

Algunas propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la *Acacia melanoxylon*

El presente artículo muestra los resultados obtenidos de las propiedades físicas como: gravedad específica anhidra, seca al aire y en estado verde; densidad verde, seca al aire, anhidra y básica; y contracciones radial, tangencial y volumétrica. Propiedades mecánicas tales como: flexión estática en estado verde y seca al aire, compresión paralela al grano en estado verde y seca al aire. Además ensayos de trabajabilidad de cepillado, moldurado, taladrado y torneado de la *Acacia melanoxylon*

Se usaron metodologías establecidas por ASTM, ICONTEC y COPANT.

Estos ensayos se realizaron en los laboratorios del Instituto de Ensayos e Investigación (IEI) de la facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Bogotá.

ELLIOT CORRECHA R.
Ingeniero Forestal
Profesor
Jefe Sección Construcciones Agrícolas
Facultad de Ingeniería
GABRIEL GRANADOS
Ingeniero Agrícola

La madera presenta características que la hacen importante en la construcción, por su disponibilidad, fácil utilización, bajo grado de elaboración y posiblemente la más notoria es su carácter renovador que conjuntamente con políticas adecuadas de reforestación hacen que sea un material que nunca desaparecerá.

En Colombia la reforestación se ha inclinado hacia aquellas especies de rápido crecimiento, estudiadas y trabajadas durante mucho tiempo, causa por la cual se han dejado de estudiar su comportamiento físico-mecánico y de trabajabilidad desconociéndose por consiguiente su verdadero uso.

En la actualidad se considera que el estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de las maderas constituye una actividad importante a nivel de laboratorio como de la industria, para promover el empleo de nuevas especies.

CARACTERISTICAS DEL ARBOL

Nombre científico: *Acacia melanoxylon*. R. Brown
Familia: *Mimosaceae*

Nombre vernáculo: *Blackwood acacia* (EE.UU.), *Acacia australiana* (Australia), *Japonesa* (Colombia, España), *Acacia á boir noir* (Francia).

La corteza es de color gris oscura. Se ramifica a poca altura. La copa es amplia, redondeada con follaje denso. Cuando crece solo su copa es de forma piramidal.

Especie que tolera bastante la sequía y temperaturas bajas (5° C), precipitación de 750 a 3.500 mm. Crece en hondonadas y laderas. Se desarrolla en cualquier clase de terreno, soporta inundaciones siempre y cuando éstas sean de corto tiempo, progresa bien en dunas y médanos, etc.

Especie de rápido crecimiento, alcanza 20 metros de altura en 12 años. Desarrollo máximo de 30 a 35 metros y 60 a 80 centímetros de diámetro. La madera es de color marrón oscuro, grano recto, muy lustrosa, textura media, olor y sabor ausentes.

MATERIALES

La madera de *Acacia melanoxylon* fue obtenida de los terrenos del Venado de Oro pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Se cortaron 10 árboles y de cada uno de ellos se

tomaron dos (2) trozas de 1.20 metros, cumpliendo con la norma COPANT 459.

Elaboración de probetas

Para las propiedades físicas se cortaron 40 probetas (4 por árbol) de dimensiones $3 \times 3 \times 10$ cms. Exentas de defectos y con inclinación de la fibra menor a $1/20$.

Para las propiedades mecánicas: Flexión.— Se elaboraron 120 probetas (12 por árbol). Se descartaron 40 por defectos externos que no se ajustaban a las normas COPANT 455 y 459. Las dimensiones de $2.5 \times 2.5 \times 41$ cms.

Compresión paralela a la fibra: Se elaboraron 130 probetas (13 por árbol) de las cuales se eliminaron 50 por defectos externos y que no se ajustaban a la norma COPANT 459 y 466. Las dimensiones fueron de $2.5 \times 2.5 \times 10$ cms.

Trabajabilidad: Cepillado.— Se cortaron 30 probetas (3 por árbol) distribuidas así: diez en corte tangencial (plano); diez en corte oblicuo (falso cuarteado); diez en corte radial (cuarteado). Las probetas fueron elaboradas con las siguientes dimensiones: $10 \text{ cm.} \times 4 \text{ cm.} \times 100 \text{ cms.}$ y tenían un contenido de humedad en equilibrio con el ambiente.

Moldurado.— Se emplearon las mismas probetas elaboradas para el cepillado quedando con un espesor de 3 cm.

Taladrado.— Se elaboraron 60 probetas (6 por árbol) con las siguientes dimensiones $10 \text{ cm.} \times 3 \text{ cm.} \times 30 \text{ cm.}$; se prepararon con tres tipos de cortes: radial, oblicuo y tangencial.

