	48,511	65,1		184	1	0,0152	16,638	13,253
65,1	60,700	52	1	0,0152	36,056	41,516	65,1	18,367	191	1	0,0152	16,166	12,474
65,1		58	1	0,0152	34,275	39,416	65,1		198	1	0,0152	15,719	11,741
65,1	51,267	68	1	0,0152	31,662	36,150	65,1	16,767	206	1	0,0152	15,236	10,956
65,1		72	1	0,0152	30,723	34,920	65,1		213	1	0,0152	14,836	10,312
65,1	44,467	83	1	0,0152	28,400	31,751	65,1	16,033	229	1	0,0152	13,993	8,979
65,1		92	1	0,0152	26,741	29,372	65,1		233	1	0,0152	13,796	8,674
65,1	31,967	97	1	0,0152	25,899	28,129	65,1		254	1	0,0152	12,845	7,233
65,1		101	1	0,0152	25,261	27,172	65,1	13,067	268	1	0,0152	12,278	6,408
65,1	27,400	107	1	0,0152	24,360	25,798	65,1		281	1	0,0152	11,791	5,726
65,1		114	1	0,0152	23,385	24,282	65,1	11,200	309	1	0,0152	10,859	4,494
65,1	26,100	122	1	0,0152	22,359	22,658	65,1		324	1	0,0152	10,415	3,947
65,1		128	1	0,0152	21,645	21,512	65,1	10,100	326	1	0,0152	10,358	3,880
65,1	25,033	135	1	0,0152	20,867	20,248	65,1		345	1	0,0152	9,847	3,292
65,1		143	1	0,0152	20,041	18,894	65,1	9,667	351	1	0,0152	9,695	3,125
65,1	21,000	149	1	0,0152	19,462	17,939							
65,1		156	1	0,0152	18,826	16,885							

\*λ=0,00865075175751007

Fuente: Elaboración propia

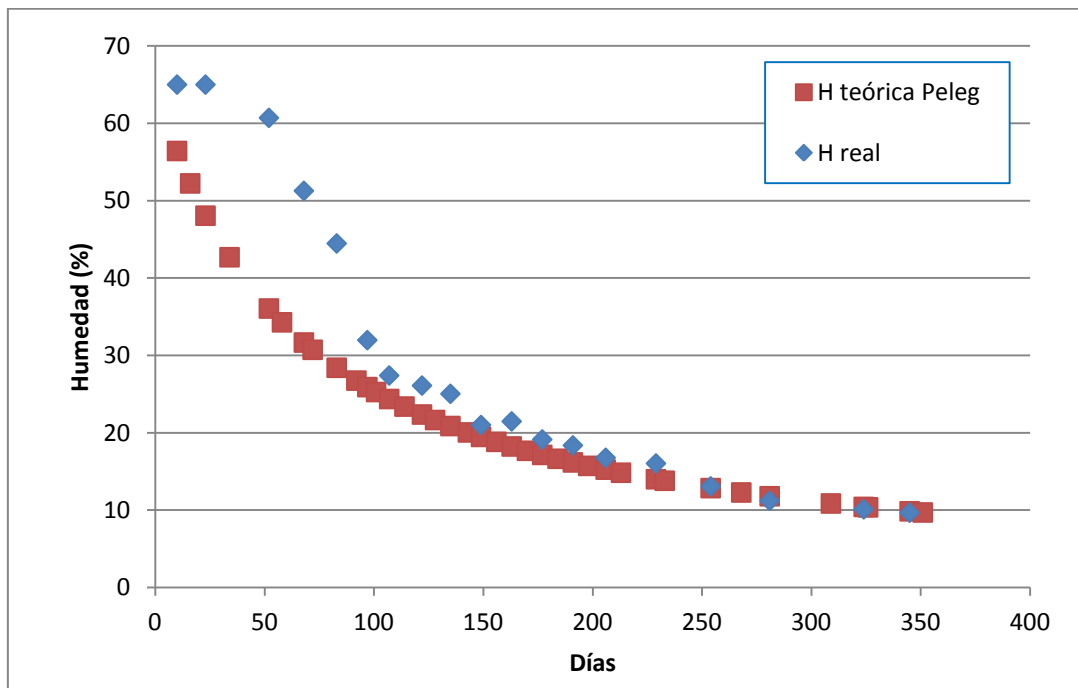


Figura A9.32- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C4. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.33- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C5**

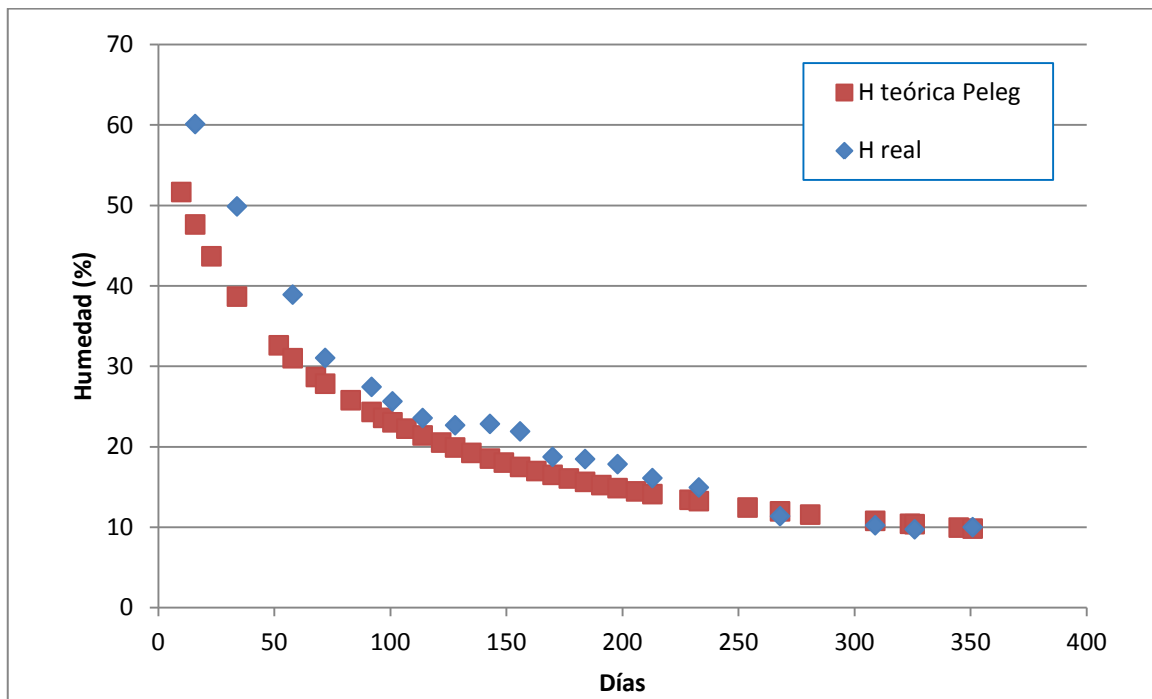
F5-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
60,2		10	1	0,017	51,653	53,574
60,2	60,100	16	1	0,017	47,621	49,954
60,2		23	1	0,017	43,665	46,038
60,2	49,867	34	1	0,017	38,654	40,496
60,2		52	1	0,017	32,599	32,829
60,2	38,900	58	1	0,017	30,996	30,610
60,2		68	1	0,017	28,660	27,241
60,2	31,033	72	1	0,017	27,826	25,999
60,2		83	1	0,017	25,774	22,870
60,2	27,433	92	1	0,017	24,319	20,591
60,2		97	1	0,017	23,582	19,425
60,2	25,633	101	1	0,017	23,027	18,540
60,2		107	1	0,017	22,243	17,287
60,2	23,567	114	1	0,017	21,398	15,932
60,2		122	1	0,017	20,512	14,513
60,2	22,667	128	1	0,017	19,898	13,532
60,2		135	1	0,017	19,229	12,471
60,2	22,833	143	1	0,017	18,521	11,361
60,2		149	1	0,017	18,026	10,593
60,2	21,900	156	1	0,017	17,484	9,763

F5-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
60,2		163	1	0,017	16,975	8,997
60,2	18,733	170	1	0,017	16,498	8,292
60,2		177	1	0,017	16,049	7,642
60,2	18,467	184	1	0,017	15,626	7,043
60,2		191	1	0,017	15,227	6,491
60,2	17,833	198	1	0,017	14,850	5,982
60,2		206	1	0,017	14,443	5,449
60,2	16,100	213	1	0,017	14,106	5,022
60,2		229	1	0,017	13,398	4,167
60,2	14,933	233	1	0,017	13,234	3,977
60,2		254	1	0,017	12,438	3,114
60,2	11,367	268	1	0,017	11,964	2,645
60,2		281	1	0,017	11,559	2,273
60,2	10,233	309	1	0,017	10,784	1,640
60,2		324	1	0,017	10,415	1,376
60,2	9,733	326	1	0,017	10,368	1,345
60,2		345	1	0,017	9,945	1,077
60,2	10,000	351	1	0,017	9,820	1,005

\*λ=0,0116610443495602

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.33- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C5. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.34- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C6

F5-C6							F5-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
50		10	1	0,022	41,803	46,021	50		163	1	0,022	14,457	12,940
50	49,967	16	1	0,022	38,166	43,787	50	19,700	170	1	0,022	14,135	12,210
50		23	1	0,022	34,728	41,318	50		177	1	0,022	13,833	11,521
50	34,233	34	1	0,022	30,549	37,715	50	18,867	184	1	0,022	13,550	10,871
50		52	1	0,022	25,746	32,486	50		191	1	0,022	13,283	10,258
50	32,100	58	1	0,022	24,517	30,909	50	18,500	198	1	0,022	13,032	9,680
50		68	1	0,022	22,756	28,449	50		206	1	0,022	12,762	9,058
50	28,067	72	1	0,022	22,136	27,521	50	16,867	213	1	0,022	12,540	8,548
50		83	1	0,022	20,630	25,121	50		229	1	0,022	12,074	7,485
50	26,600	92	1	0,022	19,577	23,315	50	15,700	233	1	0,022	11,965	7,241
50		97	1	0,022	19,049	22,368	50		254	1	0,022	11,445	6,084
50	25,967	101	1	0,022	18,653	21,638	50	12,367	268	1	0,022	11,137	5,417
50		107	1	0,022	18,098	20,588	50		281	1	0,022	10,874	4,863
50	24,000	114	1	0,022	17,503	19,426	50	10,500	309	1	0,022	10,374	3,856
50		122	1	0,022	16,884	18,179	50		324	1	0,022	10,138	3,405
50	23,033	128	1	0,022	16,457	17,297	50	10,033	326	1	0,022	10,108	3,349
50		135	1	0,022	15,995	16,322	50		345	1	0,022	9,837	2,860
50	23,267	143	1	0,022	15,509	15,274	50	10,233	351	1	0,022	9,757	2,722
50		149	1	0,022	15,171	14,532							
50	22,233	156	1	0,022	14,801	13,713							

\*λ=0,00829286106196306

Fuente: Elaboración propia

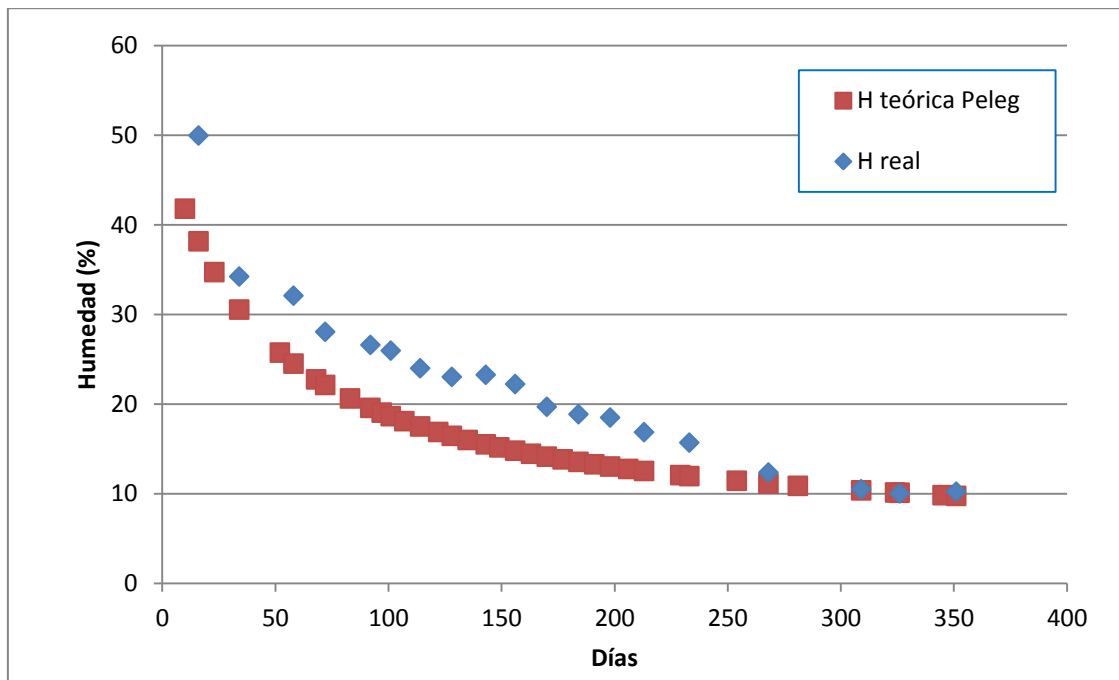


Figura A9.34- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C6. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.35- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F5-C7

F5-C7							F5-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,4	64,333	10	1	0,0153	55,727	57,331	64,4	21,733	163	1	0,0153	17,747	9,677
64,4		16	1	0,0153	51,547	53,467	64,4		170	1	0,0153	17,191	8,921
64,4	43,900	23	1	0,0153	47,387	49,288	64,4	19,967	177	1	0,0153	16,667	8,223
64,4		34	1	0,0153	42,035	43,370	64,4		184	1	0,0153	16,172	7,581
64,4	35,900	52	1	0,0153	35,440	35,179	64,4	18,167	191	1	0,0153	15,704	6,988
64,4		58	1	0,0153	33,670	32,809	64,4		198	1	0,0153	15,261	6,442
64,4	32,567	68	1	0,0153	31,073	29,207	64,4	17,967	206	1	0,0153	14,783	5,869
64,4		72	1	0,0153	30,140	27,880	64,4		213	1	0,0153	14,387	5,411
64,4	30,900	83	1	0,0153	27,835	24,532	64,4	16,400	229	1	0,0153	13,553	4,492
64,4		92	1	0,0153	26,188	22,095	64,4		233	1	0,0153	13,358	4,288
64,4	27,067	97	1	0,0153	25,352	20,847	64,4	12,667	254	1	0,0153	12,417	3,359
64,4		101	1	0,0153	24,719	19,900	64,4		268	1	0,0153	11,855	2,854
64,4	25,400	107	1	0,0153	23,825	18,559	64,4	10,867	281	1	0,0153	11,374	2,454
64,4		114	1	0,0153	22,858	17,108	64,4		309	1	0,0153	10,452	1,772
64,4	24,533	122	1	0,0153	21,841	15,588	64,4	9,567	324	1	0,0153	10,012	1,488
64,4		128	1	0,0153	21,133	14,538	64,4		326	1	0,0153	9,956	1,454
64,4	23,867	135	1	0,0153	20,362	13,401	64,4	9,367	345	1	0,0153	9,451	1,166
64,4		143	1	0,0153	19,543	12,211	64,4		351	1	0,0153	9,301	1,087
64,4	21,833	149	1	0,0153	18,969	11,388							
64,4		156	1	0,0153	18,339	10,498							

\*λ=0,0116278931802189

Fuente: Elaboración propia

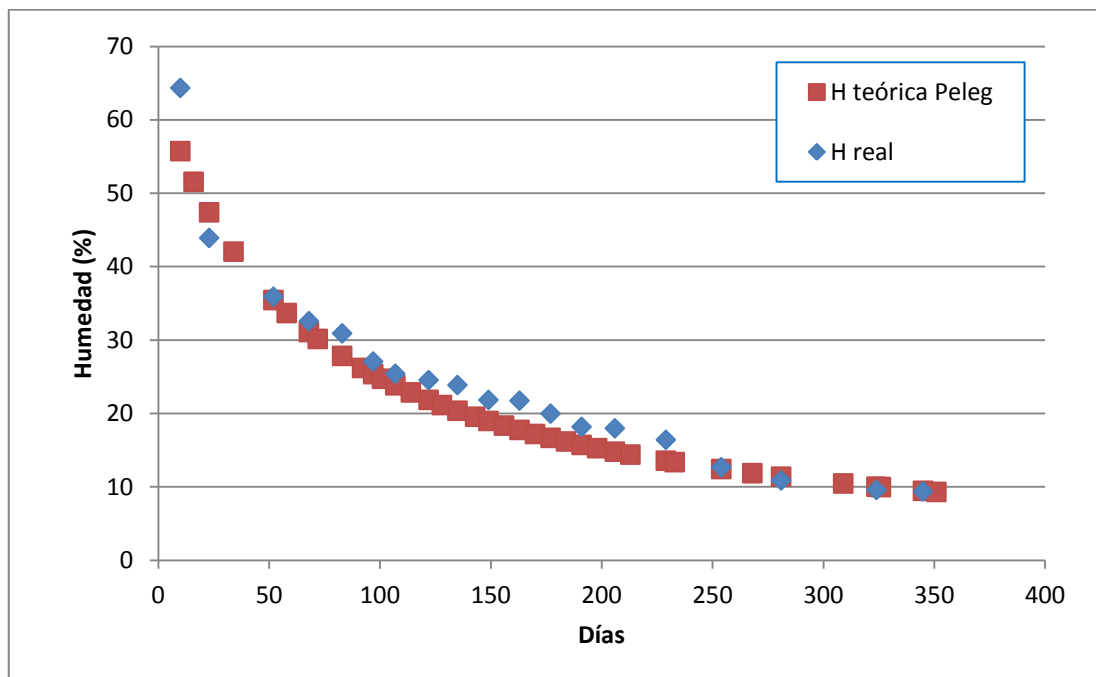


Figura A9.35- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F5-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.36- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C1

F6-C1							F6-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
44,3		10	1	0,0264	36,389	39,600	44,3		163	1	0,0264	13,564	7,119
44,3	44,200	16	1	0,0264	33,051	37,022	44,3	18,767	170	1	0,0264	13,323	6,581
44,3		23	1	0,0264	29,989	34,227	44,3		177	1	0,0264	13,098	6,084
44,3	31,733	34	1	0,0264	26,383	30,254	44,3	18,367	184	1	0,0264	12,888	5,625
44,3		52	1	0,0264	22,385	24,723	44,3		191	1	0,0264	12,690	5,200
44,3	29,533	58	1	0,0264	21,386	23,114	44,3	17,633	198	1	0,0264	12,504	4,807
44,3		68	1	0,0264	19,973	20,662	44,3		206	1	0,0264	12,304	4,395
44,3	27,267	72	1	0,0264	19,479	19,755	44,3	16,833	213	1	0,0264	12,140	4,063
44,3		83	1	0,0264	18,291	17,462	44,3		229	1	0,0264	11,797	3,395
44,3	26,400	92	1	0,0264	17,468	15,785	44,3	15,233	233	1	0,0264	11,718	3,246
44,3		97	1	0,0264	17,059	14,924	44,3		254	1	0,0264	11,337	2,565
44,3	25,833	101	1	0,0264	16,753	14,270	44,3	11,100	268	1	0,0264	11,112	2,192
44,3		107	1	0,0264	16,325	13,341	44,3		281	1	0,0264	10,921	1,895
44,3	24,500	114	1	0,0264	15,868	12,334	44,3	10,167	309	1	0,0264	10,558	1,384
44,3		122	1	0,0264	15,396	11,275	44,3		324	1	0,0264	10,386	1,170
44,3	22,900	128	1	0,0264	15,071	10,541	44,3	9,600	326	1	0,0264	10,364	1,144
44,3		135	1	0,0264	14,721	9,745	44,3		345	1	0,0264	10,169	0,924
44,3	22,267	143	1	0,0264	14,354	8,909	44,3	10,200	351	1	0,0264	10,111	0,864
44,3		149	1	0,0264	14,099	8,329							
44,3	21,933	156	1	0,0264	13,822	7,700							

\*λ=0,0112163557235994

Fuente: Elaboración propia

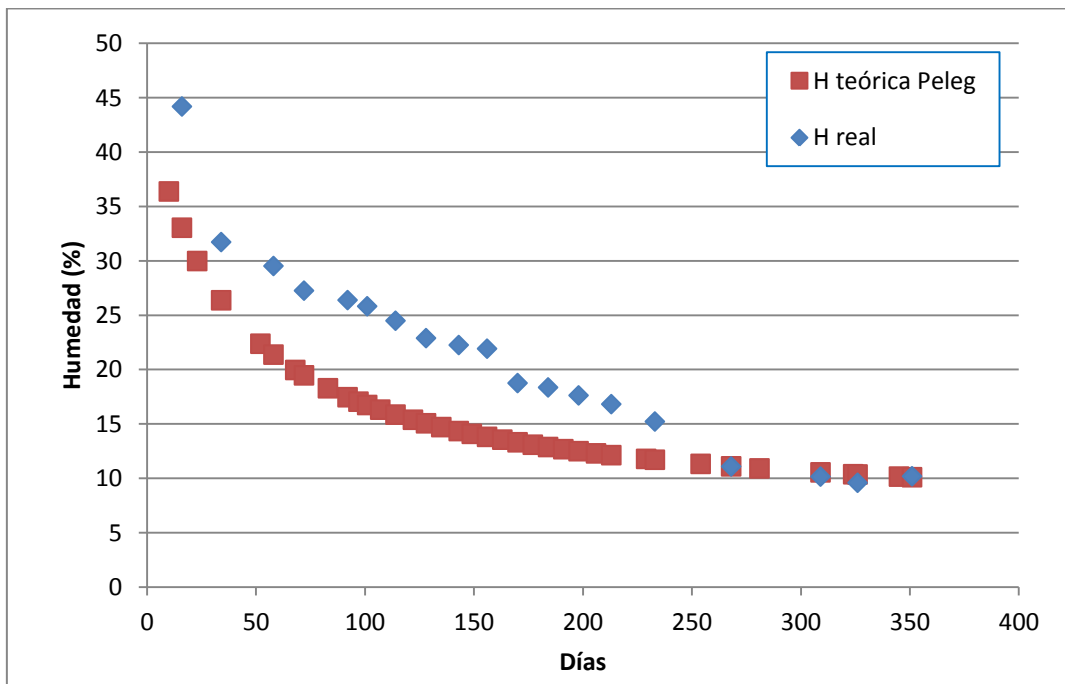


Figura A9.36- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C1. Fuente: Elaboración propia





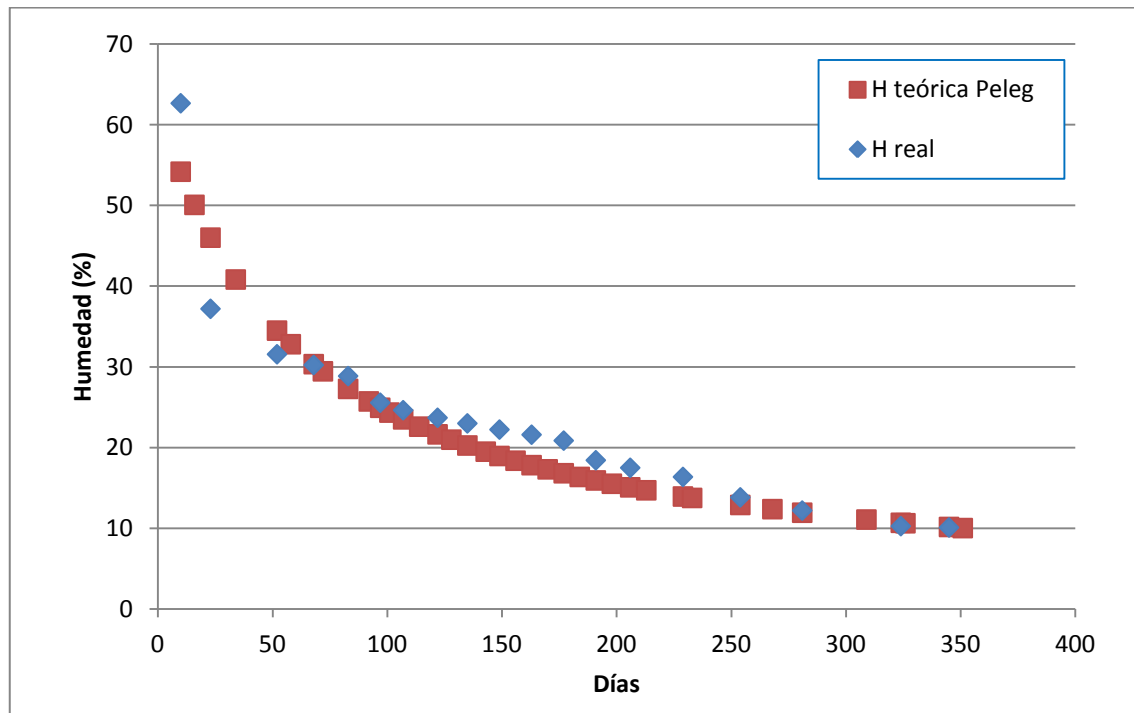
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.37- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C2**

