



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Máster en Ingeniería de Montes

**Comparación de ensayos a compresión
de madera estructural mediante norma
UNE y norma ASTM**

Alumno: Álvaro Pérez Ortega

Tutor: Luis Acuña Rello

Septiembre de 2014

Copia para el tutor/a

AGRADECIMIENTOS

Llegado el final de esta inolvidable etapa en la universidad, quisiera agradecer de una manera especial todo el apoyo mostrado por mi familia ya que sin ellos nada de lo acontecido hasta aquí hubiese sido posible.

Agradecimiento especial también a mi tutor Luis mostrando siempre una disponibilidad absoluta y dispuesto a resolver cualquier duda que surgiese durante la realización del proyecto.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ANTECEDENTES.	4
2.1. Introducción.....	6
2.2. Descripción de las especies.....	7
2.2.1. Pino resinero (<i>Pinus pinaster</i> Aiton.).....	7
2.2.2. Pino albar (<i>Pinus sylvestris</i> L.).....	7
2.2.3. Pino radiata (<i>Pinus radiata</i> Don.).....	8
2.2.4. Chopo (<i>Populus</i> sp).	8
2.3. Estructura y composición de la madera.	8
2.3.1 Estructura macroscópica de la madera.....	9
2.3.2. Estructura microscópica.....	10
2.4. Composición química de la madera.	11
2.5. Propiedades de la madera.....	11
2.5.1. Propiedades físicas.....	11
2.5.1.1. Anisotropía.....	12
2.5.1.2. Higroscopicidad.....	12
2.5.1.3. Densidad.....	12
2.5.1.4. Hendibilidad.....	13
2.5.1.5. Polaridad.....	13
2.5.1.6. Flexibilidad.....	13
2.5.1.7. Humedad.....	13
2.5.1.8. Dureza.....	13
2.5.1.9. Dureza.....	14
2.5.2. Propiedades mecánicas.....	14
2.5.2.1. Resistencia a la flexión.....	14
2.5.2.2. Resistencia al cortante.....	14
2.5.2.3. Fatiga.....	15
2.5.2.4. Pandeo.....	15
2.5.2.5. Propiedades elásticas de la madera.....	15
2.5.2.6. Resistencia a la tracción.....	16
2.5.2.7. Resistencia a la compresión.....	16
3. OBJETIVOS.	18
3.1. Objetivo general.....	20
3.2. Objetivos específicos.....	20
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
4.1. Materiales empleados.....	23

4.1.1. Probetas de madera.....	23
4.1.1.1. Especies.....	23
4.1.1.2. Dimensiones.	23
4.1.2. Equipo de trabajo.....	24
4.1.2.1. Máquina de corte	24
4.1.2.2. Calibre.....	24
4.1.2.3. Máquina universal de ensayo.	25
4.2. Metodología.....	26
4.2.1. Medición de las probetas.	26
4.2.2. Realización de los ensayos de compresión.	26
4.3. Cálculo de de la resistencia máxima y módulo de elasticidad	28
4.3.1. Determinación de la resistencia máxima.	28
4.3.2. Determinación del módulo de elasticidad	29
4.4. Tratamiento estadístico de los datos.....	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
5.1. Análisis descriptivo.....	34
5.2. Análisis comparativo	38
5.2.1. Estudio de la resistencia máxima.....	38
5.2.1.1. Comparativa de la resistencia máxima por tamaños.	38
5.2.1.2. Comparación entre probetas grandes y pequeñas por especies.....	39
5.2.1.3. Comparación por tamaños de cada especie.....	42
5.2.2. Estudio del módulo de elasticidad.....	47
5.2.2.1. Comparativa del módulo de elasticidad por tamaños.	47
5.2.2.2. Comparación entre probetas grandes y pequeñas por especies.....	49
5.2.2.3. Comparación por tamaños de cada especie.....	51
5.3. Correlación entre resistencia máxima y módulo de elasticidad.....	56
5.3.1. Resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Grande").....	56
5.3.2. Resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Pequeño").	57
5.3.3. Resistencia máxima-módulo elasticidad.....	58
5.3.4. Modelos Lineales Generalizados.	59
6. CONCLUSIONES.....	61
7. BIBLIOGRAFÍA.....	64
8. ANEXOS.....	67

1. RESUMEN

1. RESUMEN

Dentro de las numerosas propiedades físico-mecánicas que presenta la madera, la resistencia a la compresión ha sido una de las que menor número de estudios se han llevado a cabo. Dada la heterogeneidad que caracteriza a la madera en su composición hace que este material se convierta en uno de los más difíciles de estudiar, existiendo diversos métodos de ensayo para su determinación con valores muy diferentes entre ellos.

En este estudio se trata de ampliar los conocimientos sobre el comportamiento de diferentes especies de madera ante el esfuerzo de compresión. Este análisis se llevará a cabo mediante dos tipos de ensayos, uno a través de la norma UNE y el otro atendiendo a las características de la norma ASTM. Nos centraremos en analizar los resultados obtenidos de la resistencia máxima a la compresión para posteriormente proceder al cálculo del módulo de elasticidad.

Se realizaron un total de 378 mediciones sobre 378 probetas de 4 especies, tres coníferas y una frondosa, representativas de las masas forestales presentes en nuestro país.

Una vez obtenidos los valores de los dos ensayos prácticos, se llevó a cabo un análisis estadístico con objeto de establecer las posibles diferencias entre ambos ensayos y entre las especies utilizadas.

Los resultados revelan una gran heterogeneidad entre normas y entre especies para los dos parámetros estudiados. Asimismo, en algunos casos, no existe ni siquiera relación en el comportamiento de la misma especie para la norma UNE y la norma ASTM.

A continuación se procedió a establecer la relación existente entre las dos variables estudiadas teniendo en cuenta las dos normas. Se determinó que sí existe una relación pero con escasa similitud entre ambos ensayos.

Y finalmente, se concluyó que la variable especie tiene una clara influencia tanto en la resistencia máxima como en el módulo de elasticidad.

2. ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

2.1. Introducción

La madera es un recurso natural renovable dotado de propiedades y características excelentes para usos estructurales y acabados. Ha sido empleado por el hombre desde hace miles de años, primero como combustible para producir fuego, y más tarde para la fabricación de utensilios. Posteriormente también se empleó en la construcción. En sus primeras aplicaciones, la madera carecía de elaboración más allá del descortezado y moldeado para adecuarlas a las dimensiones requeridas.

Con el paso del tiempo, la madera fue adquiriendo un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. La aparición de la tecnología permitió una elaboración más compleja adecuándola a los distintos usos para los que era requerida. Así pues aparecieron todo tipo de instrumentos específicos como sierras, tornos, lijas... que permitieron obtener un producto de mejor acabado.

Además de estos instrumentos y su posterior conversión en maquinaria automatizada, comenzaron a aparecer nuevos tratamientos físico-químicos que la convirtieron en un material no perecedero y permitieron la creación de nuevos materiales derivados de la madera como tableros contrachapados, tableros de fibras, pasta de papel, etc. Estos tratamientos también permitieron la utilización de madera maciza bajo condiciones de uso que generaban su deterioro y pérdida de cualidades como la presencia de agentes bióticos, presencia de humedad o incendios.

En el ámbito de la construcción, la madera no goza de una buena imagen en los países del Sur de Europa, asociándolo generalmente a una limitada durabilidad y escasa resistencia al fuego. En el norte de Europa y en la región alpina su uso es algo mayor como elemento estructural para la construcción de pequeñas casas, Es en Norteamérica donde tiene una posición mucho más fuerte. Si comparamos el consumo, en Norteamérica es de 220 Kg per cápita frente a los 58 Kg per cápita de la Unión Europea. La razón se basa principalmente en la ligereza de las construcciones en madera, considerándose este como un aspecto muy competitivo en el mercado de la construcción, que tradicionalmente ha sido mucho más eficiente y dirigido al consumidor que en Europa.

Una de las ventajas respecto a otros materiales, como el caso del acero, es que en su transformación en materiales de construcción implica un menor consumo de energía, por lo que genera menos contaminantes. Sin embargo, una de las limitaciones más importantes a destacar está relacionada con el tamaño de las piezas, ya que este depende a su vez del tamaño del árbol del que se extrae. Para compensar esta desventaja surge la madera laminada, que debido a los avances relacionados en materia de productos adhesivos permite obtener piezas compactas de gran tamaño sin perder sus propiedades resistentes. De esta manera se pueden crear grandes estructuras sin contar con el factor limitante del tamaño de las piezas.

Dentro de las diferentes propiedades resistentes de la madera como pueden ser la resistencia a la flexión, resistencia a tracción, dureza, etc., la resistencia a la compresión es una de las propiedades sobre las que menor número de ensayos se han llevado a cabo y una de las que menos referencias existen actualmente. Con

el objetivo de que sirva de base para las numerosas aplicaciones de este material, se trata en el presente estudio de ofrecer un pequeño avance en el conocimiento del comportamiento de esta propiedad.

2.2. Descripción de las especies

2.2.1. Pino resinero (*Pinus pinaster* Aiton.)

- **Distribución**

Habita en la mitad occidental de la región mediterránea y su contorno y zonas atlánticas de Francia. Se encuentra en casi toda la Península Ibérica, aunque no es natural ni en Galicia ni en la mayor parte del norte. Ocupa un área superior al millón de hectáreas, de las cuales 600.000 corresponden a repoblaciones. Otras áreas de reforestación se sitúan en Australia, África del Sur, Nueva Zelanda, Chile, Argentina y Uruguay.

- **Descripción de la madera**

La madera es de grano grueso, ligera y resinosa, con anillos de crecimiento bien marcados, menos resistente y elástica que la de pino albar (*Pinus sylvestris*), por lo que es menos apreciada

- **Usos**

La presencia de curvaturas en las trozas incide en el rendimiento del aserrado industrial de la madera. Por esta razón, uno de los destinos más habituales de la madera son los tablonés, palets, traviesas de ferrocarril, cajas para embalar...

2.2.2. Pino albar (*Pinus sylvestris* L.)

- **Distribución**

Europa y gran parte de Asia. En la Península ocupa cerca de 800.000 hectáreas; su área natural se extiende por el centro y cuadrante nordeste, con enclaves en el sur.

- **Descripción de la madera**

La madera es en general de buena calidad, aunque algo variable, con troncos rectos y poco nudosos, propiedades que han conseguido que sea uno de nuestros pinos más apreciados. Presenta una albura blanco-amarillenta y duramen pardo-rojizo. Es compacta, resistente, con anillo de crecimiento y fácil de trabajar. Probablemente la madera comercial más utilizada.

- **Usos**

Se emplea en ebanistería, carpintería, construcción, industria del contrachapado, cajas de embalaje, fabricación de barcos, etc.

2.2.3. Pino radiata (*Pinus radiata* Don.)

- **Distribución**

Especie originaría de Monterrey, región ubicada dentro de las costas californianas. Fuera de su distribución natural ha sido plantada con buenos resultados en América del Sur, Australia, Nueva Zelanda y norte de España.

- **Descripción de la madera**

Albura de color blanco. Olor característico a madera resinosa. Grano recto, textura fina. Veteado suave con líneas longitudinales oscuras. Muy fácil de tratar mediante los sistemas vacío presión o inmersión.

- **Usos**

Se trata de una madera fácil de trabajar con herramientas manuales y en las diferentes operaciones de maquinado. Entre los usos actuales a los que se destina se encuentran los muebles, pasta y papel, envases, tableros aglomerados, contrachapados y de fibras, ebanistería, entarimados y construcción de puentes.

2.2.4. Chopo (*Populus sp*)

- **Descripción de la madera**

La Madera de Chopo es fina y homogénea, no resiste a la humedad y es poco duradera estando sumergida. De albura blanca y amarillenta y duramen rojizo claro. Presenta una baja densidad.

- **Usos**

Entre los diversos usos posibles de la madera de chopo, el tablero contrachapado o los tableros de madera laminada, concentran los mayores esfuerzos productivos de la populicultura tradicional. Se destina casi siempre al sector del mueble incluyendo también aplicaciones en la industria de las casas móviles donde, por ser liviana debido a la baja densidad, es muy apreciada y prácticamente imposible de sustituir por otros productos. Se emplea también para carpintería, entarimados, parquet y tablonés.

2.3. Estructura y composición de la madera

Se antoja necesario conocer de qué está compuesta y cómo está organizada internamente la madera, tanto a nivel macroscópico como microscópico.

La madera es un material que procede de la estructura vital de un árbol, que actúa como sostén y arraigo a la tierra. Es la parte sólida por debajo de la corteza, es decir, el conjunto de elementos lignificados, lo mismo tráqueas o traqueidas. En sentido estricto, en cuanto al período de su formación, toda suerte de tejido secundario producido por el cambium hacia el interior del mismo.

Es un material heterogéneo y anisótropo, con propiedades muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. Este aspecto de la madera influirá de manera determinante en los resultados obtenidos pudiendo existir una gran variación entre los resultados de una misma especie.

2.3.1. Estructura macroscópica

En un corte transversal del tronco de un árbol se puede observar la estructura interior, que está formada por las siguientes partes tal y como muestra la Figura 2.1.

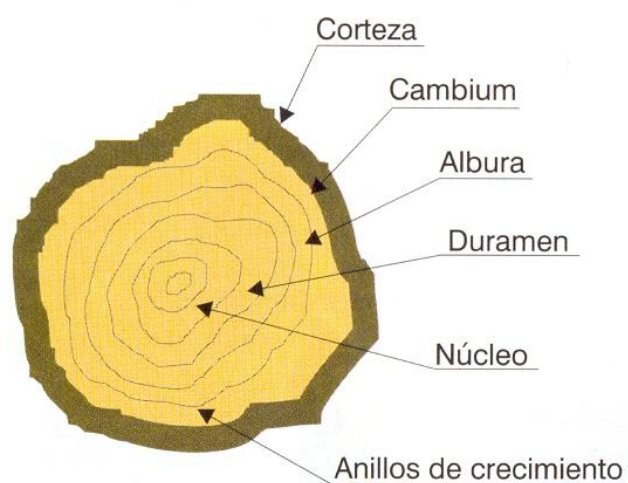


Figura 2.1 Sección transversal del tronco de un árbol

A continuación se exponen los aspectos más importantes de cada una de ellas:

Corteza: protege al vegetal contra el desecamiento, ataques fúngicos o el fuego; además de la función de almacenamiento y conducción de nutrientes.

Líber o floema: situado entre la albura y la corteza. Contiene unos conductos llamados tubos cribosos por los que se transporta la savia.

Cambium: capa de células en activa división que origina xilema y floema. Su objetivo es el crecimiento diametral del tronco.

Albura: es la parte activa del xilema, que en el árbol vivo contiene células vivas y material de reserva. Conduce gran cantidad de agua y de sales en solución, desde la raíz a las hojas; provee rigidez al tallo y sirve de reservorio de sustancias. Tiene menos resistencia que el duramen y generalmente es de color más claro.

Duramen: es leño biológicamente inactivo, con funciones de sostén que ocupa la porción del tronco entre la médula y la albura. Generalmente de estructura más compacta y resistente al ataque de hongos e insectos y de coloración más oscura que la albura debido al depósito de taninos, resinas, grasas, carbohidratos y otras sustancias.

Núcleo o médula: parte central del tronco. Constituida por tejido flojo y poroso. De ella parten radios medulares hacia la periferia. Tiene poca importancia, generalmente es de pequeña dimensión y se desecha en los procesos de elaboración de la madera, debido a que sus características físico-mecánicas son en general deficientes.

Anillos de crecimiento: representan el incremento anual del árbol. Cada año se forma un anillo, razón por la que son llamados anillos anuales. Estos determinan la edad del árbol. Un análisis de los anillos de crecimiento, nos indica si el árbol tuvo un crecimiento rápido (anillos bien espaciados), o lento (pequeño espacio entre anillos); o aquellos años que han sido desfavorables para la planta (espacios menores), o más beneficiosos (espacios mayores). Además sirven para apreciar la clase y calidad de la madera dentro de la especie.

2.3.2. Estructura microscópica

El análisis microscópico de la estructura de la madera se puede expresar como un conjunto de células tubulares dispuestas en su mayoría en la dirección del eje del árbol, cuya función es la formación de tejidos para el transporte de nutrientes a lo largo de la planta.

Tanto en maderas de coníferas como de frondosas, existen dos tipos de tejidos fundamentales:

Prosenquimatosos: también denominados conductores, son tejidos formados por células alargadas, fusiformes o filiformes, firmemente unidos por sus extremos puntiagudos, de membranas engrosadas en mayor o menor grado, sin que existan en ellas contenido protoplásmico.

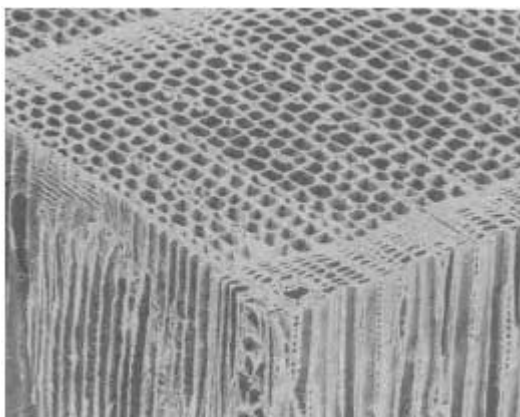


Figura 2.2. Tejidos prosenquimatosos (INIA 2013)

Parenquimatosos: son tejidos formados por células más o menos isodiamétricas de membranas sutiles, no lignificadas con protoplasma parietal.

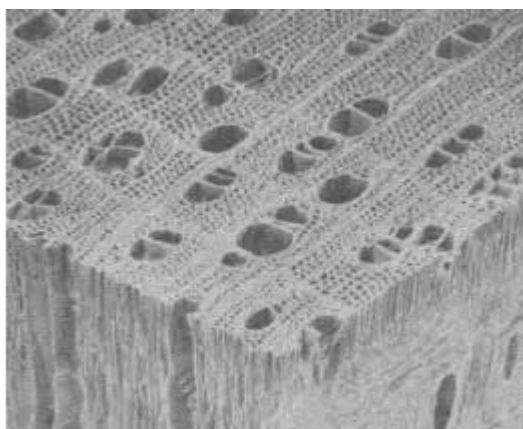


Figura 2.3. Tejidos parenquimatosos (INIA 2013)

2.4. Composición química de la madera

La madera está compuesta principalmente por celulosa (40%), hemilcelulosa (25-30%) y lignina (25-30%) y por otros materiales de diferente naturaleza tales como terpenos, resinas, fenoles, ácidos grasos, etc. Estos últimos en muy pequeñas cantidades (<5%).

La celulosa es un polímero que forma una estructura que es rodeada por una matriz de hemilcelulosa y ligninas. Proporciona resistencia mecánica a la fibra.

La hemilcelulosa tiene una estructura similar a la celulosa. Ambas son hidrofílicas lo que proporciona elasticidad a la pared celular y a las fibras.

La lignina, sin embargo, es hidrófoba. Tiene como función mantener unidas las fibras y regular el contenido de humedad.

Por último, las sustancias de impregnación influyen en el color de la madera, olor, características superficiales, durabilidad o resistencia a los parásitos entre otros aspectos.

2.5. Propiedades de la madera

Se hace imprescindible estudiar las propiedades de la madera con objeto de comprender de una manera más eficaz su comportamiento. Se debe tener en cuenta que las características de la madera varían según las diferentes especies, el desarrollo del árbol y la sección de la cual se extrajo.

Se dividen en propiedades físicas y mecánicas.

2.5.1. Propiedades físicas

Son aquellas que determinan su comportamiento ante los distintos factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin producir ninguna modificación química o mecánica de su estructura

2.5.1.1. Anisotropía

Puesto que no es un material homogéneo, casi todas las propiedades de la madera difieren en las tres direcciones básicas de su anatomía (axial, radial, tangencial) (ver Figura 2.4).

La dirección **axial** es paralela a la dirección de crecimiento del árbol (dirección de las fibras). Nuestros ensayos a compresión se realizarán en esta dirección.

La **radial** es perpendicular a la axial y corta al eje del árbol.

La dirección **tangencial** es paralela a la radial, cortando los anillos anuales.

Por tanto, una misma pieza de madera, al ser ensayada a compresión, daría unos resultados muy dispares según la dirección del esfuerzo; en la dirección axial es del orden de 20-40 veces mayor que en la tangencial (Jiménez 1999).