Torneado.— Se elaboraron 20 probetas (2 por árbol) de las siguientes dimensiones $2 \text{ cm.} \times 2 \text{ cm.} \times 12.5 \text{ cm.}$ con un contenido de humedad en equilibrio con el ambiente.

MAQUINAS Y EQUIPOS

Máquina universal de ensayos, marca Alfred J. Amsler, de operación manual con velocidad de aplicación de deformación acomodada a 1.3 mm./min.

Deformímetro marca Starret con una carrera de 25 mm. y precisión de 0.01 mm. Rótula de seis cms. de diámetro.

Secador de extremos de probetas. Balanza de precisión de 0.01 grs. marca Methler, capacidad de 2.000 grs. Horno de secado termo-regulado con convección forzada.

Cepilladoras marcas Osma y Franco Hnos. con revoluciones de 5.300, 5.000 y 5.500 RPM, ángulo de portacuchillas de $35-40^\circ$.

Trompo de eje vertical con 7.000 RPM del portacuchillas, ángulo de corte de 30° , potencia del motor de 2 H. P.

Taladro con pedestal con cuatro velocidades de rotación, broca de 12.5 mm. de diámetro y dos aletas. Cuenta vueltas de múltiples escalas marca Jaquet.

Torno con cuatro velocidades de rotación del eje

vivo de 690, 1.040, 2.020 y 3.550 RPM con motor de 2 H.P., gubia de 2 cm. de ancha, con radio de curvatura exterior de 1 cm. y curvatura del filo de 1 cm.

METODOLOGIA

Propiedades físicas

Para la determinación del contenido de humedad se siguió la norma COPANT 460.

Para la determinación del peso específico aparente se siguió la norma COPANT 461.

Para la determinación de la contracción se siguió la norma COPANT 462.

Para la determinación de las propiedades físicas se efectuaron cinco pasos de acuerdo con el estado de humedad de las probetas:

Se midió la dimensión radial verde (DRV), la dimensión tangencial verde (DTV), el peso de la probeta (PV), el volumen de la probeta en cm^3 por el método de inmersión (VV), para la condición verde.

Para la condición seca al aire: se introdujeron las probetas a un ambiente controlado para obtener una humedad de 18% más o menos 2% (P18). Se determinó el peso de las probetas (PSA), la dimensión radial (DRSA), la dimensión tangencial (DTSA) y el volumen de las probetas (VSA) por el método de inmersión.

Para la condición seca al horno: se colocaron las probetas en una estufa durante 24 horas a 105° y se dejaron enfriar en el desecador y se pesaron (PSH). Se midieron la dimensión radial (DRS), dimensión tangencial seca al horno (DTSH). Se parafinaron las probetas y se determinó el volumen (VSH) por el método de inmersión en agua, y considerando el volumen de la parafina.

Propiedades mecánicas

Flexión.— Se siguieron las normas: Método de ensayo de flexión estática COPANT 455 y la ICONTEC 663, determinación de la resistencia a la flexión.

Se sumergieron cuarenta probetas en agua para obtener la madera en condición saturada o verde y otras cuarenta se colocaron en un cuarto con condiciones constantes, para obtener la madera en humedad de equilibrio con el ambiente.

La carga se aplicó a la mitad de las probetas para cada estado de humedad tangencialmente a los

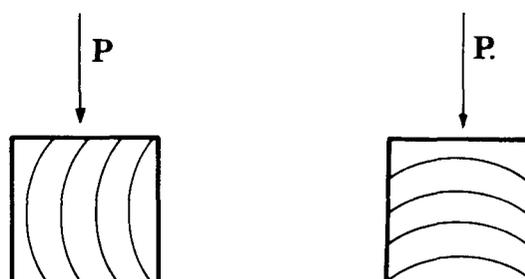


FIGURA 1. Formas de aplicación de carga.

anillos de crecimiento (tangencial) y a la otra mitad en forma perpendicular a los anillos de crecimiento (radial) como se muestra en la figura N° 1.

Las deflexiones se registraron cada 10 Kgrs. hasta llegar a 5 mm. y a partir de ahí se registró la carga hasta llegar a la rotura.

Compresión paralela a la fibra

Se siguió la norma COPANT 464.— Método de determinación de la compresión paralela al grano.

Se sumergieron cuarenta probetas en agua para obtener la madera en condición saturada y otras cuarenta dentro de un cuarto a condiciones constantes para obtener la madera a humedad de equilibrio con el ambiente.

Para las probetas en estado saturado, se colocaron durante 10 minutos en el secador de extremos, con el fin de que las probetas fallen por aplastamiento en los extremos.

Los acortamientos se registraron cada 100 Kgrs. hasta llegar a la ruptura describiéndose el tipo de falla.