F6-C2							F6-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
62,8	62,667	10	1	0,0161	54,187	57,713	62,8	21,600	163	1	0,0161	17,826	15,848
62,8		16	1	0,0161	50,077	54,861	62,8		170	1	0,0161	17,309	14,938
62,8	37,200	23	1	0,0161	46,015	51,711	62,8	20,867	177	1	0,0161	16,822	14,081
62,8		34	1	0,0161	40,828	47,123	62,8		184	1	0,0161	16,363	13,272
62,8	31,567	52	1	0,0161	34,496	40,476	62,8	18,433	191	1	0,0161	15,930	12,510
62,8		58	1	0,0161	32,807	38,475	62,8		198	1	0,0161	15,520	11,792
62,8	30,233	68	1	0,0161	30,339	35,359	62,8	17,500	206	1	0,0161	15,077	11,021
62,8		72	1	0,0161	29,454	34,184	62,8		213	1	0,0161	14,711	10,389
62,8	28,867	83	1	0,0161	27,274	31,151	62,8	16,367	229	1	0,0161	13,940	9,075
62,8		92	1	0,0161	25,721	28,870	62,8		233	1	0,0161	13,761	8,774
62,8	25,567	97	1	0,0161	24,935	27,676	62,8	13,833	254	1	0,0161	12,892	7,348
62,8		101	1	0,0161	24,340	26,757	62,8		268	1	0,0161	12,375	6,528
62,8	24,633	107	1	0,0161	23,501	25,435	62,8	12,200	281	1	0,0161	11,932	5,849
62,8		114	1	0,0161	22,594	23,974	62,8		309	1	0,0161	11,084	4,617
62,8	23,700	122	1	0,0161	21,642	22,408	62,8	10,267	324	1	0,0161	10,680	4,068
62,8		128	1	0,0161	20,981	21,300	62,8		326	1	0,0161	10,628	4,000
62,8	23,000	135	1	0,0161	20,260	20,077	62,8	10,100	345	1	0,0161	10,164	3,407
62,8		143	1	0,0161	19,497	18,765	62,8		351	1	0,0161	10,027	3,238
62,8	22,233	149	1	0,0161	18,962	17,838							
62,8		156	1	0,0161	18,376	16,814							

\*λ=0,00844714443509427

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.37- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C2. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.38- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C3

F6-C3							F6-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,1	64,000	10	1	0,0154	55,434	59,156	64,1	21,200	163	1	0,0154	17,664	17,322
64,1		16	1	0,0154	51,263	56,374	64,1		170	1	0,0154	17,113	16,375
64,1	44,933	23	1	0,0154	47,116	53,293	64,1	20,967	177	1	0,0154	16,593	15,481
64,1		34	1	0,0154	41,784	48,789	64,1		184	1	0,0154	16,103	14,635
64,1	34,667	52	1	0,0154	35,224	42,225	64,1	18,433	191	1	0,0154	15,640	13,835
64,1		58	1	0,0154	33,464	40,240	64,1		198	1	0,0154	15,201	13,079
64,1	32,733	68	1	0,0154	30,884	37,136	64,1	17,200	206	1	0,0154	14,728	12,265
64,1		72	1	0,0154	29,957	35,962	64,1		213	1	0,0154	14,336	11,595
64,1	30,000	83	1	0,0154	27,668	32,923	64,1	16,233	229	1	0,0154	13,510	10,198
64,1		92	1	0,0154	26,033	30,628	64,1		233	1	0,0154	13,318	9,875
64,1	25,967	97	1	0,0154	25,204	29,423	64,1	13,267	254	1	0,0154	12,386	8,343
64,1		101	1	0,0154	24,576	28,493	64,1		268	1	0,0154	11,830	7,456
64,1	24,733	107	1	0,0154	23,689	27,153	64,1	11,300	281	1	0,0154	11,354	6,718
64,1		114	1	0,0154	22,730	25,670	64,1		309	1	0,0154	10,441	5,365
64,1	23,767	122	1	0,0154	21,721	24,073	64,1	9,800	324	1	0,0154	10,006	4,757
64,1		128	1	0,0154	21,020	22,941	64,1		326	1	0,0154	9,951	4,681
64,1	23,000	135	1	0,0154	20,255	21,687	64,1	9,267	345	1	0,0154	9,451	4,019
64,1		143	1	0,0154	19,443	20,338	64,1		351	1	0,0154	9,302	3,830
64,1	20,833	149	1	0,0154	18,874	19,382							
64,1		156	1	0,0154	18,250	18,323							

\*λ=0,00802747514076972

Fuente: Elaboración propia

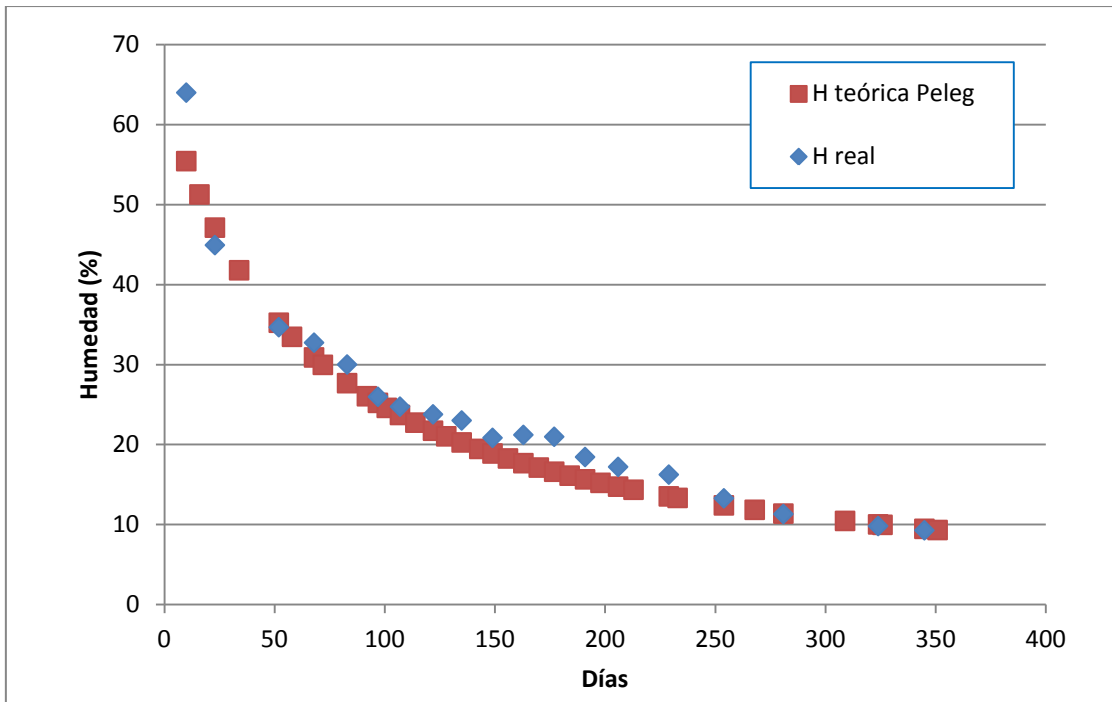


Figura A9.38- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C3. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.39- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C4

F6-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1		10	1	0,0154	56,434	61,017
65,1	65,000	16	1	0,0154	52,263	58,690
65,1		23	1	0,0154	48,116	56,089
65,1	53,633	34	1	0,0154	42,784	52,231
65,1		52	1	0,0154	36,224	46,482
65,1	48,667	58	1	0,0154	34,464	44,710
65,1		68	1	0,0154	31,884	41,906
65,1	37,933	72	1	0,0154	30,957	40,834
65,1		83	1	0,0154	28,668	38,025
65,1	30,000	92	1	0,0154	27,033	35,872
65,1		97	1	0,0154	26,204	34,729
65,1	27,667	101	1	0,0154	25,576	33,840
65,1		107	1	0,0154	24,689	32,550
65,1	24,867	114	1	0,0154	23,730	31,107
65,1		122	1	0,0154	22,721	29,536
65,1	23,433	128	1	0,0154	22,020	28,410
65,1		135	1	0,0154	21,255	27,151
65,1	22,633	143	1	0,0154	20,443	25,779
65,1		149	1	0,0154	19,874	24,797
65,1	22,467	156	1	0,0154	19,250	23,697

F6-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1		163	1	0,0154	18,664	22,647
65,1	18,700	170	1	0,0154	18,113	21,643
65,1		177	1	0,0154	17,593	20,683
65,1	18,800	184	1	0,0154	17,103	19,766
65,1		191	1	0,0154	16,640	18,890
65,1	17,767	198	1	0,0154	16,201	18,053
65,1		206	1	0,0154	15,728	17,141
65,1	16,033	213	1	0,0154	15,336	16,381
65,1		229	1	0,0154	14,510	14,768
65,1	14,900	233	1	0,0154	14,318	14,390
65,1		254	1	0,0154	13,386	12,560
65,1	10,767	268	1	0,0154	12,830	11,471
65,1		281	1	0,0154	12,354	10,545
65,1	10,500	309	1	0,0154	11,441	8,795
65,1		324	1	0,0154	11,006	7,981
65,1	9,633	326	1	0,0154	10,951	7,878
65,1		345	1	0,0154	10,451	6,966
65,1	10,267	351	1	0,0154	10,302	6,700

\*λ=0,00647796266725725

Fuente: Elaboración propia

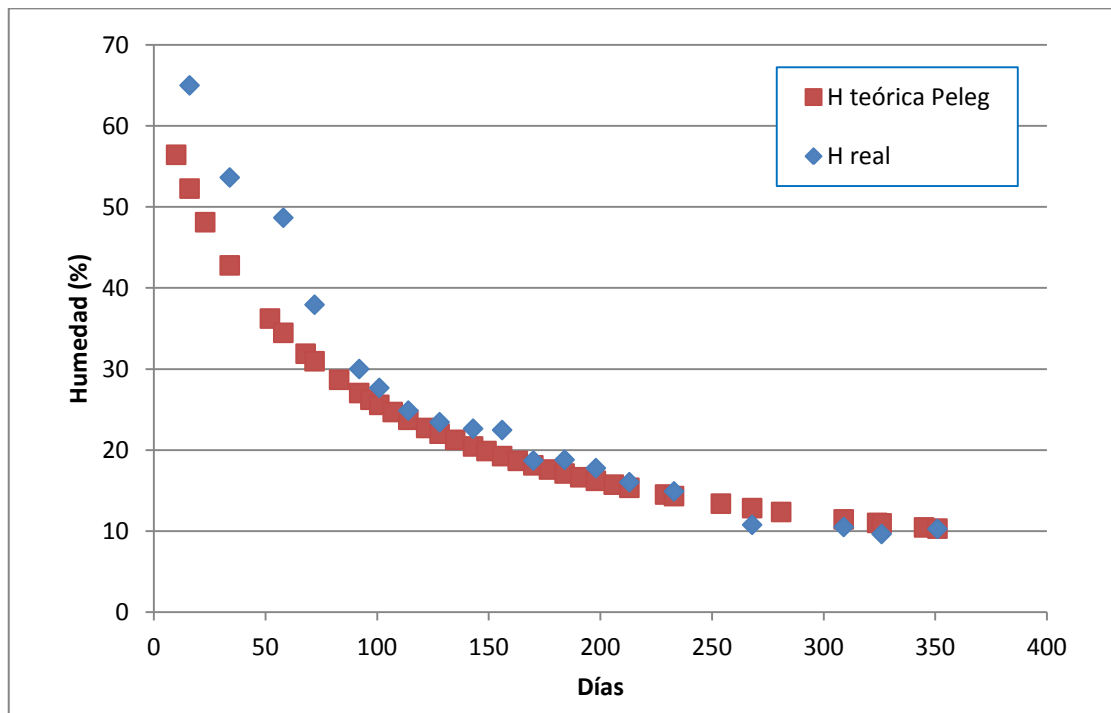


Figura A9.39- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C4. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.40- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C5

F6-C5							F6-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,1	64,000	10	1	0,0155	55,442	58,279	64,1	21,167	163	1	0,0155	17,879	13,581
64,1		16	1	0,0155	51,279	55,044	64,1		170	1	0,0155	17,332	12,706
64,1	41,200	23	1	0,0155	47,145	51,495	64,1	20,600	177	1	0,0155	16,818	11,887
64,1		34	1	0,0155	41,834	46,375	64,1		184	1	0,0155	16,333	11,120
64,1	35,867	52	1	0,0155	35,307	39,072	64,1	17,933	191	1	0,0155	15,874	10,403
64,1		58	1	0,0155	33,558	36,903	64,1		198	1	0,0155	15,439	9,733
64,1	32,600	68	1	0,0155	30,994	33,552	64,1	16,767	206	1	0,0155	14,970	9,019
64,1		72	1	0,0155	30,074	32,298	64,1		213	1	0,0155	14,582	8,438
64,1	30,467	83	1	0,0155	27,800	29,087	64,1	15,733	229	1	0,0155	13,765	7,246
64,1		92	1	0,0155	26,177	26,699	64,1		233	1	0,0155	13,574	6,975
64,1	25,933	97	1	0,0155	25,354	25,458	64,1	12,733	254	1	0,0155	12,652	5,711
64,1		101	1	0,0155	24,731	24,506	64,1		268	1	0,0155	12,102	4,998
64,1	24,167	107	1	0,0155	23,852	23,146	64,1	11,000	281	1	0,0155	11,631	4,416
64,1		114	1	0,0155	22,900	21,654	64,1		309	1	0,0155	10,728	3,383
64,1	23,433	122	1	0,0155	21,900	20,066	64,1	9,800	324	1	0,0155	10,297	2,933
64,1		128	1	0,0155	21,205	18,952	64,1		326	1	0,0155	10,242	2,878
64,1	22,967	135	1	0,0155	20,446	17,730	64,1	9,633	345	1	0,0155	9,748	2,401
64,1		143	1	0,0155	19,642	16,430	64,1		351	1	0,0155	9,601	2,268
64,1	21,667	149	1	0,0155	19,078	15,518							
64,1		156	1	0,0155	18,459	14,517							

\*λ=0,00951992126684343

Fuente: Elaboración propia

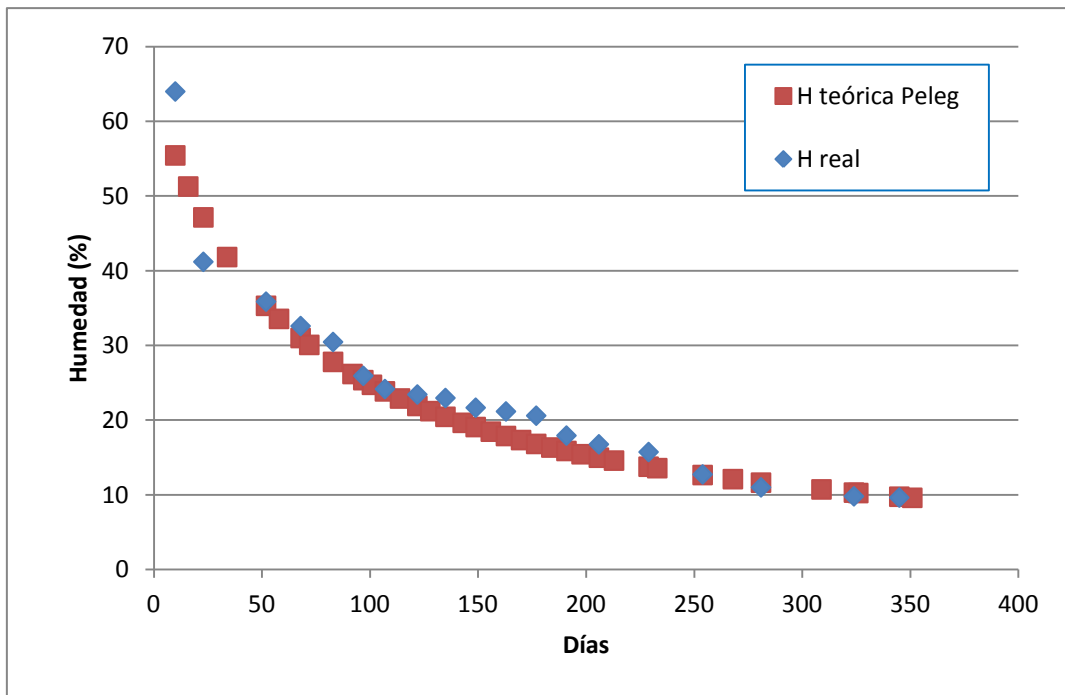


Figura A9.40- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C5. Fuente: Elaboración propia

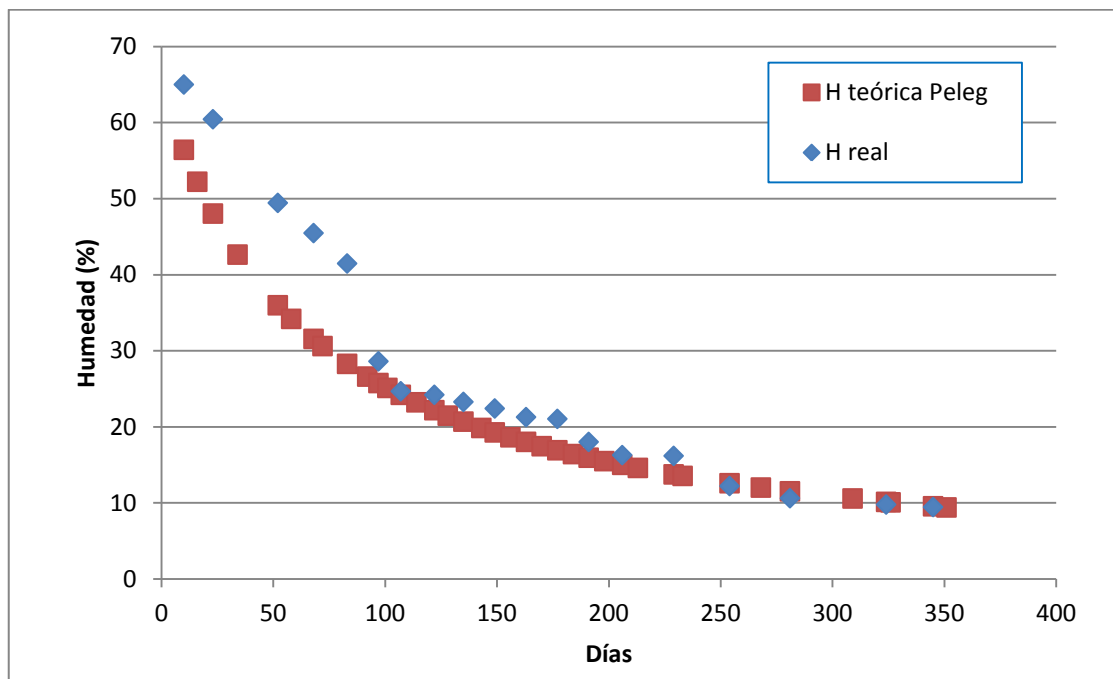


## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.41- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C6**

F6-C6							F6-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0151	56,412	57,868	65,1	21,267	163	1	0,0151	18,008	9,549
65,1		16	1	0,0151	52,213	53,920	65,1		170	1	0,0151	17,441	8,793
65,1	60,433	23	1	0,0151	48,029	49,654	65,1	21,033	177	1	0,0151	16,907	8,098
65,1		34	1	0,0151	42,634	43,621	65,1		184	1	0,0151	16,402	7,457
65,1	49,433	52	1	0,0151	35,972	35,289	65,1	18,000	191	1	0,0151	15,925	6,867
65,1		58	1	0,0151	34,180	32,882	65,1		198	1	0,0151	15,473	6,323
65,1	45,467	68	1	0,0151	31,550	29,229	65,1	16,267	206	1	0,0151	14,986	5,755
65,1		72	1	0,0151	30,604	27,884	65,1		213	1	0,0151	14,582	5,300
65,1	41,467	83	1	0,0151	28,265	24,496	65,1	16,167	229	1	0,0151	13,731	4,389
65,1		92	1	0,0151	26,593	22,033	65,1		233	1	0,0151	13,532	4,187
65,1	28,600	97	1	0,0151	25,744	20,773	65,1		254	1	0,0151	12,571	3,270
65,1		101	1	0,0151	25,102	19,817	65,1	12,200	254	1	0,0151	12,571	3,270
65,1	24,667	107	1	0,0151	24,193	18,465	65,1		268	1	0,0151	11,997	2,773
65,1		114	1	0,0151	23,210	17,004	65,1	10,600	281	1	0,0151	11,506	2,379
65,1	24,200	122	1	0,0151	22,176	15,475	65,1		309	1	0,0151	10,563	1,711
65,1		128	1	0,0151	21,456	14,420	65,1	9,767	324	1	0,0151	10,114	1,434
65,1	23,267	135	1	0,0151	20,670	13,279	65,1		326	1	0,0151	10,057	1,401
65,1		143	1	0,0151	19,837	12,085	65,1	9,433	345	1	0,0151	9,540	1,120
65,1	22,400	149	1	0,0151	19,252	11,260	65,1		351	1	0,0151	9,387	1,043
65,1		156	1	0,0151	18,611	10,369	*λ=0,0117760751695645						

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.41- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C6. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.42- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F6-C7

F6-C7							F6-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
62,8		10	1	0,0161	54,187	57,166	62,8		163	1	0,0161	17,826	13,568
62,8	62,767	16	1	0,0161	50,077	54,031	62,8	18,500	170	1	0,0161	17,309	12,704
62,8		23	1	0,0161	46,015	50,590	62,8		177	1	0,0161	16,822	11,895
62,8	46,267	34	1	0,0161	40,828	45,620	62,8	18,900	184	1	0,0161	16,363	11,137
62,8		52	1	0,0161	34,496	38,519	62,8		191	1	0,0161	15,930	10,428
62,8	32,633	58	1	0,0161	32,807	36,406	62,8	17,567	198	1	0,0161	15,520	9,764
62,8		68	1	0,0161	30,339	33,140	62,8		206	1	0,0161	15,077	9,057
62,8	28,500	72	1	0,0161	29,454	31,917	62,8	17,100	213	1	0,0161	14,711	8,480
62,8		83	1	0,0161	27,274	28,781	62,8		229	1	0,0161	13,940	7,296
62,8	26,967	92	1	0,0161	25,721	26,447	62,8	15,200	233	1	0,0161	13,761	7,026
62,8		97	1	0,0161	24,935	25,232	62,8		254	1	0,0161	12,892	5,768
62,8	26,033	101	1	0,0161	24,340	24,301	62,8	10,433	268	1	0,0161	12,375	5,056
62,8		107	1	0,0161	23,501	22,968	62,8		281	1	0,0161	11,932	4,475
62,8	23,633	114	1	0,0161	22,594	21,506	62,8		309	1	0,0161	11,084	3,439
62,8		122	1	0,0161	21,642	19,948	62,8	9,867	324	1	0,0161	10,680	2,987
62,8	22,367	128	1	0,0161	20,981	18,854	62,8		326	1	0,0161	10,628	2,931
62,8		135	1	0,0161	20,260	17,653	62,8	9,067	345	1	0,0161	10,164	2,452
62,8	22,600	143	1	0,0161	19,497	16,374	62,8		345	1	0,0161	10,164	2,452
62,8		149	1	0,0161	18,962	15,476	62,8	10,033	351	1	0,0161	10,027	2,317
62,8	22,100	156	1	0,0161	18,376	14,491							