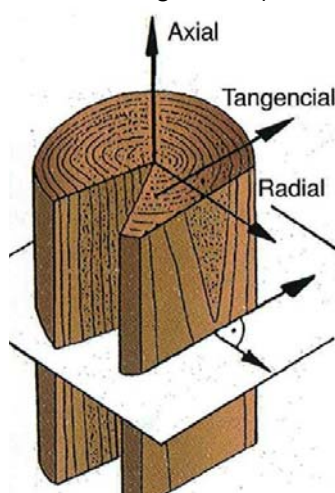


Figura 2.4. Principales direcciones de la madera

2.5.1.2. Higroscopicidad.

Es la capacidad de la madera para absorber la humedad del medio ambiente. Dependiendo del tipo de madera y de su punto de saturación el exceso de humedad produce hinchazón. La pérdida de humedad durante el secado de la madera contrae las fibras de manera diferente en las tres direcciones.

2.5.1.3. Densidad

Se define la densidad como la relación que existe entre la masa y el volumen. Cuanto más leñoso sea el tejido de una madera y compactas sus fibras, tendrá menos espacio libre dentro de éstas, por lo que pesará más que un trozo de igual tamaño de una madera con vasos y fibras grandes. La densidad de la madera varía con la humedad (12% es la humedad normal al abrigo y climatizada). Un ejemplo lo tenemos en la madera de roble. Recién cortado alcanza valores de aproximadamente 1000 kg/m³. Sin embargo, en estado seco (12% de humedad) baja hasta los 670 kg/m³.

Las maderas se clasifican según su densidad aparente, en pesadas, ligeras y muy ligeras.

2.5.1.4 Hendibilidad

Es la resistencia que ofrece la madera al esfuerzo de tracción transversal antes de romperse por separación de sus fibras. La madera de fibras largas, con nudos o verde es más hendible.

2.5.1.5. Polaridad.

La madera es un material de carácter polar, es decir, tiene afinidad con los productos polares entre los que se incluye el agua.

2.5.1.6. Flexibilidad

Es la capacidad de la madera de doblarse o deformarse sin romperse y retornar a su forma inicial. Las maderas verdes y jóvenes son más flexibles que las secas o viejas.

2.5.1.7. Humedad

Masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada en tanto por ciento, respecto de la propia masa de la madera de esta pieza en estado anhidra. Este factor influye en el comportamiento de la madera sobre su durabilidad, resistencia, peso y dimensiones, entre otros aspectos.

2.5.1.8. Dureza

Se define como la resistencia al desgaste, rayado, clavado, corte con herramientas, etc. Varía según la especie del árbol. La madera del duramen es más dura que la de la albura. La madera seca es más dura que la verde.

Según su dureza, la madera se clasifica en:

Maderas duras: son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, de hoja caduca, por lo que son más densas.

Maderas blandas: las maderas de coníferas son más livianas y menos densas que las duras.

Maderas semiduras: muchas maderas no se las puede clasificar en las categorías anteriores por tener una densidad y resistencia variadas.

Algunas maderas de especies duras o blandas presentan mayor o menor resistencia, lo que las hace más fáciles o difíciles de trabajar, por lo que la clasificación es en la práctica referida a la facilidad o dificultad que en general presentan las maderas para el trabajo con herramientas.

2.5.1.9. Óptica

El color y la textura de la madera son estéticamente agradables. Los nudos y cambios de color en algunas maderas realzan su aspecto. Además los rayos ultravioletas degradan la lignina de la madera produciendo tonalidades en la veta de color gris sucio y oscureciendo su superficie. Éste efecto de la luz solar se limita a la superficie y puede ser contrarrestado protegiéndolas con esmaltes o lacas.

2.5.2. Propiedades mecánicas

Se podían definir como las aptitudes de la madera para resistir cambios en su forma o tamaño, al ser sometida a un esfuerzo. El secreto de las grandes resistencias mecánicas de la madera, con relación a su peso, está en la estructura de su pared celular.

En primer lugar introduciremos algunas de ellas y a continuación nos centraremos en la propiedad que caracteriza a este estudio, la resistencia al esfuerzo de compresión.

2.5.2.1. Resistencia a la flexión

La madera presenta una notable resistencia a la flexión, sobre todo si se compara con su densidad. La flexión de una pieza genera tensiones de compresión y de tracción paralelas a la fibra, que adoptan valores máximos en las fibras externas de la pieza y nulos en la fibra neutra.

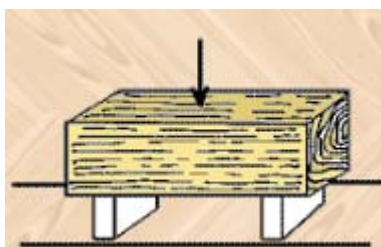


Figura 2.5 Esfuerzo a flexión

2.5.2.2. Resistencia al cortante

Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento se debe producir en paralelo a las fibras; perpendicularmente a ellas no se produciría la rotura debido a que la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto.

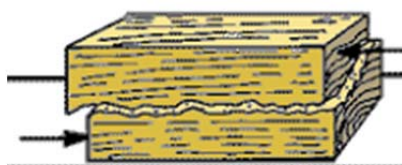


Figura 2.6 Esfuerzo cortante

2.5.2.3. Fatiga

Llamamos límite de fatiga a la tensión máxima que puede soportar una pieza sin romperse.

2.5.2.4. Pandeo

El pandeo se produce cuando se supera la resistencia de las piezas sometidas al esfuerzo de compresión en el sentido de sus fibras generando una fuerza perpendicular a ésta, produciendo que se doble en la zona de menor resistencia.

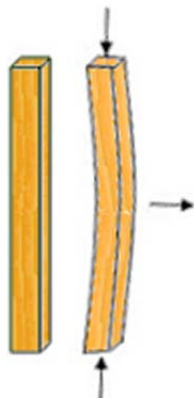


Figura 2.7 Detalle de pandeo

2.5.2.5. Propiedades elásticas de la madera

Al existir tres direcciones principales en la madera, se consideran tres módulos de elasticidad, E_a , E_r , E_t , según las direcciones axial, radial y tangencial. E_a es mucho mayor que E_r y E_t (Jiménez 1999).

El módulo de elasticidad se obtiene de los ensayos de compresión o tracción. En la dirección axial no son exactamente iguales, siendo algo mayor el de tracción. Frecuentemente, E se obtiene a partir de ensayos de flexión. En el presente estudio, se calculará a partir de los ensayos a compresión siguiendo la Ley de Hooke.

Según Casado y Acuña 2000, el módulo de elasticidad para la dirección paralela a la fibra para madera clasificada de coníferas varía entre 9000 y 13000 MPa. Sin embargo, un estudio llevado a cabo en Sudamérica con *Pinus radiata* y Chopo sitúa el valor de E en 3304,5 y 2404,4 MPa respectivamente.

2.5.2.6. Resistencia a la tracción

La mayor resistencia es en dirección paralela a las fibras, motivada por la elevada resistencia que las cadenas de celulosa presentan ante esta sollicitación mecánica. La rotura en tracción se produce de forma súbita.

2.5.2.7. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión es la propiedad que más nos interesa puesto que es con la que vamos a trabajar en este estudio.

La rotura de la madera a compresión no resulta clara ya que lo que se produce en la práctica es un aplastamiento de las fibras, pudiendo el material seguir aguantando solicitaciones.

Elevadas solicitaciones a compresión perpendicular son bastante frecuentes, por mal dimensionamiento de los apoyos. No obstante, los fallos rara vez son catastróficos ya que solo se puede producir un cierto aplastamiento de las fibras.

Los fallos por compresión paralela sí pueden llegar a ser catastróficos por la pérdida de verticalidad que conllevan, sobre todo en el caso de pilares. Nuestros ensayos se realizarán en esta dirección tal y como aseguramos anteriormente.

Los factores que influyen en la resistencia a la compresión son los siguientes:

- Inclinación de la fibra. Existe una diferencia entre las resistencias correspondientes a las direcciones longitudinales y transversales, siempre menor que en la resistencia a tracción.
- Humedad. La influencia es prácticamente nula por encima del punto de saturación de las fibras y aumenta a partir de dicho punto, al disminuir la humedad. Entre el 8 y el 18% de humedad, se considera que la variación es lineal.
- Temperatura. La resistencia decrece linealmente al aumentar la temperatura.
- Nudos. Su influencia es menor que en la tracción.
- Constitución química. Las maderas con mayor cantidad de lignina, como las tropicales, resisten mejor a la compresión. Las bolsas de resina no tienen influencia, pero como hacen aumentar el peso específico hacen que baje la cota de calidad.

En madera clasificada de coníferas (madera con defectos), la resistencia a compresión es mayor que su resistencia a tracción, a la vez que la diferencia entre las dos direcciones (paralela y perpendicular) es menos acusada. Existen escasos estudios sobre esta propiedad. Así, según Casado y Acuña 2000, los valores característicos de resistencia a compresión se sitúan entre 18 y 25 MPa.

Se evaluará el comportamiento de las cuatro especies descritas anteriormente ante el esfuerzo a compresión mediante la norma UNE (norma española) y la norma ASTM.

3. OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

Dentro de los objetivos de este proyecto podemos diferenciar los siguientes:

3.1. Objetivo general

El objetivo general del proyecto será analizar los valores de resistencia máxima a compresión y módulo de elasticidad de cada especie estudiada obtenidos de los diferentes ensayos realizados.

3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos podemos clasificarlos según se detalla a continuación:

1. Determinar la variación de la resistencia máxima y del módulo de elasticidad entre las diferentes especies estudiadas y para cada norma.
2. Comparación de la variación de las dos variables estudiadas en función de cada norma y cada especie.
3. Determinar la relación existente entre los valores obtenidos de resistencia máxima y módulo de elasticidad.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Materiales empleados

Los ensayos llevados a cabo se han realizado con equipos presentes en el laboratorio de maderas y los elementos objeto de estudio, las probetas de madera.

4.1.1. Probetas de madera

Los ensayos se realizarán con probetas de sección cuadrada, con caras en planos tangenciales y radiales. La sección varía según la norma utilizada.

4.1.1.1. Especies

Alumno: Álvaro Pérez Ortega
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA)- E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS
Titulación: Máster en Ingeniería de Montes

En la elaboración de este estudio se ha contado con un total de 4 especies, tres coníferas y una frondosa, las cuales se indican en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Especies empleadas en el estudio.

ID	Código	Nombre científico	Nombre común	Conífera/ Frondosa
1	Pt	<i>Pinus pinaster</i> Aiton	Pino resinero	C
2	Ps	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pino albar	C
3	Pr	<i>Pinus radiata</i> Don.	Pino radiata	C
4	Ch	<i>Populus</i> sp	Chopo	F

4.1.1.2. Dimensiones

El número de probetas de ensayo de cada especie fue de 100, 50 se analizaron de acuerdo a la norma UNE y 50 mediante norma ASTM. Hubo que desechar 20 probetas pequeñas de *Pinus pinaster* puesto que la dirección de corte no fue paralela a la fibra y el ensayo resultaba erróneo (ver Figura 4.1). El resto de probetas se cortaron en dirección paralela a la fibra tal y como se muestra en la Figura 4.2. Asimismo, 2 probetas de chopo, una pequeña y otra grande, no se obtuvieron resultados pues hubo error al guardar los datos del ensayo. En total se analizaron 378 probetas.

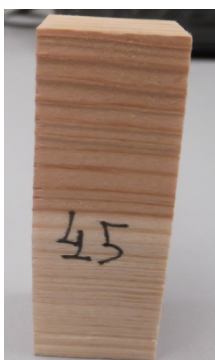


Figura 4.1. Probeta de *Pinus pinaster* errónea



Figura 4.2, Probeta cortada en dirección paralela a la fibra

Las dimensiones finales de cada probeta han sufrido mínimas variaciones a las establecidas por cada norma (ver anejos). Esto es debido a que el corte producido por la sierra de banda no es del todo preciso.

En todas ellas se tomaron las medidas de ancho (a), largo (l) y alto (h), tal y como se muestra en la Figura 4.3

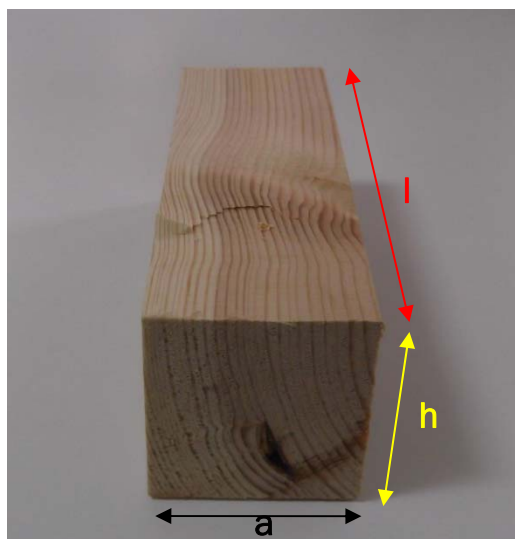


Figura 4.3. Imagen de probeta en la que se muestran las medidas ancho (a), largo (l) y alto (h)

Las dimensiones establecidas por cada norma son:

- Probetas de tamaño pequeño (norma UNE o norma española). Las medidas establecidas por dicha norma son 20x20x60 mm.
- Probetas de tamaño grande (norma ASTM). Las medidas correspondientes a esta norma son 50x50x150 mm. Sin embargo, estas tuvieron que ser reducidas 5 mm de largo y de ancho ya que al realizar el ensayo a compresión, la probeta no se llegaba a romper y no se obtenía el deseado corte en cizalladura. Así, las medidas finales en estos casos son 45x45x150 mm aproximadamente.

4.1.2. Equipo de trabajo

Todos los elementos necesarios para llevar a cabo la realización del estudio estaban ubicados en el laboratorio de maderas. Se describen a continuación.

4.1.2.1. Máquina de corte

La sierra de banda fue la encargada del dimensionado de cada una de las probetas

4.1.2.2. Calibre

Todas las probetas fueron medidas con el fin de conocer sus dimensiones exactas y así introducir dichas medidas en el ordenador previamente a la ejecución de cada ensayo. El instrumento empleado fue un calibre de precisión $\pm 0,05$ mm.



Figura 4.4. Detalle del calibre.

4.1.2.3. Máquina universal de ensayo

La realización de los ensayos a compresión de cada una de las probetas se llevó a cabo con la máquina electromecánica IBERTEST modelo ELIB-1000W (ver Figura 4.5).



Figura 4.5. Máquina universal de ensayos IBERTEST mod. ELIB-1000W

Permite realizar varios tipos de ensayo (dureza, flexión...) para la determinación de distintas propiedades físico-mecánicas de la madera. La configuración y resultados se muestran en un ordenador al que se encuentra conectada

El cabezal empleado para la realización de los ensayos a compresión es el que aparece en la Figura 4.6.



Figura 4.6. Cabezal utilizado en los ensayos

Con el fin de trabajar de una forma segura y evitar posibles daños en la máquina ya sea por despiste o por una inesperada rotura de la probeta, esta dispone de unos sensores regulables dependiendo del ensayo que se quiera realizar, los cuales interrumpen el recorrido de la misma cuando el cabezal sobrepasa una altura previamente establecida.

4.2. Metodología

La secuencia de operaciones previa al análisis estadístico de los datos es la que se detalla a continuación.

4.2.1. Medición de las probetas

Tras el dimensionado de las probetas en la sierra de banda, se procede a la medición del ancho, alto y largo por medio de un calibre. Dichas mediciones serán introducidas en el ordenador antes del comienzo de cada ensayo.

4.2.2. Realización de los ensayos de compresión

El ensayo se realizará por aplastamiento de la probeta entre dos superficies planas y paralelas. Este se ejecutará en dirección axial, es decir, paralela a las fibras. En función del tamaño de las probetas, alguno de los parámetros del ensayo varían tal y como se refleja en la Tabla 4.2. Cabe destacar la detección de rotura pues se trata de un parámetro de seguridad ya que si la probeta sufre una rotura superior a la establecida la máquina se detiene automáticamente evitando posibles daños.

Tabla 4.2. Parámetros de control de la máquina y del ensayo

	Parámetros	Norma UNE	Norma ASTM
Parámetros de control de la máquina	Velocidad de movimiento	100 mm/min	100 mm/min
	Detección de rotura	10%	15%
Parámetros del ensayo	Célula	100 KN	100 KN
	Límite máximo fuerza	103 KN	103 KN
	Velocidad	1 KN/s	2 KN/s

El ensayo comienza cuando el cabezal entra en contacto con la superficie de la probeta, a partir de este momento comienza a aplicarse una fuerza constante de 100 KN. La madera, ante este esfuerzo, se deforma; esta deformación es, al principio, proporcional a la fuerza que lo produce, es decir, existe una relación lineal entre las tensiones y deformaciones, cumpliendo con la Ley de Hooke, $\sigma = E \epsilon$; en este tramo la madera se comporta elásticamente, desapareciendo las deformaciones al cesar el esfuerzo. A partir de un cierto valor de σ , llamado límite elástico (ver Figura 4.7), las deformaciones aumentan en proporción a las tensiones, la madera deja su comportamiento elástico y al cesar el esfuerzo queda una deformación residual. Si las tensiones continúan tiene lugar la rotura.

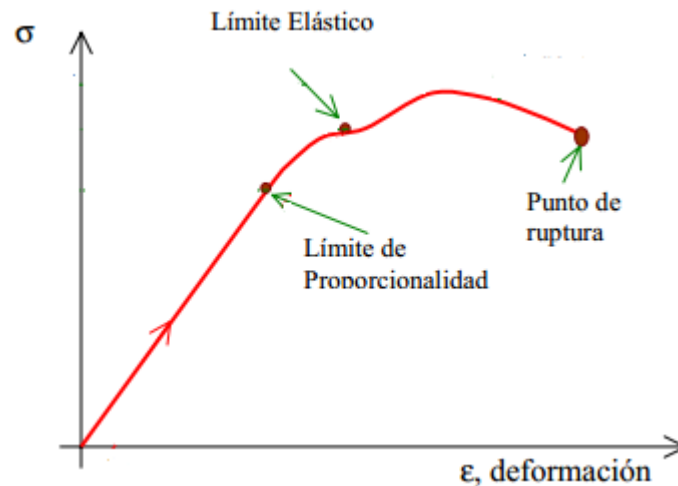


Figura 4.7. Relación entre el esfuerzo aplicado “ σ ” y la deformación unitaria “ ϵ ”. Cuando se sobrepasa el límite elástico, y se suprime el esfuerzo aplicado, el material queda permanentemente deformado.



Figura 4.8. Detalle de rotura de probeta según norma ASTM



Figura 4.9. Detalle de rotura de probeta según norma UNE



Figura 4.10. Detalle de rotura de probeta según norma ASTM

El ensayo finaliza en el momento en el que la probeta o bien se rompe, tal y como muestran las Figura 4.8, 4.9 y 4.10, o se alcanzan los 103 KN de límite máximo de fuerza establecido. Asimismo, los sensores de seguridad también pueden detener el ensayo en el momento que el cabezal rebase su posición aunque la probeta no se haya roto tal y como comentamos anteriormente. Los resultados obtenidos se muestran en el ordenador y mediante su posterior análisis nos permitirán obtener las variables objeto de estudio

4.3. Calculo de la resistencia máxima y módulo de elasticidad

4.3.1. Determinación de la resistencia máxima

La resistencia máxima viene dada directamente por el ordenador en MPa tal y como se muestra en la Figura 4.11. También se obtienen otros datos como la fuerza y la carrera que serán empleados en el cálculo del módulo de elasticidad como veremos a continuación.

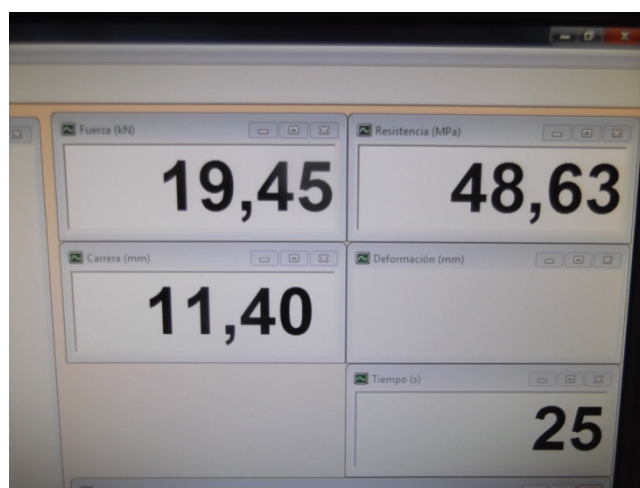


Figura 4.11. Parámetros obtenidos en el ensayo de una probeta pequeña. La Resistencia máxima aparece arriba a la derecha

4.3.2. Determinación del módulo de elasticidad

Alumno: Álvaro Pérez Ortega
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA)- E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS
Titulación: Máster en Ingeniería de Montes

En el ordenador que recoge la información de cada ensayo se obtiene la gráfica Fuerza (KN)-Carrera (mm) (ver Figura 4.12), siendo esta la distancia que recorre el cabezal desde que entra en contacto con la probeta hasta que se detiene. La denominaremos (&). Esta gráfica es de poco interés para nuestro estudio y hemos de trabajar con otros parámetros como son el esfuerzo y la deformación unitaria con el fin de obtener el módulo de elasticidad de cada probeta.

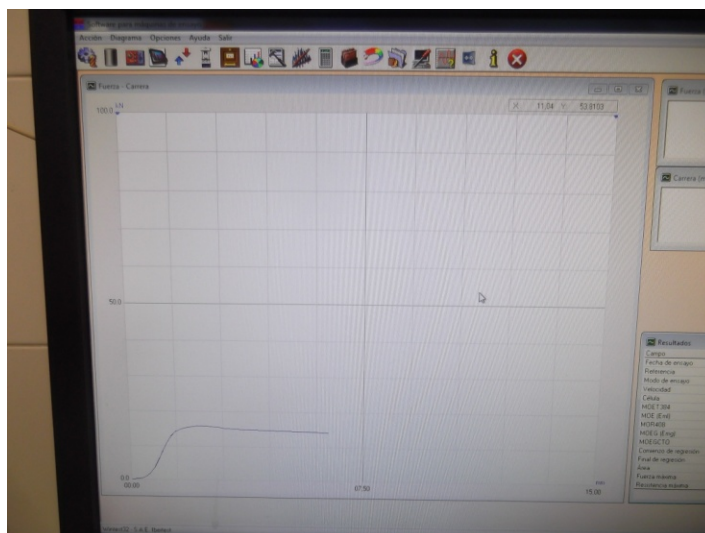


Figura 4.12. Gráfica obtenida en el ordenador en la que se muestra la Fuerza (KN) frente a la Carrera (mm)

Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo (σ) y el cambio correspondiente a la deformación unitaria (ϵ) producida por la compresión.

Para proceder al cálculo de este parámetro es necesario aplicar la Ley de Hooke. A continuación se describe el procedimiento llevado a cabo.

Según la Ley de Hooke la tensión o esfuerzo normal (σ) es proporcional a la deformación unitaria (ϵ), es decir:

$$\sigma = E \epsilon$$

Cuando se encuentra en ciertos límites de esfuerzo, es decir, límite elástico, la probeta no se ha llegado a romper, esta relación es lineal y puede ser expresada:

$$\sigma = E \epsilon$$

Donde E es un coeficiente que depende de las propiedades del material, el módulo de elasticidad. Este coeficiente caracteriza la rigidez del material, es decir, su capacidad de resistir las deformaciones.

Puesto que ϵ es una magnitud adimensional, se deduce que E se mide en las mismas unidades que σ , en nuestro caso N/mm² o MPa.

La fórmula $\sigma = E\varepsilon$ puede ser interpretada como la ecuación de una recta ($y=ax+b$), entonces basta con determinar la relación que surgen entre los esfuerzos en una probeta (σ) y las deformaciones unitarias causadas (ε) y expresar dicha relación en forma de gráfica σ - ε .

Los valores σ y ε se obtienen de la siguiente manera:

$\sigma = \frac{F}{S}$; siendo "F" la fuerza aplicada en Newton y "S" la superficie donde se aplica dicha fuerza en mm^2 y;

$\varepsilon = \frac{\Delta}{l}$; siendo " Δ " la deformación producida en la probeta en mm (lo que antes denominábamos carrera) y "l" la longitud inicial de la probeta en mm.

Una vez obtenidos todos los datos de cada ensayo se procede a elaborar las correspondientes gráficas ε - σ con la ayuda del software "Excel 2007". Un ejemplo de ellas se muestra en la Figura 4.14.

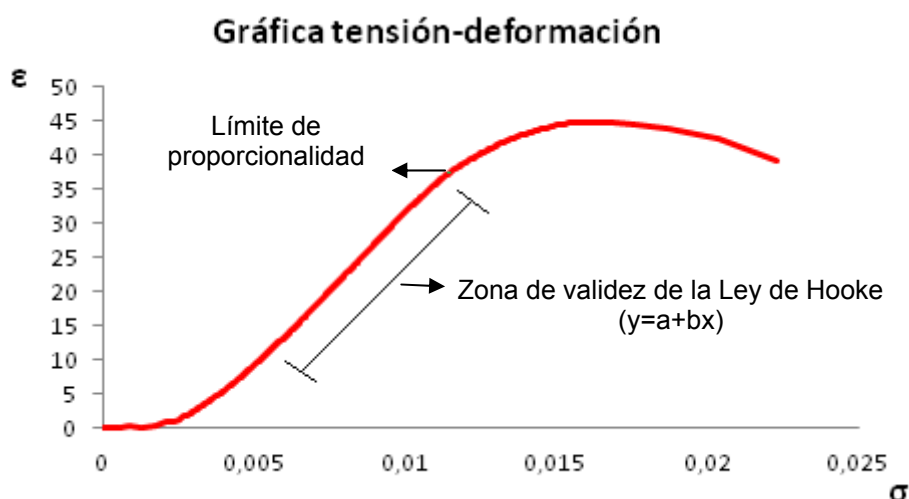


Figura 4.13 .Gráfico que muestra la tensión en N/mm^2 (ε) frente a la deformación unitaria (σ) de la probeta grande 36 de *Pinus radiata*

De la Figura 4.13 cabe destacar la zona de validez de la Ley de Hooke puesto que es de donde vamos a obtener el módulo de elasticidad (pendiente de la recta) tal y como hemos explicado anteriormente

4.4. Tratamiento estadístico de los datos

Una vez obtenidos los datos de resistencia máxima y calculado el módulo de elasticidad de cada probeta, se introdujeron en una tabla elaborada mediante el software "Excel 2007". Este programa nos permite manejar los datos y disponerlos de la forma adecuada para su posterior análisis.

La tabla resultante se exportó al software “STATGRAPHICS CENTURIÓN XV versión 15.2.06”, a través del cual se realizaron los análisis estadísticos oportunos.

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo con objeto de describir una serie de variables que nos van a esbozar una idea para ver en qué medida los datos se agrupan o dispersan en torno a un valor central. Esto último está relacionado con la existencia o no de normalidad en los datos analizados. La importancia de que los datos se asemejen a una distribución normal o curva de Gauss radica en que una gran cantidad de fenómenos reales pueden explicarse mediante este modelo de probabilidad. Se estudiará de dos maneras:

- Análisis de la curtosis estandarizada y el sesgo estandarizado. Valores próximos a cero (entre -2 y +2) indican semejanza con la curva normal.
- Test de normalidad Shapiro-Wilks. Un p-valor superior a 0.05 indica que los datos se ajustan a una distribución normal.

En este primer apartado también se realizó una comparación de medias con el fin de obtener un análisis exploratorio de los datos.

A continuación se procedió al análisis comparativo entre los diferentes ensayos y especies. En este apartado se tendrán en cuenta las exigencias de normalidad, homocedasticidad e independencia, para este caso emplearemos el análisis ANOVA. En caso contrario, se recurrirá a un método no paramétrico como es el test de Kruskal-Wallis.

Por último se analizará la relación existente entre la resistencia máxima y el módulo de elasticidad con el fin de interpretar las diferencias y similitudes existentes entre ellos. Para ello se utilizaron regresiones simples. Asimismo, se realizó un modelo lineal generalizado para cada uno de los ensayos incluyendo la especie como factor categórico.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis descriptivo

A continuación se detallan los resultados para cada una de las variables objeto de estudio. Las variables que vamos a analizar son la resistencia máxima y el módulo de elasticidad a compresión. Ambos parámetros se estudiarán por tamaño y por especie. A su vez se comprobará si se cumplen las condiciones de normalidad, independencia y homocedasticidad, esta última mediante la verificación de la igualdad de varianzas (Test de Levene), para posteriormente utilizar correctamente la prueba de Kruskal-Wallis o bien el análisis ANOVA en el análisis comparativo

Las tablas que se muestran a continuación representan los valores obtenidos para las variables número de muestras (n), media (x), coeficiente de variación (CV), rango y aceptación normalidad (Norm).

Tabla 5.1. Análisis de los valores de resistencia máxima

	Especie	n	X(MPa)	CV (%)	Rango	Norm (*)
Norma ASTM	1	50	37,3425	18,1210	27,167	NO
	2	50	44,2179	9,4282	17,224	SI
	3	50	44,6882	13,3720	20,414	NO
	4	49	35,9083	5,7626	10,339	SI
Norma UNE	1	30	52,2120	14,9820	26,940	SI
	2	50	45,1336	8,2674	17,250	SI
	3	50	53,0246	19,9390	37,640	NO
	4	49	39,3108	8,2557	17,270	SI

(*) ver anejos

La Tabla 5.1 refleja que en las probetas pequeñas los valores medios de resistencia máxima oscilan entre los 39,3 MPa del chopo y los 53 MPa del radiata. En las probetas grandes, nuevamente el chopo ofrece la resistencia más baja, 36 MPa, y el radiata y silvestre la más elevada con 44 MPa. Cabe destacar el CV de la especie radiata y de *Pinus pinaster* en probetas grandes, que es muy superior al resto de especies lo que indica heterogeneidad entre probetas y se relaciona a su vez con la ausencia de normalidad en esos datos (ver anejos). A su vez estos valores son más elevados que los mencionados en el apartado de antecedentes que se situaban entre los 18 y 25 MPa.

La siguiente tabla muestra la otra variable estudiada, el módulo de elasticidad.

Tabla 5.2. Análisis de los valores del módulo de elasticidad

	Especie	n	X (MPa)	CV (%)	Rango	Norm(*)
Norma ASTM	1	50	2845,65	27,711	2999,66	SI
	2	50	3192,88	14,503	2011,93	SI
	3	50	3979,16	11,269	1774,82	SI
	4	49	2884,13	7,8544	801,288	SI
Norma UNE	1	30	3196,70	26,936	3597,26	SI
	2	50	2778,07	14,929	1937,52	SI
	3	50	3681,74	26,521	3712,01	SI
	4	49	2333,33	18,078	1913,34	SI

(*) ver anejos

Tal y como indica la Tabla 5.2, tanto en las probetas pequeñas como en las probetas grandes los valores medios del módulo de elasticidad son muy dispares y oscilan entre los 2778 MPa y los 3979 MPa. En este caso se acepta que todos los datos de todas las especies se ajustan a una distribución normal (ver anejos). Los resultados obtenidos son similares al estudio llevado a cabo en Sudamérica.

A continuación vamos a proceder a realizar un estudio de los intervalos de confianza del 95 % para la media entre probetas grandes (G) y pequeñas (P) de la misma especie con objeto de obtener una primera aproximación de las diferencias que puedan existir entre tamaños que posteriormente se estudiará con más detalle.

En primer lugar nos centraremos en la comparación de medias para la resistencia máxima.

- ***Pinus pinaster***

Tabla 5.3. Intervalo de confianza para las medias en *Pinus pinaster*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	37,3425 +/- 1,92317 [35,4193; 39,2657]
P	52,212 +/- 2,92105 [49,2909; 55,133]

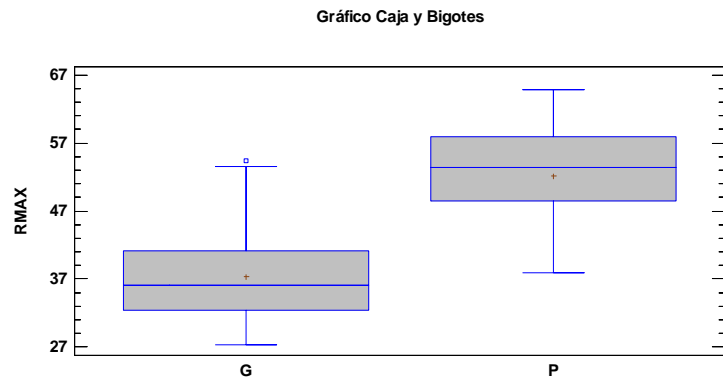


Figura 5.1. Gráfico box-plot que representa la media y el intervalo de confianza

- ***Pinus sylvestris***

Tabla 5.4. Intervalo de confianza para las medias en *Pinus sylvestris*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	44,2179 +/- 1,18481 [43,0331; 45,4027]
P	45,1336 +/- 1,06045 [44,0731; 46,1941]

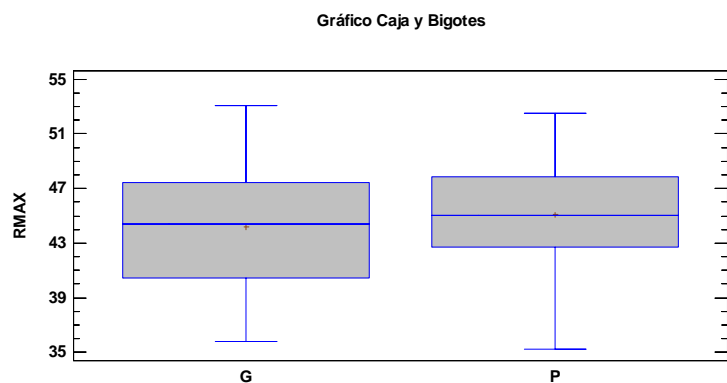


Figura 5.2. Gráfico box-plot que representa la media y el intervalo de confianza

- ***Pinus radiata***

Tabla 5.5. Comparación de medias en *Pinus radiata*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	44,6882 +/- 1,69838 [42,9899; 46,3866]
P	53,0246 +/- 3,0048 [50,0198; 56,0294]

Gráfico Caja y Bigotes

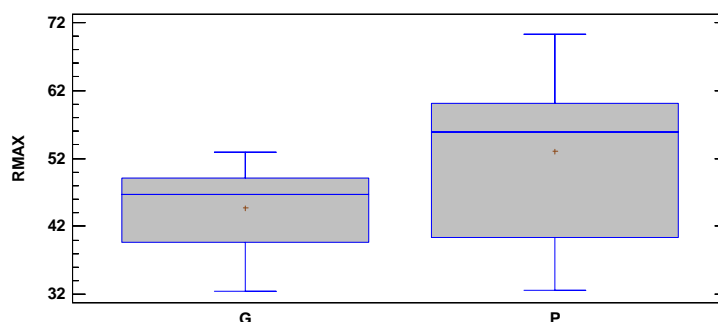


Figura 5.3. Gráfico que representa la media y el intervalo de confianza

- ***Populus sp***

Tabla 5.6. Comparación de medias en *Populus sp*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	35,9337 +/- 0,584282 [35,3494; 36,518]
P	39,3108 +/- 0,932191 [38,3786; 40,243]

Gráfico Caja y Bigotes

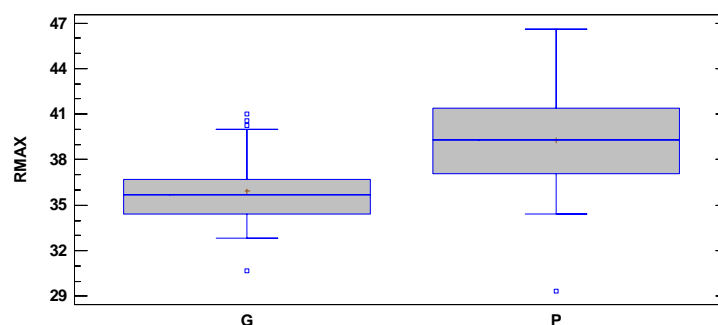


Figura 5.4. Gráfico que representa la media y el intervalo de confianza

Una vez evaluada la resistencia máxima, procedemos a analizar el módulo de elasticidad.

- ***Pinus pinaster***

Tabla 5.7. Comparación de medias en *Pinus pinaster*.

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	2845,65 +/- 224,111 [2621,54; 3069,76]
P	3196,7 +/- 321,537 [2875,16; 3518,24]

Gráfico Caja y Bigotes

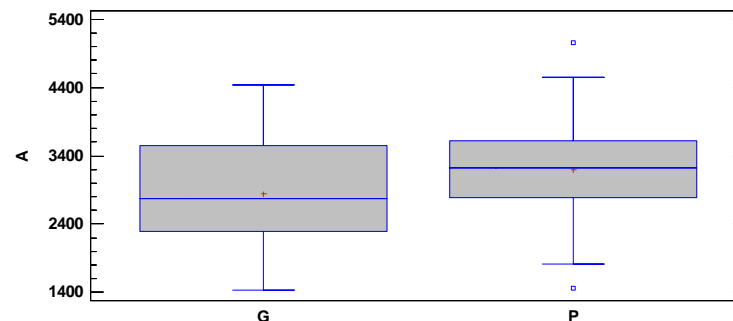


Figura 5.5. Gráfico que representa la media y el intervalo de confianza

- ***Pinus sylvestris***

Tabla 5.8. Comparación de medias en *Pinus sylvestris*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	3192,88 +/- 131,606 [3061,27; 3324,48]
P	2778,07 +/- 117,867 [2660,2; 2895,94]

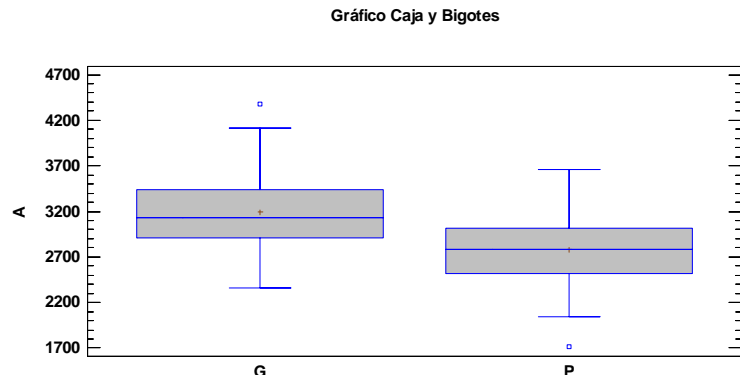


Figura 5.6. Gráfico que representa la media y el intervalo de confianza

- ***Pinus radiata***

Tabla 5.9. Comparación de medias en *Pinus radiata*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	3979,16 +/- 127,441 [3851,72; 4106,6]
P	3681,74 +/- 277,505 [3404,23; 3959,24]

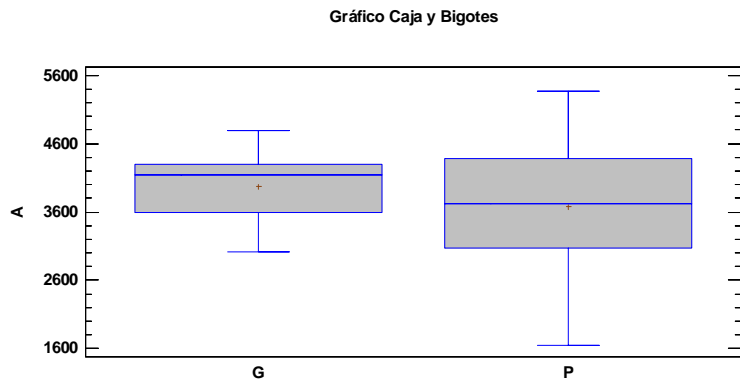


Figura 5.7. Gráfico que representa la media y el intervalo de confianza

- ***Populus sp***

Tabla 5.10. Comparación de medias en *Populus sp*

Tamaño	Intervalo de confianza 95%
G	2884,13 +/- 64,3798 [2819,75; 2948,51]
P	2333,33 +/- 121,161 [2212,17; 2454,5]

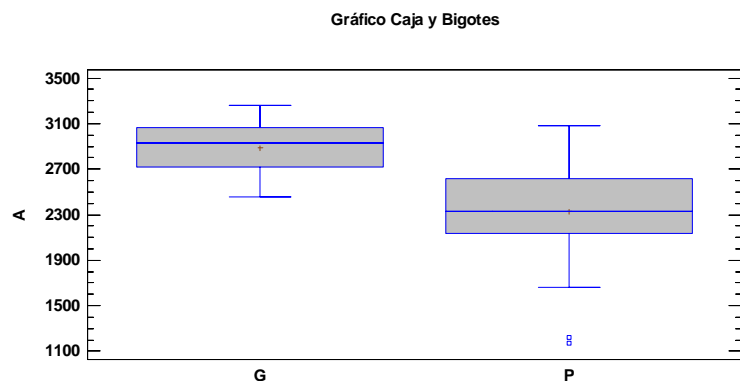


Figura 5.8. Gráfico que representa la media y el intervalo de confianza

5.2. Análisis comparativo

En este apartado se pretende comparar las variables resistencia máxima (RMAX) y módulo de elasticidad a compresión (MOE), entre los diferentes tamaños y especies estudiadas y determinar si existen diferencias entre ellas y si son realmente significativas, con un nivel del 95,0% de confianza. Tal y como se comentó en Material y Métodos, 20 muestras de *Pinus pinaster* de tamaño pequeño fueron desechadas ya que dieron errores durante los ensayos.