Trabajabilidad

Cepillado.— Las probetas se marcaron de acuerdo al tipo de corte (radial, tangencial y oblicuo). Se dejaron secar hasta el equilibrio con el ambiente. La mitad de los cortes se hicieron en la dirección de la fibra y la otra mitad en contrasentido. Los cortes se efectuaron a una profundidad de 2 mm. y se clasificaron de acuerdo con la norma ASTM D1666-64.

Moldurado.— Se emplearon las probetas utilizadas en el ensayo de cepillado con tres tipos de orientación (radial, tangencial, oblicuo). Se ensayó longitudinalmente en el centro de la probeta y en la cara opuesta para obtener resultados a favor y en contra de la fibra. Con una sola cuchilla sobresalida (contrapeso). Se midieron la magnitud y frecuencia de los defectos, como grano astillado, levantado y vellosidad.

Taladrado.— Se aplicó una carga de 30 Kgrs. en el eje de la broca, haciendo agujeros sin respaldo, o sea que la salida estaba libre. Se efectuaron dos agujeros por probeta, a 500 RPM. en diez y a 1.300 RPM. en otras diez, para los tres sentidos de orientación (radial, tangencial y oblicuo), midiéndose el tiempo empleado en la penetración de la broca.

Torneado.— Se ensayaron las probetas a cuatro diferentes revoluciones y con ángulos de corte de 0°, 15° y 40° con corte paralelo a la fibra. Se realizaron cortes enérgicos, para todos los casos, dejando un diámetro de 15 mm., determinándose el tiempo de penetración de la gubia. En el corte oblicuo se cortó a 45° con respecto al eje de la gubia. Se efectuaron pares de cortes opuestos y distanciados entre sí 5 mm., para cada revolución. Se clasificaron los defectos presentados como vellosidad en el fondo, grano astillado, grano levantado, etc.

RESULTADOS

Con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos y siguiendo las normas citadas se procesó esa información llegándose a los siguientes resultados.

Gravedad específica

- Anhidra. La gravedad específica promedio $G_o = 0.674$.
El coeficiente de variación C.V. = 0.032. Cumpliendo con la norma ASTM 555-76.
- Seca al aire: La gravedad específica seca al aire promedio $G_a = 0.628$.
- Verde: La gravedad específica verde promedio $G_g = 0.595$.

Densidad

- La densidad verde promedio $D_v = 1.10$ grs./cc.
- La densidad seca al aire promedio D.S.A. = 0.72 grs./cc.
- La densidad anhidra promedio D.A. = 0.674 grs./cc.
- La densidad básica promedio D.B. = 0.59 grs./cc.

Contracciones

- La contracción en el sentido radial promedio, al pasar del estado verde al seco al aire $Cr_n = 1.5\%$.
- La contracción tangencial promedio, al pasar de verde a seco al aire $Ct_n = 2.88\%$.
- La contracción volumétrica promedio, al pasar de verde a seco al aire $Cv_n = 4.39\%$.
- La contracción radial total, la que se presenta al pasar del estado verde a anhidro $Crt = 4.5\%$.
- La contracción tangencial total, la que se presenta al pasar del estado verde al anhidro $Ctt = 7.48\%$.
- La contracción volumétrica total promedio, al pasar del estado verde al anhidro $Cvt = 11.45\%$.
- La relación tangencial-radial (T/R) en promedio es de 1,85 la cual se considera desfavorable.

Propiedades mecánicas

- Flexión estática: Para las probetas en estado verde o saturado se obtuvieron las siguientes humedades: para las cargadas en el sentido tangencial 71.8% en promedio y para las cargadas en sentido radial fue de 83.6%.

Para las probetas secas al aire se obtuvieron las siguientes humedades promedio: de 19.46% con carga en sentido tangencial y de 21.01% para las cargadas en sentido radial. Estos resultados fueron ajustados a una humedad del 12%.

- Humedad de equilibrio y carga aplicada en sentido radial.

Esfuerzo en el límite proporcional.

Promedio = 596.97 Kgrs/cm²

Coeficiente de variación C.V. = 0.08

Quinto percentil (5° P) = 532.26 Kgrs/cm²

Módulo de rotura.