\*λ=0,00940030899242874

Fuente: Elaboración propia

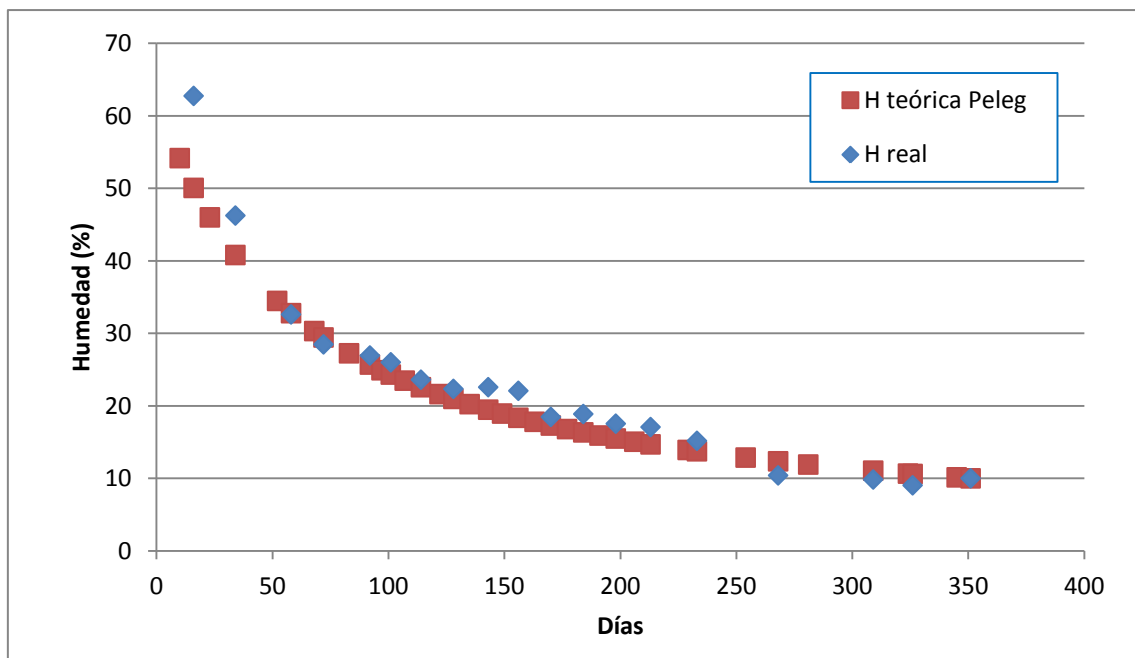


Figura A9.42- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F6-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.43- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C1

F7-C1							F7-C1						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
44,6		10	1	0,026	36,663	38,049	44,6		163	1	0,026	13,481	3,347
44,6	44,500	16	1	0,026	33,301	34,589	44,6	18,433	170	1	0,026	13,235	2,995
44,6		23	1	0,026	30,207	30,949	44,6		177	1	0,026	13,004	2,680
44,6	29,467	34	1	0,026	26,553	25,986	44,6	17,733	184	1	0,026	12,788	2,398
44,6		52	1	0,026	22,491	19,523	44,6		191	1	0,026	12,585	2,145
44,6	26,233	58	1	0,026	21,474	17,748	44,6	17,467	198	1	0,026	12,394	1,920
44,6		68	1	0,026	20,034	15,141	44,6		206	1	0,026	12,190	1,690
44,6	24,500	72	1	0,026	19,530	14,209	44,6	16,100	213	1	0,026	12,021	1,513
44,6		83	1	0,026	18,318	11,931	44,6		229	1	0,026	11,669	1,173
44,6	25,167	92	1	0,026	17,477	10,341	44,6	15,233	233	1	0,026	11,588	1,101
44,6		97	1	0,026	17,059	9,551	44,6		254	1	0,026	11,197	0,789
44,6	25,000	101	1	0,026	16,746	8,963	44,6	10,367	268	1	0,026	10,965	0,631
44,6		107	1	0,026	16,308	8,148	44,6		281	1	0,026	10,769	0,513
44,6	23,367	114	1	0,026	15,841	7,291	44,6	9,733	309	1	0,026	10,396	0,329
44,6		122	1	0,026	15,357	6,421	44,6		324	1	0,026	10,220	0,259
44,6	21,967	128	1	0,026	15,025	5,837	44,6	8,733	326	1	0,026	10,197	0,251
44,6		135	1	0,026	14,667	5,223	44,6		345	1	0,026	9,996	0,186
44,6	22,667	143	1	0,026	14,291	4,599	44,6	9,767	351	1	0,026	9,937	0,169
44,6		149	1	0,026	14,030	4,181							
44,6	21,700	156	1	0,026	13,746	3,741							

\*λ=0,0158869943476932

Fuente: Elaboración propia

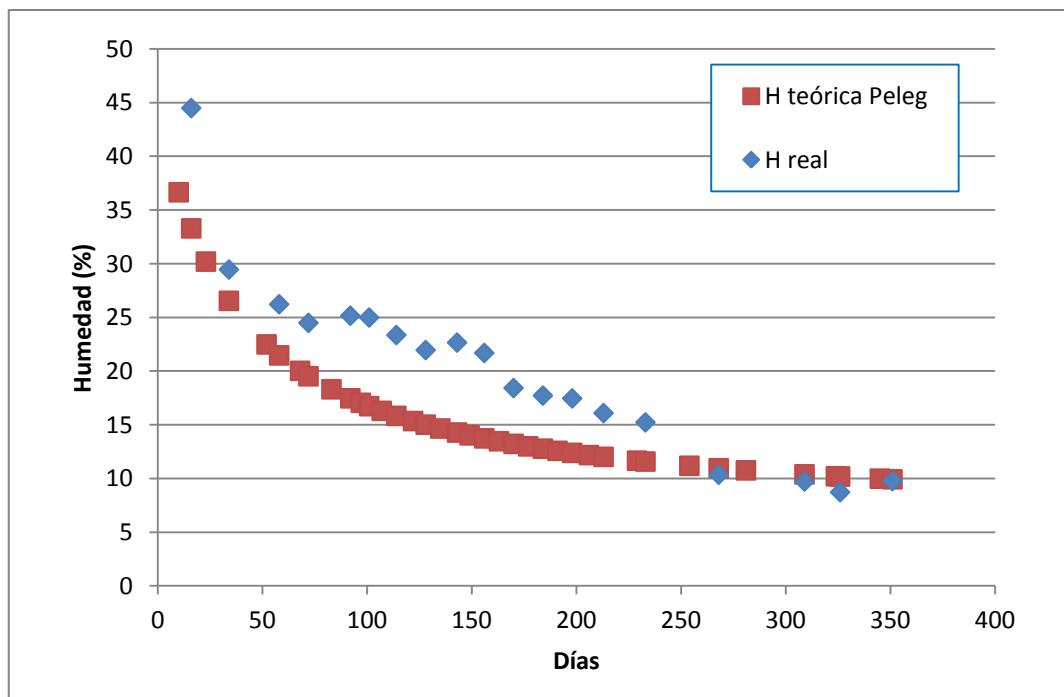


Figura A9.43- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C1. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.44- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C2

F7-C2							F7-C2						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0154	56,434	59,705	65,1	22,467	163	1	0,0154	18,664	15,892
65,1		16	1	0,0154	52,263	56,685	65,1		170	1	0,0154	18,113	14,958
65,1	59,767	23	1	0,0154	48,116	53,354	65,1	20,867	177	1	0,0154	17,593	14,079
65,1		34	1	0,0154	42,784	48,511	65,1		184	1	0,0154	17,103	13,252
65,1	36,000	52	1	0,0154	36,224	41,516	65,1	19,333	191	1	0,0154	16,640	12,473
65,1		58	1	0,0154	34,464	39,416	65,1		198	1	0,0154	16,201	11,741
65,1	31,033	68	1	0,0154	31,884	36,149	65,1	18,300	206	1	0,0154	15,728	10,955
65,1		72	1	0,0154	30,957	34,920	65,1		213	1	0,0154	15,336	10,312
65,1	30,267	83	1	0,0154	28,668	31,750	65,1	17,400	229	1	0,0154	14,510	8,979
65,1		92	1	0,0154	27,033	29,372	65,1		233	1	0,0154	14,318	8,673
65,1	27,133	97	1	0,0154	26,204	28,129	65,1	13,867	254	1	0,0154	13,386	7,233
65,1		101	1	0,0154	25,576	27,172	65,1		268	1	0,0154	12,830	6,408
65,1	26,333	107	1	0,0154	24,689	25,797	65,1		281	1	0,0154	12,354	5,726
65,1		114	1	0,0154	23,730	24,282	65,1	11,567	309	1	0,0154	11,441	4,494
65,1	25,700	122	1	0,0154	22,721	22,658	65,1		324	1	0,0154	11,006	3,947
65,1		128	1	0,0154	22,020	21,512	65,1	10,633	326	1	0,0154	10,951	3,880
65,1	24,467	135	1	0,0154	21,255	20,248	65,1		345	1	0,0154	10,451	3,292
65,1		143	1	0,0154	20,443	18,894	65,1	10,267	351	1	0,0154	10,302	3,125
65,1	22,800	149	1	0,0154	19,874	17,938							
65,1		156	1	0,0154	19,250	16,884							

\*λ=0,00865090744381037

Fuente: Elaboración propia

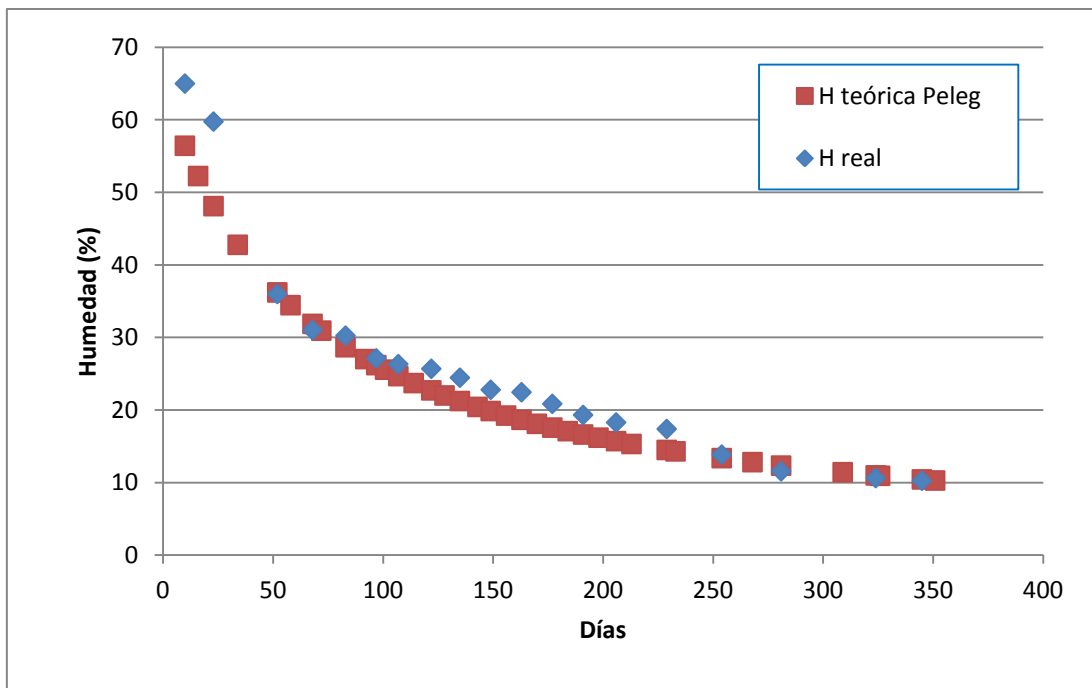


Figura A9.44- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C2. Fuente: Elaboración propia





## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.45- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C3**

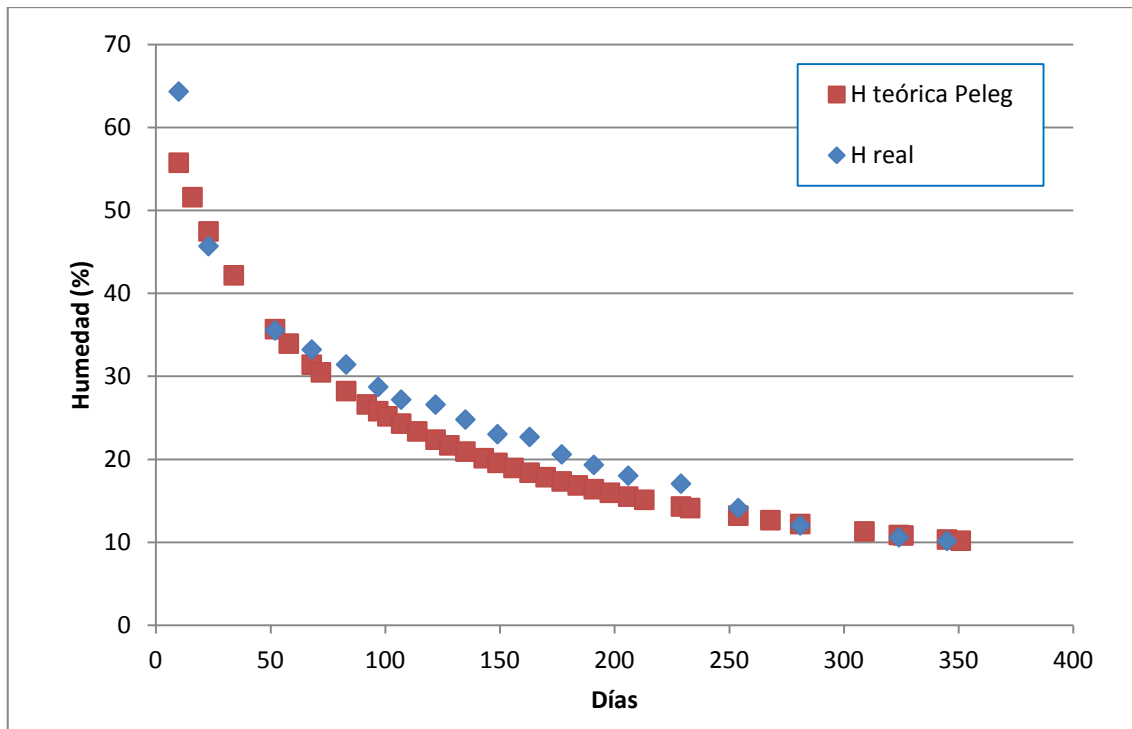
F7-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,4	64,333	10	1	0,0156	55,749	58,742
64,4		16	1	0,0156	51,596	55,588
64,4	45,700	23	1	0,0156	47,473	52,122
64,4		34	1	0,0156	42,184	47,108
64,4	35,533	52	1	0,0156	35,690	39,921
64,4		58	1	0,0156	33,951	37,778
64,4	33,233	68	1	0,0156	31,403	34,458
64,4		72	1	0,0156	30,489	33,214
64,4	31,433	83	1	0,0156	28,231	30,018
64,4		92	1	0,0156	26,621	27,634
64,4	28,733	97	1	0,0156	25,804	26,392
64,4		101	1	0,0156	25,186	25,439
64,4	27,200	107	1	0,0156	24,313	24,073
64,4		114	1	0,0156	23,369	22,572
64,4	26,600	122	1	0,0156	22,377	20,971
64,4		128	1	0,0156	21,688	19,845
64,4	24,800	135	1	0,0156	20,936	18,608
64,4		143	1	0,0156	20,139	17,288
64,4	23,033	149	1	0,0156	19,580	16,360
64,4		156	1	0,0156	18,967	15,340

F7-C3						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
64,4	22,700	163	1	0,0156	18,391	14,384
64,4		170	1	0,0156	17,850	13,487
64,4	20,600	177	1	0,0156	17,341	12,646
64,4		184	1	0,0156	16,860	11,857
64,4	19,333	191	1	0,0156	16,405	11,118
64,4		198	1	0,0156	15,975	10,425
64,4	18,033	206	1	0,0156	15,511	9,686
64,4		213	1	0,0156	15,126	9,082
64,4	17,067	229	1	0,0156	14,317	7,839
64,4		233	1	0,0156	14,128	7,556
64,4	14,133	254	1	0,0156	13,215	6,229
64,4		268	1	0,0156	12,671	5,476
64,4	12,033	281	1	0,0156	12,204	4,859
64,4		309	1	0,0156	11,311	3,756
64,4	10,600	324	1	0,0156	10,885	3,272
64,4		326	1	0,0156	10,831	3,213
64,4	10,167	345	1	0,0156	10,342	2,697
64,4		351	1	0,0156	10,197	2,553

\*λ=0,00919651004073331

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.45- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C3. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.46- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C4

F7-C4							F7-C4						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
62,4		10	1	0,016	53,779	54,960	62,4		163	1	0,016	17,223	7,878
62,4	62,367	16	1	0,016	49,661	50,928	62,4	18,367	170	1	0,016	16,701	7,208
62,4		23	1	0,016	45,587	46,597	62,4		177	1	0,016	16,210	6,595
62,4	37,667	34	1	0,016	40,379	40,524	62,4	18,333	184	1	0,016	15,747	6,034
62,4		52	1	0,016	34,016	32,244	62,4		191	1	0,016	15,309	5,521
62,4	28,900	58	1	0,016	32,317	29,879	62,4	17,333	198	1	0,016	14,895	5,051
62,4		68	1	0,016	29,833	26,317	62,4		206	1	0,016	14,448	4,563
62,4	26,933	72	1	0,016	28,943	25,013	62,4	16,000	213	1	0,016	14,079	4,175
62,4		83	1	0,016	26,747	21,753	62,4		229	1	0,016	13,301	3,408
62,4	26,233	92	1	0,016	25,183	19,404	62,4	15,100	233	1	0,016	13,119	3,239
62,4		97	1	0,016	24,391	18,211	62,4		254	1	0,016	12,242	2,481
62,4	25,500	101	1	0,016	23,791	17,309	62,4	10,767	268	1	0,016	11,719	2,077
62,4		107	1	0,016	22,946	16,039	62,4		281	1	0,016	11,272	1,761
62,4	22,267	114	1	0,016	22,032	14,675	62,4	10,300	309	1	0,016	10,415	1,234
62,4		122	1	0,016	21,072	13,258	62,4		324	1	0,016	10,007	1,020
62,4	21,967	128	1	0,016	20,405	12,285	62,4	9,300	326	1	0,016	9,955	0,995
62,4		135	1	0,016	19,678	11,241	62,4		345	1	0,016	9,486	0,781
62,4	22,933	143	1	0,016	18,909	10,155	62,4	9,833	351	1	0,016	9,347	0,724
62,4		149	1	0,016	18,369	9,410							
62,4	21,833	156	1	0,016	17,778	8,610							

\*λ=0,0126965521536128

Fuente: Elaboración propia

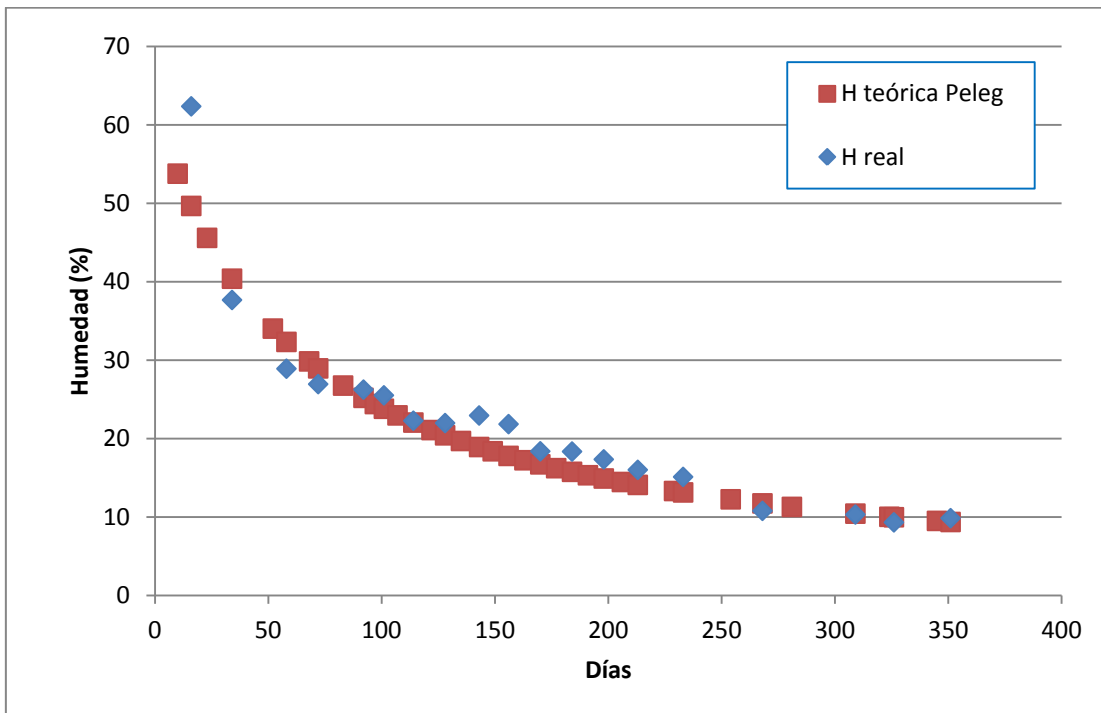


Figura A9.46- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C4. Fuente: Elaboración propia

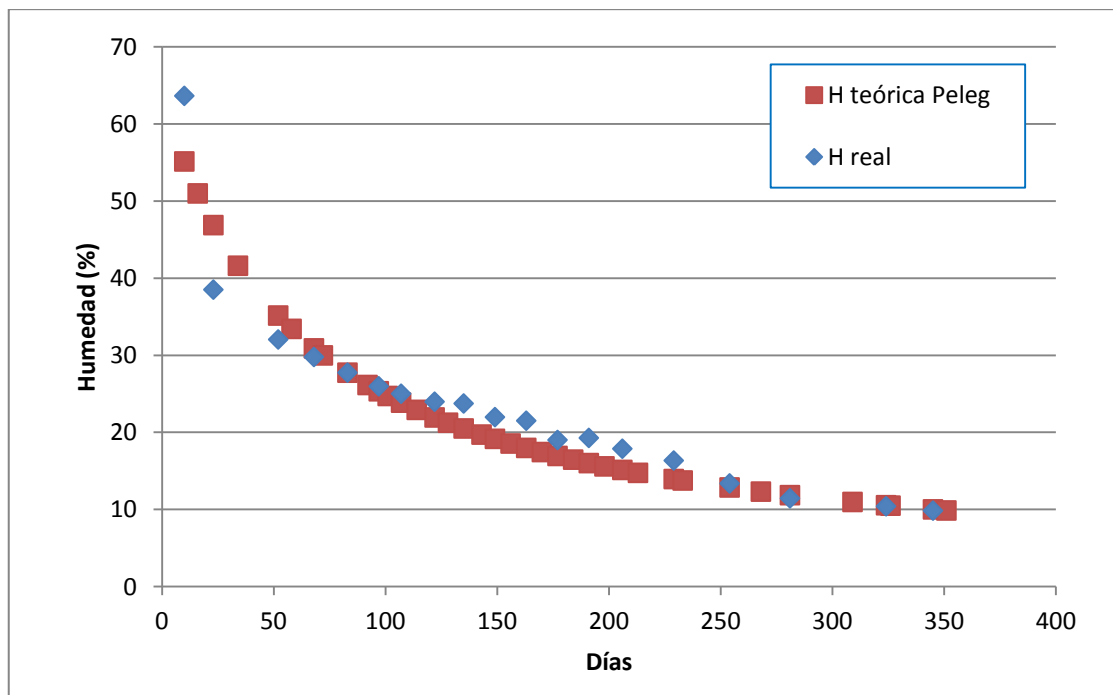


## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.47- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C5**

F7-C5							F7-C5						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
63,8	63,667	10	1	0,0157	55,157	56,652	63,8	21,533	163	1	0,0157	18,002	9,197
63,8		16	1	0,0157	51,012	52,754	63,8		170	1	0,0157	17,466	8,463
63,8	38,533	23	1	0,0157	46,902	48,543	63,8	19,033	177	1	0,0157	16,961	7,788
63,8		34	1	0,0157	41,633	42,595	63,8		184	1	0,0157	16,485	7,166
63,8	32,067	52	1	0,0157	35,172	34,393	63,8	19,300	191	1	0,0157	16,034	6,594
63,8		58	1	0,0157	33,443	32,026	63,8		198	1	0,0157	15,608	6,068
63,8	29,800	68	1	0,0157	30,912	28,438	63,8	17,900	206	1	0,0157	15,149	5,518
63,8		72	1	0,0157	30,004	27,118	63,8		213	1	0,0157	14,768	5,077
63,8	27,767	83	1	0,0157	27,762	23,796	63,8	16,367	229	1	0,0157	13,966	4,198
63,8		92	1	0,0157	26,163	21,382	63,8		233	1	0,0157	13,780	4,003
63,8	26,000	97	1	0,0157	25,352	20,149	63,8	13,400	254	1	0,0157	12,876	3,119
63,8		101	1	0,0157	24,739	19,213	63,8		268	1	0,0157	12,337	2,641
63,8	25,033	107	1	0,0157	23,873	17,891	63,8	11,467	281	1	0,0157	11,875	2,263
63,8		114	1	0,0157	22,937	16,463	63,8		309	1	0,0157	10,991	1,623
63,8	24,000	122	1	0,0157	21,953	14,970	63,8	10,433	324	1	0,0157	10,570	1,358
63,8		128	1	0,0157	21,269	13,940	63,8		326	1	0,0157	10,516	1,326
63,8	23,767	135	1	0,0157	20,524	12,828	63,8	9,867	345	1	0,0157	10,032	1,058
63,8		143	1	0,0157	19,734	11,664	63,8		351	1	0,0157	9,889	0,985
63,8	22,000	149	1	0,0157	19,180	10,862	*λ=0,0118826062097018						
63,8		156	1	0,0157	18,572	9,995							

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.47- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C5. Fuente: Elaboración propia**



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.48- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C6

F7-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	65,000	10	1	0,0153	56,427	59,583
65,1		16	1	0,0153	52,247	56,501
65,1	57,733	23	1	0,0153	48,087	53,105
65,1		34	1	0,0153	42,735	48,176
65,1	34,333	52	1	0,0153	36,140	41,078
65,1		58	1	0,0153	34,370	38,953
65,1	31,067	68	1	0,0153	31,773	35,652
65,1		72	1	0,0153	30,840	34,412
65,1	30,533	83	1	0,0153	28,535	31,218
65,1		92	1	0,0153	26,888	28,827
65,1	26,600	97	1	0,0153	26,052	27,578
65,1		101	1	0,0153	25,419	26,619
65,1	25,800	107	1	0,0153	24,525	25,241
65,1		114	1	0,0153	23,558	23,724
65,1	24,933	122	1	0,0153	22,541	22,102
65,1		128	1	0,0153	21,833	20,958
65,1	24,100	135	1	0,0153	21,062	19,699
65,1		143	1	0,0153	20,243	18,352
65,1	22,100	149	1	0,0153	19,669	17,402
65,1		156	1	0,0153	19,039	16,356

F7-C6						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
65,1	22,033	163	1	0,0153	18,447	15,373
65,1		170	1	0,0153	17,891	14,449
65,1	20,067	177	1	0,0153	17,367	13,581
65,1		184	1	0,0153	16,872	12,765
65,1	19,267	191	1	0,0153	16,404	11,997
65,1		198	1	0,0153	15,961	11,276
65,1	17,433	206	1	0,0153	15,483	10,505
65,1		213	1	0,0153	15,087	9,874
65,1	16,533	229	1	0,0153	14,253	8,570
65,1		233	1	0,0153	14,058	8,271
65,1	12,967	254	1	0,0153	13,117	6,868
65,1		268	1	0,0153	12,555	6,067
65,1	10,967	281	1	0,0153	12,074	5,407
65,1		309	1	0,0153	11,152	4,220
65,1	10,067	324	1	0,0153	10,712	3,695
65,1		326	1	0,0153	10,656	3,630
65,1	10,000	345	1	0,0153	10,151	3,068
65,1		351	1	0,0153	10,001	2,909

\*λ=0,0088546094013369

Fuente: Elaboración propia

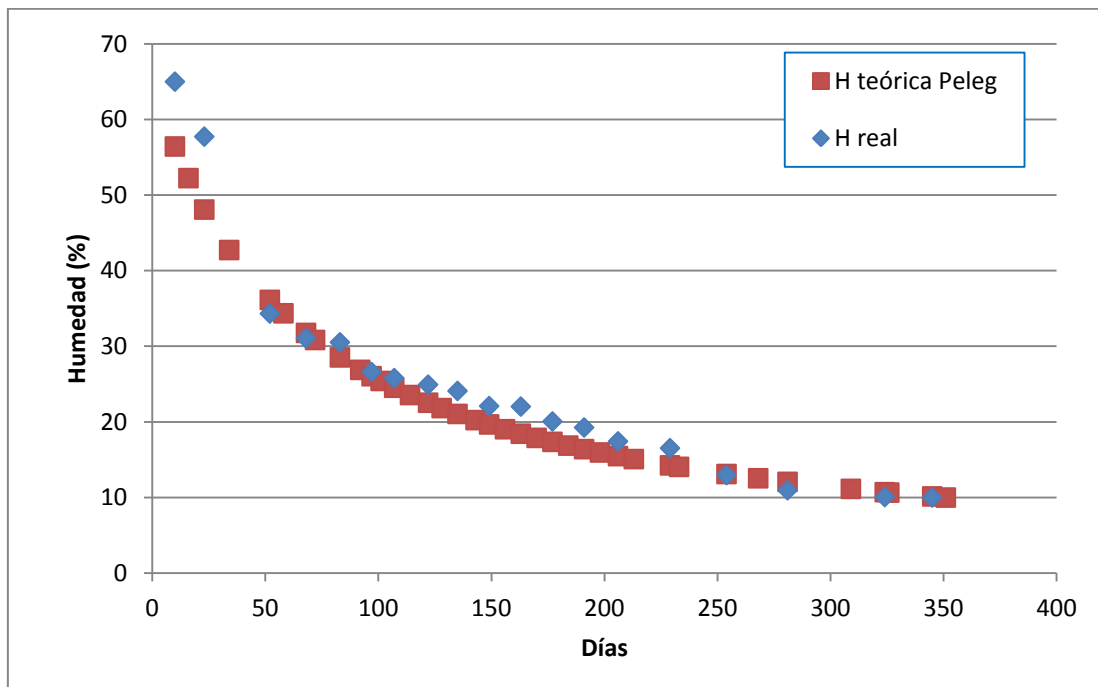


Figura A9.48- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C6. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

Tabla A9.49- Pérdida de humedad teórica en base a los modelos empíricos de secado de Peleg y de Newton para la viga F7-C7

F7-C7							F7-C7						
H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*	H <sub>0</sub> (%)	H <sub>f</sub> (%)	TIEMPO (días)	MODELO DE PELEG			MODELO DE NEWTON*
			K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)				K1 (día/%)	K2 (1/%)	H TEORICA (%)	H TEORICA (%)
51		10	1	0,0213	42,756	44,732	51		163	1	0,0213	14,550	6,015
51	50,867	16	1	0,0213	39,067	41,347	51	19,033	170	1	0,0213	14,211	5,487
51		23	1	0,0213	35,563	37,720	51		177	1	0,0213	13,894	5,006
51	32,733	34	1	0,0213	31,281	32,653	51	18,500	184	1	0,0213	13,596	4,567
51		52	1	0,0213	26,327	25,787	51		191	1	0,0213	13,315	4,166
51	29,833	58	1	0,0213	25,054	23,836	51	17,767	198	1	0,0213	13,050	3,801
51		68	1	0,0213	23,227	20,906	51		206	1	0,0213	12,765	3,422
51	27,533	72	1	0,0213	22,582	19,838	51	16,600	213	1	0,0213	12,531	3,122
51		83	1	0,0213	21,013	17,173	51		229	1	0,0213	12,039	2,531
51	27,100	92	1	0,0213	19,915	15,261	51	15,200	233	1	0,0213	11,925	2,402
51		97	1	0,0213	19,364	14,293	51		254	1	0,0213	11,376	1,824
51	25,667	101	1	0,0213	18,950	13,562	51	10,733	268	1	0,0213	11,050	1,518
51		107	1	0,0213	18,369	12,536	51		281	1	0,0213	10,773	1,280
51	22,867	114	1	0,0213	17,746	11,436	51	9,967	309	1	0,0213	10,244	0,886
51		122	1	0,0213	17,098	10,297	51		324	1	0,0213	9,994	0,728
51	22,700	128	1	0,0213	16,650	9,518	51	9,167	326	1	0,0213	9,962	0,709
51		135	1	0,0213	16,166	8,683	51		345	1	0,0213	9,675	0,553
51	24,433	143	1	0,0213	15,656	7,818	51	9,633	351	1	0,0213	9,590	0,511
51		149	1	0,0213	15,300	7,227							
51	22,733	156	1	0,0213	14,912	6,593							

\*λ=0,0131142469313413

Fuente: Elaboración propia

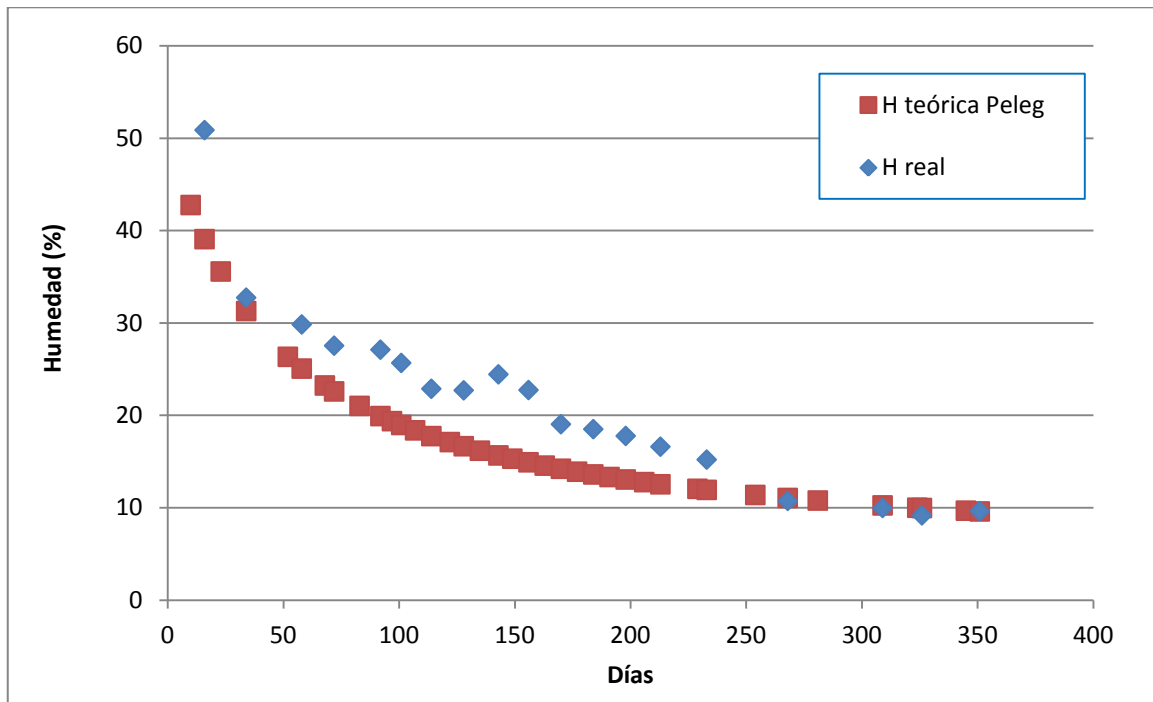


Figura A9.49- Gráfico de evolución de la pérdida de humedad real y teórica según el modelo de Peleg para la viga F7-C7. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

La gráfica correspondiente a la evolución teórica de la humedad tras aplicar los modelos de deshidratación de Peleg y de Newton ya se expuso en el capítulo: RESULTADOS Y DISCUSIÓN de la presente Tesis Doctoral.

A la vista de los resultados, es posible resaltar que en el modelo de secado de Peleg, para un valor de referencia de la constante de velocidad  $k_1=1$ , el valor menor de la constante de capacidad se alcanzó con las vigas F1-C6, F3-C6 y F6-C6 ( $k_2=0,0151$ ); mientras que el mayor valor lo tomó la viga F2-C5 ( $k_2=0,031$ ).

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las regresiones humedad real-humedad teórica de Peleg, y humedad real-humedad teórica de Newton:

Tabla A9.50- Análisis de Varianza para la regresión lineal humedad real-humedad teórica de Peleg

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Modelo	4310,2	1	4310,2	2426,87	0,0000
Residuo	62,161	35	1,77603		
Total (Corr.)	4372,36	36			

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,5377%

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el P-valor en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre la humedad real y la humedad teórica predicha por el modelo de Peleg, con un nivel de confianza del 95,0%. Además, se consiguió un valor de  $R^2$  que indica que el modelo ajustado explica 98,5783% de la variabilidad en humedad real.

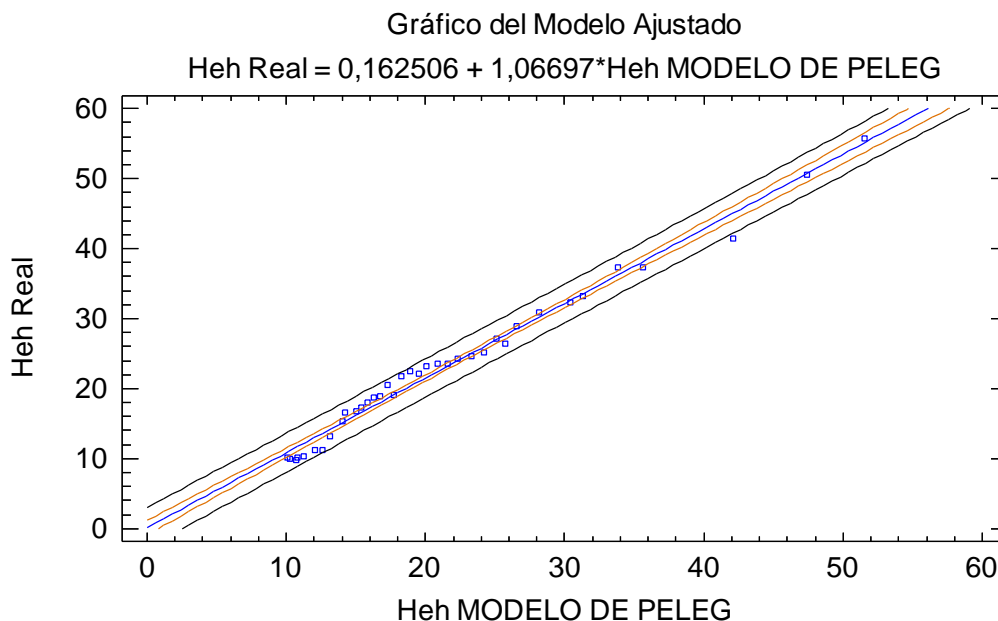


Figura A9.50- Gráfico del modelo ajustado humedad real-humedad teórica de Peleg. Fuente: Elaboración propia



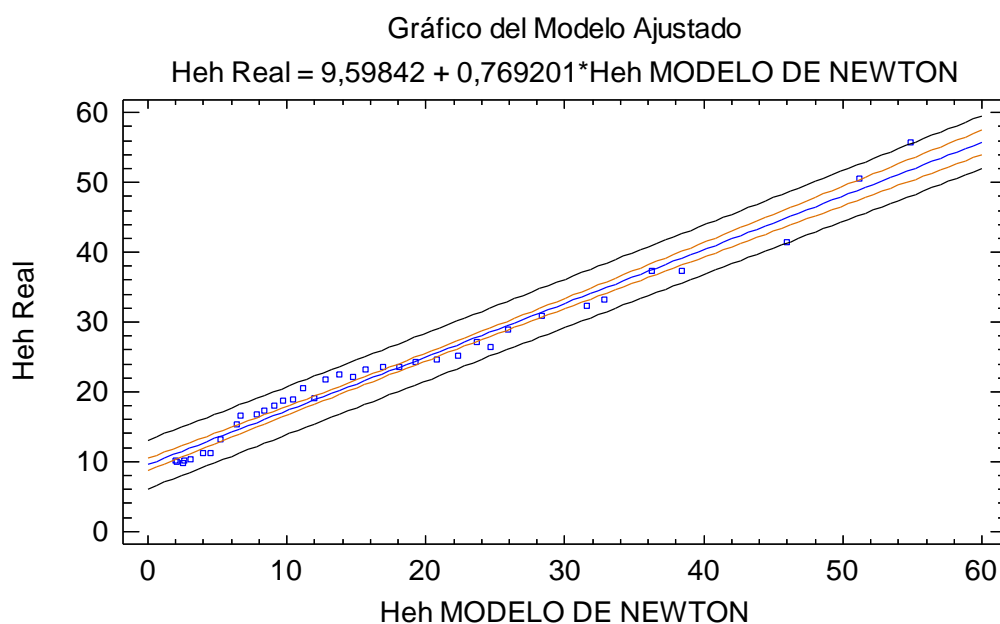
## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

**Tabla A9.51-** Análisis de Varianza para la regresión lineal humedad real-humedad teórica de Newton

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>P-Valor</i>
<b>Modelo</b>	4275,4	1	4275,4	1543,35	0,0000
<b>Residuo</b>	96,9574	35	2,77021		
<b>Total (Corr.)</b>	4372,36	36			

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,7191%

Fuente: Elaboración propia



**Figura A9.51-** Gráfico del modelo ajustado humedad real-humedad teórica de Newton. Fuente: Elaboración propia

Al igual que antes, se alcanza un P-valor en la tabla ANOVA menor que 0,05, lo que indica que con un nivel de confianza del 95,0%, existe una relación estadísticamente significativa entre la humedad real y la humedad teórica predicha por el modelo de Newton. Además, se consiguió un valor de  $R^2$  que indica que el modelo ajustado explica 97,7191% de la variabilidad en humedad real.

Con estos valores se han conseguidos unos excelentes ajustes, en la que la predicción final de la humedad con el modelo teórico de Peleg no difiere en más de 0,1 puntos porcentuales de la humedad que realmente se alcanzó con el secado al aire.

En cuanto al modelo de secado propuesto por Newton, comentar que el ajuste a la humedad real no fue tan bueno como el modelo de Peleg, prediciendo valores finales de humedad considerablemente más bajos, la mayoría de los casos cercanos al 1%.



Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

## ANEXO 9: AJUSTE A LOS MODELOS TEÓRICOS DE SECADO DE PELEG Y DE NEWTON

---





Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

# ANEXO 10. DATOS CLIMÁTICOS





## ANEXO 10. DATOS CLIMÁTICOS

En la elaboración de la presente Tesis Doctoral se ha empleado la siguiente información relativa a la climatología imperante en la zona de estudio, y que ha sido proporcionada por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

### 1. TEMPERATURA MEDIA Y HUMEDAD RELATIVA MEDIA DIARIA

A continuación se exponen los datos de las variables climáticas diarias de Temperatura media y Humedad Relativa media pertenecientes a la estación meteorológica de primer orden, sita en Ávila capital, para el periodo temporal en que las vigas fueron oreadas al aire (años 2010 y 2011).

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	1	1	2,9	83
Nombre: Ávila	2010	1	2	4,3	85
Código: 2444	2010	1	3	4,8	94
Provincia: Ávila	2010	1	4	0,5	96
Altitud (m): 1130	2010	1	5	3,3	97
Coordenada X: 357981	2010	1	6	0,7	80
Coordenada Y: 4502280	2010	1	7	-2,2	98
Longitud: 440482	2010	1	8	-3,9	86
Latitud: 403933	2010	1	9	-4,6	81
Datum: ETRS89	2010	1	10	-6,1	83
	2010	1	11	-0,8	86
	2010	1	12	2,1	87
	2010	1	13	5,1	82
	2010	1	14	5,7	74
	2010	1	15	4,7	76
	2010	1	16	9,4	74
	2010	1	17	8,9	85
	2010	1	18	8,6	85
	2010	1	19	9	80
	2010	1	20	4,8	72
	2010	1	21	3,9	81
	2010	1	22	6,9	81
	2010	1	23	5,8	77
	2010	1	24	3,4	96
	2010	1	25	0,5	79
	2010	1	26	1,6	81
	2010	1	27	-1,7	76
	2010	1	28	-0,7	61
	2010	1	29	2	74
	2010	1	30	3,2	76
	2010	1	31	3,8	76

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	2	1	2,8	66
Nombre: Ávila	2010	2	2	3,3	59
Código: 2444	2010	2	3	5,4	38
Provincia: Ávila	2010	2	4	6,8	88
Altitud (m): 1130	2010	2	5	6	78
Coordenada X: 357981	2010	2	6	5,6	76
Coordenada Y: 4502280	2010	2	7	5,2	78
Longitud: 440482	2010	2	8	5,9	90
Latitud: 403933	2010	2	9	1,8	93
Datum: ETRS89	2010	2	10	-0,2	81
	2010	2	11	-3,7	72
	2010	2	12	-3,2	73
	2010	2	13	-2,5	73
	2010	2	14	-2,1	72
	2010	2	15	-0,5	88
	2010	2	16	3,1	91
	2010	2	17	4,8	84
	2010	2	18	1	80
	2010	2	19	1,6	90
	2010	2	20	2,9	62
	2010	2	21	4,8	88
	2010	2	22	7,5	79
	2010	2	23	5,9	83
	2010	2	24	8,7	66
	2010	2	25	8,4	81
	2010	2	26	6,3	65
	2010	2	27	9,9	86
	2010	2	28	5,6	66
	2010	3	1	6,2	62
	2010	3	2	7,2	60
	2010	3	3	7,4	75
	2010	3	4	7,4	75
	2010	3	5	4,2	93
	2010	3	6	1,4	88
	2010	3	7	2,5	97
	2010	3	8	-2,4	73
	2010	3	9	-1	62
	2010	3	10	-1,7	66
	2010	3	11	-1,9	74
	2010	3	12	-1	88
	2010	3	13	1,4	71
	2010	3	14	2,9	66
	2010	3	15	4,7	54
	2010	3	16	7,1	32
	2010	3	17	8,8	33
	2010	3	18	11,5	55
	2010	3	19	12,3	73
	2010	3	20	12,5	52
	2010	3	21	10,3	75
	2010	3	22	9,8	68
	2010	3	23	9,8	62
	2010	3	24	10,6	73
	2010	3	25	5,3	78
	2010	3	26	4,9	61
	2010	3	27	7,6	60
	2010	3	28	9,9	51
	2010	3	29	8,4	68
	2010	3	30	5,8	73
	2010	3	31	6,9	60

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



**ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS**

**Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	4	1	5	62
Nombre: Ávila	2010	4	2	6,2	60
Código: 2444	2010	4	3	5,2	83
Provincia: Ávila	2010	4	4	5,4	60
Altitud (m): 1130	2010	4	5	7,8	41
Coordenada X: 357981	2010	4	6	10,9	43
Coordenada Y: 4502280	2010	4	7	7,9	61
Longitud: 440482	2010	4	8	7,5	51
Latitud: 403933	2010	4	9	8,5	47
Datum: ETRS89	2010	4	10	11,8	42
	2010	4	11	12,3	43
	2010	4	12	8,9	60
	2010	4	13	6,8	80
	2010	4	14	7,9	88
	2010	4	15	10,1	83
	2010	4	16	11	72
	2010	4	17	10,5	86
	2010	4	18	10,2	82
	2010	4	19	10,3	69
	2010	4	20	11,5	66
	2010	4	21	13,8	64
	2010	4	22	12,7	78
	2010	4	23	12,8	66
	2010	4	24	13,3	64
	2010	4	25	15,8	67
	2010	4	26	17	54
	2010	4	27	17,5	45
	2010	4	28	18,2	39
	2010	4	29	17,8	61
	2010	4	30	14,9	70
	2010	5	1	13,6	63
	2010	5	2	12,8	57
	2010	5	3	5	73
	2010	5	4	4,2	62
	2010	5	5	6	51
	2010	5	6	6,7	55
	2010	5	7	8	76
	2010	5	8	8,4	70
	2010	5	9	10	71
	2010	5	10	9,7	61
	2010	5	11	8,7	65
	2010	5	12	9	62
	2010	5	13	3,9	79
	2010	5	14	4,1	81
	2010	5	15	7,5	54
	2010	5	16	8,6	51
	2010	5	17	11,6	48
	2010	5	18	13,7	36
	2010	5	19	14,5	43
	2010	5	20	15,8	48
	2010	5	21	18,5	37
	2010	5	22	19,7	32
	2010	5	23	20,1	41
	2010	5	24	18	53
	2010	5	25	15,9	52
	2010	5	26	15,2	56
	2010	5	27	14,7	62
	2010	5	28	14,4	65
	2010	5	29	15,5	52
	2010	5	30	18	52
	2010	5	31	20	45

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (°)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	6	1	21,8	48
Nombre: Ávila	2010	6	2	21,1	46
Código: 2444	2010	6	3	21,6	42
Provincia: Ávila	2010	6	4	22,2	42
Altitud (m): 1130	2010	6	5	21,9	38
Coordenada X: 357981	2010	6	6	19,8	52
Coordenada Y: 4502280	2010	6	7	19,3	47
Longitud: 440482	2010	6	8	15,4	66
Latitud: 403933	2010	6	9	12,2	82
Datum: ETRS89	2010	6	10	13,5	65
	2010	6	11	12,1	72
	2010	6	12	11,3	90
	2010	6	13	14,4	80
	2010	6	14	14,4	63
	2010	6	15	10,8	56
	2010	6	16	9,5	87
	2010	6	17	13,5	57
	2010	6	18	15,2	56
	2010	6	19	15,8	55
	2010	6	20	14,4	53
	2010	6	21	14	42
	2010	6	22	18,4	38
	2010	6	23	20,6	29
	2010	6	24	22,1	30
	2010	6	25	20,3	57
	2010	6	26	19,6	57
	2010	6	27	20,5	51
	2010	6	28	21,1	59
	2010	6	29	21	46
	2010	6	30	22,5	43
	2010	7	1	23,4	40
	2010	7	2	21,7	60
	2010	7	3	21,2	54
	2010	7	4	23,2	44
	2010	7	5	24,5	40
	2010	7	6	24,8	38
	2010	7	7	26,4	38
	2010	7	8	27,5	36
	2010	7	9	24,5	39
	2010	7	10	25,5	37
	2010	7	11	25,4	32
	2010	7	12	24,8	32
	2010	7	13	22,7	37
	2010	7	14	20,6	33
	2010	7	15	20,7	34
	2010	7	16	20,9	33
	2010	7	17	22,9	40
	2010	7	18	24,5	36
	2010	7	19	25,8	30
	2010	7	20	25,4	35
	2010	7	21	21,8	51
	2010	7	22	20,1	51
	2010	7	23	19,6	46
	2010	7	24	20,9	33
	2010	7	25	20,5	32
	2010	7	26	21,4	39
	2010	7	27	25,2	28
	2010	7	28	24,8	26
	2010	7	29	23,9	32
	2010	7	30	22,3	38
	2010	7	31	25,2	28

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	8	1	24,9	31
Nombre: Ávila	2010	8	2	21,8	46
Código: 2444	2010	8	3	19,6	48
Provincia: Ávila	2010	8	4	20,5	43
Altitud (m): 1130	2010	8	5	20,5	44
Coordenada X: 357981	2010	8	6	21,2	34
Coordenada Y: 4502280	2010	8	7	25,1	36
Longitud: 440482	2010	8	8	24,4	47
Latitud: 403933	2010	8	9	24,3	48
Datum: ETRS89	2010	8	10	23,7	41
	2010	8	11	23,4	27
	2010	8	12	20,7	42
	2010	8	13	16,5	53
	2010	8	14	15,4	50
	2010	8	15	17,1	38
	2010	8	16	18,2	51
	2010	8	17	19,3	55
	2010	8	18	21,5	44
	2010	8	19	20,9	56
	2010	8	20	22,9	48
	2010	8	21	24,2	41
	2010	8	22	25,8	38
	2010	8	23	22,2	37
	2010	8	24	21,3	50
	2010	8	25	24,3	36
	2010	8	26	27,1	25
	2010	8	27	22,6	39
	2010	8	28	20,9	35
	2010	8	29	20,5	36
	2010	8	30	21	28
	2010	8	31	21,5	33
	2010	9	1	17,8	78
	2010	9	2	17,6	64
	2010	9	3	20,8	47
	2010	9	4	21,9	43
	2010	9	5	22,2	42
	2010	9	6	22,2	42
	2010	9	7	16,2	67
	2010	9	8	14,3	57
	2010	9	9	16,5	54
	2010	9	10	18,8	39
	2010	9	11	20,6	33
	2010	9	12	22	36
	2010	9	13	21,5	43
	2010	9	14	20	33
	2010	9	15	22,8	35
	2010	9	16	18,4	80
	2010	9	17	16,2	79
	2010	9	18	15,2	74
	2010	9	19	17,1	61
	2010	9	20	16,5	75
	2010	9	21	17,9	59
	2010	9	22	17,7	56
	2010	9	23	17,3	63
	2010	9	24	15,4	65
	2010	9	25	12,5	60
	2010	9	26	10,3	61
	2010	9	27	11,4	56
	2010	9	28	13,4	50
	2010	9	29	15,9	48
	2010	9	30	15	60

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	10	1	15,3	52
Nombre: Ávila	2010	10	2	16,1	40
Código: 2444	2010	10	3	13	73
Provincia: Ávila	2010	10	4	11	66
Altitud (m): 1130	2010	10	5	11,7	62
Coordenada X: 357981	2010	10	6	15,5	54
Coordenada Y: 4502280	2010	10	7	14,9	72
Longitud: 440482	2010	10	8	16,4	65
Latitud: 403933	2010	10	9	11,7	77
Datum: ETRS89	2010	10	10	9,1	81
	2010	10	11	9,3	92
	2010	10	12	11,3	80
	2010	10	13	11,6	81
	2010	10	14	11,2	67
	2010	10	15	8,4	69
	2010	10	16	7,1	62
	2010	10	17	7,3	71
	2010	10	18	4,9	64
	2010	10	19	6,9	57
	2010	10	20	10,1	50
	2010	10	21	11,7	52
	2010	10	22	11	60
	2010	10	23	10,8	67
	2010	10	24	10,8	72
	2010	10	25	6,6	58
	2010	10	26	5,9	42
	2010	10	27	12,4	23
	2010	10	28	14,3	32
	2010	10	29	9,9	61
	2010	10	30	9,6	80
	2010	10	31	7,5	84
	2010	11	1	9,1	81
	2010	11	2	8,8	78
	2010	11	3	10,2	68
	2010	11	4	12,6	71
	2010	11	5	12,4	74
	2010	11	6	11,2	70
	2010	11	7	6,8	85
	2010	11	8	6,8	80
	2010	11	9	6,3	77
	2010	11	10	5,3	73
	2010	11	11	6,1	75
	2010	11	12	9	82
	2010	11	13	8,9	86
	2010	11	14	6	85
	2010	11	15	3,9	76
	2010	11	16	4,5	74
	2010	11	17	5,5	74
	2010	11	18	4,7	76
	2010	11	19	4,6	79
	2010	11	20	5,7	77
	2010	11	21	4,9	84
	2010	11	22	3,8	84
	2010	11	23	4,3	74
	2010	11	24	4	74
	2010	11	25	1,4	79
	2010	11	26	0,7	71
	2010	11	27	-0,4	76
	2010	11	28	-0,8	71
	2010	11	29	-2,8	85
	2010	11	30	1,6	91

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)





## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2010	12	1	1,7	84
Nombre: Ávila	2010	12	2	0,5	68
Código: 2444	2010	12	3	-2,2	73
Provincia: Ávila	2010	12	4	-3,6	61
Altitud (m): 1130	2010	12	5	4,4	87
Coordenada X: 357981	2010	12	6	10,7	76
Coordenada Y: 4502280	2010	12	7	10,2	82
Longitud: 440482	2010	12	8	10,8	80
Latitud: 403933	2010	12	9	9	95
Datum: ETRS89	2010	12	10	10,7	75
	2010	12	11	12,8	59
	2010	12	12	10,3	68
	2010	12	13	7,6	87
	2010	12	14	3	65
	2010	12	15	-2,1	74
	2010	12	16	-3,5	70
	2010	12	17	1	46
	2010	12	18	1,8	59
	2010	12	19	4,1	84
	2010	12	20	2,2	79
	2010	12	21	6,9	89
	2010	12	22	6,3	88
	2010	12	23	1	99
	2010	12	24	-1,7	85
	2010	12	25	-2,4	82
	2010	12	26	-1,7	73
	2010	12	27	2,2	60
	2010	12	28	4,8	61
	2010	12	29	9,7	60
	2010	12	30	5,6	84
	2010	12	31	7,5	87

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
Nombre: Ávila	2011	1	1	5,6	87
Código: 2444	2011	1	2	5,2	93
Provincia: Ávila	2011	1	3	3,8	81
Altitud (m): 1130	2011	1	4	5,8	83
Coordenada X: 357981	2011	1	5	8	77
Coordenada Y: 4502280	2011	1	6	9,9	80
Longitud: 440482	2011	1	7	9,4	72
Latitud: 403933	2011	1	8	7,4	81
Datum: ETRS89	2011	1	9	4,8	90
	2011	1	10	3,5	87
	2011	1	11	8,1	85
	2011	1	12	7,7	86
	2011	1	13	8,5	75
	2011	1	14	6,2	82
	2011	1	15	5,9	74
	2011	1	16	6,8	76
	2011	1	17	5,1	82
	2011	1	18	5,8	87
	2011	1	19	5,4	82
	2011	1	20	2,8	94
	2011	1	21	-2,3	78
	2011	1	22	-3,8	65
	2011	1	23	-3,3	58
	2011	1	24	0,4	39
	2011	1	25	1,2	50
	2011	1	26	0,2	62
	2011	1	27	0	81
	2011	1	28	2,9	88
	2011	1	29	1,4	86
	2011	1	30	0	97
	2011	1	31	-1,7	88
	2011	2	1	-0,7	86
	2011	2	2	0,8	79
	2011	2	3	2,4	79
	2011	2	4	5	68
	2011	2	5	6,5	49
	2011	2	6	7,7	55
	2011	2	7	7,6	54
	2011	2	8	6,8	59
	2011	2	9	6,2	62
	2011	2	10	7,3	59
	2011	2	11	6,3	58
	2011	2	12	5	67
	2011	2	13	3,5	82
	2011	2	14	2,4	66
	2011	2	15	3,5	86
	2011	2	16	3,9	75
	2011	2	17	2,2	82
	2011	2	18	5	72
	2011	2	19	6,4	87
	2011	2	20	6,2	84
	2011	2	21	5,6	80
	2011	2	22	7,4	74
	2011	2	23	7,4	72
	2011	2	24	8,3	64
	2011	2	25	8,9	64
	2011	2	26	8,9	54
	2011	2	27	3,6	64
	2011	2	28	2,2	64

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2011	3	1	0,3	82
Nombre: Ávila	2011	3	2	0,6	82
Código: 2444	2011	3	3	0,7	85
Provincia: Ávila	2011	3	4	-1,3	90
Altitud (m): 1130	2011	3	5	3,2	82
Coordenada X: 357981	2011	3	6	5,8	71
Coordenada Y: 4502280	2011	3	7	7,4	57
Longitud: 440482	2011	3	8	6,4	75
Latitud: 403933	2011	3	9	8,2	76
Datum: ETRS89	2011	3	10	8,1	57
	2011	3	11	6,4	74
	2011	3	12	7	84
	2011	3	13	5,9	79
	2011	3	14	6,6	91
	2011	3	15	6,8	73
	2011	3	16	5,7	76
	2011	3	17	7,9	76
	2011	3	18	8,2	65
	2011	3	19	8,4	60
	2011	3	20	8,3	47
	2011	3	21	9,5	66
	2011	3	22	6,9	60
	2011	3	23	3,6	92
	2011	3	24	6,4	94
	2011	3	25	9,1	84
	2011	3	26	8,7	71
	2011	3	27	6,8	76
	2011	3	28	6,4	81
	2011	3	29	9,5	74
	2011	3	30	10,1	74
	2011	3	31	12,3	63
	2011	4	1	14,7	52
	2011	4	2	14,1	51
	2011	4	3	9,3	93
	2011	4	4	11,6	75
	2011	4	5	15,2	51
	2011	4	6	16,7	42
	2011	4	7	17,9	33
	2011	4	8	20,6	31
	2011	4	9	17,3	39
	2011	4	10	12	78
	2011	4	11	11,7	69
	2011	4	12	12	58
	2011	4	13	13,6	40
	2011	4	14	14,7	43
	2011	4	15	12,4	39
	2011	4	16	12	61
	2011	4	17	13,2	60
	2011	4	18	12,8	46
	2011	4	19	13	68
	2011	4	20	13,4	75
	2011	4	21	9,7	90
	2011	4	22	8,7	79
	2011	4	23	8,9	76
	2011	4	24	9,8	81
	2011	4	25	11,9	74
	2011	4	26	11	74
	2011	4	27	11,4	65
	2011	4	28	13,2	54
	2011	4	29	13,5	64
	2011	4	30	10,9	78

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2011	5	1	12,5	60
Nombre: Ávila	2011	5	2	12,9	65
Código: 2444	2011	5	3	13,8	56
Provincia: Ávila	2011	5	4	13,8	63
Altitud (m): 1130	2011	5	5	13,4	48
Coordenada X: 357981	2011	5	6	15,4	75
Coordenada Y: 4502280	2011	5	7	11,6	66
Longitud: 440482	2011	5	8	11,5	59
Latitud: 403933	2011	5	9	15	57
Datum: ETRS89	2011	5	10	18	46
	2011	5	11	18,4	49
	2011	5	12	18,2	52
	2011	5	13	17,8	53
	2011	5	14	14,4	76
	2011	5	15	11,4	58
	2011	5	16	14,3	55
	2011	5	17	16,6	71
	2011	5	18	16,2	59
	2011	5	19	13,4	67
	2011	5	20	15,2	55
	2011	5	21	16,3	47
	2011	5	22	17,6	62
	2011	5	23	17	53
	2011	5	24	18,9	47
	2011	5	25	19,5	39
	2011	5	26	19,6	64
	2011	5	27	15,6	82
	2011	5	28	17,2	59
	2011	5	29	18,7	51
	2011	5	30	17,2	65
	2011	5	31	13,5	71
	2011	6	1	11,5	53
	2011	6	2	10,4	64
	2011	6	3	12,9	56
	2011	6	4	15,3	52
	2011	6	5	16,4	57
	2011	6	6	14,8	84
	2011	6	7	13,1	75
	2011	6	8	13,9	56
	2011	6	9	14,1	52
	2011	6	10	14,1	55
	2011	6	11	16,9	44
	2011	6	12	19,7	44
	2011	6	13	19,8	41
	2011	6	14	19,5	45
	2011	6	15	20,5	43
	2011	6	16	18,9	48
	2011	6	17	18,2	44
	2011	6	18	17,8	41
	2011	6	19	19,4	37
	2011	6	20	22,5	37
	2011	6	21	23,9	36
	2011	6	22	21,6	38
	2011	6	23	18,9	39
	2011	6	24	21	37
	2011	6	25	24,8	34
	2011	6	26	27,3	33
	2011	6	27	27,1	34
	2011	6	28	24,6	33
	2011	6	29	18,5	58
	2011	6	30	18,9	45

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2011	7	1	21,9	38
Nombre: Ávila	2011	7	2	23,9	33
Código: 2444	2011	7	3	21,9	33
Provincia: Ávila	2011	7	4	19,3	49
Altitud (m): 1130	2011	7	5	22,8	41
Coordenada X: 357981	2011	7	6	21,4	43
Coordenada Y: 4502280	2011	7	7	17,4	44
Longitud: 440482	2011	7	8	18,1	50
Latitud: 403933	2011	7	9	21,5	55
Datum: ETRS89	2011	7	10	21,4	43
	2011	7	11	21,7	30
	2011	7	12	18,7	60
	2011	7	13	13,9	63
	2011	7	14	16,1	52
	2011	7	15	19,5	37
	2011	7	16	22,6	40
	2011	7	17	18,5	48
	2011	7	18	17,7	46
	2011	7	19	17,7	47
	2011	7	20	18,6	38
	2011	7	21	19,4	45
	2011	7	22	18,4	54
	2011	7	23	18,4	41
	2011	7	24	18,2	42
	2011	7	25	19,7	51
	2011	7	26	21,9	46
	2011	7	27	20,1	43
	2011	7	28	21,2	42
	2011	7	29	23,4	37
	2011	7	30	22,6	42
	2011	7	31	22,8	42
	2011	8	1	22,9	40
	2011	8	2	18,3	76
	2011	8	3	20,2	56
	2011	8	4	21,9	42
	2011	8	5	21,8	49
	2011	8	6	21	51
	2011	8	7	21,5	45
	2011	8	8	19,5	42
	2011	8	9	19,6	30
	2011	8	10	21,7	41
	2011	8	11	26	39
	2011	8	12	25,6	48
	2011	8	13	24,2	43
	2011	8	14	23,2	46
	2011	8	15	23,7	39
	2011	8	16	25,1	35
	2011	8	17	24,8	28
	2011	8	18	23,3	34
	2011	8	19	25,6	39
	2011	8	20	28,2	36
	2011	8	21	22,6	58
	2011	8	22	18,5	59
	2011	8	23	19,8	54
	2011	8	24	20	55
	2011	8	25	20,1	43
	2011	8	26	15,6	58
	2011	8	27	15,5	39
	2011	8	28	20,7	41
	2011	8	29	19,2	30
	2011	8	30	19,7	29
	2011	8	31	17,6	71

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (°)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2011	9	1	17,9	63
Nombre: Ávila	2011	9	2	15,9	62
Código: 2444	2011	9	3	16,2	64
Provincia: Ávila	2011	9	4	17,8	67
Altitud (m): 1130	2011	9	5	15,9	52
Coordenada X: 357981	2011	9	6	18,6	39
Coordenada Y: 4502280	2011	9	7	20,1	32
Longitud: 440482	2011	9	8	20,2	28
Latitud: 403933	2011	9	9	21,8	31
Datum: ETRS89	2011	9	10	21,1	29
	2011	9	11	17,6	52
	2011	9	12	19,5	48
	2011	9	13	21,5	37
	2011	9	14	20,9	38
	2011	9	15	23,1	40
	2011	9	16	21,9	52
	2011	9	17	19,9	56
	2011	9	18	13,9	45
	2011	9	19	12,4	48
	2011	9	20	16,6	37
	2011	9	21	19	34
	2011	9	22	19,1	45
	2011	9	23	19	46
	2011	9	24	14,7	52
	2011	9	25	16,3	43
	2011	9	26	17,9	35
	2011	9	27	18,8	43
	2011	9	28	19,2	37
	2011	9	29	18,1	42
	2011	9	30	18,1	55
	2011	10	1	17,5	58
	2011	10	2	17,7	50
	2011	10	3	16,4	39
	2011	10	4	17	39
	2011	10	5	16,7	41
	2011	10	6	17,7	43
	2011	10	7	11,9	69
	2011	10	8	11,2	62
	2011	10	9	11,1	62
	2011	10	10	16,7	39
	2011	10	11	17,8	36
	2011	10	12	18	37
	2011	10	13	17,6	34
	2011	10	14	16,7	32
	2011	10	15	16,5	44
	2011	10	16	16,4	46
	2011	10	17	14,4	35
	2011	10	18	13,8	38
	2011	10	19	13,4	49
	2011	10	20	8,7	62
	2011	10	21	10,1	51
	2011	10	22	11,6	61
	2011	10	23	11,2	83
	2011	10	24	9,2	80
	2011	10	25	7,4	68
	2011	10	26	7,4	90
	2011	10	27	9,8	88
	2011	10	28	8,6	79
	2011	10	29	9	76
	2011	10	30	11,5	72
	2011	10	31	11,8	73

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.1- Temperatura media y Humedad Relativa media diaria de Ávila capital (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION	AÑO	MES	DÍA	Tª MEDIA (º)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
	2011	11	1	13,9	77
Nombre: Ávila	2011	11	2	11,5	92
Código: 2444	2011	11	3	8,9	78
Provincia: Ávila	2011	11	4	6,8	87
Altitud (m): 1130	2011	11	5	6,1	84
Coordenada X: 357981	2011	11	6	5,7	74
Coordenada Y: 4502280	2011	11	7	7,4	82
Longitud: 440482	2011	11	8	8,7	81
Latitud: 403933	2011	11	9	8,8	91
Datum: ETRS89	2011	11	10	11,5	88
	2011	11	11	12,4	78
	2011	11	12	12,8	69
	2011	11	13	11,5	79
	2011	11	14	7,9	86
	2011	11	15	7,5	82
	2011	11	16	7	80
	2011	11	17	7,8	83
	2011	11	18	8,2	87
	2011	11	19	7,6	95
	2011	11	20	8,8	93
	2011	11	21	9,7	86
	2011	11	22	5,1	95
	2011	11	23	9,4	85
	2011	11	24	7,5	78
	2011	11	25	6,6	81
	2011	11	26	5,6	79
	2011	11	27	7,2	68
	2011	11	28	7,2	73
	2011	11	29	6,1	73
	2011	11	30	5,5	78
	2011	12	1	6	74
	2011	12	2	3,6	89
	2011	12	3	3,5	77
	2011	12	4	2,6	84
	2011	12	5	9,1	80
	2011	12	6	6,9	78
	2011	12	7	8,6	71
	2011	12	8	8,1	68
	2011	12	9	5,8	70
	2011	12	10	2,7	89
	2011	12	11	4,9	89
	2011	12	12	5,8	82
	2011	12	13	6,4	76
	2011	12	14	6,5	69
	2011	12	15	5,7	75
	2011	12	16	6,8	80
	2011	12	17	2,2	76
	2011	12	18	0,4	83
	2011	12	19	0,3	72
	2011	12	20	3,4	74
	2011	12	21	7,2	77
	2011	12	22	6,6	76
	2011	12	23	6,4	58
	2011	12	24	1,3	83
	2011	12	25	4	63
	2011	12	26	3,8	55
	2011	12	27	4,4	54
	2011	12	28	4,6	55
	2011	12	29	1	76
	2011	12	30	1,2	68
	2011	12	31	5,2	65

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

### 2. TEMPERATURA MEDIA Y HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL

Las dos tablas que seguidamente se muestran, recogen los datos de las medias mensuales de las variables climáticas de Temperatura media y de Humedad Relativa, también pertenecientes a la estación meteorológica de primer orden, sita en Ávila capital.

En este caso, la información pertenece a la serie temporal 1960-2013, que es lo suficientemente amplia como para que la presente investigación adquiera mayor robustez.

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1960	1	3,5	Sin dato
	1960	2	4,7	Sin dato
	1960	3	7,0	Sin dato
	1960	4	9,0	Sin dato
	1960	5	13,6	Sin dato
	1960	6	18,7	Sin dato
	1960	7	19,5	Sin dato
	1960	8	18,8	Sin dato
	1960	9	16,2	Sin dato
	1960	10	8,8	Sin dato
	1960	11	7,2	Sin dato
	1960	12	1,8	Sin dato
	1961	1	2,5	83
	1961	2	8,6	58
	1961	3	10,1	47
	1961	4	10,2	61
	1961	5	14,5	49
	1961	6	17,6	49
	1961	7	20,0	43
	1961	8	20,9	41
	1961	9	18,1	55
	1961	10	10,8	72
	1961	11	5,7	82
	1961	12	6,3	74

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)





**ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS**

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN</b>	<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)</b>
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1962	1	3,8	78
	1962	2	3,8	68
	1962	3	5,1	78
	1962	4	8,5	69
	1962	5	12,6	58
	1962	6	17,5	49
	1962	7	20,8	35
	1962	8	22,1	32
	1962	9	18,5	52
	1962	10	13,1	73
	1962	11	4,0	78
	1962	12	2,5	70
	1963	1	2,9	80
	1963	2	1,5	87
	1963	3	5,9	68
	1963	4	8,3	58
	1963	5	12,3	47
	1963	6	16,2	53
	1963	7	20,7	40
	1963	8	18,9	40
	1963	9	15,0	61
	1963	10	13,5	54
	1963	11	7,1	80
	1963	12	1,9	83
	1964	1	3,2	73
	1964	2	5,3	72
	1964	3	5,3	71
	1964	4	8,6	62
	1964	5	16,9	44
	1964	6	16,6	54
	1964	7	21,2	39
	1964	8	20,1	39
	1964	9	20,0	44
	1964	10	9,8	66
	1964	11	7,1	62
	1964	12	1,6	80

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1965	1	2,4	76
	1965	2	1,2	74
	1965	3	6,8	66
	1965	4	8,5	56
	1965	5	14,7	45
	1965	6	19,0	41
	1965	7	19,2	40
	1965	8	20,4	40
	1965	9	13,9	51
	1965	10	11,8	79
	1965	11	5,9	77
	1965	12	5,0	80
	1966	1	6,6	78
	1966	2	6,2	75
	1966	3	5,6	59
	1966	4	8,5	65
	1966	5	13,5	51
	1966	6	15,8	53
	1966	7	19,9	40
	1966	8	20,2	38
	1966	9	18,4	44
	1966	10	9,7	76
	1966	11	3,3	78
	1966	12	3,7	74
	1967	1	3,5	71
	1967	2	4,5	70
	1967	3	8,3	59
	1967	4	7,6	62
	1967	5	10,3	62
	1967	6	15,2	52
	1967	7	22,6	37
	1967	8	20,1	42
	1967	9	16,3	52
	1967	10	13,2	67
	1967	11	6,1	81
	1967	12	1,9	79

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1968	1	3,5	73
	1968	2	4,1	79
	1968	3	5,0	71
	1968	4	8,4	63
	1968	5	11,4	56
	1968	6	17,9	38
	1968	7	20,3	34
	1968	8	19,4	44
	1968	9	15,5	57
	1968	10	14,6	58
	1968	11	7,4	73
	1968	12	3,4	81
	1969	1	4,3	75
	1969	2	1,5	71
	1969	3	5,0	71
	1969	4	7,7	68
	1969	5	11,0	62
	1969	6	15,0	55
	1969	7	21,4	40
	1969	8	19,4	45
	1969	9	13,0	68
	1969	10	11,3	76
	1969	11	4,9	74
	1969	12	2,1	80
	1970	1	4,5	81
	1970	2	3,7	67
	1970	3	3,7	60
	1970	4	7,9	51
	1970	5	11,8	53
	1970	6	16,2	52
	1970	7	20,7	38
	1970	8	18,9	42
	1970	9	18,8	42
	1970	10	10,1	57
	1970	11	8,6	67
	1970	12	0,0	80

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1971	1	2,8	72
	1971	2	3,9	64
	1971	3	1,9	69
	1971	4	7,9	71
	1971	5	9,3	75
	1971	6	14,0	58
	1971	7	19,5	48
	1971	8	18,1	44
	1971	9	16,6	46
	1971	10	13,4	60
	1971	11	2,9	78
	1971	12	3,6	81
	1972	1	0,6	80
	1972	2	3,2	75
	1972	3	5,3	70
	1972	4	6,6	61
	1972	5	10,0	61
	1972	6	15,1	53
	1972	7	19,6	42
	1972	8	17,7	42
	1972	9	13,1	64
	1972	10	9,5	79
	1972	11	6,9	83
	1972	12	2,8	83
	1973	1	2,7	78
	1973	2	2,6	74
	1973	3	4,8	59
	1973	4	7,8	53
	1973	5	12,0	56
	1973	6	15,2	59
	1973	7	18,9	44
	1973	8	21,4	41
	1973	9	15,8	57
	1973	10	10,3	77
	1973	11	6,7	70
	1973	12	1,3	79

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



**ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS**

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1974	1	4,6	76
	1974	2	2,6	75
	1974	3	4,8	71
	1974	4	6,4	67
	1974	5	12,3	54
	1974	6	15,9	55
	1974	7	19,8	42
	1974	8	19,0	40
	1974	9	14,9	46
	1974	10	7,2	62
	1974	11	6,2	68
	1974	12	3,8	73
	1975	1	5,0	66
	1975	2	4,5	69
	1975	3	3,3	71
	1975	4	7,4	62
	1975	5	9,1	62
	1975	6	15,2	57
	1975	7	20,7	31
	1975	8	19,3	43
	1975	9	14,1	55
	1975	10	12,1	59
	1975	11	5,1	73
	1975	12	1,2	80
	1976	1	3,3	60
	1976	2	3,9	72
	1976	3	5,8	52
	1976	4	6,1	64
	1976	5	13,5	50
	1976	6	17,9	42
	1976	7	19,2	48
	1976	8	18,6	45
	1976	9	14,0	54
	1976	10	8,7	72
	1976	11	4,2	74
	1976	12	4,8	77

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1977	1	2,6	78
	1977	2	5,5	74
	1977	3	6,8	56
	1977	4	8,9	56
	1977	5	9,6	58
	1977	6	12,9	57
	1977	7	15,7	57
	1977	8	16,6	48
	1977	9	17,4	46
	1977	10	11,9	69
	1977	11	6,0	74
	1977	12	5,9	84
	1978	1	1,8	82
	1978	2	4,9	72
	1978	3	6,5	58
	1978	4	6,3	66
	1978	5	9,2	65
	1978	6	13,3	60
	1978	7	19,3	34
	1978	8	20,0	33
	1978	9	18,2	36
	1978	10	10,3	58
	1978	11	6,0	75
	1978	12	5,6	75
	1979	1	4,1	81
	1979	2	4,1	76
	1979	3	4,6	70
	1979	4	6,0	61
	1979	5	12,2	50
	1979	6	17,6	44
	1979	7	20,0	40
	1979	8	19,2	40
	1979	9	16,1	58
	1979	10	9,8	75
	1979	11	6,4	64
	1979	12	4,9	70

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1980	1	2,6	76
	1980	2	5,1	70
	1980	3	5,7	65
	1980	4	6,6	59
	1980	5	9,8	62
	1980	6	15,1	49
	1980	7	18,0	36
	1980	8	20,7	39
	1980	9	18,6	44
	1980	10	11,1	60
	1980	11	5,8	68
	1980	12	1,6	68
	1981	1	2,4	66
	1981	2	2,3	64
	1981	3	8,2	59
	1981	4	7,0	66
	1981	5	10,8	54
	1981	6	17,6	42
	1981	7	19,0	38
	1981	8	19,9	42
	1981	9	16,8	49
	1981	10	11,4	57
	1981	11	8,8	56
	1981	12	4,9	74
	1982	1	5,1	71
	1982	2	4,4	73
	1983	1	3,0	75
	1983	2	Sin dato	Sin dato
	1983	3	7,1	59
	1983	4	6,6	61
	1983	5	9,0	61
	1983	6	16,8	49
	1983	7	18,7	42
	1983	8	17,3	59
	1983	9	18,1	48
	1983	10	11,8	58
1983	11	9,0	79	
1983	12	3,9	64	

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1984	1	3,0	75
	1984	2	1,5	65
	1984	3	2,9	65
	1984	4	10,5	Sin dato
	1984	5	Sin dato	Sin dato
	1984	6	15,3	59
	1984	7	19,1	37
	1984	8	17,1	43
	1984	9	14,6	49
	1984	10	10,4	62
	1984	11	6,1	78
	1984	12	3,5	82
	1985	1	-0,1	74
	1985	2	6,1	76
	1985	3	3,9	67
	1985	4	8,6	69
	1985	5	9,5	64
	1985	6	16,2	55
	1985	7	20,4	43
	1985	8	18,8	43
	1985	9	19,0	50
	1985	10	12,1	57
	1985	11	5,2	74
	1985	12	4,0	78
1986	1	1,7	78	
1986	2	2,8	81	
1986	3	5,2	68	
1986	4	4,2	68	
1986	5	13,1	54	
1986	6	16,3	47	
1986	7	20,8	45	
1986	8	18,3	43	
1986	9	16,9	68	
1986	10	11,5	78	
1986	11	5,4	78	
1986	12	3,6	80	

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)





ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1987	1	2,0	81
	1987	2	3,9	80
	1987	3	6,9	63
	1987	4	9,4	65
	1987	5	11,0	58
	1987	6	16,2	50
	1987	7	18,7	60
	1987	8	20,2	49
	1987	9	18,5	56
	1987	10	9,8	75
	1987	11	5,8	81
	1987	12	5,4	87
	1988	1	4,8	83
	1988	2	3,5	75
	1988	3	5,9	61
	1988	4	8,2	75
	1988	5	11,2	73
	1988	6	13,3	71
	1988	7	18,1	53
	1988	8	19,1	43
	1988	9	16,3	49
	1988	10	11,7	68
	1988	11	6,7	76
	1988	12	2,0	77
	1989	1	2,7	72
	1989	2	4,0	67
	1989	3	7,4	60
	1989	4	5,9	72
	1989	5	13,8	55
	1989	6	16,8	54
	1989	7	21,2	38
	1989	8	20,2	44
	1989	9	14,8	62
	1989	10	12,8	68
	1989	11	8,0	85
	1989	12	6,6	89

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1990	1	2,6	82
	1990	2	7,7	71
	1990	3	7,0	64
	1990	4	6,5	71
	1990	5	12,8	56
	1990	6	17,5	50
	1990	7	21,2	43
	1990	8	20,5	47
	1990	9	17,7	59
	1990	10	10,7	75
	1990	11	5,1	81
	1990	12	1,9	82
	1991	1	2,1	78
	1991	2	2,2	75
	1991	3	6,2	78
	1991	4	6,5	62
	1991	5	10,4	52
	1991	6	16,8	46
	1991	7	20,6	43
	1991	8	21,5	43
	1991	9	17,3	60
	1991	10	8,2	75
	1991	11	5,5	75
	1991	12	4,0	77
	1992	1	0,4	78
	1992	2	3,6	64
	1992	3	5,8	58
	1992	4	8,5	54
	1992	5	14,0	51
	1992	6	12,5	66
	1992	7	20,8	43
	1992	8	19,9	43
	1992	9	15,4	50
	1992	10	8,5	78
	1992	11	8,1	74
	1992	12	4,1	81

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



**ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS**

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1993	1	3,0	70
	1993	2	2,4	71
	1993	3	5,2	69
	1993	4	6,9	64
	1993	5	10,4	66
	1993	6	15,4	56
	1993	7	18,8	42
	1993	8	19,9	43
	1993	9	13,1	62
	1993	10	7,9	78
	1993	11	4,6	83
	1993	12	4,6	83
	1994	1	2,3	77
	1994	2	3,2	69
	1994	3	8,4	63
	1994	4	6,8	60
	1994	5	12,1	59
	1994	6	16,6	45
	1994	7	21,6	34
	1994	8	20,4	41
	1994	9	12,9	58
	1994	10	11,5	76
	1994	11	8,1	75
	1994	12	4,2	81
	1995	1	3,3	78
	1995	2	5,4	73
	1995	3	6,0	63
	1995	4	9,1	49
	1995	5	14,0	50
	1995	6	17,6	52
	1995	7	20,8	47
	1995	8	19,4	49
	1995	9	13,1	61
	1995	10	13,6	63
	1995	11	8,6	74
	1995	12	5,0	87

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1996	1	4,5	87
	1996	2	2,3	75
	1996	3	5,5	71
	1996	4	8,6	64
	1996	5	10,9	65
	1996	6	17,3	48
	1996	7	20,3	41
	1996	8	18,6	50
	1996	9	14,2	59
	1996	10	10,5	66
	1996	11	6,7	74
	1996	12	4,2	88
	1997	1	3,0	85
	1997	2	7,1	68
	1997	3	9,6	46
	1997	4	11,6	54
	1997	5	12,6	60
	1997	6	15,1	56
	1997	7	18,9	51
	1997	8	20,6	47
	1997	9	18,4	56
	1997	10	13,4	66
	1997	11	6,9	80
	1997	12	4,9	80
	1998	1	4,0	80
	1998	2	6,8	71
	1998	3	8,9	52
	1998	4	7,1	67
	1998	5	11,4	70
	1998	6	17,8	49
	1998	7	21,1	40
	1998	8	22,0	43
	1998	9	16,6	58
	1998	10	10,8	66
	1998	11	6,0	77
	1998	12	3,1	75

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



**ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS**

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	1999	1	1,7	74
	1999	2	2,8	71
	1999	3	6,2	65
	1999	4	9,3	56
	1999	5	13,9	54
	1999	6	17,9	49
	1999	7	22,2	41
	1999	8	20,8	45
	1999	9	16,5	59
	1999	10	11,8	70
	1999	11	4,0	79
	1999	12	4,4	76
	2000	1	1,2	77
	2000	2	7,1	63
	2000	3	7,2	59
	2000	4	7,1	71
	2000	5	13,8	67
	2000	6	18,7	44
	2000	7	19,5	43
	2000	8	20,2	41
	2000	9	17,3	50
	2000	10	11,0	66
	2000	11	6,0	78
	2000	12	5,4	78
	2001	1	4,9	80
	2001	2	4,8	72
	2001	3	9,4	71
	2001	4	9,1	56
	2001	5	13,3	56
	2001	6	19,3	40
	2001	7	19,7	47
	2001	8	21,1	45
	2001	9	16,3	52
	2001	10	12,9	73
	2001	11	3,9	77
	2001	12	1,8	70

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	2002	1	5,1	77
	2002	2	5,7	68
	2002	3	7,2	67
	2002	4	9,2	59
	2002	5	11,6	59
	2002	6	19,3	45
	2002	7	20,5	41
	2002	8	19,1	48
	2002	9	15,6	63
	2002	10	12,2	72
	2002	11	7,4	76
	2002	12	6,0	81
	2003	1	2,3	77
	2003	2	2,8	79
	2003	3	8,9	62
	2003	4	9,5	64
	2003	5	13,9	57
	2003	6	21,4	45
	2003	7	21,5	39
	2003	8	23,6	43
	2003	9	17,9	53
	2003	10	10,6	76
	2003	11	7,6	82
	2003	12	4,4	81
	2004	1	5,0	78
	2004	2	4,8	70
	2004	3	5,8	69
	2004	4	8,4	63
	2004	5	11,6	68
	2004	6	20,2	48
	2004	7	21,2	43
	2004	8	20,5	50
	2004	9	18,2	47
	2004	10	12,6	66
	2004	11	6,1	79
	2004	12	3,3	86

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	2005	1	2,7	72
	2005	2	0,6	74
	2005	3	7,0	63
	2005	4	10,0	62
	2005	5	15,0	52
	2005	6	21,3	44
	2005	7	22,0	39
	2005	8	21,6	41
	2005	9	16,7	47
	2005	10	12,5	68
	2005	11	5,5	79
	2005	12	3,7	76
	2006	1	2,1	81
	2006	2	3,3	68
	2006	3	7,8	69
	2006	4	10,7	61
	2006	5	15,9	48
	2006	6	19,9	46
	2006	7	23,1	42
	2006	8	19,6	46
	2006	9	18,4	54
	2006	10	13,7	70
	2006	11	9,4	80
	2006	12	3,9	76
	2007	1	4,4	75
	2007	2	6,4	76
	2007	3	6,4	61
	2007	4	9,6	69
	2007	5	12,6	61
	2007	6	16,6	54
	2007	7	20,3	43
	2007	8	19,3	49
	2007	9	17,3	56
	2007	10	11,4	69
	2007	11	5,8	63
	2007	12	4,0	76

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN	AÑO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	2008	1	6,0	75
	2008	2	6,7	70
	2008	3	6,6	64
	2008	4	9,9	61
	2008	5	11,9	71
	2008	6	17,2	57
	2008	7	20,3	45
	2008	8	20,9	47
	2008	9	16,0	55
	2008	10	10,9	71
	2008	11	4,2	80
	2008	12	3,1	79
	2009	1	2,7	82
	2009	2	4,4	69
	2009	3	8,2	53
	2009	4	8,5	60
	2009	5	14,8	49
	2009	6	19,3	46
	2009	7	21,4	37
	2009	8	22,6	41
	2009	9	17,6	54
	2009	10	14,2	61
	2009	11	8,9	71
	2009	12	4,1	80
	2010	1	2,9	82
	2010	2	3,6	77
	2010	3	5,8	67
	2010	4	11,0	63
	2010	5	12,0	57
	2010	6	17,3	55
	2010	7	23,3	38
	2010	8	21,8	41
	2010	9	17,5	55
	2010	10	10,8	63
	2010	11	5,5	78
	2010	12	4,1	75

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)





**ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS**

**Tabla A10.2- Temperatura media y Humedad relativa media mensuales de Ávila capital para el período 1960-2013 (continuación)**

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN</b>	<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)</b>
Nombre: Ávila Código: 2444 Provincia: Ávila Altitud (m): 1130 Coordenada X: 357981 Coordenada Y: 4502280 Longitud: 440482 Latitud: 403933 Datum: ETRS89	2011	1	3,9	79
	2011	2	5,2	69
	2011	3	6,5	75
	2011	4	12,9	61
	2011	5	15,6	59
	2011	6	18,5	47
	2011	7	20,0	44
	2011	8	21,5	45
	2011	9	18,4	45
	2011	10	13,4	56
	2011	11	8,4	82
	2011	12	4,7	74
	2012	1	3,3	78
	2012	2	1,3	64
	2012	3	7,7	53
	2012	4	7,0	73
	2012	5	14,9	50
	2012	6	19,3	40
	2012	7	20,7	37
	2012	8	21,6	38
	2012	9	16,8	50
	2012	10	11,5	69
	2012	11	6,2	83
	2012	12	4,8	78
	2013	1	4,5	79
	2013	2	3,0	77
	2013	3	5,9	76
	2013	4	8,4	63
	2013	5	10,3	60
	2013	6	16,3	49
	2013	7	22,6	37
	2013	8	21,2	38
	2013	9	17,5	51
	2013	10	12,7	69
	2013	11	5,0	81
	2013	12	4,0	74

Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)



## ANEXO 10: DATOS CLIMÁTICOS

---



# **ANEXO 11. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO**





## ANEXO 11: HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

## ANEXO 11. HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

Como se apuntó en el correspondiente apartado dedicado a la obtención de la HEH de las vigas expuesto en el “CAPÍTULO V: MATERIAL Y MÉTODOS” de la presente Tesis Doctoral, se han obtenido mediante el ábaco de Kollmann dichas humedades de equilibrio para cada uno de los meses en función de las humedades relativas máximas y mínimas calculadas a través del protocolo descrito por el profesor Morales Méndez, usando como base los datos climáticos presentados en el anterior anexo de la Tesis Doctoral.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla A11.1- Humedades de Equilibrio Higroscópico mensuales de la madera de Ávila

MES	Tª media (°C)	HR mínima (%)	HR máxima (%)	HEH mínima (%)	HEH máxima (%)	HEH media (%)
ENERO	3,2	68,47	85,333	13,4	19,6	16,5
FEBRERO	4,1	64,41	78,939	12,6	17,2	14,9
MARZO	6,5	52,134	74,965	10	15,5	12,75
ABRIL	8,1	53,432	72,26	10,3	14,5	12,4
MAYO	12,2	47,712	68,851	9,2	13,4	11,3
JUNIO	17	39,489	61,86	7,8	11,7	9,75
JULIO	20,3	32,741	51,658	6,7	9,7	8,2
AGOSTO	20,1	36,84	51,109	7,4	9,7	8,55
SEPTIEMBRE	16,5	43,322	63,727	8,6	12,1	10,35
OCTUBRE	11,3	57,218	78,631	10,8	16,9	13,85
NOVIEMBRE	6,4	66,269	85,43	12,9	19,8	16,35
DICIEMBRE	4	69,542	87,007	13,6	20,6	17,1

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los valores de la tabla, es posible concluir que el valor máximo de HEH alcanzado es del 20,6% (Diciembre), la mínima de 6,7% (Julio), siendo la media anual de 12,67%. Todos estos valores gozan de un 95% de probabilidades de que no serán superados.

Tomando como cierta la información expuesta, es posible hablar de que la madera en el centro peninsular adquiere una máxima ganancia de 7,9% (resultado de la diferencia entre la HEH máxima y la HEH media anual); y una pérdida máxima de humedad de 6% (diferencia entre la HEH



## ANEXO 11: HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

media anual y la HEH mínima). Sumando las máximas ganancia y pérdidas se obtiene que la variación máxima de humedad es del 13,9%.

El riesgo exterior alcanza un valor de 7,9% (diferencia entre HEH máxima y HEH media mensual).

Es posible establecer una comparativa con otros valores de HEH recogidos en la bibliografía existente para Ávila (AITIM):

- HEH mínima (20°C/ 42%): 8%
- HEH máxima (2°C/ 82%): 17,2%
- HEH recomendada (10°C/ 64%): 11,9%
- Riesgo exterior: 5,3% (diferencia entre HEH máx. y HEH recomendada)

Por tanto, las diferencias entre valores de la AITIM y los obtenidos en la presente investigación son:

- HEH mínima: 1,3%
- HEH máxima: 3,4%
- HEH recomendada: 0,8%
- Riesgo exterior: 2,6%

En la siguiente gráfica se aprecia la evolución temporal del promedio de las medias de los valores de humedad de las vigas, por meses; frente a la evolución que sigue la HEH de la madera calculada mediante el uso del ábaco de Keylwerth, y las HEH media, máxima y mínima obtenidas siguiendo la metodología del profesor Morales Méndez (que a su vez hace uso del ábaco de Kollman).

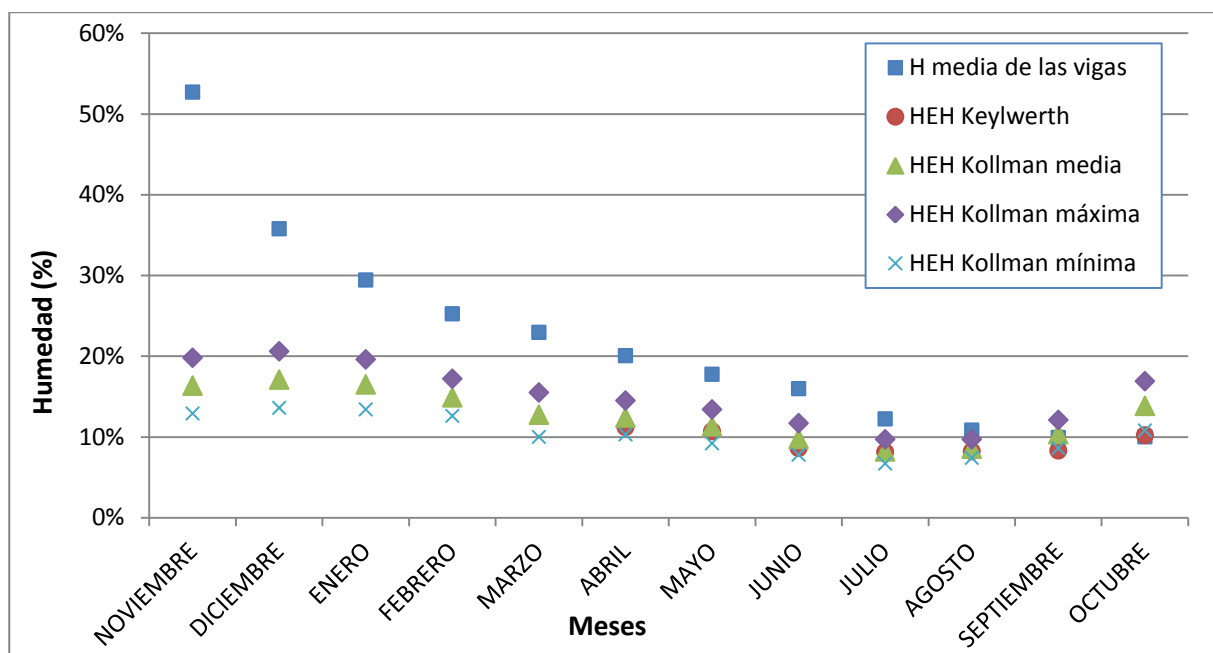


Figura A11.1- Evolución de las Humedades de Equilibrio Higroscópico mensuales de la madera de Ávila. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 11: HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

---

Se observa una clara tendencia decreciente en las humedades consideradas hasta los 10 meses de oreado aproximadamente (agosto), momento en el cuál las piezas de madera continúan perdiendo humedad hasta los 12 meses de forma muy sutil (línea de puntos azules); y las diferentes humedades de equilibrio higroscópico sufren un incremento debido a las condiciones climáticas imperantes en la zona de estudio.

El interés de estos resultados radica en la posibilidad de prever la cantidad de agua que la madera será capaz de absorber o expulsar según donde vaya a ser expuesta a la intemperie; sobre todo cuando las piezas van a ser colocadas en un lugar con diferencias climáticas con respecto a donde se fabricaron. Es por ello que la madera habrá de secarse hasta alcanzar su HEH, para que las fuerzas desecantes se equilibren con la atmósfera.

Actualmente se están sucediendo investigaciones basadas en las deformaciones que pueden ocurrir en los cortes tradicionales de maderas de las diferentes especies comerciales, si después de ser expuestas al exterior con la HEH recomendada, alcanzan el máximo valor en invierno o el mínimo en verano. Se ha considerado la incidencia que en ello tiene la disposición de los anillos de crecimiento con el fin de poder establecer las tolerancias constructivas por hinchazones o mermas (Morales Méndez, 2003). Incluso se investigan las deformaciones cuando una cara de la pieza está a la sombra y la otra soleada.

El profesor Morales Méndez concluye haciendo un llamamiento a la concienciación de la importancia del control de la humedad, puesto que a día de hoy ocurren dos realidades bien diferentes y cuanto menos paradójicas: las maderas de coníferas importadas procedentes de Europa se suelen desecar a un 23% previamente a su comercialización; mientras que en el caso de las coníferas estadounidenses y canadienses directamente se comercializan en verde.



## ANEXO 11: HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

---





# **ANEXO 12. EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL**





## ANEXO 12. EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL

La viga codificada como F4-C4 fue sometida a un seguimiento de la pérdida de su humedad totalmente particularizado, ya que se midió este parámetro todas las semanas.

Se eligió esta viga debido a su posición en la pila de madera aserrada: justamente en el centro de la misma. Esta posición se calificó como la más ventajosa debido a que la sitúa lo más lejos posible del medio exterior, lo que se traduce en que se ve afectada en mucha menor medida por las inclemencias climáticas. Ello conlleva a que su secado se realice muy poco a poco, y también a que la adquisición de humedad por ella sea menor.

Por todo ello, es muy interesante considerar la evolución particular de esta viga a la hora de obtener las conclusiones del estudio. Dicha evolución se representa en la siguiente figura.



## ANEXO 12: EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL

---

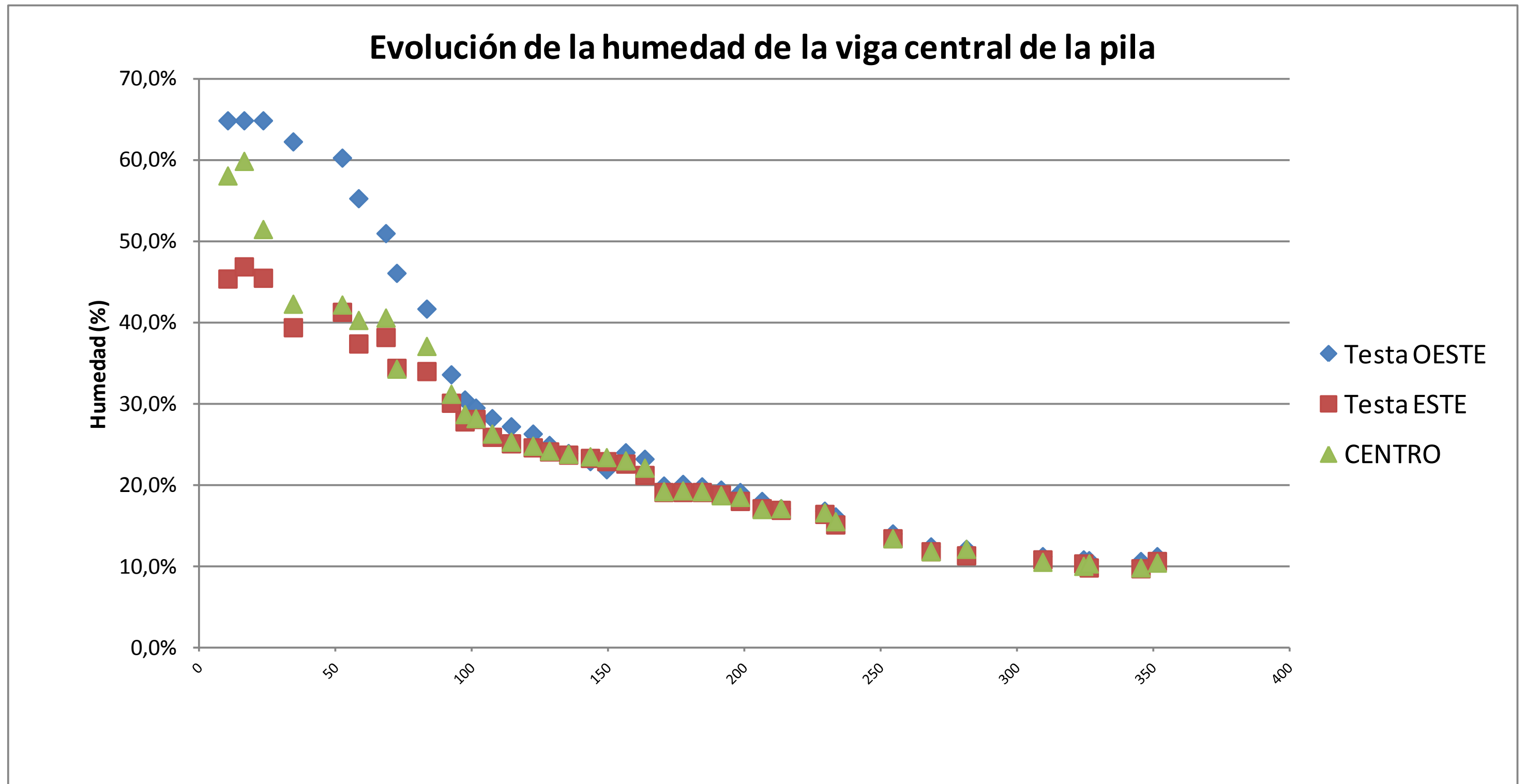


Figura A12.1- Evolución de la humedad de la viga central de la pila. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 12: EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL

---



## ANEXO 12: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD MEDIA DE LAS VIGAS

---

Como es posible observar, el patrón general seguido tanto por las dos testas como por el centro de la probeta central de la pila es una disminución continua en su contenido de humedad. Esta pérdida se acentúa muchísimo en las primeras semanas de mediciones, volviéndose con el paso del tiempo más paulatina.

El hecho más significativo es el incremento del contenido de humedad a finales de marzo fenómeno que se explica por las lluvias que como ya se ha apuntado, se acontecieron precisamente en estas fechas. Ello se ve perfectamente en la grafica, y tanto las testas como el centro de la viga lo corroboran, puesto que se aprecia una subida conjunta de las tres líneas de la misma.



## ANEXO 12: EVOLUCIÓN DE LA PROBETA CENTRAL

---





# **ANEXO 13. VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS**





**ANEXO 13: VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS**

**ANEXO 13. VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS**

A los 12 meses de secado de las cinco vigas en las que se determinaron sus dimensiones de grosor y anchura de forma mensual, se obtuvieron los siguientes datos de evolución (tabla A13.1).

Tabla A13.1- Evolución temporal de las secciones de las vigas

FECHA MEDICIÓN:		02/11/2010	14/12/2010	11/01/2011	08/02/2011	08/03/2011	05/04/2011	10/05/2011	10/06/2011	05/07/2011	01/08/2011	13/09/2011	04/10/2011
CÓDIGO PROBETA:		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
<b>F1-C1</b>	Grueso	7,10	7,10	7,10	7,08	7,05	7,05	7,05	7,04	7,04	7,04	7,04	7,04
<b>F1-C1</b>	Ancho	14,80	14,78	14,78	14,75	14,70	14,70	14,70	14,70	14,68	14,68	14,68	14,68
<b>F1-C7</b>	Grueso	7,18	7,18	7,18	7,15	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,08	7,08	7,08
<b>F1-C7</b>	Ancho	14,70	14,70	14,70	14,65	14,65	14,60	14,65	14,60	14,60	14,60	14,60	14,60
<b>F4-C4</b>	Grueso	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,95	6,95	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
<b>F4-C4</b>	Ancho	14,80	14,80	14,80	14,75	14,75	14,70	14,75	14,70	14,70	14,70	14,68	14,68
<b>F7-C1</b>	Grueso	7,05	7,05	7,05	7,05	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
<b>F7-C1</b>	Ancho	15,00	15,00	15,00	14,95	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90
<b>F7-C7</b>	Grueso	7,05	7,05	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
<b>F7-C7</b>	Ancho	14,90	14,90	14,90	14,85	14,80	14,80	14,80	14,80	14,78	14,78	14,78	14,78

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos mostrados en esta tabla, se ha procedido a realizar las dos graficas que se exponen abajo, una correspondiente al grosor, y la otra a la anchura de las vigas.



### ANEXO 13: VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS

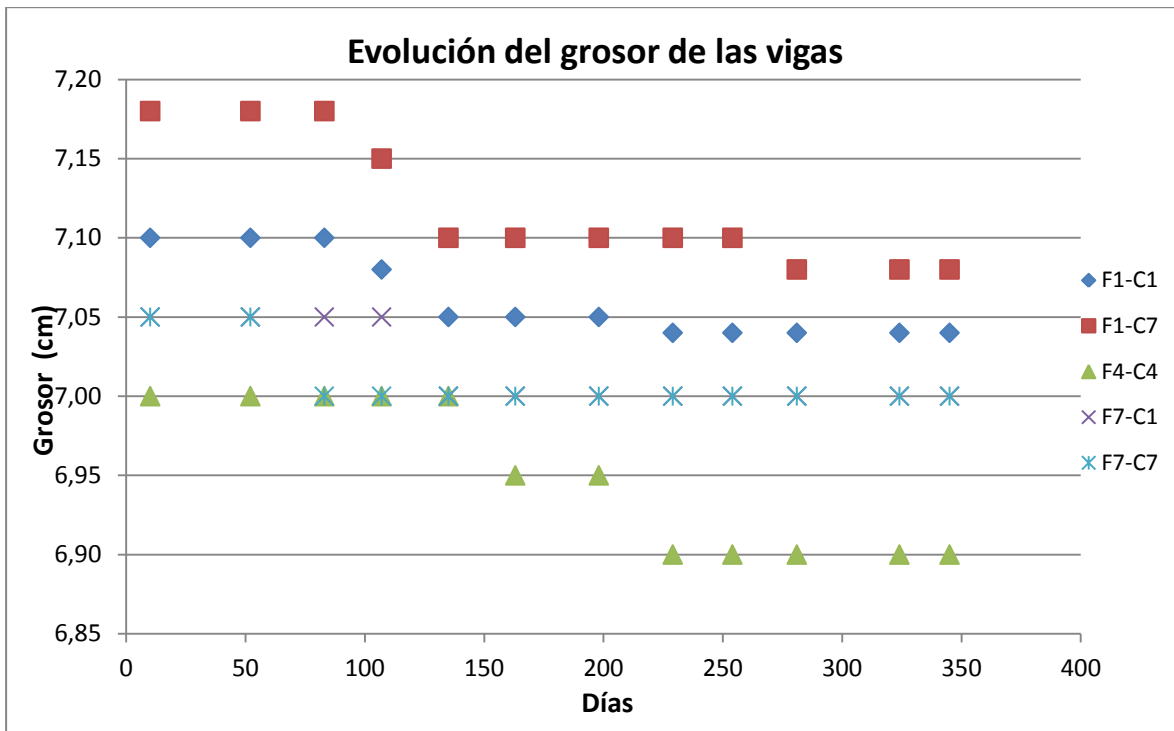


Figura A13.1- Evolución del grosor de las vigas. Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar la evolución del grueso de las cinco vigas de acuerdo a las líneas de la figura. En los primeros estadios del secado, parece que cuatro de las cinco vigas lo mantienen, mientras que la quinta lo comienza a disminuir con precocidad. Esta tendencia continúa hasta aproximadamente los 90 días de secado, a partir de entonces, las vigas comienzan paulatinamente a reducir su grosor durante otros 40-50 días. En la última etapa de secado, la madera pierde muy poca humedad y consecuentemente, las variaciones dimensionales son prácticamente inexistentes, habiéndose por tanto estabilizado el grosor de la viga a los 140 de secado aproximadamente.

Quizá las diferencias evolutivas entre estas cinco vigas en lo que a grosor se refiere, pueda explicarse por la falta de precisión en el lugar de la viga a calibrar, ya que como se explico con anterioridad, se procuro que fuera lo más próximo al extremo de las testas, donde no hubiera defectos, pero seguramente no se realizó la medida exactamente en el mismo lugar.

## ANEXO 13: VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS

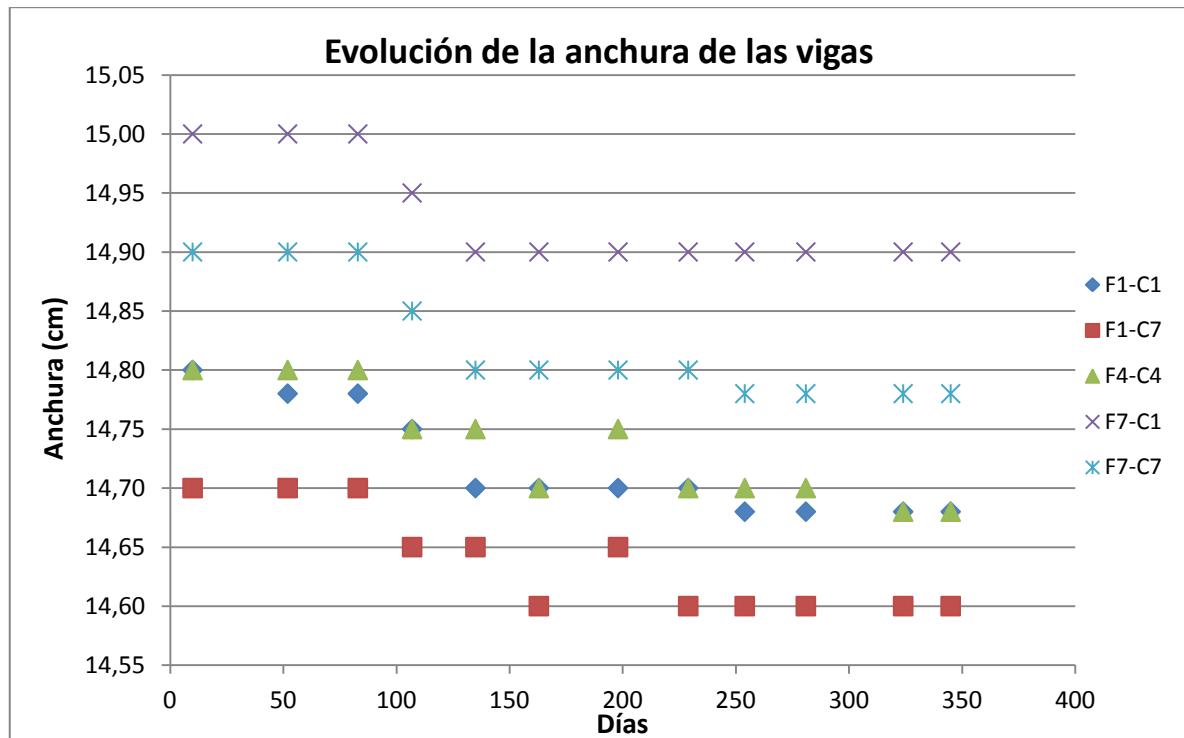


Figura A13.2- Evolución de la anchura de las vigas. Fuente: Elaboración propia

Análogamente al grosor, se procede a estudiar la evolución de las anchuras. Cuatro de las vigas, han presentado en la primera fase del secado (hasta los primeros 90 días de secado aproximadamente) una tendencia a mantener la anchura, mientras que en la quinta esta dimensión comienza a disminuir forma temprana.

A continuación, la anchura disminuye en todas las vigas, tendencia que se mantiene de forma aproximada hasta los 130 días de secado. A partir de este momento, la evolución de tres de las vigas se estanca, mientras que en las otras dos existe una tendencia aleatoria con altibajos, pudiéndose apreciar tanto incrementos como disminuciones, de esta dimensión. Ello podría deberse a las cuantiosas lluvias acontecidas en el municipio de Ávila a finales de invierno.

Al igual que ocurría cuando se estudió la variación del grosor, en la última etapa de secado las variaciones dimensionales son prácticamente inexistentes, habiéndose por tanto estabilizado la anchura de la viga a los 200 días de secado aproximadamente.

En cualquier caso, estas afirmaciones han de tomarse con cierta precaución, puesto que como ya se ha comentado, el lugar de la viga donde se tomaron fue totalmente subjetivo, y podría no haber sido el mismo aunque siempre se procuró que fuera lo más próximo a la testa, pero libre de cualquier defecto.



## ANEXO 13: VARIACIÓN DIMENSIONAL DE LAS SECCIONES DE LAS VIGAS

---



# **ANEXO 14. ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS**







## ANEXO 14. ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

El último objetivo del estudio ha sido la determinación de la curvatura de las vigas después de que se orearan al aire durante doce meses.

Estos datos se ofrecen en la siguiente tabla A14.1.



## ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

Tabla A14.1- Distancia de las vigas al suelo del parque de maderas tras 12 meses de secado

FECHA MEDICIÓN:		02/11/2010	04/10/2011
CÓDIGO PROBETA:		cm	cm
F1-C1	T <sub>OESTE</sub>	10,5	10,5
	Centro	10,5	10,5
	T <sub>ESTE</sub>	10,5	10,5
F1-C2	T <sub>OESTE</sub>	10,0	10,0
	Centro	10,0	10,0
	T <sub>ESTE</sub>	10,0	11,0
F1-C3	T <sub>OESTE</sub>	10,5	10,5
	Centro	10,5	10,0
	T <sub>ESTE</sub>	10,5	11,5
F1-C4	T <sub>OESTE</sub>	11,0	12,0
	Centro	11,0	11,0
	T <sub>ESTE</sub>	11,0	11,0
F1-C5	T <sub>OESTE</sub>	10,0	12,0
	Centro	10,0	9,5
	T <sub>ESTE</sub>	10,0	10,5
F1-C6	T <sub>OESTE</sub>	10,0	10,0
	Centro	10,0	10,0
	T <sub>ESTE</sub>	10,0	9,5
F1-C7	T <sub>OESTE</sub>	11,0	11,5
	Centro	11,0	11,0
	T <sub>ESTE</sub>	11,0	11,0
F2-C1	T <sub>OESTE</sub>	19,5	20,0
	Centro	19,5	18,5
	T <sub>ESTE</sub>	20,0	20,0
F2-C2	T <sub>OESTE</sub>	19,0	20,5
	Centro	19,0	19,5
	T <sub>ESTE</sub>	19,0	19,0
F2-C3	T <sub>OESTE</sub>	19,0	20,0
	Centro	19,0	20,0
	T <sub>ESTE</sub>	19,0	19,5
F2-C4	T <sub>OESTE</sub>	19,0	20,0
	Centro	19,0	19,0
	T <sub>ESTE</sub>	19,0	19,0
F2-C5	T <sub>OESTE</sub>	20,5	21,0
	Centro	20,0	18,0
	T <sub>ESTE</sub>	20,5	19,5
F2-C6	T <sub>OESTE</sub>	20,0	20,5
	Centro	20,0	18,5
	T <sub>ESTE</sub>	20,0	19,0
F2-C7	T <sub>OESTE</sub>	19,0	19,5
	Centro	19,0	19,5
	T <sub>ESTE</sub>	19,0	21,5
F3-C1	T <sub>OESTE</sub>	27,5	27,5
	Centro	27,0	27,5
	T <sub>ESTE</sub>	27,5	28,5
F3-C2	T <sub>OESTE</sub>	27,5	28,0
	Centro	27,5	27,5
	T <sub>ESTE</sub>	27,5	27,5
F3-C3	T <sub>OESTE</sub>	28,0	28,0
	Centro	28,0	27,5
	T <sub>ESTE</sub>	28,0	28,0
F3-C4	T <sub>OESTE</sub>	28,0	28,5
	Centro	28,0	28,0
	T <sub>ESTE</sub>	28,0	27,5
F3-C5	T <sub>OESTE</sub>	27,5	28,0
	Centro	27,5	27,5
	T <sub>ESTE</sub>	27,5	27,5
F3-C6	T <sub>OESTE</sub>	27,0	28,0
	Centro	27,0	27,0
	T <sub>ESTE</sub>	27,0	27,0
F3-C7	T <sub>OESTE</sub>	28,0	28,0
	Centro	28,0	26,5
	T <sub>ESTE</sub>	28,5	29,5

FECHA MEDICIÓN:		02/11/2010	04/10/2011
CÓDIGO PROBETA:		cm	cm
F4-C1	T <sub>OESTE</sub>	36,5	36,0
	Centro	36,0	35,5
	T <sub>ESTE</sub>	36,5	37,0
F4-C2	T <sub>OESTE</sub>	36,0	36,0
	Centro	36,0	36,0
	T <sub>ESTE</sub>	36,0	36,5
F4-C3	T <sub>OESTE</sub>	36,5	37,0
	Centro	36,5	36,5
	T <sub>ESTE</sub>	36,5	36,5
F4-C4	T <sub>OESTE</sub>	36,0	37,5
	Centro	36,0	35,5
	T <sub>ESTE</sub>	36,0	36,0
F4-C5	T <sub>OESTE</sub>	36,0	37,0
	Centro	36,0	36,5
	T <sub>ESTE</sub>	36,0	36,0
F4-C6	T <sub>OESTE</sub>	36,5	37,5
	Centro	36,0	36,5
	T <sub>ESTE</sub>	36,0	35,5
F4-C7	T <sub>OESTE</sub>	36,0	36,0
	Centro	36,0	36,0
	T <sub>ESTE</sub>	36,0	37,0
F5-C1	T <sub>OESTE</sub>	44,0	44,0
	Centro	44,0	44,0
	T <sub>ESTE</sub>	44,0	44,5
F5-C2	T <sub>OESTE</sub>	44,5	45,0
	Centro	44,5	45,0
	T <sub>ESTE</sub>	44,5	44,5
F5-C3	T <sub>OESTE</sub>	44,5	45,5
	Centro	44,5	44,0
	T <sub>ESTE</sub>	44,5	44,5
F5-C4	T <sub>OESTE</sub>	45,0	46,0
	Centro	45,0	44,5
	T <sub>ESTE</sub>	45,0	45,0
F5-C5	T <sub>OESTE</sub>	44,0	46,0
	Centro	44,0	44,0
	T <sub>ESTE</sub>	44,0	44,0
F5-C6	T <sub>OESTE</sub>	44,5	46,0
	Centro	44,0	44,5
	T <sub>ESTE</sub>	44,0	44,0
F5-C7	T <sub>OESTE</sub>	45,0	44,5
	Centro	45,0	45,0
	T <sub>ESTE</sub>	45,0	46,5

FECHA MEDICIÓN:		02/11/2010	04/10/2011
CÓDIGO PROBETA:		cm	cm
F6-C1	T <sub>OESTE</sub>	52,5	53,0
	Centro	53,0	53,0
	T <sub>ESTE</sub>	53,0	53,0
F6-C2	T <sub>OESTE</sub>	53,5	54,0
	Centro	53,5	52,5
	T <sub>ESTE</sub>	53,5	53,5
F6-C3	T <sub>OESTE</sub>	53,5	54,0
	Centro	53,5	53,5
	T <sub>ESTE</sub>	53,5	53,5
F6-C4	T <sub>OESTE</sub>	54,0	54,5
	Centro	53,5	54,0
	T <sub>ESTE</sub>	53,5	53,0
F6-C5	T <sub>OESTE</sub>	53,0	54,5
	Centro	53,0	52,5
	T <sub>ESTE</sub>	53,0	52,5
F6-C6	T <sub>OESTE</sub>	52,0	55,0
	Centro	52,0	52,5
	T <sub>ESTE</sub>	52,0	52,0
F6-C7	T <sub>OESTE</sub>	53,0	52,0
	Centro	53,0	54,0
	T <sub>ESTE</sub>	53,5	56,0
F7-C1	T <sub>OESTE</sub>	60,5	61,0
	Centro	60,5	61,0
	T <sub>ESTE</sub>	60,5	60,5
F7-C2	T <sub>OESTE</sub>	62,0	62,0
	Centro	62,0	62,0
	T <sub>ESTE</sub>	62,0	62,0
F7-C3	T <sub>OESTE</sub>	62,5	62,5
	Centro	62,0	62,5
	T <sub>ESTE</sub>	62,5	62,5
F7-C4	T <sub>OESTE</sub>	62,0	63,0
	Centro	62,0	62,5
	T <sub>ESTE</sub>	62,0	62,0
F7-C5	T <sub>OESTE</sub>	61,5	63,0
	Centro	61,5	61,5
	T <sub>ESTE</sub>	61,5	61,5
F7-C6	T <sub>OESTE</sub>	62,5	63,5
	Centro	62,0	62,0
	T <sub>ESTE</sub>	62,0	61,5
F7-C7	T <sub>OESTE</sub>	62,0	61,5
	Centro	62,0	63,0
	T <sub>ESTE</sub>	62,0	64,5

Fuente: Elaboración propia



A partir de la tabla de arriba, se han separado los datos por testas (este y oeste) y los referentes al centro de las vigas, para realizar los tres gráficos siguientes. En ellos se aprecia la tendencia evolutiva de la curvatura de la testa este, de la testa oeste y del centro de las vigas.