Para ello se utilizará el Test de Levene, cuyo fundamento consiste en la verificación de igualdad de varianzas. Dependiendo del resultado de la prueba anterior, se empleará o bien la prueba de Kruskal-Wallis o bien el análisis ANOVA. Posteriormente, acudiremos a la prueba de rango múltiple LSD, y a través de los grupos homogéneos se obtendrá información sobre la comparación de las variables estudiadas de cada especie y tamaño, determinando qué medias son significativamente diferentes. Con este método hay un riesgo del 5% de decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

5.2.1. Estudio de la resistencia máxima

Comenzaremos el análisis con la resistencia máxima. En primer lugar atenderemos a un estudio global por tamaños sin tener en cuenta las especies.

5.2.1.1. Comparativa de la resistencia máxima por tamaños

En este apartado del análisis se pretende determinar la igualdad o diferencias que puedan existir entre probetas grandes y pequeñas. Si observamos los valores de la Tabla 5.11, se obtiene un p-valor inferior a 0,05, de tal forma que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 5.11. Valores de verificación de la varianza

	Prueba	P-valor
Levene	18,5395	0,0000214063

En la Tabla 5.12, se puede observar que la prueba de Kruskal-Wallis ofrece un p-valor inferior a 0,05, lo que determina que existen diferencias significativas entre las medianas con un nivel del 95% de confianza.

Tabla 5.12. Prueba de Kruskal-Wallis para la resistencia máxima por tamaños

Tamaño	Tamaño Muestra	Rango Promedio
G	200	153,025
P	179	231,313

Estadístico=48,2382 **P-valor=3,77454E-12**

La representación gráfica de lo anteriormente comentado se puede observar en la Figura 5.8 en la que se representa la media de las probetas grandes y pequeñas con el intervalo de confianza.

Puesto que no coinciden se determina que existen diferencias. Esto es debido a que muchas de las probetas pequeñas no llegaban a romperse.

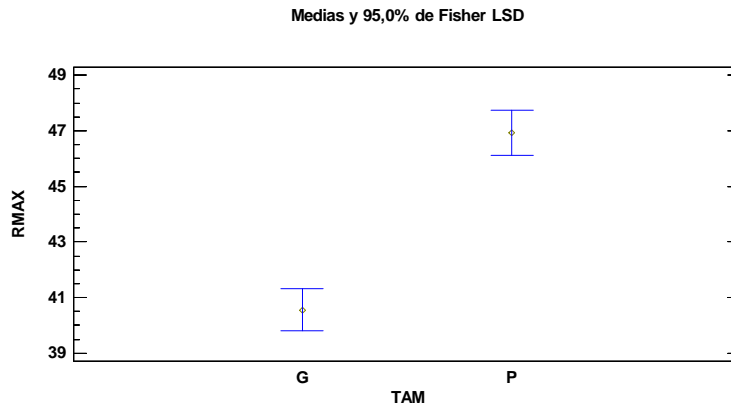


Figura 5.9. Gráfico de medias con intervalos del 95% de confianza.

La Figura 5.10 muestra una mayor variabilidad entre las probetas pequeñas.

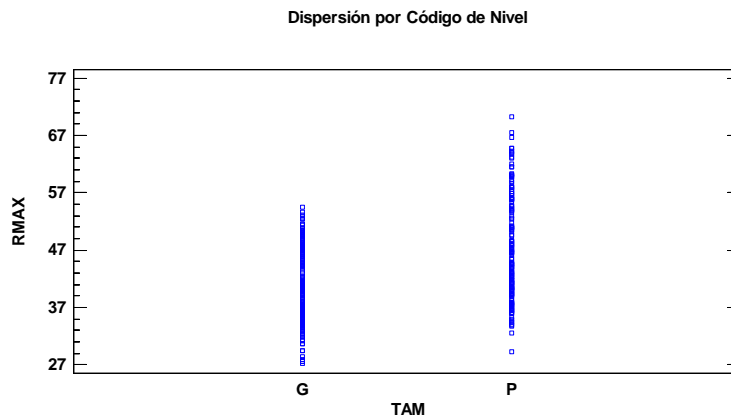


Figura 5.10. Gráfico que muestra la variabilidad que existe entre los datos de resistencia máxima en ambos tamaños

5.2.1.2. Comparación entre probetas grandes y pequeñas por especies

Se procede a ejecutar una visión global por tamaños de las cuatro especies objeto de estudio. Comenzaremos por las probetas de tamaño grande.

Tal y como muestra la Figura 5.11, los valores de la resistencia máxima de las especies *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* tienen una variabilidad superior a las otras dos especies.

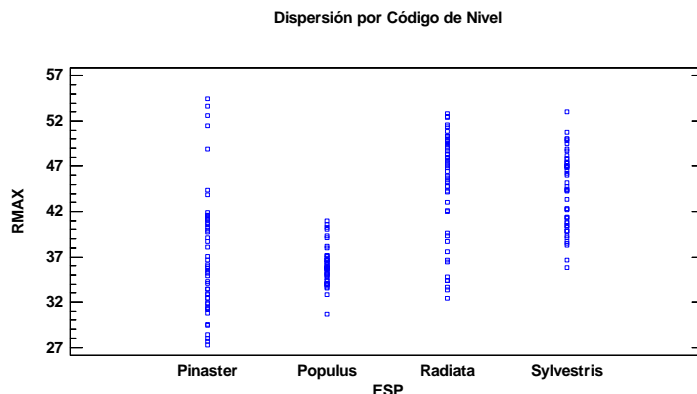


Figura 5.11. Gráfico que muestra la variabilidad que existe entre los datos de resistencia máxima de las probetas grandes de las cuatro especies estudiadas

Tabla 5.13. Prueba de Levene para los valores resistencia máxima en probetas grandes

	Prueba	P-valor
Levene	13,2729	6,34314E-8

El p-valor para la prueba de Levene es claramente inferior a 0,05, por tanto no podemos afirmar que se trate de un conjunto poblacional de varianza homogénea.

Así pues, el análisis a realizar será Kruskal-Wallis, el cual se detalla a continuación.

Tabla 5.14. Prueba de Kruskal-Wallis

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
<i>Pinus Pinaster</i>	50	71,66
<i>Populus sp</i>	49	57,98
<i>Pinus radiata</i>	50	136,25
<i>Pinus sylvestris</i>	50	136,11

Estadístico =77,4006 **P-valor=0**

La prueba de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias significativas entre las distintas poblaciones. Acudo al test de rango múltiple aún sabiendo que la prueba de Kruskal-Wallis ya me asegura las diferencias. Esta prueba representa el nivel de homogeneidad existente entre los valores de resistencia máxima para cada una de las especies. Esta prueba se realiza mediante el test LSD (Least Significant Difference) de Fisher que aparece reflejado en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Prueba de rangos múltiples

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Pinus Pinaster</i>	50	35,9337	X
<i>Populus sp</i>	49	37,3425	X
<i>Pinus radiata</i>	50	44,2179	X
<i>Pinus sylvestris</i>	50	44,6882	X

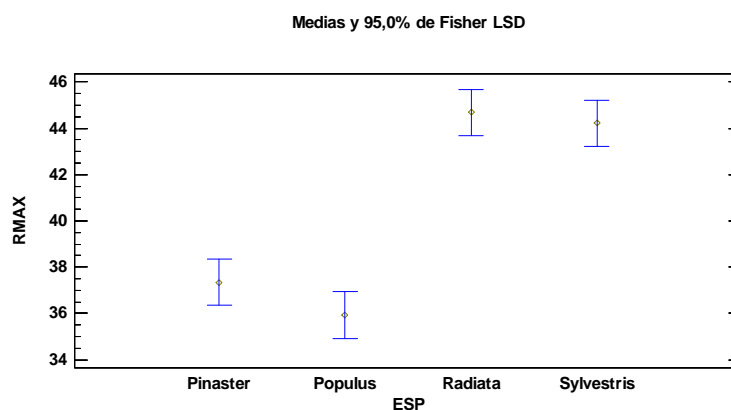


Figura 5.12. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima

La interpretación de este test se basa en la superposición de las marcas “X” en la columna de grupos homogéneos. Una superposición en las marcas “X” implica una igualdad estadística entre los grupos. Atendiendo a la Tabla 5.15 y a la Figura 5.12 podemos observar que existen dos grupos claramente diferenciados.

Una vez evaluadas las probetas de la norma ASTM (probetas grandes), se analizarán de la misma manera las probetas pequeñas.

Nuevamente las especies *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* presentan una variabilidad superior resultando especialmente llamativos los resultados de *Pinus radiata* ya que son muy dispares corroborando la heterogeneidad de la especie cuando se le somete a compresión.

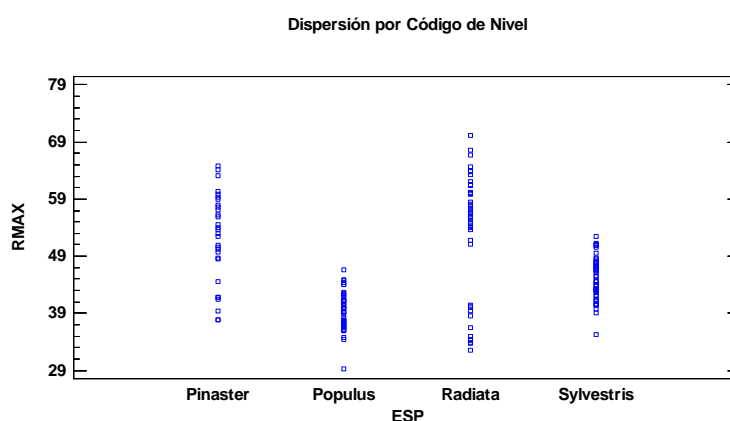


Figura 5.13. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes

Tabla 5.16. Prueba de Levene

	Prueba	P-valor
Levene	13,9482	3,39456E-8

El p-valor que resulta de la prueba de Levene es claramente inferior a 0,05. Por tanto no podemos afirmar que se trate de un conjunto poblacional de varianza homogénea.

Así pues, el análisis a realizar será Kruskal-Wallis, el cual se detalla a continuación.

Tabla 5.17. Prueba de Kruskal-Wallis

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
<i>Pinus Pinaster</i>	30	121,55
<i>Populus sp</i>	49	42,6429
<i>Pinus radiata</i>	50	119,43
<i>Pinus sylvestris</i>	50	88,05

Estadístico = 68,2502 P-valor = 0

La prueba de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias significativas entre las distintas especies.

A continuación se procede a realizar la prueba de rangos múltiples.

Tabla 5.18. Prueba de rangos múltiples

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Populus sp</i>	49	39,3108	X
<i>Pinus Sylvestris</i>	50	45,1336	X
<i>Pinus pinaster</i>	30	52,212	X
<i>Pinus radiata</i>	50	53,0246	X

Atendiendo a la prueba de rangos múltiples representada en la Tabla 5.18 cabe destacar que en este caso existe mayor disparidad en el conjunto poblacional que en el caso anterior.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

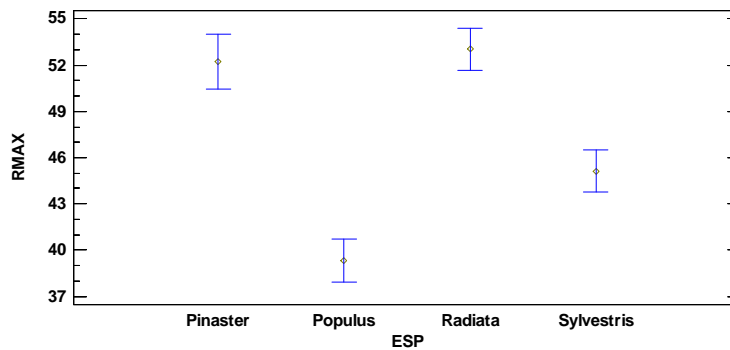


Figura 5.14. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima

5.2.1.3. Comparación por tamaños de cada especie

Este apartado trata de establecer las diferencias de comportamiento entre probetas grandes y pequeñas estudiando cada especie por separado. En el análisis general se determinó que se comportan de manera desigual según el tamaño. En primer lugar evaluaremos la especie *Pinus pinaster*

Dispersión por Código de Nivel

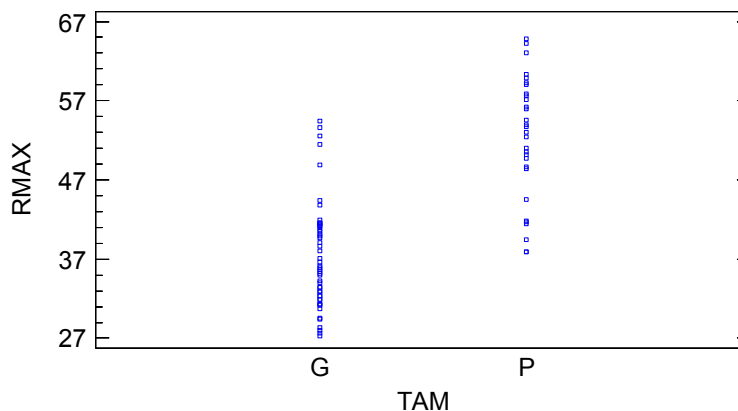


Figura 5.15. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes y pequeñas de *Pinus pinaster*

Tabla 5.19. Prueba de Levene.

	Prueba	P-Valor

Levene	0,942865	0,334544
---------------	----------	----------

Puesto que el resultado del p-valor es superior a 0,05, podemos concluir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar.

Se realiza un análisis ANOVA, Tabla 5.20, para comprobarlo.

Tabla 5.20. Valores ANOVA para valores de resistencia máxima entre probetas de *Pinus pinaster*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Entre grupos	4145,65	1	4145,65	80,47	0,0000
Intra grupos	4018,5	78	51,5192		
Total (Corr.)	8164,15	79			

La Tabla 5.20 arroja un p-valor claramente inferior a 0,05, existiendo por tanto una diferencia estadísticamente significativa entre tamaños tal y como indica la Tabla 5.21.

Tabla 5.21. Prueba de rangos múltiples

Tamaño	Casos	Media	Grupos Homogéneos
G	50	37,3425	X
P	30	52,212	X

La representación gráfica de valores medios con un intervalo de confianza del 95% se muestra en la Figura 5.16.

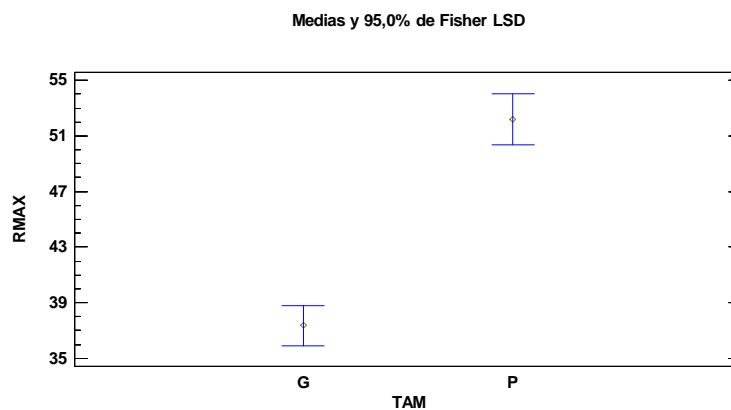


Figura 5.16. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de *Pinus pinaster*

Continuamos el análisis con la especie *Pinus sylvestris*.

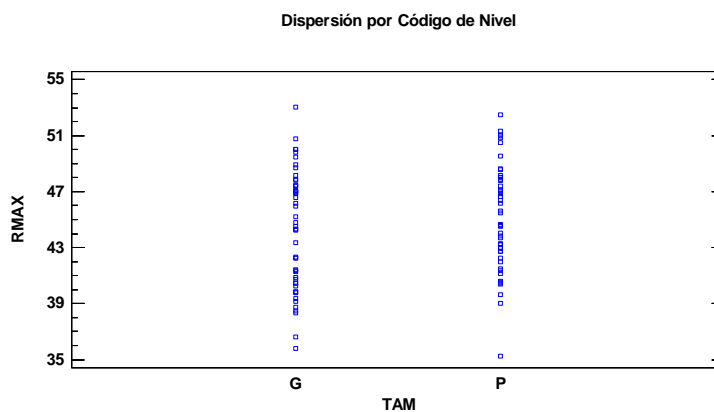


Figura 5.17. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes y pequeñas de *Pinus sylvestris*

Tabla 5.22. Prueba de Levene

	Prueba	P-Valor
Levene	1,36501	0,245506

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

Tal y como sucedía en el caso anterior se realiza el análisis ANOVA.

Tabla 5.23. Valores ANOVA para valores de resistencia máxima entre probetas de *Pinus sylvestris*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	20,9636	1	20,9636	1,34	0,2500
Intra grupos	1533,88	98	15,6518		
Total (Corr.)	1554,84	99			

El p-valor es superior a 0.05 por lo que efectivamente se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de resistencia máxima entre tamaños, con un nivel del 95,0% de confianza.

El test de rango múltiple, Tabla 5.24, y la Figura 5.18 corroboran que no existen diferencias.

Tabla 5.24. Prueba de rangos múltiples

Tamaño	Casos	Media	Grupos Homogéneos
G	50	44,2179	X
P	50	45,1336	X

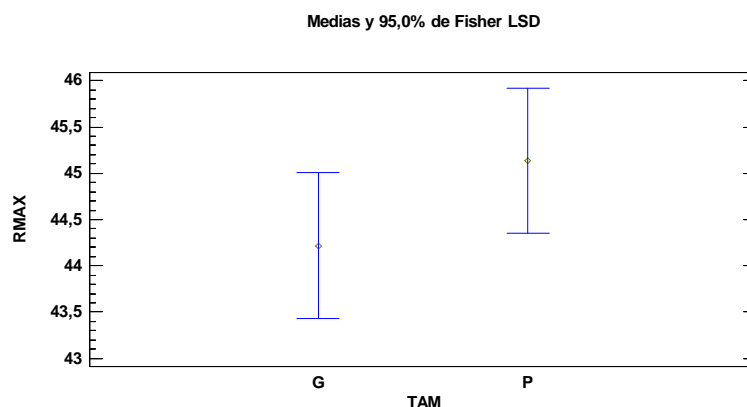


Figura 5.18. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de *Pinus sylvestris*

El análisis de *Pinus radiata* es el que se presenta a continuación.

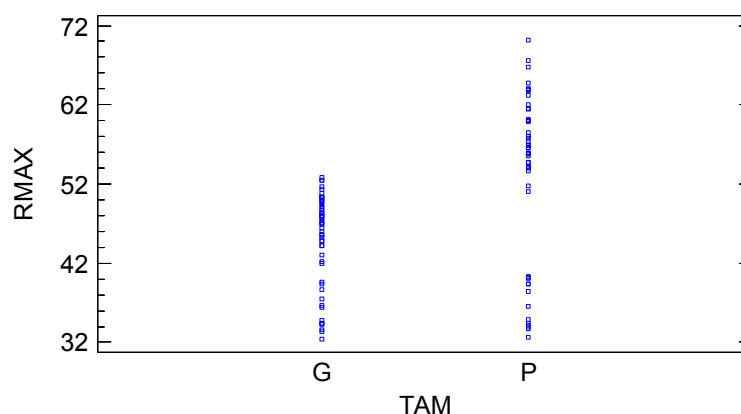


Figura 5.19. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes y pequeñas de *Pinus radiata*

Tabla 5.25. Prueba de Levene

	Prueba	P-Valor
Levene	6,59904	0,0117115

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

A continuación, en la Tabla 5.26 se detalla el análisis de Kruskal-Wallis. El p-valor se sitúa por debajo de 0,05 por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos.