Promedio = 923.19 Kgrs/cm²

Quinto percentil (5° P) = 796.74 Kgrs/cm²

- Coeficiente de variación C.V. = 0.102
 Módulo de elasticidad.
 Promedio = 133.455,98 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.073
 Quinto percentil (5^o P) = 120.366,83 Kgrs/cm²
2. Humedad de equilibrio y carga aplicada en sentido tangencial.
 Esfuerzo en el límite proporcional.
 Promedio = 598.94 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.133
 Quinto percentil (5^o P) = 491.84 Kgrs/cm²
 Módulo de rotura.
 Promedio = 934.84 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.128
 Quinto percentil (5^o P) = 774.20 Kgrs/cm²
 Módulo de elasticidad.
 Promedio = 135.782,77 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.106
 Quinto percentil (5^o P) = 116.465,50 Kgrs/cm²
3. Humedad saturada y carga aplicada en sentido radial.
 Esfuerzo en el límite proporcional.
 Promedio = 487.35 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.0718
 Quinto percentil (5^o P) = 440.37 Kgrs/cm²
 Módulo de rotura.
 Promedio = 804.31 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.055
 Quinto percentil (5^o P) = 744.92 Kgrs/cm²
 Módulo de elasticidad.
 Promedio = 132.806,92 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.078
 Quinto percentil (5^o P) = 118.882,65 Kgrs/cm²
4. Humedad saturada y carga aplicada en sentido tangencial.
 Esfuerzo en el límite proporcional.
 Promedio = 502.98 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.13
 Quinto percentil (5^o P) = 415.05 Kgrs/cm²
 Módulo de rotura.
 Promedio = 785.93 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.12
 Quinto percentil (5^o P) = 691.29 Kgrs/cm²
 Módulo de elasticidad.
 Promedio = 126.603,75 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.10
 Quinto percentil (5^o P) = 109.441,42 Kgrs/cm²
- b. Compresión paralela a la fibra.
 Las probetas registraron una humedad promedio de 86.25% para las de estado saturado y de 15.93% para probetas en estado seco al aire y que fueron corregidas al 12% de contenido de humedad.
 Humedad saturada.
 Esfuerzo en el límite proporcional.
 Promedio = 275.02 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.099
 Quinto percentil (5^o P) = 236.23 Kgrs/cm²

- Esfuerzo de rotura.
 Promedio = 337.06 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.024
 Quinto percentil (5^o P) = 301.58 Kgrs/cm²
 Módulo de elasticidad.
 Promedio = 43.854,88 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.13
 Quinto percentil (5^o P) = 33.266,11 Kgrs/cm²
 Valores del esfuerzo de compresión paralela a la fibra corregidos al 12% de contenido de humedad.
 Esfuerzo en el límite proporcional.
 Promedio = 543.97 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.145
 Esfuerzo máximo de compresión.
 Promedio = 697.97 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.086
 Quinto percentil (5^o P) = 613.21 Kgrs/cm²
 Módulo de elasticidad.
 Promedio = 68.793,24 Kgrs/cm²
 Coeficiente de variación C.V. = 0.171
 Quinto percentil (5^o P) = 52.178,26 Kgrs/cm²

Trabajabilidad de la madera

1. Cepillado. El defecto predominante fue el de grano arrancado siendo más crítico en la cara radial y en contrasentido catalogado como muy pobre el acabado de la superficie. Este defecto se ocasiona por presencia excesiva de nudos y grano entrecruzado. El grano rugoso tuvo como resultado bueno, mientras el grano vellosa de excelente y las marcas de viruta ausentes.
2. Moldurado. La mayor incidencia de defectos se presentó cuando las probetas fueron molduradas en contrasentido, obteniéndose para grano astillado en el plano tangencial de regular a pobre; para grano arrancado en plano tangencial de regular a pobre y para grano vellosa en el plano radial como regular.
 La menor incidencia de defectos se presentó cuando las probetas fueron molduradas a favor del grano obteniéndose: para el plano radial el grano astillado y arrancado un equivalente de excelente a bueno; en el plano tangencial el grano vellosa como excelente; en el plano oblicuo el grano astillado y arrancado un equivalente de bueno a regular y en el plano radial el grano vellosa de excelente a bueno.
3. Taladrado. El mayor tiempo fue de 19.35 segundos en el plano radial y a 500 RPM. El menor tiempo fue de 13.1 segundos en el plano oblicuo y 1.300 RPM. Dando un acabado en los agujeros de excelente a bueno para el plano radial y 500 RPM. y de excelente acabado en los agujeros para el plano radial y 1.300 RPM.
4. Torneado. Para corte paralelo al grano, el tiempo más corto para la penetración de la gubia fue de 9 segundos, para una velocidad de rotación de 3.550 RPM y un ángulo de 0°; mientras que el tiempo más largo fue de 26.4 segundos para una velocidad de rotación de 640 RPM y ángulo

de corte de 0° y es la situación más desfavorable para la penetración de la gubia.

Para grano arrancado, la condición más crítica fue de 1.040 RPM y un ángulo de corte de 0° , lo que equivale a regular. Los defectos disminuyeron a medida que se aumentó la velocidad y el ángulo de corte, siendo mínimos a 3.550 RPM. y 40° .

Para corte oblicuo, las calificaciones más críticas se presentaron a 690 RPM. Para grano astillado, rugoso, vellosos se obtuvieron calificaciones de excelente a bueno en el acabado de la superficie. