

MEJORA DE LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL FRENTE AL AGUA DE LA MADERA, MEDIANTE SU IMPREGNACION QUIMICA; NUEVO APARATO DE MEDIDA.

D. José Antonio Rodríguez Barreal
(Dtor. Ing. de Montes)
D. José Vicente López Álvarez
(Dtor. Ing. de Montes)
D. Luis García Esteban
(Ing. de Montes)

A lo largo de los siglos, la madera ha sido considerada como uno de los principales recursos naturales renovables, en base a su versatilidad de empleo, asentada en sus excelentes propiedades lo que ha supuesto su utilización en los más variados campos, con una distinta incidencia, ha llegado así a superar una parte indispensable de la estructura sobre la que descansa la Humanidad.

Paralelamente a la evolución de los conocimientos, la importancia de su empleo en los diferentes campos, ha fluctuado, pasando, por ejemplo, de ser un material imprescindible en el transporte terrestre y acústico y en la construcción en siglos pasados a presentar una utilización restringida en el presente. De forma general, el descenso del empleo de la madera en diferentes campos, se puede deber a dos principales causas:

* Aparición de materiales sustitutivos de menor coste (plásticos, metales).

* Problemas de la propia madera, no resueltos, que inciden de forma directa en el acortamiento de la vida media de servicio.

El primero de los puntos citados, consecuencia del desarrollo tecnológico, no habría presentado tanta incidencia, caso de no haber existido el segundo punto.

Por otra parte se debe citar un hecho contradictorio en apariencia, cual es la desmesurada demanda de madera observada principalmente desde el final de la 1ª Guerra mundial a nuestros días, a pesar del descenso de importancia en variados sectores motivado por los factores antes citados, como consecuencia de esta gran demanda se produjo un indiscriminado uso de la madera, empleándose especies de inadecuadas características físico-mecánicas en los sectores de empleo. También aumentó considerablemente el empleo de la madera de albura, de peores características resistentes que la de duramen y más sujeta a ataques de organismos xilófagos, en situaciones de alto y medio riesgo, circunstancia que unida a la anterior contribuyó al demérito de este material.

Frente a tal estado de cosas, los técnicos de la madera del presente siglo comenzaron a investigar, a fin de mejorar sus cualidades, de forma que pudiese volver a ser un material competitivo frente a aquellos que la habían desplazado de distintos sectores de empleo. Las citadas investigaciones incidieron fundamentalmente en dos frentes:

* Mejora del conocimiento de los agentes de deterioro de la madera, principalmente en todo lo referente a la forma de actuación e importancia de daños.

* Mejora de las características tecnológicas de la madera.

* Agentes de deterioro de la madera. Aún cuando la clasificación de los agentes de deterioro de la madera, se puede realizar bajo variados criterios, si se tiene en cuenta su origen, se diferencia entre agentes de origen biótico y de origen abiótico. Entre los 1ºs, son los insectos xilófagos y los hongos de pudrición los que presentan mayor importancia, al poder causar un deterioro total de la madera, mientras mayores daños a este material renovable.

Si entre los diversos agentes de deterioro de la madera, se hubiera de determinar el de mayor importancia, sería la humedad el elegido, dado que no sólo causa daños de forma directa, sino también indirectamente. En efecto, directamente produce variaciones dimensionales, factor de gran importancia, principalmente para la madera de carpintería y construcción (principal sector industrial de empleo, actualmente). Por otra parte, es también un factor imprescindible para la proliferación y ataque de los hongos de pudrición de la madera, así como determinante de la presencia de determinados insectos xilófagos, tales como son por ejemplo, los Isópteros del género *Termes* y los Coleópteros del género *Anobium*.

* Mejora de las características tecnológicas de la madera. En lo que se refiere a este punto y en relación con la acción de la humedad, se han logrado una serie de avances, en base principalmente a los trabajos desarrollados en los campos siguientes:

- Estructura microscópica de la madera. En lo que se refiere a este punto y en relación con la acción de la humedad, se han logrado una serie de avances, en base principalmente a los trabajos desarrollados en los campos siguientes:

- Estructura microscópica de la madera, principalmente en lo referente a estructura de la pared celular, sus elementos químicos componentes así como su comportamiento frente al agua.

- Permeabilidad de la madera al paso de los líquidos, factores incidentes, etc.

- Durabilidad natural de las distintas especies de madera frente a la acción de la humedad, daños directos e indirectos.



fig.1

La madera como material higroscópico que es, absorbe agua, al añadirse las moléculas de esta a la pared celular, en base a los grupos OH que presenta los polímeros componentes. Así, incrementa su volumen, hinchándose, proceso que continúa hasta la saturación de la pared celular; punto denominado de saturación de las fibras (p.s.f.)

El agua absorbida con posterioridad por la madera, queda como agua libre en los lúmenes celulares, no contribuyendo a la hinchazón sino tan sólo al incremento de peso.

I REPELENCIA DE LA MADERA FRENTE AL AGUA Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL FRENTE A ÉSTA.

En el estudio del comportamiento de la madera frente al agua, se presentan dos factores de gran importancia e íntimamente unidos, la repelencia y la estabilidad dimensional.

En lo que hace referencia al primero de ellos, se ha podido demostrar que el agua en contacto con la superficie de la madera, será absorbida por ésta siempre que las fuerzas de adhesión sólido-líquido, mientras que en el caso de suceder lo contrario, se produce una repelencia de la madera al agua.

Así mismo, al ser la madera un material poroso y capilar, se presentan unas diferencias de presiones en los capilares, originándose, caso de existir en su superficie un gradiente que actúa sobre el líquido, tiende a introducirlo de forma natural. Siempre que los valores del ángulo sean de cuantía superior se necesitará el concurso de presiones externas para que así suceda, denominándose al material en este caso hidrofóbico.

A fin de evitar los efectos negativos del agua sobre la madera, se han ensayado una serie de sistemas de tratamiento principalmente de impregnación química, diferenciándose, en relación con los resultados obtenidos, tres tipos:

- Los que proporcionan cierto grado de repelencia al agua, pero no de estabilidad dimensional frente a ésta.

- Los que proporcionan un cierto grado de estabilidad dimensional frente al agua pero no de repelencia frente a ésta.

- Los que proporcionan ciertos grados de repelencia y estabilidad dimensional frente al agua.

Los tratamientos que incrementan la repelencia frente al agua, de la madera, son aquellos que consiguen reducir la cantidad de agua tomada por la madera, mientras que los que mejoran su estabilidad dimensional frente al agua, son los que reducen la hinchazón higroscópica.

Los tratamientos de mejora de la estabilidad dimensional frente al agua, de forma general actúan produciendo la inactividad de los grupos OH de la pared celular, mediante reacciones de reducción, pudiéndose, pudiéndose diferenciar entre ellos:

* Tratamientos térmicos.

* “ de presión y temperatura.

* “ químicos.

siendo estos dos últimos con los que mejores resultados se han obtenido, a la par de ser los más económicos.

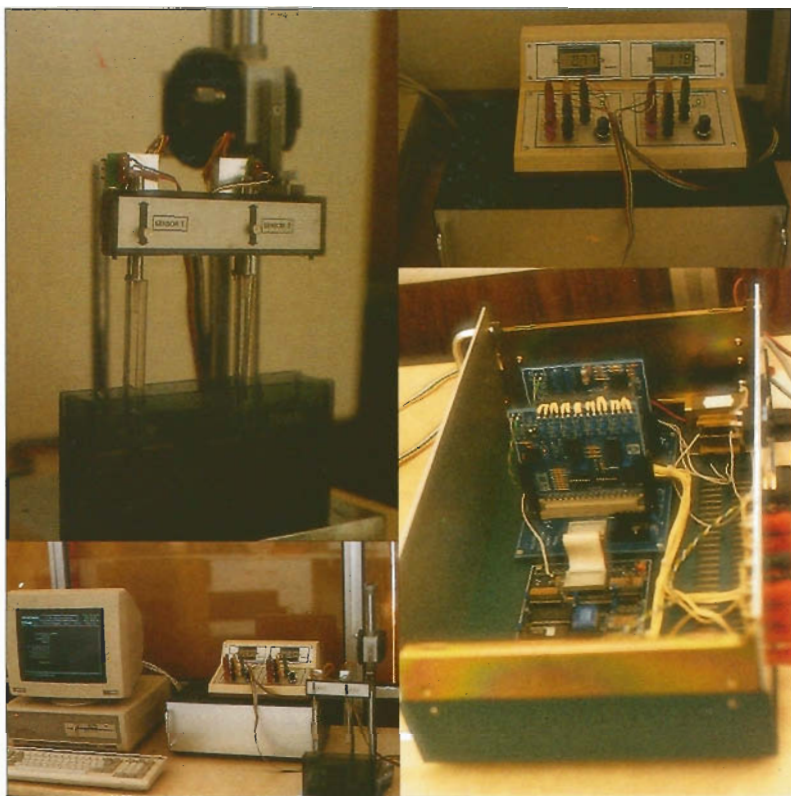
Los tratamientos químicos pueden ser de tipo superficial o bien de volumen, presentando estos un mayor grado de efectividad, siempre que el producto empleado sea fijo o no deslavable, adiciéndose a los grupos OH de la pared celular e integrándose en ella.

II. MEJORA DEL GRADO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA FRENTE AL AGUA ALCANZADO POR TRATAMIENTO QUÍMICO.

La consecución de una mejora sensible en la estabilidad dimensional de una madera frente al agua, mediante su impregnación química, conlleva:

* Empleo de un producto químico con buenas características repelentes del agua.

* Adecuada aplicación del producto químico a la



figs. 2, 3, 4 y 5.

madera, de forma que se alcancen los grados de penetración y retención necesarios en cada caso.

* Evaluación fiable de los resultados obtenidos, en base a la normativa existente.

En lo que hace referencia al primer punto, el producto debe poseer en su composición, materias repelentes del agua en la cantidad debida, siendo los de tipo orgánico (productos en disolventes orgánicos) los de mayor efectividad.

La aplicación de los productos químicos a la madera, implica la utilización del autoclave, siendo los sistemas de Vacío-Vacío para las que tienen más permeabilidad, los de mayor empleo.

Tras la impregnación química de la madera, se debe comprobar el grado de mejora de estabilidad dimensional frente al agua alcanzado, lo cual se realiza en España siguiendo la norma UNE 56541/77, la cual se basa en las estadounidenses:

- U.S. Federal specification T1-W-572

- NWMA -M2 51 de la American National Woodworking Manufacturers Association.

La citada norma UNE compara el movimiento de hinchazón higroscópica de dos probetas, una impregnada con un producto repelente al agua y otra sin impregnar, tras sufrir una inmersión en agua de 30 minutos.

Las probetas empleadas de dimensiones 5 x 5 x 1 cm, proceden de listones de longitud variable y sección 5 x 5 cm, los cuales se cortan en sentido normal a la fibra, de forma que una de sus caras sea normal a los anillos de crecimiento, obteniéndose finalmente las probetas. Estas, procedentes del mencionado listón se someten alternativamente a tratamiento de impregnación química, una sí y la siguiente no.

Las probetas a ensayar, una sin tratar, y otra tratada se colocan en un aparato denominado "swellometer", de forma que la cara normal a los anillos de crecimiento quede en contacto con el extremo de unos medidores mecánicos de presiones (comparadores)

Estos tienen una escala graduada en centésimas de milímetro, tal como se puede ver la figura n° 1.

Figura n° 1 "Swellometer"

Tras colocar a cero la escala, la madera se sumerge totalmente en agua, iniciándose así su hinchazón higroscópica, que va quedando reflejada en la escala graduada ya mencionada.

El valor de la Estabilidad dimensional de la madera tratada (T) respecto a la no tratada (ST), se obtiene aplicando la siguiente fórmula, que indica porcentajes.

$$E.D. = \frac{ST - T}{ST} \times 100 (\%), \text{ donde,}$$

ST: Hinchazón higroscópica de la madera no tratada (0,01 mm).

T: " " tratada (0,01 mm).

siendo efectivo el tratamiento de impregnación química si el valor de ED, supera el 70%.

Aun cuando la obtención del valor de Estabilidad Dimensional de la madera frente al agua, es de gran importancia, también lo es la obtención de las curvas de Hinchazón higroscópica - tiempo (HH-T) a lo largo de los 30 minutos de la inmersión de la madera.

En efecto, si la madera no tratada (ST) toma una importante cantidad de agua en los primeros momentos de la inmersión y la madera tratada (T) se comporta de distinto modo, tomando tan sólo una pequeña cantidad, ello supondría que el tratamiento ha supuesto un buen grado de repelencia al agua de la madera tratada, todo lo cual tan sólo se puede ver con las mencionadas funciones Hh-T.

Esta afirmación se basa en que el grado de repelencia de la madera tratada al agua, viene dado por el ángulo formado por las tangentes en el origen (o su proximidad) a las curvas Hh-T de las maderas tratadas y sin tratar, indicando como en el gráfico siguiente, en el que por otra parte, también se indica gráficamente el valor de la estabilidad dimensional de la madera tratada frente al agua, como la diferencia de los valores de hinchazón higroscópica alcanzado por las funciones de Hh-T, de las maderas tratadas y sin tratar, a los 30 minutos de inmersión, valor representado por B.

Gráfico n° 1. Curvas Hh-T indicando gráficamente los valores de la Repelencia de la madera tratada al agua y su Estabilidad dimensional.

III APLICACION DE UN NUEVO SISTEMA DE MEDICION DE LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y REPELENCIA DE LA MADERA TRATADA FRENTE AL AGUA.

Mediante el empleo del Swellometer siguiendo la norma UNE 56.541, se obtienen los valores de Estabilidad dimensional de la madera tratada frente al agua, siempre que se mantenga un adecuado y estricto control visual. Así mismo, el ensayo de una cantidad estadísticamente adecuada de probetas de madera T y ST y teniendo en cuenta los necesarios intervalos de medida compatibles con las posibilidades humanas así como el riesgo que las mediciones visuales, suponen, los valores de Hh, correspondientes a distintos tiempos de inmersión de la madera, se podrían aproximar a unas funciones, mediante la aplicación de una regresión. Estas funciones nos permiten un mejor conocimiento del comportamiento de la madera frente al agua, así como la determinación de su grado de repelencia frente a ésta.

A fin de evitar los factores de riesgo que las medidas visuales conllevan, en la obtención de las curvas Hh-T, grado de repelencia y estabilidad dimensional frente al agua, el equipo dirigido por el Doctor Ingeniero de Montes D. José Antonio Rodríguez Barreal, y en el que se integran el también Doctor Ing. de Montes D. José Vicente López Álvarez y el Ingeniero de Montes de A.I.T.I.M D. Luis García Esteban, ha desarrollado a lo largo de los años 1988-1989, un nuevo aparato electrónico-informático, que permite la realización automática de las

medidas de Hh en distintos tiempos del periodo de inmersión de la madera en el agua, pudiendo conseguirse de esta forma las funciones de Hh así como el valor de la estabilidad dimensional y razón de repelencia al agua de la madera tratada.

III.1 APARATO ELECTRONICO -INFORMATICO

El nuevo aparato desarrollado, consta de un bloque electrónico y otro informático que gestiona al primero. Este aparato presenta el diagrama de bloques del gráfico n° 2.

Gráfico n° 2. Diagrama de bloques del aparato electrónico-informático.

A) Bloque electrónico: Tal como se indica en el diagrama de bloques, consta de cinco partes:

- * **Sensores.**
- * **Consola de ajuste.**
- * **Placa multiplexora.**
- * **Placa analógico-digital.**
- * **Placa maestra-inteligente.**
- * **Sensores:** son unos potenciómetros (resistencias variables por desplazamiento) de 5.000 Ohm. (5%) unidos solidariamente a unos vástagos mecánicos (comparadores) que pueden desplazarse longitudinalmente hasta 10 mm acordes con la hinchazón higroscópica de las maderas. El sistema contempla una posibilidad máxima de ocho sensores, funcionando simultáneamente, por parejas midiendo una probeta de madera T y otra ST. Los sensores se encuentran conectados a una toma de corriente continua, enviando una señal, en voltios, invariable en el tiempo mientras el vástago no sufra movimiento alguno de desplazamiento longitudinal, mientras que sufre alteración cuando por efecto de la Hh. de la madera, estos sufren un desplazamiento. Cuanto mayor sea el desplazamiento del vástago, mayor será el potencial enviado al registro de la consola de ajuste.

Fig. n° 2 SENSORES DEL APARATO ELECTRONICO-INFORMATICO.

Consola de ajuste: Tiene dos pantallas correspondientes respectivamente a la madera T y a la ST, así como dos potenciómetros de resistencia variable, en paralelo con los dos potenciómetros de los sensores. Los potenciómetros citados en primer lugar, permiten comparar adecuadamente las señales eléctricas enviadas por los sensores (potenciómetros) y partiendo de un origen común. El ajuste de origen, se puede efectuar entre cero y el valor de fondo de escala (5,1 Volt.).

Los pares de señales eléctricas enviadas por los sensores y regulada a un mismo origen por los potenciómetros de resistencia circular variable, se reflejan en las pantallas, en minivoltios, en una de ellas la correspondiente a la madera T. y en otra a la NT.

Fig. n° 3 Consola de aparato electrónico-informático.

* **Placa multiplexora.** Los pares de señales de salida de la consola de ajuste (Volt.) son seleccionados ordinariamente, leídos y enviados, cada uno de ellos, a la placa convertidora o analógico-digital, con intervalos de tiempo mínimo milisegundo.

Esta placa, presenta, presenta entre otras, las siguientes características:

- Está conectada a la placa maestra, procediendo su fuente de alimentación de ella.
- Es capaz de separar los pares de lecturas correspondientes a cada par de probetas de madera T y ST, al estudiarse varios simultáneamente.
- Puede amplificar su capacidad de salida hasta cinco veces.

* **Placa analógico-digital (Convertidora):** Tiene por misión transformar las señales de salida de la placa multiplexora (eléctricas) en un número comprendido entre cero y doscientos veinticinco, a fin de poder ser leído por el ordenador con posterioridad. Esto, lo consigue esta placa, situada en serie entre la multiplexora y la maestra-inteligente mediante un paquete de ciclorprocesadores.

Presenta una sensibilidad de entrada de 5.100 milivoltios, siendo alimentada por la placa maestra-inteligente con cinco voltios para una intensidad de 95 miliamperios.

* Placa maestra-inteligente: Esta placa procesa las señales recibidas de forma que puedan ser leídas por el ordenador, el cual así también puede almacenar en un archivo, los datos correspondientes a cada pareja de probetas de madera (T y ST), con una diferencia mínima entre lecturas de dos segundos.

Posee esta placa funciones de alarma independientes para las ocho entradas, pudiendo informar al ordenador cuando la entrada se encuentra fuera de los límites específicos, momento en el cual, el programa reacciona, desconectando la salida y solicitando la intervención del ordenador.

Fig. nº 4: Conjunto de las tres placas del aparato electrónico-informático

B) BLOQUE INFORMÁTICO

Tiene un hardware constituido por un equipo IBM compatible con las siguientes características:

- 512 Kb.
- Pantalla color gráfica o monocroma con adaptador gráfico.
- Tarjeta de comunicaciones RS 232.
- Periféricas, Impresora matricial o gráficos propinter.

El software, está constituido por el programa ESDIMA, (Estabilidad Dimensional de Madera), realizado en BASIC, específicamente para este trabajo y que es capaz de leer y almacenar en un archivo los datos de Hh. de la madera, considerados por parejas de madera T y ST, con una diferencia de dos segundos entre datos consecutivos. Así controla la placa maestra-inteligente.

Su modo operativo es el siguiente. En primer lugar, los ficheros de datos del programa ESDIMA se pasan al paquete LOTUS 1-2-3, creándose una base de datos. En el mencionado paquete se integran la "hoja electrónica" para la introducción de datos, gráficos y procesador de textos.

El marco unificador es la cuadrícula de la hoja electrónica, determinándose unos campos o celdas donde se introducen los datos. Esta cuadrícula guarda los valores de la hoja electrónica y gestiona los gráficos sobre la máquina. De esta forma mediante el LOTUS 1-2-3, se logra la creación de una base de datos, base para encontrar la razón de repelencia al agua y estabilidad dimensional frente a esta de la madera tratada, a la par que permite la futura determinación de las funciones Hh-T. También así se consigue una gestión posterior rápida y fiable de la base de datos.

El manejo de la base datos, en síntesis, consiste en aprovechar las funciones implementadas por el programa de Media y Desviación típica, a fin de agrupar adecuadamente los valores hallar las curvas medias de Hh-T.

En base al conocimiento de los valores integrados en la base de datos (De Hh a lo largo de 30 min. de inmersión de la madera en agua) se realiza un análisis de regresión a fin de establecer las funciones Hh-T, lo cual se realiza mediante el paquete estadístico STATGRAPH, empleándose tan sólo los siguientes programas, *DATA MANAGEMENT, para el manejo y preparación de la matriz de datos. *FLOTING FUNCTIONS, para la representación de gráficos.

*** REGRASSION ANALISIS.**

Foto nº 5 Aspecto general del aparato Electrónico-Informático desarrollado.

Como aplicación práctica del empleo de esta aparato se puede citar que en los ensayos realizados con madera de Pinus pinaster Ait. de tres distintas procedencias del territorio nacional (Galicia, Avila y Jaén), las funciones de Hh-T que mejor se adaptan a la nube de puntos de Hh a lo obtenidos a lo largo del tiempo de inmersión de la madera en el agua, presentado unos magníficos coeficientes de correlación son del tipo potencial ($Y = a \cdot x(b)$) para la madera no tratada (ST) y del tipo recta ($Y = a \cdot x(b)$) para la madera tratada (ST) y del tipo recta ($Y = a + bx$) para la madera tratada (T).

Obtenidas las funciones de Hh - T, el programa indica el valor de la Estabilidad Dimensional (ED) frente al agua de la madera tratada.

Finalmente y en base a las mencionadas funciones, se deduce la razón Repelencia al agua de la madera tratada. Finalmente y en base a las mencionadas funciones, se deduce la razón de Repelencia al agua de la madera tratada (T) que viene dada por el ángulo que forman las tangentes a las mencionadas funciones, en el origen (o proximidad). Para su obtención, se calcula en primer

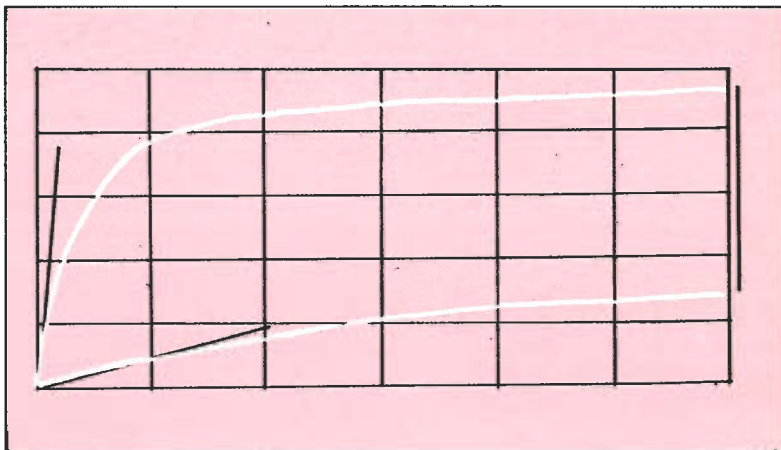
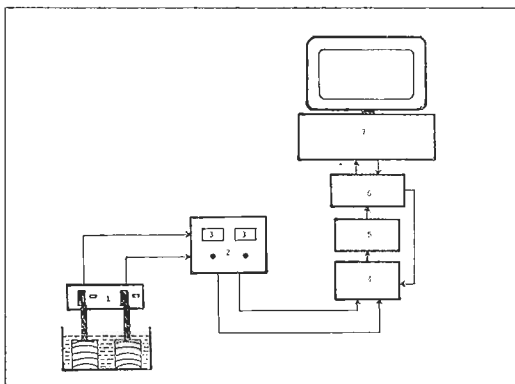


gráfico nº 1:
Curvas Hh-T, con indicación gráfica de los valores de Repelencia al agua (alfa) y Estabilidad dimensional frente a esta, de la madera tratada.



- 1.- Sensores
- 2.- Consola de ajuste.
- 3.- pantallas para ajuste y medida
- 4.- Placa multiplexora.
- 5.- Placa convertidora analógico-digital.
- 6.- Placa maestra.
- 7.- Ordenador.

lugar las tangentes a las funciones en el mencionado punto, que podemos denominar b (para la función de la madera ST) y b1 (la correspondiente a la madera T). Seguidamente se hallan sus arcotangentes, sean respectivamente θ y θ_1 , que indican los ángulos formados por las tangentes a las funciones, en el origen con el eje de abscisas. Finalmente mediante la sustracción de $\theta - \theta_1 = \alpha$, se obtiene el ángulo que nos indica la razón de repelencia frente al agua de la madera tratada. Toda esta tarea también se realiza informáticamente.