Tabla 5.26. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Tamaño	Tamaño Muestra	Rango Promedio
G	50	36,6
P	50	64,4

Estadístico = 22,9558 **P-Valor = 0,00000165772**

Se ve reflejada esa diferencia en la Figura 5.20 ya que los intervalos de confianza no coinciden.

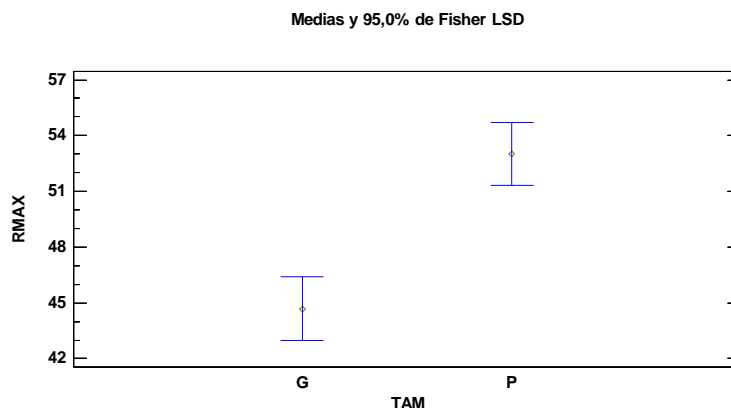


Figura 5.20. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de *Pinus radiata*

Por último se analiza la especie **Populus sp**

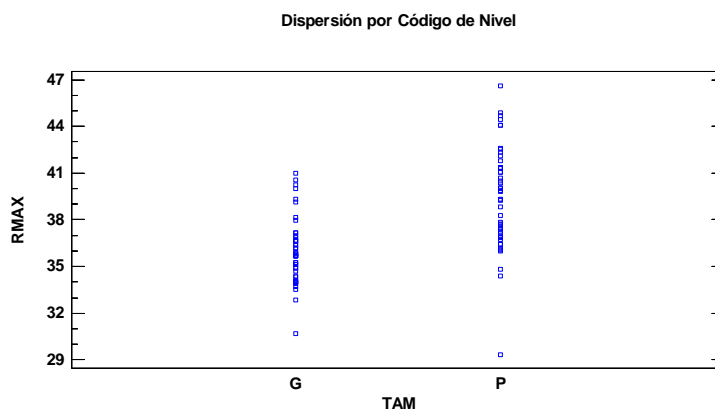


Figura 5.21. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de resistencia máxima de las probetas grandes y pequeñas de *Populus sp*

Tabla 5.27. Valores de verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	10,4937	0,00164113

Puesto que el p-valor es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar.

Así pues, el análisis a realizar será Kruskal-Wallis, el cual se detalla a continuación.

Tabla 5.28. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Tamaño	Tamaño Muestra	Rango Promedio
G	50	33,32
P	49	67,0204

Estadístico = 34,0685 P-Valor = 5,32065E-9

La Tabla 5.28 arroja un p-valor muy inferior a 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza ya que el p-valor es inferior a 0,05

En la Figura 5.22 se aprecia como los intervalos de confianza no coinciden, es decir, los resultados obtenidos para probetas grandes y pequeñas no son semejantes.

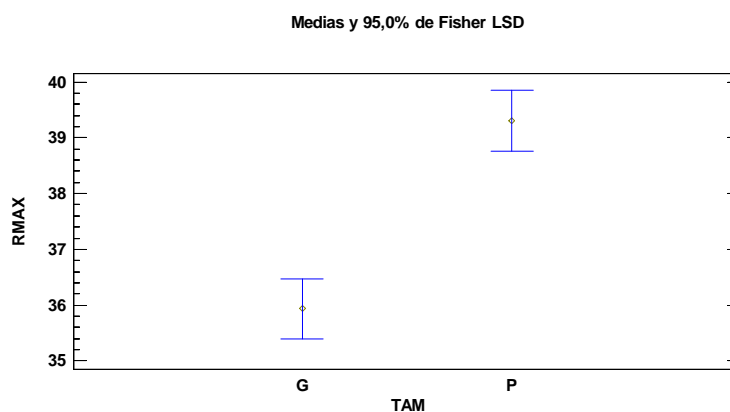


Figura 5.22. Gráfico de medias con 95% de confianza para la resistencia máxima de *Populus sp*

5.2.2. Estudio del módulo de elasticidad

Una vez concluido el análisis de la resistencia máxima, se procederá a estudiar el módulo de elasticidad entre las distintas especies y tamaños siguiendo las mismas pautas que en el análisis anterior.

5.2.2.1. Comparativa módulo de elasticidad por tamaños

Tabla 5.29. Valores de verificación de la varianza.

	Prueba	P-Valor
Levene	5,27083	0,0222339

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

En la Tabla 5.30, se puede observar que la prueba de Kruskal-Wallis ofrece un p-valor inferior a 0,05, lo que determina que existen diferencias significativas entre las medianas con un nivel del 95% de confianza

Tabla 5.30. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Tamaño	Tamaño Muestra	Rango Promedio
G	200	210,435
P	178	167,168

Estadístico = 14,7341 **P-Valor = 0,000123788**

La representación gráfica de lo anteriormente comentado se puede observar en la Figura 5.23 en la que se representa la media con el intervalo de confianza. Puesto que estos no coinciden se determina que existen diferencias.

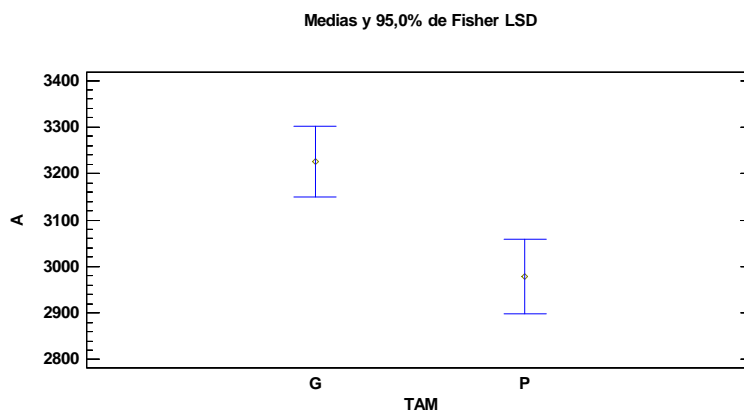


Figura 5.23. Gráfico de medias con 95% de confianza para de módulo de elasticidad por tamaños

La variabilidad es similar en ambos tamaños siendo algo mayor en las probetas pequeñas tal y como sucedía con la resistencia máxima. Se ve reflejado en la Figura 5.24.

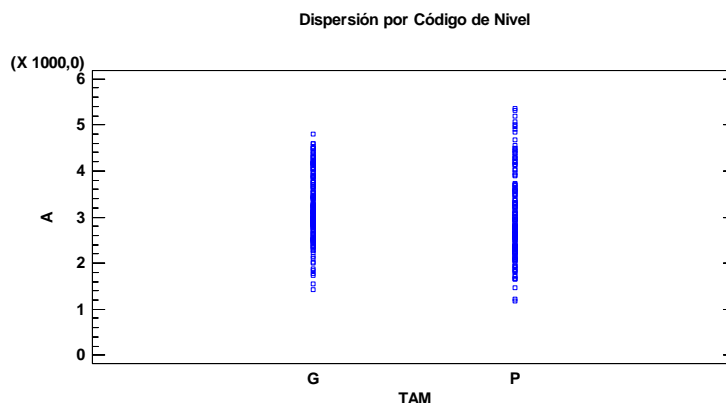


Figura 5.24. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de módulo de elasticidad comparando probetas grandes y pequeñas sin diferenciar especies

5.2.2.2. Comparación entre probetas grandes y pequeñas por especies

Se procede a ejecutar una visión general por tamaños de las cuatro especies objeto de estudio. Comenzaremos por las probetas de tamaño grande.

Tal y como muestra la Figura 5.25, el módulo de elasticidad de la especie *Pinus pinaster* es el que presenta los datos con mayor disparidad.

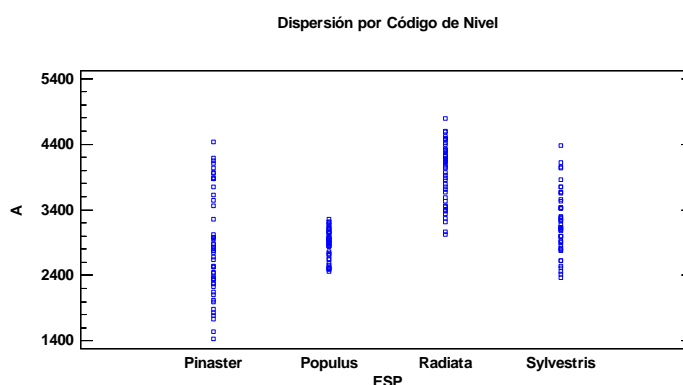


Figura 5.25. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de módulo de elasticidad comparando las probetas de tamaño grande

Tabla 5.31. Valores de verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	17,2162	5,78888E-10

El p-valor para la prueba de Levene es claramente inferior a 0,05 por tanto no podemos afirmar que se trate de un conjunto poblacional de varianza homogénea.

Así pues, el análisis a realizar será Kruskal-Wallis.

Tabla 5.32. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
<i>Pinus pinaster</i>	50	68,68
<i>Populus sp</i>	49	69,56
<i>Pinus radiata</i>	50	163,1
<i>Pinus sylvestris</i>	50	100,66

Estadístico = 87,8893 **P-Valor = 0**

La prueba de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias significativas entre las distintas especies ya que el p-valor se encuentra por debajo de 0,05.

El test de rango múltiple LSD, representado en la Tabla 5.33, establecerá las diferencias y similitudes entre las cuatro especies.

Tabla 5.33. Prueba de rangos múltiples

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Pinus pinaster</i>	50	2845,65	X
<i>Populus sp</i>	49	2884,13	X
<i>Pinus sylvestris</i>	50	3192,88	X
<i>Pinus radiata</i>	50	3979,16	X

Fijándonos en la Tabla 5.33 y en la Figura 5.26 se determina que las especies *Pinus pinaster* y *Populus sp* presentan un módulo de elasticidad muy similar diferenciándose de las otras dos especies, las cuales tampoco presentan relación entre ellas.

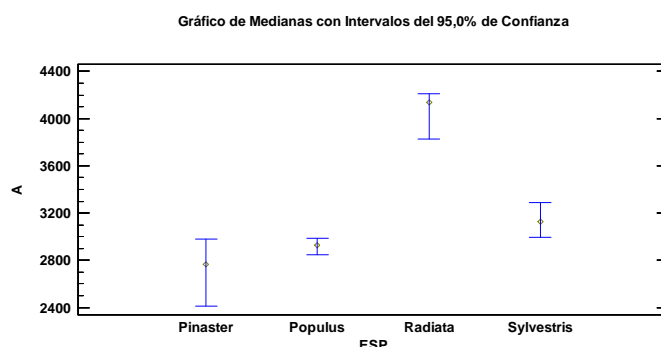


Figura 5.26. Gráfico de medias con 95% de confianza para el módulo de elasticidad de las probetas grandes de las cuatro especies objeto de estudio

A continuación serán las probetas de tamaño pequeño las que se analizarán.

La Figura 5.27 indica que las especies *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* presentan una variabilidad superior tal y como ocurría con las probetas grandes.

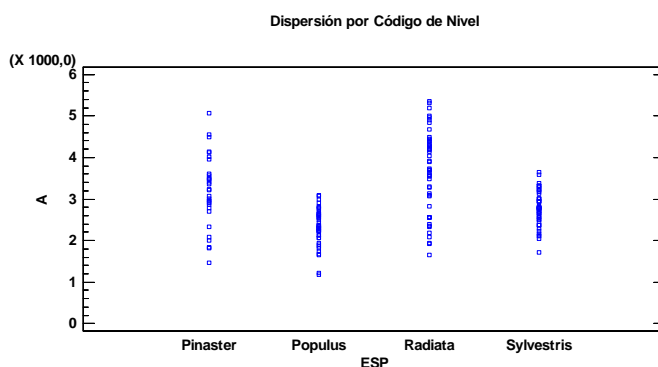


Figura 5.27. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores de módulo de elasticidad comparando las probetas de tamaño pequeño

Tabla 5.34. Valores de la verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	16,0588	2,88512E-9

El p-valor que se extrae de la Tabla 5.34 es inferior a 0,05, por tanto no podemos afirmar que se trate de un conjunto poblacional de varianza homogénea.

Así pues, el análisis a realizar será Kruskal-Wallis (Tabla 5.35).

Tabla 5.35. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
<i>Pinus pinaster</i>	30	106,9330
<i>Populus sp</i>	49	48,2449
<i>Pinus radiata</i>	50	126,8400
<i>Pinus sylvestris</i>	50	83,9200

Estadístico = 60,9835 **P-Valor = 0**

La prueba de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias significativas entre las especies.

Atendiendo a la prueba de rangos múltiples representada en la Tabla 5.36 y la Figura 5.28 podemos concluir que todas las especies son diferentes unas de otras.

Tabla 5.36. Prueba de rangos múltiples

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Populus sp</i>	49	2333,33	X
<i>Pinus sylvestris</i>	50	2778,07	X
<i>Pinus pinaster</i>	30	3196,70	X
<i>Pinus radiata</i>	50	3681,74	X

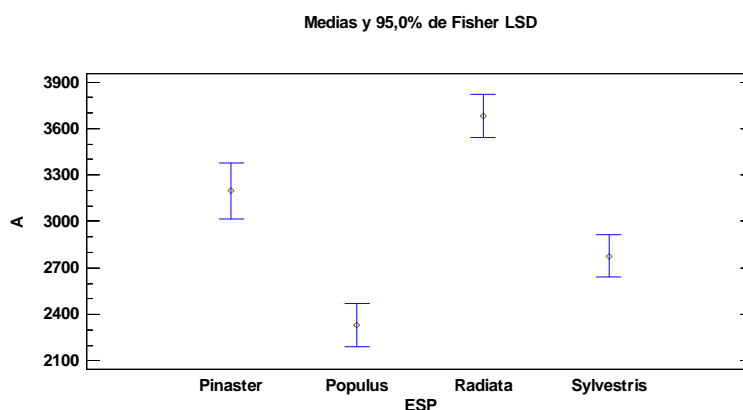


Figura 5.28. Gráfico de medias con 95% de confianza para el módulo de elasticidad de las probetas pequeñas de las cuatro especies objeto de estudio.

5.2.2.3. Comparación por tamaños de cada especie

Este apartado trata de establecer las diferencias de comportamiento entre probetas grandes y pequeñas estudiando cada especie por separado. En el análisis general se determinó que se comportan de manera desigual según el tamaño. En primer lugar evaluaremos la especie *Pinus pinaster*

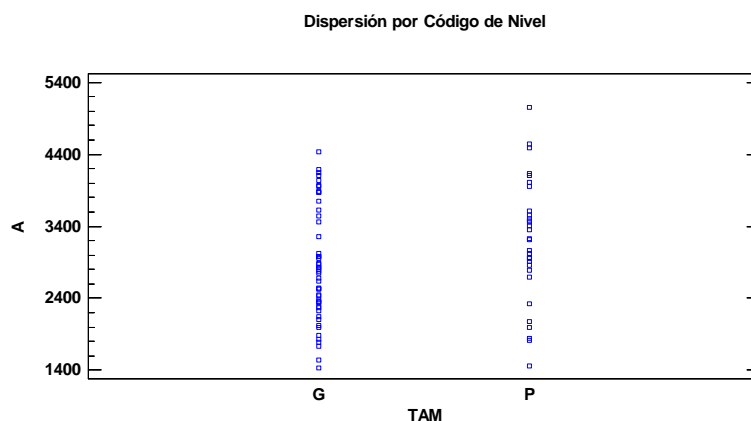


Figura 5.29. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores del módulo de elasticidad de las probetas grandes y pequeñas de *Pinus pinaster*.

Tabla 5.37. Valores de verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	0,0551213	0,814995

Puesto que el resultado del p-valor es superior a 0,05, podemos concluir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar.

Se realiza un análisis ANOVA, Tabla 5.38, para comprobarlo.

Tabla 5.38. Valores ANOVA para valores del módulo de elasticidad entre probetas de *Pinus pinaster*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Entre grupos	2,31064E6	1	2,31064E6	3,47	0,0663
Intra grupos	5,19734E7	78	666326,		
Total (Corr.)	5,42841E7	79			

La Tabla arroja un p-valor ligeramente superior a 0,05, no existiendo por tanto una diferencia estadísticamente significativa entre la media del módulo de elasticidad entre probetas grandes y pequeñas, con un nivel del 95,0% de confianza.

La prueba de rangos múltiples corrobora lo mencionado anteriormente.

Tabla 5.39. Prueba de rangos múltiples

Tamaño	Casos	Media	Grupos Homogéneos
G	50	2845,65	X
P	30	3196,7	X

En la Figura 5.30 se observa como los límites de confianza llegan a coincidir mínimamente. De ahí que no se pueda establecer una diferencia estadísticamente significativa.

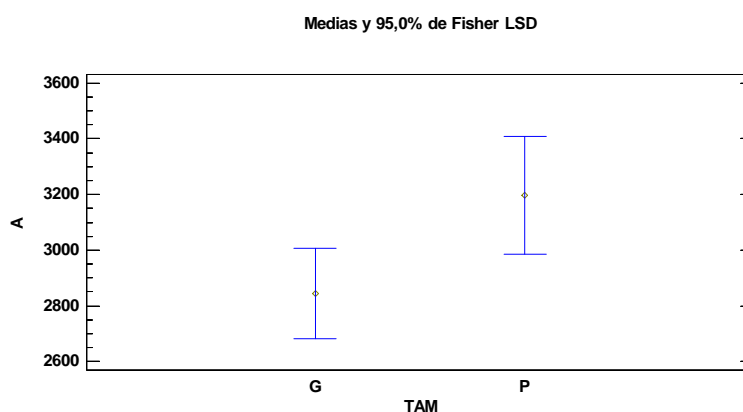


Figura 5.30. Gráfico de medias con 95% de confianza para el módulo de elasticidad de *Pinus pinaster*

Continuamos el análisis con la especie *Pinus sylvestris*.

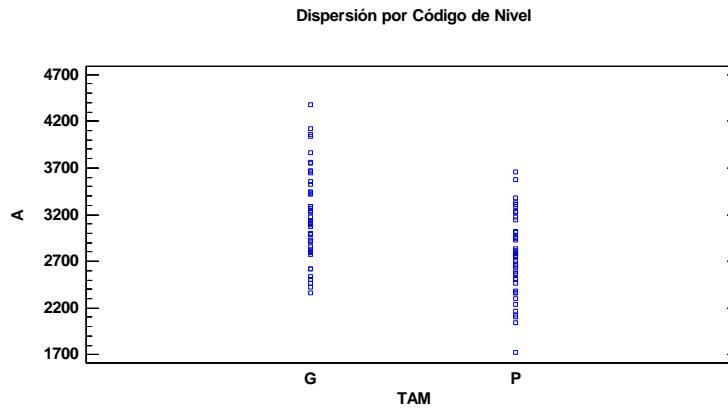


Figura 5.31. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores del módulo de elasticidad de las probetas grandes y pequeñas de *Pinus sylvestris*

Tabla 5.40. Valores de la verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	0,418734	0,519082

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

Se realiza el correspondiente análisis ANOVA que se muestra en la Tabla 5.30.

Tabla 5.30. Valores ANOVA para valores del módulo de elasticidad entre probetas de *Pinus sylvestris*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4,30166E6	1	4,30166E6	22,26	0,0000
Intra grupos	1,89361E7	98	193225,		
Total (Corr.)	2,32377E7	99			

El p-valor es menor que 0.05, esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del módulo de elasticidad entre una norma y otra, con un nivel del 95,0% de confianza. En la siguiente tabla se expresan los resultados de manera gráfica mediante la prueba de rangos múltiples.

Tabla 5.31. Prueba de rangos múltiples

Tamaño	Casos	Media	Grupos Homogéneos
P	50	2778,07	X
G	50	3192,88	X

En la prueba de rangos múltiples y en la Figura 5.32 podemos apreciar que no existe homogeneidad entre los valores correspondientes a los distintos tamaños.

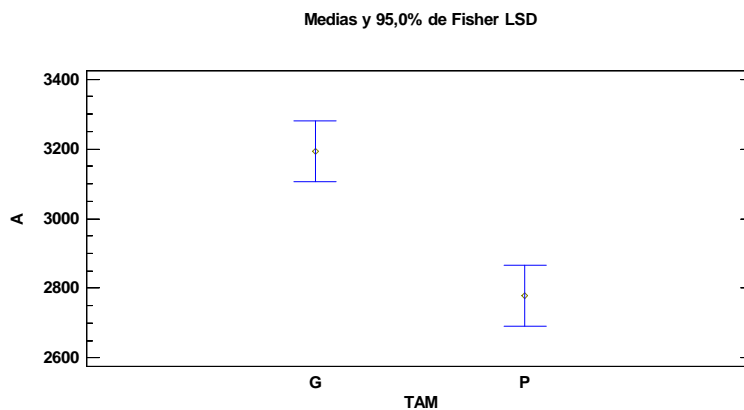


Figura 5.32. Gráfico de medias con 95% de confianza para la el módulo de elasticidad de *Pinus sylvestris*

El análisis de *Pinus radiata* es el que se presenta a continuación.

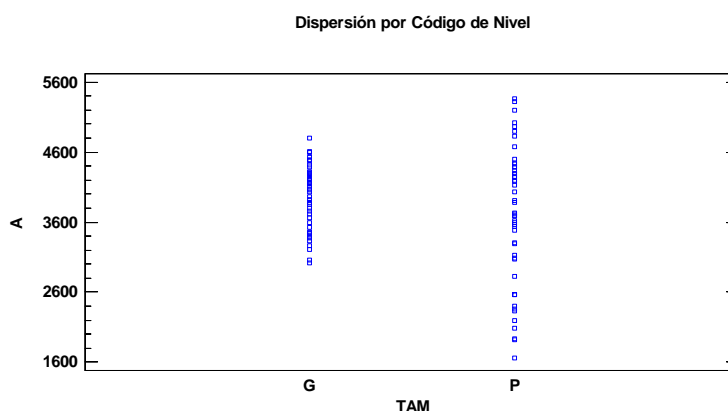


Figura 5.33. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores del módulo de elasticidad de las probetas grandes y pequeñas de *Pinus radiata*

Tabla 5.32. Valores de verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	23,0569	0,00000565013

La prueba de verificación de la varianza, Tabla 5.32, muestra un p-valor inferior a 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa. Se ha de realizar la prueba de Kruskal-Wallis reflejada en la Tabla 5.33

Tabla 5.33. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Tamaño	Tamaño Muestra	Rango Promedio
G	50	54,06
P	50	46,94

Estadístico = 1,50577 **P-Valor = 0,219782**

El p-valor se sitúa en un valor superior a 0,05, lo cual quiere decir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas.

La Figura 5.34 demuestra esa diferencia ya que los límites de confianza, aunque mínimamente, llegan a coincidir.

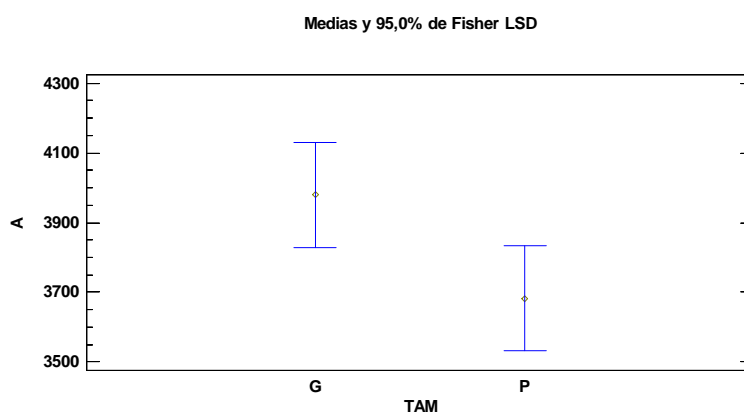


Figura 5.34. Gráfico de medias con 95% de confianza para el módulo de elasticidad de *Pinus radiata*

Por último se analiza la especie **Populus sp.**

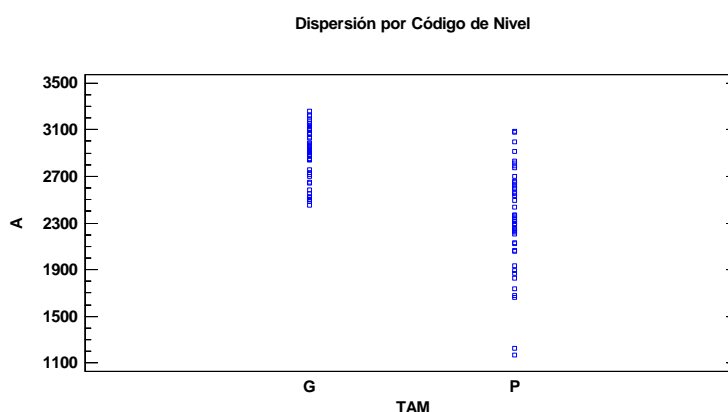


Figura 5.35. Gráfico que muestra la variabilidad entre los valores del módulo de elasticidad de las probetas grandes y pequeñas de *Populus sp*

Tabla 5.34. Valores de verificación de la varianza

	Prueba	P-Valor
Levene	9,64647	0,00248801

Tal y como se observa en la Tabla 5.34 el p-valor vuelve a estar por debajo de 0,05. Se realiza por lo tanto la prueba de Kruskal-Wallis

Tabla 5.35. Valores de la prueba de Kruskal-Wallis

Tamaño	Tamaño Muestra	Rango Promedio
G	49	68,7
P	49	30,9184

Estadístico = 42,8192 **P-Valor = 6,00405E-11**

El p-valor es inferior a 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los dos tamaños tal y como se refleja en la Figura 5.36

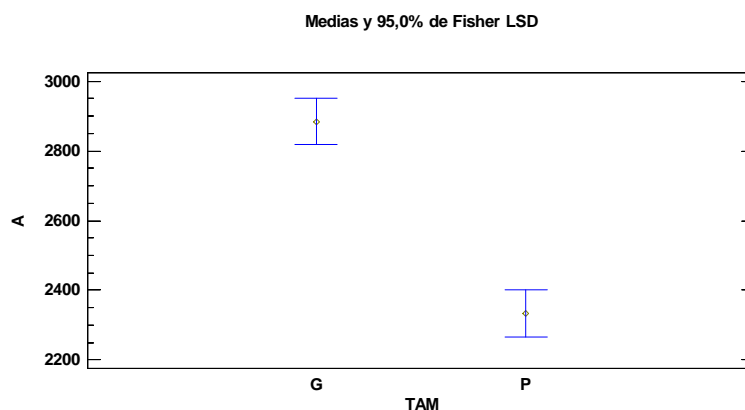


Figura 5.36. Gráfico de medias con 95% de confianza para el módulo de elasticidad de *Populus sp*

5.3. Correlación entre resistencia máxima y módulo de elasticidad

Este apartado trata de establecer las relaciones entre los valores obtenidos de resistencia máxima y módulo de elasticidad diferenciando probetas grandes y pequeñas y una relación global superponiendo las rectas de regresión. Para ello analizaremos las siguientes relaciones:

- Resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Grande")
- Resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Pequeño")
- Resistencia máxima-módulo elasticidad

Mediante el análisis de las regresiones simples entre los distintos ensayos obtendremos datos relevantes sobre las similitudes y diferencias más significativas.

Para finalizar se realizará un Modelo Lineal Generalizado en el que se introducirá la variable especie con el fin de ajustar más el modelo y mejorarlo.

5.3.1. Resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Grande")

En primer lugar analizaremos la relación existente entre el ensayo de la resistencia máxima y el módulo de elasticidad para probetas grandes. En la Figura 5.37 se muestra la recta de regresión que relaciona estos dos ensayos.

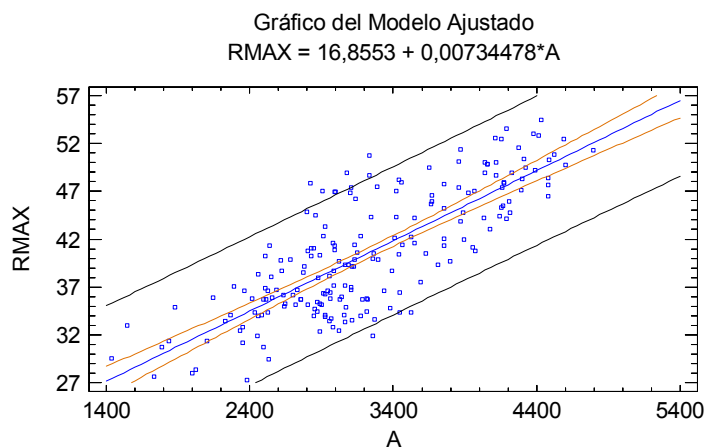


Figura 5.37. Gráfico de modelo ajustado para la relación resistencia máxima (RMAX)-módulo elasticidad (A) (Tamaño="Grande")

La recta de regresión que refleja la relación lineal existente entre estas dos variables es la siguiente:

$$R_{MAX} = 16,8553 + 0,00734478 \cdot A$$

A continuación se muestra el análisis de varianza para esta relación

Tabla 5.36. Análisis de varianza para la relación resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Grande")

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Modelo	5116,22	1	5116,22	332,67	0,0000
Residuo	3045,13	198	15,3795		
Total (Corr.)	8161,36	199			

A la vista de los valores expresados en Tabla 5.36 se concluye que dado que el p-valor es muy inferior a 0,05, existe por tanto una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95%.

Los valores que se desprenden de la relación de regresión son los siguientes

$$R\text{-cuadrado (ajustado para g.l.)} = 62,5\%$$

$$\text{Coeficiente de Correlación} = 0,79176$$

El valor de R-cuadrado nos indica que el modelo de regresión propuesto representa el 62,5% de la variabilidad total de la muestra.

El coeficiente de correlación, con un valor de 0,79176 denota una similitud no muy elevada entre ambos ensayos.

5.3.2. Resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Pequeño")

Procedemos al análisis de la relación existente entre el ensayo de la resistencia máxima y el módulo de elasticidad para probetas pequeñas. En la Figura 5.38 se muestra la recta de regresión que relaciona estos dos ensayos.

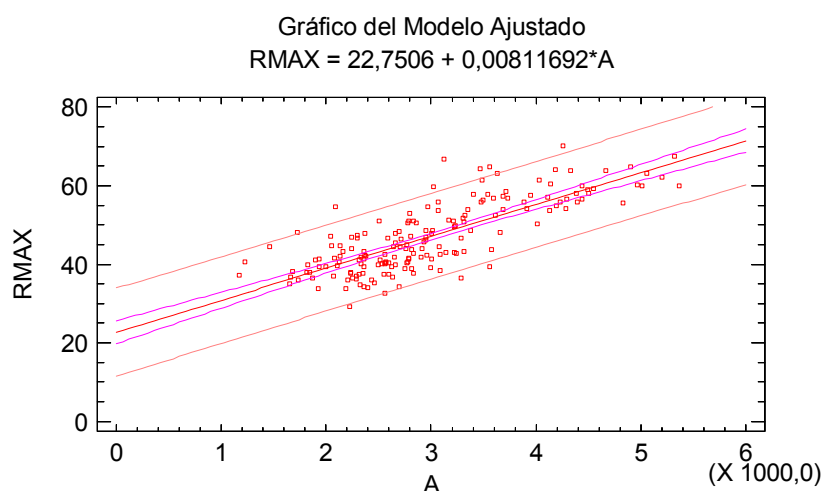


Figura 5.38. Gráfico de modelo ajustado para la relación resistencia máxima (RMAX)-módulo elasticidad (A) (Tamaño="Pequeño")

La recta de regresión que refleja la relación lineal existente entre estas dos variables es la siguiente:

A continuación se muestra la recta de regresión para estas dos variables:

$$R_{MAX} = 22,7506 + 0,00811692 \cdot A$$

El análisis de varianza para esta relación se detalla en la Tabla 5.37.

Tabla 5.37. Análisis de varianza para la relación resistencia máxima-módulo elasticidad (Tamaño="Pequeño")

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Modelo	8812,11	1	8812,11	292,74	0,0000
Residuo	5327,99	177	30,1017		
Total (Corr.)	14140,1	178			

A la vista de los valores expresados en tabla de análisis de varianza podemos decir que dado que el p-valor es igual a 0. Por tanto existe una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95%.

Los valores que se desprenden de la relación de regresión son los siguientes:

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 62,1071%

Coefficiente de Correlación = 0,78943

El valor de R-cuadrado nos indica que el modelo de regresión propuesto representa el 62,1071% de la variabilidad total de la muestra.

El coeficiente de correlación, con un valor de 0,78943 denota una similitud no muy elevada entre ambos ensayos.

5.3.3. Resistencia máxima-módulo elasticidad

En el siguiente gráfico aparecen las rectas de regresión pertenecientes a las probetas grandes y pequeñas.

Gráfica del Modelo Ajustado

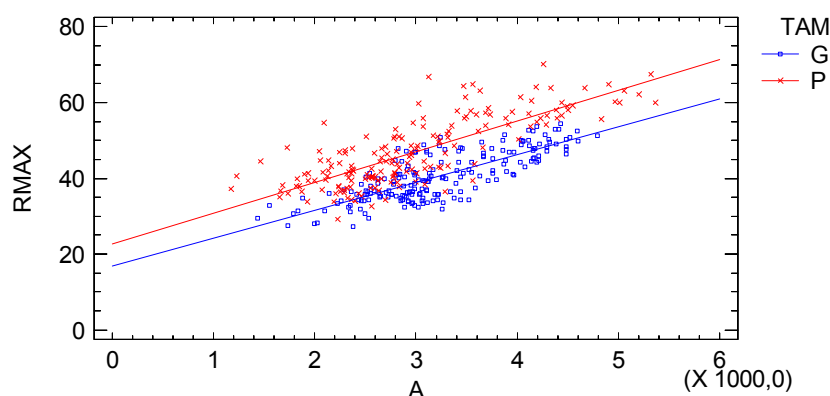


Figura 5.39. Gráfico de modelo ajustado para la relación resistencia máxima (RMAX)-módulo de elasticidad (A) entre probetas grandes (G) y pequeñas (P)

Cabe destacar que las rectas no son paralelas por lo que se concluye que existen diferencias significativas entre las respuestas de probetas grandes y pequeñas.

La ecuación de la recta de regresión es la siguiente:

$$R_{MAX} = 16,8553 + 0,00734478 \cdot A + 5,89527 \cdot (TAM=P) + 0,000772139 \cdot A \cdot (TAM=P)$$

en donde los términos similares a TAM=P son variables indicadoras las que toman el valor de 1 si son verdaderas ó 0 si son falsas. Esto corresponde a 2 líneas separadas, una para cada valor de TAM.

Por ejemplo, cuando TAM=G, el modelo se reduce a

$$R_{MAX} = 16,8553 + 0,00734478 \cdot A$$

Cuando TAM=P, el modelo se reduce a

$$R_{MAX} = 22,7506 + 0,00811692 \cdot A$$

A continuación se muestra el análisis de varianza para esta relación

Tabla 5.38. Análisis de varianza para la relación resistencia máxima-módulo elasticidad

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Modelo	17778,8	3	5926,25	265,41	0,0000
Residuo	8373,13	375	22,3283		
Total (Corr.)	26151,9	378			

La Tabla arroja un p-valor muy inferior a 0,05 por lo que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95,0%.

Los valores que se desprenden de la relación de regresión son los siguientes:

$$R\text{-Cuadrada (ajustada por g.l)} = 67,72\%$$

El valor de R-cuadrado nos indica que el modelo de regresión propuesto explica el 67,72% de la variabilidad total de la muestra.

5.3.4 Modelos Lineales Generalizados

Una vez realizadas las líneas de regresión, introducimos la variable especie con el fin de ajustar más el modelo y mejorarlo.

La ecuación del de la recta de regresión es la siguiente:

$$R_{MAX} = 20,2963 - 4,18159 \cdot I1(1) + 1,11644 \cdot I2(1) - 2,42951 \cdot I2(2) - 0,4532 \cdot I2(3) + 0,00757438 \cdot A$$

en donde

$$I1(1) = 1 \text{ si TAM=G, } -1 \text{ si TAM=P, } 0 \text{ de lo contrario}$$

$$I2(1) = 1 \text{ si ESP=Pinaster, } -1 \text{ si ESP=Sylvestris, } 0 \text{ de lo contrario}$$

$$I2(2) = 1 \text{ si ESP=Populus, } -1 \text{ si ESP=Sylvestris, } 0 \text{ de lo contrario}$$

$$I2(3) = 1 \text{ si ESP=Radiata, } -1 \text{ si ESP=Sylvestris, } 0 \text{ de lo contrario}$$

A continuación se muestra el análisis de varianza para esta relación.

Tabla 5.39. Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Modelo	18748,7	5	3749,75	188,93	0,0000
Residuo	7403,13	373	19,8475		
Total (Corr.)	26151,9	378			

Tabla 5.40. Suma de cuadrados tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
Tamaño	6260,48	1	6260,48	315,43	0,0000
Espesie	1003,08	3	334,359	16,85	0,0000
Módulo elasticidad (A)	8505,97	1	8505,97	428,57	0,0000
Residuo	7403,13	373	19,8475		
Total (corregido)	26151,9	378			

Los valores que se desprenden de la relación de regresión son los siguientes:

R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 71,3123%

El porcentaje de la R-Cuadrada aumenta aproximadamente en un 10%. El modelo se ha mejorado.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

- Analizando los valores de resistencia máxima y módulo de elasticidad se obtiene que *Pinus radiata* es la especie que presenta los valores más elevados para ambos parámetros y *Populus* sp los más bajos.
- En los ensayos llevados a cabo mediante la norma UNE, la resistencia a la compresión es superior en comparación a la norma ASTM. Esto podría deberse a que la máquina de ensayo en numerosas ocasiones no llega a romper la probeta sino que la aplasta debido a su escaso tamaño. En el análisis del módulo de elasticidad se observa que ocurre lo contrario. La recta de regresión resistencia máxima-módulo de elasticidad corrobora que las respuestas ante el esfuerzo de compresión de probetas grandes y pequeñas son diferentes.
- En la norma ASTM, la resistencia a la compresión de *Pinus radiata* y *Pinus sylvestris* es similar diferenciándose de las otras dos especies. En la norma UNE, *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* tienen un comportamiento parecido. Las otras dos especies difieren de las anteriores y no presentan relación entre ellas.
- En la norma ASTM, el módulo de elasticidad de *Pinus pinaster* y *Populus* sp es muy similar. Las otras dos especies difieren de las anteriores y no presentan relación entre ellas. Para la norma UNE, todas las especies son diferentes unas de otras.
- Existen claras diferencias para la resistencia a compresión entre norma UNE y norma ASTM evaluando cada especie por separado, excepto para *Pinus sylvestris*. Atendiendo al módulo de elasticidad existen diferencias para las especies *Pinus sylvestris* y *Populus* sp.
- Existe una relación estadísticamente significativa entre las variables resistencia máxima y módulo de elasticidad tanto en las probetas grandes como en las pequeñas aunque con un coeficiente de correlación de 0,79 lo que denota una similitud no muy elevada entre ambos ensayos.
- Para las relaciones entre resistencia máxima y módulo de elasticidad incorporando la especie como factor categórico observamos un aumento de R-cuadrado en un 10%. Estos resultados dejan de manifiesto una clara influencia de la especie sobre ambos parámetros.

7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

Casado Sanz, M. y Acuña Rello, L. (2000). La madera en la construcción. Universidad de Valladolid, E.T.S. Ingenierías Agrarias de Palencia, Instituto Tecnológico Agrario y Agroalimentario Itagra C.T., Palencia.

García Esteban, L., Guindeo Casasús, A., Peraza Oramas, C. y de Palacios, P. (2003). La madera y su anatomía: anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular. Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Jiménez Peris, F. J. (1999). La madera: propiedades básicas. Ed. GET Grupo Estudios Técnicos.

López González, G. A. (2007). Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares. Ed Mundi-Prensa

Vignote-Peña, S. y Martínez Rojas, I. (2006). Tecnología de la madera. 3ª ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Vignote-Peña, S., Jiménez-Peris, F., Morales Méndez, E. y Gómez Pérez, C. (2000). Tecnología de la madera en la construcción arquitectónica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Mundi-Prensa.

Páginas web

- <https://tecnologiadelosmateriales1.files.wordpress.com/2010/08/propiedades-de-la-madera.pdf>

8. ANEXOS

8. ANEXOS

8.1. Datos de los ensayos

8.1.1. Dimensiones de las probetas

Tabla 8.1. Dimensiones de las probetas

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
1	1	G	150,4	41,9	42,5
2	1	G	150,4	41,7	42,2
3	1	G	150,3	42,6	42,5
4	1	G	150,9	42,2	42,3
5	1	G	150,1	42,1	42,4
6	1	G	150,4	42,6	42,7
7	1	G	150,5	42,3	42,2
8	1	G	150,7	42,2	42,1
9	1	G	150,6	42,2	41,9
10	1	G	150,4	42,3	42,6
11	1	G	150,7	42,3	42,5
12	1	G	150,9	42,1	42,6
13	1	G	150,2	41,3	42,5
14	1	G	150,3	42,3	42,2
15	1	G	150,4	42,6	42,4
16	1	G	150,6	42,1	42,2
17	1	G	150,6	42,2	42,2
18	1	G	150,5	41,9	41,3
19	1	G	150,2	41,9	42,2
20	1	G	150,2	42,4	42,5
21	1	G	149,9	42,4	42,7
22	1	G	150,5	41,6	41,9
23	1	G	150,1	42,1	42,3
24	1	G	150,3	42,5	42,2
25	1	G	150,4	42,7	42,4
26	1	G	150,3	41,9	42,1
27	1	G	150,3	42,2	41,6
28	1	G	150,1	42,3	42,4
29	1	G	150,3	42,6	42,6
30	1	G	149,9	42,1	42,5
31	1	G	150,3	42,2	42,5
32	1	G	151,1	42,6	41,6
33	1	G	150,2	42,4	42,2
34	1	G	150,4	42,3	42,2
35	1	G	150,4	41,5	41,5
36	1	G	150,2	42,2	42,7
37	1	G	150,1	42,4	41,9
38	1	G	150,3	42,3	42,2
39	1	G	150,7	42,2	42,3
40	1	G	150,6	41,7	41,8

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
41	1	G	150,1	42,3	42,5
42	1	G	150,4	42,4	42,4
43	1	G	150,1	42,3	42,5
44	1	G	150,3	42,5	42,5
45	1	G	149,7	42,1	42,1
46	1	G	150,3	42,4	42,4
47	1	G	150,6	41,1	41,1
48	1	G	150,3	41,9	42,1
49	1	G	150,3	42,4	41,7
50	1	G	150,3	42,6	42,4
1	1	P	62,2	20,2	20,2
2	1	P	61,5	19,9	20,1
3	1	P	61,7	20,2	20,1
4	1	P	61,7	20,1	19,9
5	1	P	61,7	20,2	20,3
6	1	P	61,4	20,1	20,3
7	1	P	62,8	20,4	19,9
8	1	P	62,0	20,1	20,0
9	1	P	61,9	20,3	20,0
10	1	P	61,4	21,1	20,3
11	1	P	61,7	19,8	19,8
12	1	P	61,7	20,3	20,3
13	1	P	61,6	20,0	20,2
14	1	P	61,9	20,3	19,9
15	1	P	61,8	20,1	20,3
16	1	P	62,0	20,0	20,0
17	1	P	61,7	19,9	20,1
18	1	P	61,7	20,1	20,3
19	1	P	61,9	19,7	20,2
20	1	P	61,8	20,2	19,7
21	1	P	61,7	20,0	20,1
22	1	P	61,9	20,2	19,9
23	1	P	61,7	20,2	19,9
24	1	P	61,8	20,0	19,9
25	1	P	61,6	21,1	20,0
26	1	P	60,6	21,2	20,0
27	1	P	62,3	20,2	21,3
28	1	P	62,0	19,9	20,3
29	1	P	61,9	20,9	20,0
30	1	P	62,4	20,3	21,2
1	2	G	146,9	45,7	45,5
2	2	G	147,1	45,2	45,9
3	2	G	148,6	45,7	45,5
4	2	G	146,8	45,8	45,5
5	2	G	147,2	45,5	45,2
6	2	G	147,1	45,4	45,3

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
7	2	G	149,2	45,4	45,7
8	2	G	146,9	45,3	45,9
9	2	G	147,3	45,4	45,7
10	2	G	146,4	45,0	45,9
11	2	G	147,2	45,5	45,0
12	2	G	145,5	45,7	45,5
13	2	G	147,0	45,4	45,2
14	2	G	147,2	45,7	45,4
15	2	G	147,3	45,5	45,8
16	2	G	147,5	45,5	45,5
17	2	G	147,4	45,3	45,9
18	2	G	146,9	45,5	45,1
19	2	G	147,1	45,0	45,8
20	2	G	147,1	45,7	45,2
21	2	G	147,7	45,5	45,7
22	2	G	148,9	45,5	45,5
23	2	G	147,8	45,8	45,9
24	2	G	146,6	45,4	45,9
25	2	G	146,0	45,9	45,5
26	2	G	147,3	45,8	45,9
27	2	G	147,3	45,8	45,9
28	2	G	145,3	45,8	45,5
29	2	G	149,1	45,1	44,7
30	2	G	146,3	44,7	44,9
31	2	G	146,8	45,6	45,9
32	2	G	146,9	46,0	46,3
33	2	G	149,1	45,0	44,2
34	2	G	146,0	45,4	45,7
35	2	G	150,0	44,6	45,0
36	2	G	149,6	45,3	45,3
37	2	G	147,5	45,3	45,9
38	2	G	150,4	43,3	43,5
39	2	G	146,2	45,5	45,8
40	2	G	147,2	45,5	46,0
41	2	G	147,9	45,7	45,0
42	2	G	145,0	43,9	44,2
43	2	G	146,0	45,7	45,0
44	2	G	148,5	43,9	44,5
45	2	G	148,5	45,1	45,7
46	2	G	146,4	43,9	44,8
47	2	G	147,1	45,1	45,0
48	2	G	146,5	44,5	44,2
49	2	G	146,8	43,9	44,0
50	2	G	152,1	44,8	45,1
1	2	P	59,6	19,9	20,1
2	2	P	61,3	20,0	20,1

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
3	2	P	61,6	20,2	20,1
4	2	P	62,1	20,2	20,2
5	2	P	60,8	19,9	19,8
6	2	P	61,0	20,1	20,0
7	2	P	63,2	19,8	20,1
8	2	P	62,1	20,1	19,9
9	2	P	63,9	20,3	20,1
10	2	P	63,8	20,0	19,9
11	2	P	66,3	19,9	20,1
12	2	P	61,6	19,9	20,1
13	2	P	64,1	20,2	20,2
14	2	P	64,1	20,2	20,2
15	2	P	59,2	20,3	20,1
16	2	P	61,7	20,0	20,1
17	2	P	63,3	20,3	20,2
18	2	P	63,1	20,2	20,2
19	2	P	60,7	20,3	20,1
20	2	P	62,4	20,2	20,3
21	2	P	62,6	20,3	20,2
22	2	P	62,2	20,0	20,3
23	2	P	65,8	20,1	19,9
24	2	P	66,7	20,0	19,9
25	2	P	64,5	20,0	20,2
26	2	P	61,0	20,1	20,1
27	2	P	59,5	20,1	19,8
28	2	P	60,9	20,1	20,2
29	2	P	63,7	20,2	20,4
30	2	P	62,0	20,1	20,3
31	2	P	62,7	20,1	20,0
32	2	P	63,5	20,1	20,0
33	2	P	61,3	19,9	20,1
34	2	P	60,3	20,2	19,9
35	2	P	62,0	20,0	20,2
36	2	P	65,7	20,3	20,1
37	2	P	62,2	20,1	20,3
38	2	P	62,2	20,0	20,0
39	2	P	62,0	20,2	20,1
40	2	P	62,2	20,0	20,0
41	2	P	61,2	20,0	19,9
42	2	P	62,8	20,0	20,2
43	2	P	61,3	20,1	20,2
44	2	P	59,7	20,2	19,9
45	2	P	61,1	20,1	19,9
46	2	P	63,1	20,2	20,3
47	2	P	61,9	20,0	20,0
48	2	P	62,5	20,2	20,2

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
49	2	P	61,2	20,2	20,0
50	2	P	59,4	20,1	20,0
1	3	G	140,6	43,9	44,3
2	3	G	146,8	45,4	44,7
3	3	G	142,1	44,5	44,7
4	3	G	139,3	44,3	44,2
5	3	G	145,5	45,5	44,7
6	3	G	145,9	43,3	44,4
7	3	G	146,8	44,4	44,7
8	3	G	145,0	43,8	44,2
9	3	G	146,9	44,7	44,7
10	3	G	142,1	44,7	44,7
11	3	G	137,5	44,5	44,7
12	3	G	142,8	44,7	44,2
13	3	G	140,8	43,8	44,4
14	3	G	138,6	44,0	44,5
15	3	G	144,0	44,7	44,7
16	3	G	145,8	44,7	44,6
17	3	G	143,8	44,2	44,3
18	3	G	149,4	44,2	44,4
19	3	G	147,1	44,7	44,6
20	3	G	145,3	44,4	44,1
21	3	G	147,1	44,8	45,0
22	3	G	140,2	44,2	44,0
23	3	G	141,7	44,5	45,3
24	3	G	145,5	44,4	44,5
25	3	G	147,7	44,6	45,0
26	3	G	141,1	44,6	44,6
27	3	G	143,7	43,3	44,0
28	3	G	141,2	44,9	44,4
29	3	G	147,1	44,7	45,2
30	3	G	139,7	44,7	44,8
31	3	G	142,7	44,6	44,5
32	3	G	139,4	45,0	44,7
33	3	G	145,4	44,5	44,4
34	3	G	145,5	44,2	44,5
35	3	G	137,8	44,9	44,8
36	3	G	147,0	44,7	44,2
37	3	G	143,0	44,7	45,0
38	3	G	141,9	45,0	44,6
39	3	G	143,1	45,0	45,3
40	3	G	143,2	45,0	45,1
41	3	G	142,9	45,2	44,6
42	3	G	144,8	44,9	45,1
43	3	G	143,5	44,7	44,9
44	3	G	147,7	44,2	45,2

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
45	3	G	147,3	44,3	44,0
46	3	G	147,3	44,5	44,0
47	3	G	148,4	45,0	44,0
48	3	G	144,7	44,1	44,4
49	3	G	149,6	45,0	44,8
50	3	G	144,4	44,2	44,3
1	3	P	61,2	19,9	20,3
2	3	P	61,3	19,9	19,8
3	3	P	60,6	20,1	20,1
4	3	P	60,4	20,2	20,1
5	3	P	61,5	20,3	19,9
6	3	P	61,3	20,1	20,0
7	3	P	60,3	20,2	20,2
8	3	P	60,3	20,1	20,0
9	3	P	60,4	20,2	19,9
10	3	P	60,5	20,0	19,9
11	3	P	60,6	20,2	19,6
12	3	P	61,1	20,3	20,0
13	3	P	61,0	19,7	20,2
14	3	P	61,7	20,2	20,4
15	3	P	61,7	20,2	20,2
16	3	P	61,9	20,2	19,6
17	3	P	61,1	20,0	20,0
18	3	P	60,0	19,8	20,2
19	3	P	61,1	19,9	20,0
20	3	P	59,8	20,2	19,7
21	3	P	59,5	20,5	20,0
22	3	P	59,6	19,9	19,9
23	3	P	61,9	20,1	19,9
24	3	P	61,3	20,1	20,0
25	3	P	64,3	20,2	19,7
26	3	P	61,5	20,1	19,5
27	3	P	61,4	19,7	20,0
28	3	P	61,1	20,1	19,9
29	3	P	61,4	20,1	19,4
30	3	P	61,5	19,7	20,3
31	3	P	60,4	20,0	20,0
32	3	P	61,5	20,1	19,7
33	3	P	60,1	20,2	19,7
34	3	P	62,7	20,0	20,1
35	3	P	63,5	20,3	20,1
36	3	P	64,4	20,1	20,1
37	3	P	65,0	20,3	19,6
38	3	P	60,5	20,2	20,2
39	3	P	62,2	19,8	20,0
40	3	P	59,5	19,8	20,3

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
41	3	P	61,8	20,0	20,4
42	3	P	63,3	19,7	20,1
43	3	P	62,9	20,0	20,1
44	3	P	62,5	20,2	20,1
45	3	P	61,3	20,2	20,3
46	3	P	60,3	20,2	20,2
47	3	P	60,0	20,0	20,4
48	3	P	62,2	20,0	20,2
49	3	P	61,4	20,0	19,9
50	3	P	60,7	19,9	20,1
1	4	G	150,3	45,6	45,8
2	4	G	150,5	45,5	45,7
3	4	G	150,9	45,8	45,9
4	4	G	150,9	45,7	44,9
5	4	G	150,4	45,8	45,5
6	4	G	150,2	45,7	46,0
7	4	G	151,9	45,5	45,7
8	4	G	150,4	46,0	45,7
9	4	G	149,7	45,8	45,9
10	4	G	151,0	45,8	45,7
11	4	G	150,8	45,5	45,8
12	4	G	151,1	45,7	45,8
13	4	G	150,8	45,4	45,7
14	4	G	150,7	45,6	45,5
15	4	G	151,0	45,9	45,5
16	4	G	151,0	45,7	45,7
17	4	G	151,0	45,5	45,8
18	4	G	150,9	45,8	45,7
19	4	G	150,1	45,4	45,8
20	4	G	149,4	45,8	45,8
21	4	G	151,1	45,6	45,8
22	4	G	151,0	45,8	45,5
23	4	G	151,4	45,7	45,9
24	4	G	150,9	45,7	45,8
25	4	G	149,9	45,7	45,7
26	4	G	151,4	45,7	45,8
27	4	G	151,1	45,6	45,7
28	4	G	149,2	45,5	45,2
29	4	G	150,9	45,8	45,8
30	4	G	151,3	45,7	45,4
31	4	G	150,5	45,4	45,7
32	4	G	150,7	45,9	45,7
33	4	G	149,7	45,1	45,7
34	4	G	150,9	45,8	45,7
35	4	G	150,3	45,7	45,8
36	4	G	150,2	45,8	45,5

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
37	4	G	150,4	45,6	45,9
38	4	G	151,0	45,8	45,7
39	4	G	151,0	45,8	45,8
40	4	G	150,2	45,4	45,7
41	4	G	151,1	46,0	45,7
42	4	G	150,3	45,8	45,7
43	4	G	150,7	46,0	45,8
44	4	G	151,5	45,7	45,4
45	4	G	150,7	45,7	45,6
46	4	G	151,0	45,4	45,6
47	4	G	151,1	45,6	45,7
48	4	G	151,0	45,6	45,5
49	4	G	150,8	45,7	46,0
1	4	P	63,8	20,7	21,5
2	4	P	63,9	21,5	20,5
3	4	P	63,5	20,2	21,5
4	4	P	63,6	20,0	21,2
5	4	P	66,5	20,0	21,4
6	4	P	63,0	21,0	20,3
7	4	P	66,0	20,3	21,2
8	4	P	61,1	21,3	20,2
9	4	P	60,8	20,9	21,3
10	4	P	64,0	21,3	20,5
11	4	P	61,1	21,2	20,0
12	4	P	62,9	21,5	20,8
13	4	P	62,8	21,2	20,2
14	4	P	62,9	21,0	20,3
15	4	P	65,2	21,4	20,1
16	4	P	67,5	20,2	21,3
17	4	P	66,5	20,7	21,4
18	4	P	65,6	20,2	21,4
19	4	P	65,5	21,4	21,0
20	4	P	66,4	20,8	21,1
21	4	P	63,7	21,4	20,9
22	4	P	63,7	21,2	20,8
23	4	P	63,7	21,4	21,1
24	4	P	63,8	20,5	20,7
25	4	P	62,9	20,9	21,1
26	4	P	62,3	21,2	20,5
27	4	P	60,9	21,2	20,5
28	4	P	60,3	21,0	20,6
29	4	P	60,9	21,6	20,9
30	4	P	60,7	20,3	21,3
31	4	P	63,5	20,0	21,2
32	4	P	63,9	21,0	21,3
33	4	P	65,9	20,2	20,5

Nº	Especie	Tamaño	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
34	4	P	65,5	20,5	21,3
35	4	P	65,3	20,7	21,0
36	4	P	63,7	20,8	20,5
37	4	P	63,4	19,8	21,2
38	4	P	61,0	21,3	20,9
39	4	P	60,9	21,0	21,1
40	4	P	62,1	21,0	20,9
41	4	P	63,4	21,0	20,7
42	4	P	63,1	21,2	21,0
43	4	P	63,4	20,7	20,7
44	4	P	63,9	20,4	21,4
45	4	P	60,6	20,0	20,9
46	4	P	60,8	21,0	20,7
47	4	P	66,3	20,2	21,1
48	4	P	63,5	21,4	21,1
49	4	P	63,5	20,7	21,4

8.2.2. Valores obtenidos de los ensayos

Tabla 8.2. Valores obtenidos de los ensayos

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
1	1	G	1780,8	37,040	2289,015568
2	1	G	1759,7	48,928	4038,493788
3	1	G	1810,5	38,660	2983,533369
4	1	G	1785,1	41,554	2976,470697
5	1	G	1785,0	53,611	4191,171727
6	1	G	1819,0	32,813	2347,390701
7	1	G	1785,1	38,039	2547,390701
8	1	G	1776,6	36,145	2634,485336
9	1	G	1768,2	41,553	3549,253086
10	1	G	1802,0	41,048	2825,965806
11	1	G	1797,8	52,586	4111,817238
12	1	G	1789,2	41,910	3891,552545
13	1	G	1755,3	31,838	2452,050254
14	1	G	1785,1	44,388	4142,442025
15	1	G	1806,2	40,521	3628,370538
16	1	G	1772,4	41,396	3466,405018
17	1	G	1780,8	39,129	2777,897521
18	1	G	1730,5	32,930	1547,007171
19	1	G	1768,2	34,916	1878,828408
20	1	G	1802,0	40,210	2830,034064
21	1	G	1810,5	51,436	3872,285652
22	1	G	1743,0	41,165	3954,849606
23	1	G	1776,6	41,312	3755,101097
24	1	G	1793,5	43,857	3868,604957

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
25	1	G	1810,5	40,790	3971,061754
26	1	G	1759,8	33,413	2227,040605
27	1	G	1755,5	32,367	2890,653534
28	1	G	1793,5	35,667	2755,196838
29	1	G	1814,8	28,367	2021,974838
30	1	G	1785,0	33,418	2955,196838
31	1	G	1759,7	31,911	3256,605983
32	1	G	1772,2	31,130	2347,460108
33	1	G	1789,3	54,448	4431,818513
34	1	G	1785,1	27,631	1729,627725
35	1	G	1722,3	39,912	2685,095097
36	1	G	1801,9	29,498	1432,157478
37	1	G	1776,6	35,432	2872,599348
38	1	G	1785,1	30,719	1784,118293
39	1	G	1785,1	39,723	3021,888546
40	1	G	1743,1	34,031	2263,742668
41	1	G	1797,8	27,281	2381,147329
42	1	G	1797,8	36,591	2525,720183
43	1	G	1802,0	34,300	2431,284251
44	1	G	1806,3	31,292	1833,621605
45	1	G	1772,4	27,992	1996,128868
46	1	G	1797,8	29,391	2531,284251
47	1	G	1681,0	31,338	2100,655261
48	1	G	1759,8	35,915	2142,525373
49	1	G	1768,1	35,174	2801,037582
50	1	G	1806,2	32,410	2332,624940
1	1	P	408,0	52,990	2793,605911
2	1	P	398,0	49,700	3231,604795
3	1	P	406,0	41,490	2079,568654
4	1	P	404,0	39,440	1994,220237
5	1	P	400,0	44,530	1460,040732
6	1	P	410,1	53,720	3068,316720
7	1	P	408,0	57,620	3950,308250
8	1	P	406,0	53,990	3352,290398
9	1	P	402,0	54,600	2972,280816
10	1	P	406,0	59,010	4491,645981
11	1	P	392,0	50,220	4009,899947
12	1	P	412,1	48,440	2696,703653
13	1	P	404,0	56,230	3496,623043
14	1	P	404,0	55,930	3478,290329
15	1	P	408,0	64,210	3463,892322
16	1	P	400,0	59,810	3019,393719
17	1	P	400,0	50,580	2856,624816
18	1	P	408,0	57,900	3404,568861
19	1	P	397,9	64,820	3560,002402

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
20	1	P	397,9	37,910	1818,235075
21	1	P	402,0	50,970	3210,928293
22	1	P	402,0	60,350	4137,731889
23	1	P	406,0	59,240	4545,012494
24	1	P	406,0	41,780	2907,120164
25	1	P	398,0	63,030	5057,302777
26	1	P	392,0	41,730	2328,326793
27	1	P	400,0	48,630	2953,453924
28	1	P	402,0	37,880	1838,051761
29	1	P	404,0	57,160	4111,321522
30	1	P	396,0	52,450	3613,659651
1	2	G	2079,4	38,476	2774,702438
2	2	G	2079,4	47,399	3108,426432
3	2	G	2079,4	38,334	2460,102815
4	2	G	2083,9	47,899	2820,737993
5	2	G	2056,6	35,810	2418,583389
6	2	G	2056,6	40,851	2990,892123
7	2	G	2074,8	39,805	2618,785662
8	2	G	2093,0	41,292	2538,785662
9	2	G	2074,8	46,176	3136,568049
10	2	G	2065,5	46,845	3102,554908
11	2	G	2047,5	40,243	2509,339717
12	2	G	2079,4	43,332	2923,893214
13	2	G	2052,1	40,766	2801,634557
14	2	G	2074,8	36,610	2364,077720
15	2	G	2083,9	48,949	3075,869388
16	2	G	2070,3	46,943	2996,887829
17	2	G	2079,3	44,815	2794,663373
18	2	G	2052,1	38,716	2620,031380
19	2	G	2061,0	45,210	3755,883012
20	2	G	2065,6	45,975	3667,468674
21	2	G	2079,4	39,865	3130,582808
22	2	G	2070,3	48,686	3230,582808
23	2	G	2102,2	40,438	3439,143059
24	2	G	2083,9	39,872	3291,954832
25	2	G	2088,5	39,151	3115,268109
26	2	G	2012,2	48,181	3440,239464
27	2	G	1936,0	53,034	4376,005332
28	2	G	2083,9	47,794	3752,279700
29	2	G	2016,0	49,835	4055,680224
30	2	G	2007,0	47,507	3286,542884
31	2	G	2093,0	44,500	2855,146997
32	2	G	2139,1	47,058	2905,391607
33	2	G	1989,0	47,040	3419,529657
34	2	G	2074,8	49,487	3648,399646

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
35	2	G	2007,0	40,468	3266,374077
36	2	G	2052,1	42,251	3526,374077
37	2	G	2079,3	39,333	3090,661484
38	2	G	1883,6	46,977	2990,661484
39	2	G	2083,9	42,285	2914,544486
40	2	G	2093,0	47,387	3858,909159
41	2	G	2083,9	41,343	2990,992672
42	2	G	1940,4	44,320	3418,727484
43	2	G	2056,5	49,998	4039,321683
44	2	G	1953,6	46,552	3670,134337
45	2	G	2061,1	44,347	3246,506572
46	2	G	1966,7	49,998	4116,568233
47	2	G	2029,5	41,425	3128,647510
48	2	G	1966,9	42,300	3171,333533
49	2	G	1931,6	44,222	3551,333533
50	2	G	2020,5	50,794	3236,183872
1	2	P	400,0	48,570	3016,096002
2	2	P	402,0	43,840	2814,432313
3	2	P	406,0	39,670	2107,789566
4	2	P	408,0	41,340	3006,215112
5	2	P	394,0	48,030	1719,796736
6	2	P	402,0	40,440	2766,651328
7	2	P	398,0	48,160	3657,315109
8	2	P	400,0	47,880	2663,287758
9	2	P	408,0	43,230	2162,289314
10	2	P	398,0	44,530	2637,918750
11	2	P	400,0	42,940	3142,669822
12	2	P	400,0	47,800	3007,724956
13	2	P	406,0	51,060	2787,796038
14	2	P	406,0	50,860	3309,526075
15	2	P	408,0	40,550	2780,337534
16	2	P	402,0	43,190	3311,512697
17	2	P	410,1	40,400	2566,719286
18	2	P	408,0	44,060	2763,641221
19	2	P	408,0	46,850	2238,825717
20	2	P	410,1	45,620	2929,737241
21	2	P	410,1	35,270	2464,076652
22	2	P	406,0	47,840	2366,282891
23	2	P	400,0	43,720	3579,355030
24	2	P	398,0	42,740	3236,404081
25	2	P	404,0	50,480	2779,431186
26	2	P	404,0	42,990	3221,659760
27	2	P	398,0	46,630	3284,984049
28	2	P	406,0	42,760	2834,436742
29	2	P	412,1	47,060	2800,931061

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
30	2	P	408,0	46,980	2951,921542
31	2	P	402,0	51,300	3170,835097
32	2	P	402,0	46,140	2946,176751
33	2	P	400,0	47,410	2298,493319
34	2	P	402,0	39,010	2749,656171
35	2	P	404,0	40,630	2567,463409
36	2	P	408,0	49,560	3220,934071
37	2	P	408,0	48,650	3377,740932
38	2	P	400,0	44,590	2700,472453
39	2	P	406,0	44,650	2128,036657
40	2	P	400,0	43,280	2363,371998
41	2	P	380,0	45,460	2660,797485
42	2	P	406,0	41,160	2514,681671
43	2	P	403,0	46,390	2710,631761
44	2	P	402,0	42,230	2956,815620
45	2	P	400,0	42,010	2378,623283
46	2	P	410,1	47,110	2041,299478
47	2	P	400,0	52,520	3324,636790
48	2	P	408,0	46,620	2589,310757
49	2	P	404,0	50,970	2505,852916
50	2	P	402,0	41,500	2787,863651
1	3	G	1944,8	52,443	4154,035678
2	3	G	2074,8	45,319	4153,706766
3	3	G	1989,2	46,870	3924,390929
4	3	G	1958,1	50,382	4311,864577
5	3	G	2033,9	50,302	4486,905301
6	3	G	1922,5	34,350	3524,591532
7	3	G	1984,7	39,349	3714,043087
8	3	G	1936,0	43,031	4076,520560
9	3	G	1998,1	47,953	4173,808172
10	3	G	1998,1	34,350	3444,649999
11	3	G	1989,2	44,176	4191,137207
12	3	G	1975,7	33,303	3064,780731
13	3	G	1944,7	45,954	4210,623132
14	3	G	1958,0	32,454	3018,835126
15	3	G	1998,1	49,757	4601,833343
16	3	G	1993,6	49,511	4323,003508
17	3	G	1971,3	50,846	4523,043786
18	3	G	1962,5	47,935	3454,902425
19	3	G	1993,6	50,091	3855,479593
20	3	G	1958,0	34,393	3214,698787
21	3	G	2016,0	48,690	4117,608414
22	3	G	1944,8	52,868	4416,756611
23	3	G	2015,9	47,009	3967,072643
24	3	G	1975,8	51,588	4276,188395

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
25	3	G	2007,0	47,868	4169,719113
26	3	G	1989,2	48,364	4482,058703
27	3	G	1922,5	51,339	4793,653170
28	3	G	1993,6	47,369	4158,161816
29	3	G	2020,4	48,958	4223,721967
30	3	G	2002,6	44,778	4216,935342
31	3	G	1984,7	36,401	3443,630114
32	3	G	2011,5	33,639	3267,478029
33	3	G	1975,8	48,300	4298,905399
34	3	G	1966,9	47,696	4482,653533
35	3	G	2011,5	44,253	4034,616970
36	3	G	1975,7	46,467	4481,326489
37	3	G	2011,5	36,610	3336,470467
38	3	G	2007,0	45,501	4168,793921
39	3	G	2038,5	45,675	3663,107032
40	3	G	2029,5	49,883	4055,526634
41	3	G	2015,9	42,013	3755,083996
42	3	G	2025,0	47,143	4294,499418
43	3	G	2007,0	42,148	3408,177868
44	3	G	1997,8	37,520	3587,871552
45	3	G	1949,2	39,656	3793,783690
46	3	G	1958,0	34,753	3379,513005
47	3	G	1980,0	49,180	4389,693739
48	3	G	1958,0	38,719	3393,362177
49	3	G	2016,0	44,747	3886,674438
50	3	G	1958,1	52,508	4591,968461
1	3	P	404,0	51,730	3305,749548
2	3	P	394,0	55,880	3884,783166
3	3	P	404,0	61,450	3488,300795
4	3	P	406,0	57,830	3540,216460
5	3	P	404,0	36,510	3287,425910
6	3	P	402,0	32,590	2559,637257
7	3	P	408,0	33,760	2191,527205
8	3	P	402,0	34,170	2394,884000
9	3	P	402,0	55,900	4232,939326
10	3	P	398,0	67,580	5316,979836
11	3	P	395,9	61,520	4032,304879
12	3	P	406,0	34,360	2358,708902
13	3	P	397,9	60,070	5013,538264
14	3	P	412,1	38,460	3087,552843
15	3	P	408,0	33,900	1922,855627
16	3	P	395,9	55,580	4833,663596
17	3	P	400,0	70,230	4257,342886
18	3	P	400,0	64,040	4182,349414
19	3	P	398,0	51,050	2828,671120

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
20	3	P	397,9	54,270	4288,449187
21	3	P	410,0	56,590	4435,509189
22	3	P	396,0	58,060	4388,175722
23	3	P	400,0	55,780	3069,926512
24	3	P	402,0	40,200	2336,070961
25	3	P	397,9	58,530	3716,886366
26	3	P	392,0	60,110	4964,772863
27	3	P	394,0	56,850	3735,606103
28	3	P	400,0	66,700	3125,606103
29	3	P	389,9	64,700	4899,978937
30	3	P	399,9	58,000	4500,362100
31	3	P	400,0	63,820	4332,516591
32	3	P	396,0	56,560	4295,615504
33	3	P	397,9	56,940	3595,615504
34	3	P	402,0	62,030	5201,086162
35	3	P	408,0	40,350	2562,830147
36	3	P	404,0	40,090	2563,799328
37	3	P	397,9	53,990	3688,928913
38	3	P	408,0	39,350	3560,211345
39	3	P	396,0	54,770	4193,345231
40	3	P	401,9	59,960	5365,210232
41	3	P	408,0	57,260	3686,838591
42	3	P	396,0	54,150	3911,387234
43	3	P	402,0	63,890	4670,376841
44	3	P	406,0	59,850	4442,639542
45	3	P	410,1	39,390	1936,990982
46	3	P	408,0	34,920	1653,198775
47	3	P	408,0	53,660	4133,070101
48	3	P	404,0	55,950	4395,107044
49	3	P	398,0	54,670	2090,171333
50	3	P	400,0	63,230	3627,105277
1	4	G	2088,5	37,178	2986,914498
2	4	G	2079,4	34,018	3057,135275
3	4	G	2102,2	33,973	3172,143277
4	4	G	2051,9	33,874	2925,062803
5	4	G	2070,3	35,791	3215,205332
6	4	G	2102,2	37,176	3061,453106
7	4	G	2079,4	32,824	2982,115606
8	4	G	2102,2	37,004	3107,824567
9	4	G	2102,2	34,387	2869,857831
10	4	G	2093,1	33,509	3113,586390
11	4	G	2083,9	33,984	2455,943646
12	4	G	2093,1	34,908	3068,881635
13	4	G	2074,8	35,668	3030,249733
14	4	G	2074,8	40,276	2887,869048

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
15	4	G	2088,5	36,664	2728,908611
16	4	G	2088,5	34,080	2483,807467
17	4	G	2083,9	36,654	2584,515988
18	4	G	2093,1	35,281	2646,845970
19	4	G	2079,3	30,681	2497,654682
20	4	G	2097,6	36,690	3105,229147
21	4	G	2088,5	34,691	2850,154934
22	4	G	2083,9	34,008	2848,831738
23	4	G	2097,6	35,246	2886,725107
24	4	G	2093,1	35,898	2554,195778
25	4	G	2088,5	36,151	2702,770599
26	4	G	2093,1	39,156	3124,014076
27	4	G	2083,9	35,680	2497,718380
28	4	G	2056,6	35,131	2900,926707
29	4	G	2097,6	35,794	2960,477833
30	4	G	2074,8	34,963	2638,793342
31	4	G	2074,8	35,656	2514,716059
32	4	G	2097,6	37,948	2878,427360
33	4	G	2061,1	36,828	2505,394508
34	4	G	2093,1	35,138	2719,353806
35	4	G	2093,1	40,002	3257,232123
36	4	G	2083,9	36,604	2943,830840
37	4	G	2093,0	35,929	3037,007137
38	4	G	2093,1	36,353	2912,991595
39	4	G	2097,6	34,071	2926,643338
40	4	G	2074,8	35,710	3221,676835
41	4	G	2102,2	34,328	2527,859535
42	4	G	2093,1	35,672	3187,910423
43	4	G	2106,8	35,655	2756,139519
44	4	G	2074,8	40,578	3151,517678
45	4	G	2083,9	38,184	2953,893480
46	4	G	2070,2	33,689	2968,264163
47	4	G	2083,9	39,341	3063,709312
48	4	G	2074,8	41,020	2842,918623
49	4	G	2102,2	36,200	2927,394977
1	4	P	445,1	34,420	2699,101368
2	4	P	434,3	37,420	2600,135472
3	4	P	424,0	41,320	2363,786365
4	4	P	428,0	36,710	2633,616286
5	4	P	426,3	40,500	2124,292645
6	4	P	430,4	42,610	3084,395141
7	4	P	430,3	39,900	2661,724083
8	4	P	445,2	40,360	2595,186323
9	4	P	436,7	34,810	2327,179863
10	4	P	424,0	37,500	2551,785440

Nº	Especie	Tamaño	Superficie (mm ²)	Resistencia máxima (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
11	4	P	447,2	37,420	2314,566636
12	4	P	428,2	41,770	2650,132466
13	4	P	426,3	39,260	2993,835166
14	4	P	430,1	39,850	2495,969761
15	4	P	430,3	40,710	1225,843395
16	4	P	443,0	37,080	2285,110039
17	4	P	432,3	36,050	2206,761555
18	4	P	449,4	37,600	2832,252419
19	4	P	438,9	36,420	2254,795454
20	4	P	447,3	37,720	2236,969566
21	4	P	441,0	36,110	1732,723391
22	4	P	541,5	35,970	2436,649761
23	4	P	424,4	44,420	3075,251694
24	4	P	441,0	41,050	2315,153437
25	4	P	434,6	42,520	2555,821166
26	4	P	434,6	41,370	2789,702747
27	4	P	432,6	39,310	2360,725122
28	4	P	451,4	39,280	2620,493659
29	4	P	432,4	40,060	2536,666146
30	4	P	424,0	38,860	2810,472590
31	4	P	447,3	46,590	2292,296308
32	4	P	414,1	44,880	2772,632198
33	4	P	436,7	44,060	2909,802776
34	4	P	434,7	36,850	1660,429529
35	4	P	426,4	37,210	1171,055516
36	4	P	419,8	44,680	2053,784585
37	4	P	445,2	41,370	1933,430551
38	4	P	443,1	42,350	2366,393752
39	4	P	438,9	36,910	2065,045769
40	4	P	434,7	41,040	1895,366855
41	4	P	445,2	44,090	2243,458112
42	4	P	428,5	37,830	2230,592537
43	4	P	436,6	36,160	2289,546557
44	4	P	418,0	40,000	1823,279078
45	4	P	434,7	38,260	1682,220452
46	4	P	426,2	42,080	2132,001625
47	4	P	451,5	36,440	1867,273536
48	4	P	443,0	37,730	2348,176504
49	4	P	434,7	29,320	2225,515163

8.2. Aceptación normalidad

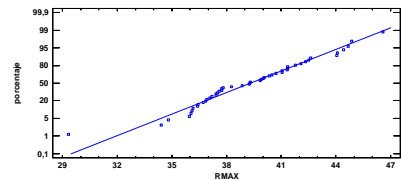
8.2.1. Resistencia máxima

Tabla 8.3. Pruebas de normalidad para los valores de resistencia máxima de la norma ASTM

Norma	Esp	Prueba normalidad	P-valor	Gráfico probabilidad normal	
Norma ASTM	1	Sesgo Estandarizado	2,38524	0,0040242	
		Curtosis Estandarizada	0,558931		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,925058		
	2	Sesgo Estandarizado	-0,143866	0,144182	
		Curtosis Estandarizada	-1,40008		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,959142		
	3	Sesgo Estandarizado	-2,05914	0,0000811	
		Curtosis Estandarizada	-1,04238		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,888978		
	4	Sesgo Estandarizado	1,61155	0,0598347	
		Curtosis Estandarizada	1,14987		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,950309		

Tabla 8.4. Pruebas de normalidad para los valores de resistencia máxima de la norma UNE

Norma	Esp	Prueba normalidad	P-valor	Gráfico probabilidad normal	
Norma UNE	1	Sesgo Estandarizado	-0,831169	0,171375	
		Curtosis Estandarizada	-0,860564		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,947653		
	2	Sesgo Estandarizado	-0,38912	0,700783	
		Curtosis Estandarizada	-0,426908		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,97925		
	3	Sesgo Estandarizado	-2,0417	0,0000121	
		Curtosis Estandarizada	-1,03704		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,870927		

Norma	Esp	Prueba normalidad	P-valor	Gráfico probabilidad normal
	4	Sesgo Estandarizado	-0,461615	
		Curtosis Estandarizada	1,0707	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,974991	

8.2.2. Módulo de elasticidad

Tabla 8.5. Pruebas de normalidad para los valores del módulo de elasticidad de la norma ASTM

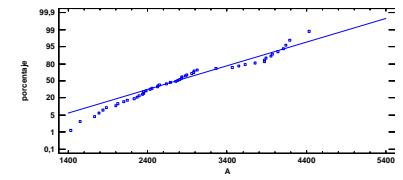
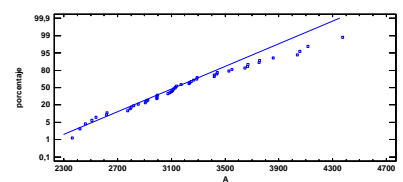
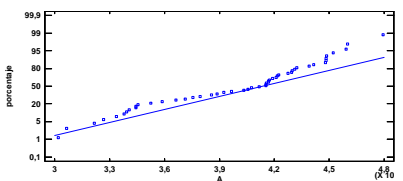
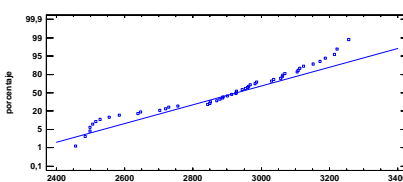
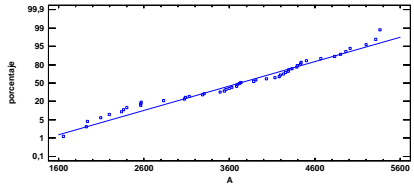
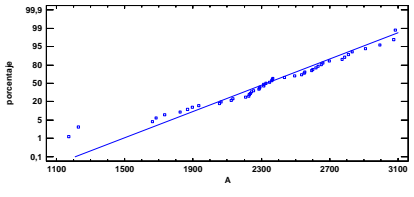
Norma	Esp	Prueba normalidad	P-valor	Gráfico probabilidad normal
Norma ASTM	1	Sesgo Estandarizado	0,941307	
		Curtosis Estandarizada	-1,26527	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,943895	
	2	Sesgo Estandarizado	1,23539	
		Curtosis Estandarizada	-0,111341	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,971027	
	3	Sesgo Estandarizado	-1,29503	
		Curtosis Estandarizada	-1,14036	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,940709	
	4	Sesgo Estandarizado	-1,2452	
		Curtosis Estandarizada	-1,19579	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,928133	

Tabla 8.6. Pruebas de normalidad para los valores del módulo de elasticidad de la norma UNE

Norma	Esp	Prueba normalidad	P-valor	Gráfico probabilidad normal
Norma UNE	1	Sesgo Estandarizado	0,0790208	
		Curtosis Estandarizada	-0,206318	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,980982	
	2	Sesgo Estandarizado	-0,452763	
		Curtosis Estandarizada	-0,162858	
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,9857	

Norma	Esp	Prueba normalidad		P-valor	Gráfico probabilidad normal
	3	Sesgo Estandarizado	-0,911569	0,0861212	
		Curtosis Estandarizada	-1,10678		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,953894		
	4	Sesgo Estandarizado	-1,82713	0,158668	
		Curtosis Estandarizada	0,998933		
		Shapiro-Wilk	Estadístico 0,959714		