Las dos primeras graficas, representan la curvatura de ambas testas.

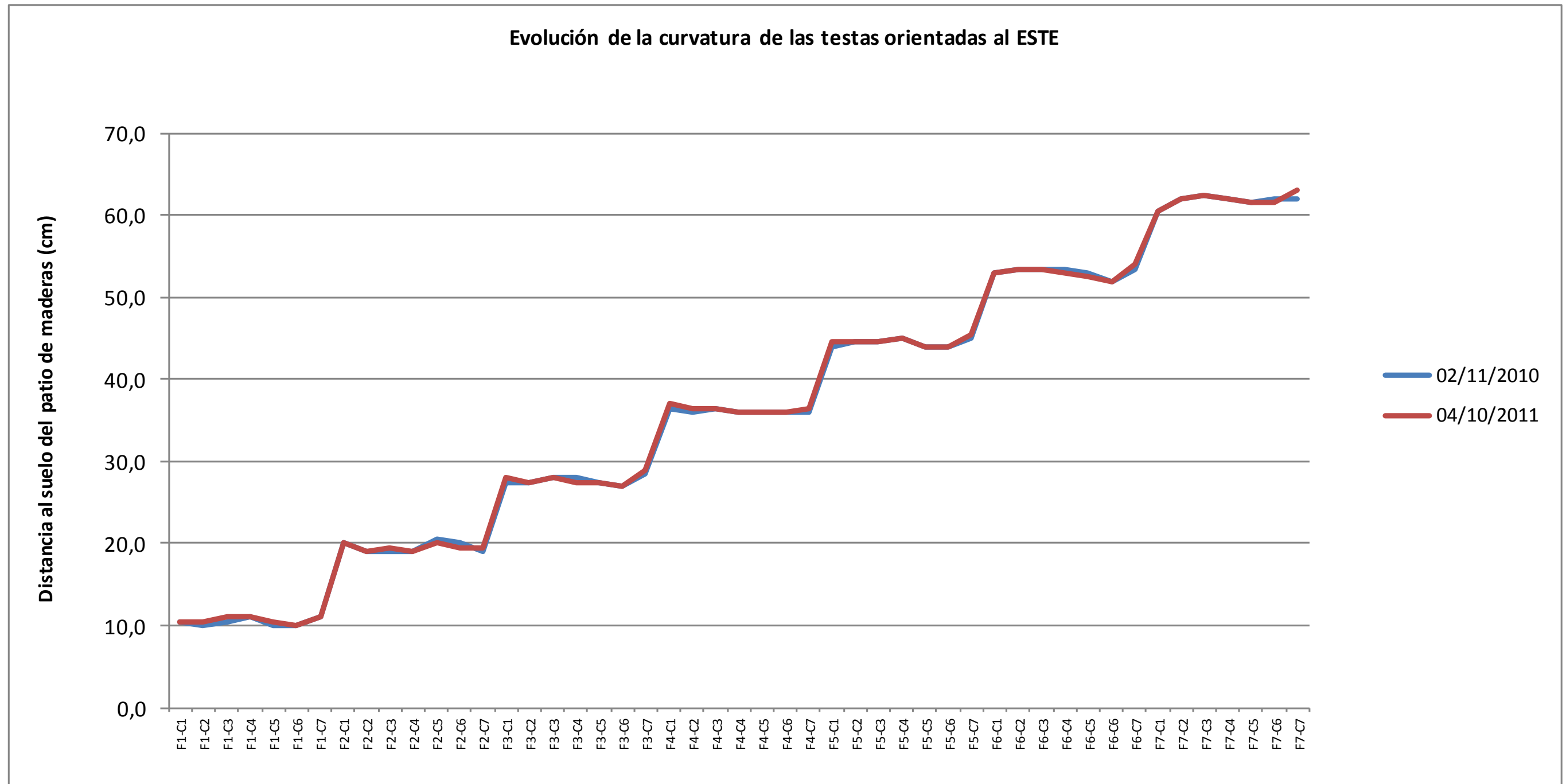


Figura A14.1- Evolución de la curvatura de las testas orientadas al este. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

---

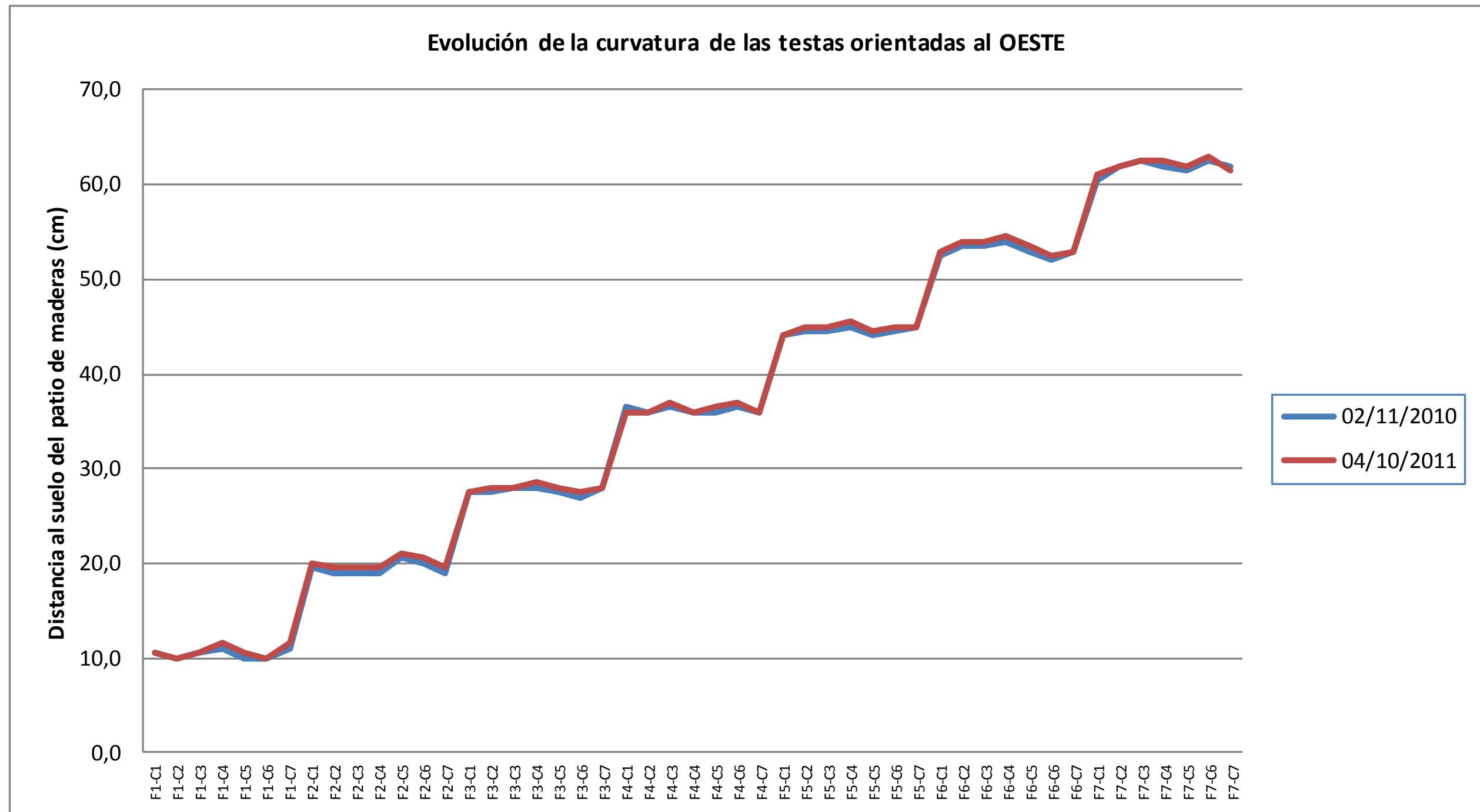


Figura A14.2- Evolución de la curvatura de las testas orientadas al oeste. Fuente: Elaboración propia

Se observa que la diferencia entre ambas fechas de medición es prácticamente inapreciable, hecho que tiene su lógica ya que en las testas se colocaron rastreles para sujetar las piezas aserradas; sujeción que evitó que las testas se curvaran.



## ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

---



Sin embargo, se aprecian mayores diferencias en la grafica de la curvatura del centro de las vigas, ya que en este lugar no se colocaron rastreles para determinar este factor.

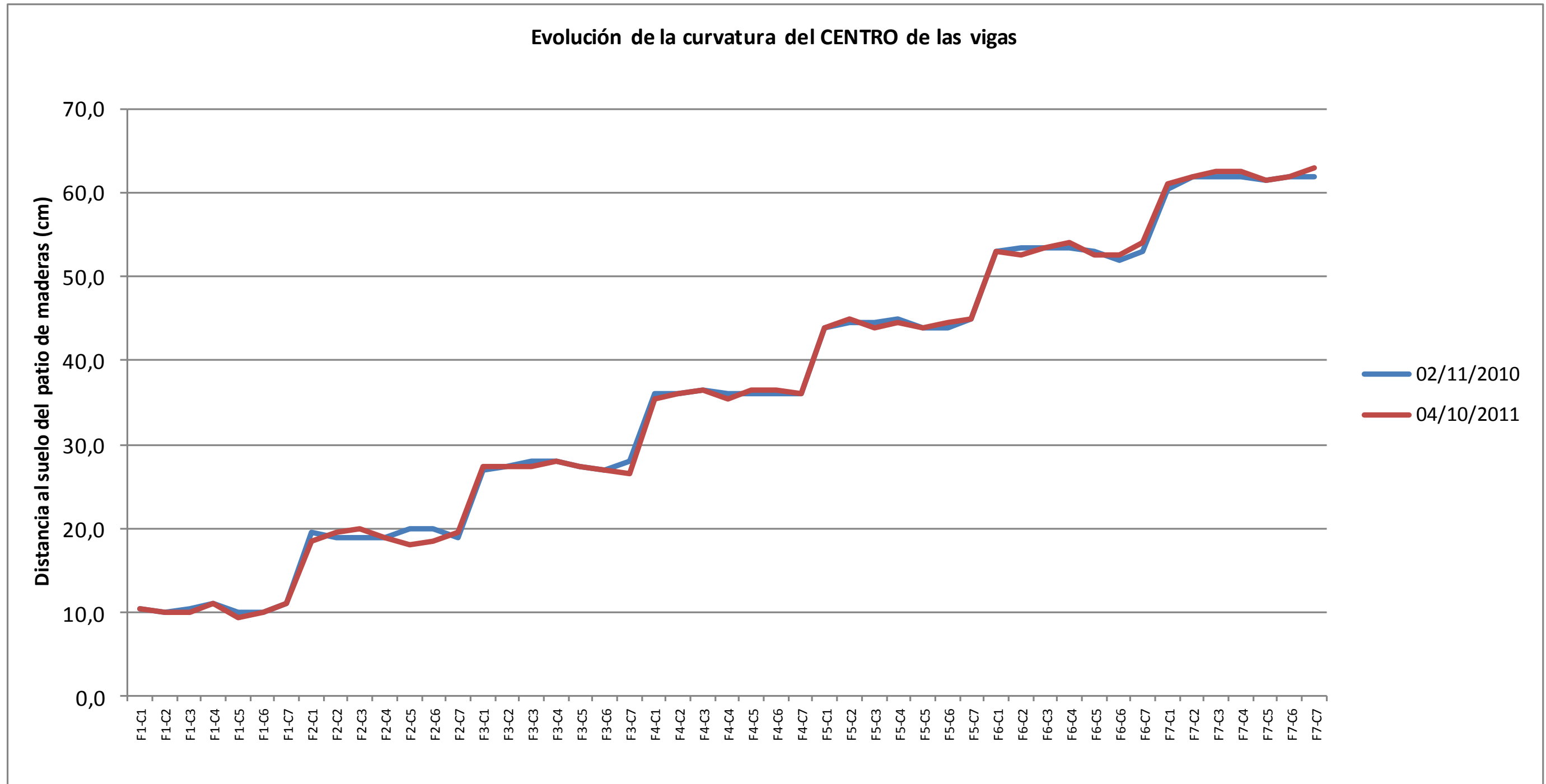


Figura A14.3- Evolución de la curvatura del centro de las vigas. Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

---





## ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

---

A grandes rasgos, la línea roja (que se corresponde con la medición a los 12 meses de secado) se encuentra por debajo de la azul (medición inicial), lo que quiere decir que tras este tiempo, la distancia entre el centro de las vigas y el suelo del patio de maderas se ha acortado, o lo que es lo mismo, que las vigas se han curvado por esta zona.

Viendo la tabla de datos, se observa que algunas vigas se han curvado más que otras, o que incluso unas cuantas han permanecido a la misma altura (nada o muy poca diferencia entre ambas medidas), pero se puede decir que la línea general es que el descenso del centro de las vigas de la pila ha sido de aproximadamente 0,5 cm.



## ANEXO 14: ANÁLISIS DE LA CURVATURA DE LAS VIGAS

---



# **ANEXO 15. CÉDULAS DE SECADO PARA** ***Pinus pinaster* Ait.**





## ANEXO 15. CÉDULAS DE SECADO PARA EL PINO RESINERO

El análisis bibliográfico realizado ha ofrecido como resultado la existencia de cédulas o programas de secado empíricos recomendados por diferentes organismos internacionales para el secado de la madera de *Pinus pinaster* Ait.:

### 1. MOCAMA

- Mocama: Cédula Pino.
  - Espesor de piezas hasta 25 mm.
  - Humedad inicial de la madera: 70%.
  - Humedad final de la madera: 8%
  - Duración del proceso de secado bajo estas circunstancias:
    - Calentamiento del secadero: 2 horas.
    - Secado de la madera: 16 horas.
    - Equilibrado: 2 horas.
    - Tiempo total: 20 horas.

Nota importante: Al tratarse el *Pinus pinaster* Ait. de una conífera con una alta concentración de resinas, su madera requerirá de un mayor número de horas tanto en la fase de secado propiamente dicha, como en la de equilibrado.



## ANEXO 15: CÉDULAS DE SECADO PARA *Pinus pinaster* Ait.

Tabla A15.1- Cédula de secado del MOCAMA para la especie *Pinus pinaster* Ait.

Tiempo en horas	Humedad de equilibrio	Diferencia psicométrica	Temperatura a seca	Temperatura húmeda	Observaciones:
Al encender	---	---	20°C	20°C	Calefacción abierta.
1	10% – 12 %	6°C – 8°C	65°C	57°C – 59°C	Renovación cerrada.
1 - 2	10% – 11 %	6°C – 7°C	80°C	73°C – 74°C	Poca vaporización.
2 - 10	9%	9°C	80°C	71°C	Calefacción abierta. Renovación abierta. Vaporización cerrada.
10 - 18	6%	17°C	80°C	63°C	Calefacción abierta. Renovación abierta. Vaporización cerrada.
18 - 20	9%	10°C	70°C	60°C	Calefacción cerrada. Renovación cerrada. Vaporización abierta.

Fuente: Elaboración propia

## 2. EISENMANN- KURT STEIMLE

- Eisenmann - Kurt Steimle: Cédula nº 9.

Tabla A15.2- Cédula de secado de Eisenmann-Kurt Steimle para la especie *Pinus pinaster* Ait.

Temperatura máxima		Humedades de equilibrio aconsejadas en función de la humedad inicial de la madera				
Humedad inicial > 30%	Humedad inicial < 30%	H. inicial > 40%	H. inicial 40% - 30%	H. inicial 30% - 20%	H. inicial 20% - 12%	H. inicial 12% - 8%
80°C	80°C	14%	13%	9%	5%	4%

Fuente: Elaboración propia

El programa o cédula de secado que utiliza este autor a modo de referencia, pero aplicando en ella las restricciones anteriormente indicadas, es la del Mocama; ajustando ésta en función del denominado factor de espesor (coeficiente dependiente del espesor real de la madera a secar; valor que se encuentra tabulado y utiliza como referencia y unidad los 25 mm), del denominado factor de evaporación (diferencia entre la humedad inicial y la humedad final de la madera a secar partido diferencia entre la humedad inicial y la humedad final de la cédula tomada como referencia) y del factor de secado (factor de espesor multiplicado por factor de evaporación). Siendo el valor numérico de éste último, por el que se debe multiplicar el tiempo de secado que para cada una de las distintas fases ofrece la cédula de secado del Mocama utilizada como referencia.

**ANEXO 15: CÉDULAS DE SECADO PARA *Pinus pinaster* Ait.****3. CTBA**

- CTBA: Cédula nº 11

Elaboradas por el Centre Technique du Bois et de l'Ameublement de Francia, según las comprobaciones realizadas por el CIFOR-INIA son muy adecuadas para el secado de las principales especies forestales nacionales, sobre todo para pinos y chopos, por lo que actualmente son las de más amplia utilización y uso más generalizado.

**Tabla A15.3- Cédula de secado del CTBA para la especie *Pinus pinaster* Ait.**

Humedad inicial	Temperatura seca	Temperatura húmeda	Humedad relativa	Humedad equilibrio higroscópico	Cociente de secado
> 35%	70°C	66,5°C	85%	15%	- - -
35% – 32%	70°C	66°C	83%	14%	2,5
32% – 30%	70°C	63°C	72%	10,7%	3,0
30% – 28%	75°C	66°C	65%	8,6%	3,5
28% – 25%	75°C	64°C	60%	7,8%	3,6
25% – 20%	75°C	60°C	50%	6,5%	3,8
20% – 15%	80°C	60°C	40%	5%	4,0
< 15%	80°C	54°C	28%	3,7%	4,0

Fuente: Elaboración propia

Estas tablas pueden aplicarse para todos los gruesos, recomendándose en todos los casos la realización de una fase final conocida con el nombre de equilibrado (2 horas por cm de espesor de las piezas secadas), donde se mantendrá la temperatura del termómetro seco de la última fase del secado (80°C) y se alcanzará la humedad relativa del aire a la que le corresponda una humedad de equilibrio higroscópico de la madera igual a la humedad final de secado de la madera deseada.

**4. PRL**

- PRL: Cédula M

Elaboradas por el Princes Risborough Laboratory del Reino Unido, actualmente es un organismo que forma parte del BRE (Building Research Establishment).

Se tratan de cédulas diseñadas para el secado de maderas de hasta 40 mm de grosor; por encima del mismo la humedad relativa que en éstas se indica debe ser incrementada en un 5% (para grosores de 40 a 75 mm) o en un 10% (para grosores mayores a 75 mm), manteniendo en cualquier caso la temperatura del termómetro seco.

Estas tablas no contienen ni el homogeneizado, ni el acondicionamiento de la madera, operaciones que se deben realizar hasta conseguir la liberación adecuada de las tensiones de la madera (método del tenedor).



## ANEXO 15: CÉDULAS DE SECADO PARA *Pinus pinaster* Ait.

Tabla A15.4- Cédula de secado del PRL para la especie *Pinus pinaster* Ait.

Humedad inicial	Temperatura seca	Temperatura húmeda	Humedad relativa	Humedad equilibrio higroscópico
> 50%	93,5°C	84,5°C	70%	8,5%
< 50%	95°C	81,5°C	50%	5%

Fuente: Elaboración propia

### 5. **ROBERT HILDEBRAND**

- Robert Hildebrand: Cédula nº 8

### 6. **BOLLMANN**

- Bollmann: RN: 22, 24, 26





Universidad de Valladolid

Evolución temporal de la humedad de la madera de *Pinus pinaster* Ait. en pilas secadas al aire en la zona centro de la Península Ibérica

---

## **ANEXO 16. ANÁLISIS DAFO**





## ANEXO 16. ANÁLISIS DAFO

Como ya se ha puesto de manifiesto con anterioridad, en la actualidad ninguno de los aserraderos existentes en la provincia de Ávila, que en su mayoría procesan casi en exclusiva madera de la especie *Pinus pinaster* Ait., dispone de una instalación de secado artificial de madera mediante aire climatizado, por lo que la única opción posible para la comercialización de sus productos es la venta directa de madera verde (húmeda) o en el mejor de los casos, tras un prolongado período de permanencia en sus almacenes (instalaciones de secado al aire), de madera oreada (secada al aire); asumiendo en cualquiera de las dos modalidades de comercialización de sus productos e independientemente de la calidad de las piezas de madera aserrada expedidas, una importante depreciación en lo que al valor de mercado de estos productos se refiere.

Ante la no existencia de información relevante y sobre todo fiable, relativa a los tiempos medios de permanencia de esta madera en almacén para la consecución en la misma de un determinado porcentaje de humedad, se hace necesaria una investigación que proporcione, por una parte, un mayor conocimiento de la evolución del contenido de humedad de una madera secada al aire en la provincia de Ávila, y por otra, una vez detectados los factores limitantes de este proceso, la propuesta de soluciones alternativas que posibiliten alcanzar en la misma niveles o porcentajes de humedad inferiores a los conseguidos mediante su secado natural al aire.

Al ser la madera de *Pinus pinaster* Ait. la que mayoritariamente procesan los aserraderos de la provincia de Ávila, se ha creído conveniente particularizar la investigación en la misma, ya que de esta manera los resultados obtenidos podrán ser utilizados por un mayor número de instalaciones.

Es por ello que a la par de la realización de la presente investigación, también se ha indagado sobre la posibilidad de ubicar y construir, en una localización aún por determinar, un secadero de madera mediante aire climatizado en la provincia de Ávila; donde todas aquellas empresas del sector del aserrado que así lo quisieran, pudieran secar sus productos elaborados.

A la vista de los resultados obtenidos, el análisis DAFO de la problemática existente en la provincia de Ávila en relación al secado de la madera mediante aire climatizado en general y de la *Pinus pinaster* Ait. en particular, puede quedar resumido en las siguientes.



## ANEXO 16: ANÁLISIS DAFO

---

### 1. **DEBILIDADES:**

- ✓ No existencia en la provincia de Ávila de instalaciones de secado de madera mediante aire climatizado.
- ✓ Incremento del coste económico del proceso de secado de la madera (secadero + energía).
- ✓ Necesidad de ejercer un mayor control sobre el proceso de secado de la madera.
- ✓ Necesidad de realizar el acondicionamiento de la madera tras el secado de la misma.

### 2. **AMENAZAS:**

- ✓ Incremento de la posibilidad de deterioro de las piezas de madera durante su secado (aparición de fendas: superficiales, extremas y/o internas; aparición de deformaciones: atejado, alabeo y/o abarquillado; endurecimiento o tensionado de la madera; colapso de la madera; aparición de exudaciones o coloraciones en la superficie de la madera; irregularidad en la distribución de las humedades de las piezas de madera).
- ✓ Utilización de la instalación para el secado de madera que no presente o reúna los requisitos cualitativos mínimos demandados por la industria de segunda transformación.
- ✓ Infrutilización de la instalación de secado.

### 3. **FORTALEZAS:**

- ✓ Reducción del tiempo de secado de la madera.
- ✓ Posibilidad de alcanzar en la madera el grado o el nivel de humedad que se pretenda.
- ✓ Capacidad para controlar las variables (temperatura, humedad y velocidad de circulación del aire) del proceso de secado y por consiguiente el ritmo (velocidad) de secado de la madera.
- ✓ Imposibilidad de actuación de hongos cromógenos (azulado) y de pudrición sobre la madera.
- ✓ Nula posibilidad de ataque de insectos xilófagos sobre la madera.
- ✓ Existencia de cédulas de secado propias de la madera de *Pinus pinaster* Ait.

### 4. **OPORTUNIDADES:**

- ✓ No existencia de ninguna instalación de secado de madera mediante aire climatizado en la provincia de Ávila.
- ✓ Posibilidad de utilizar los subproductos generados por los aserraderos como combustibles de las calderas empleadas para la climatización del aire.
- ✓ Incremento de la aptitud de uso de la madera aserrada producida en los aserraderos de la provincia de Ávila.
- ✓ Creación de puestos de trabajo.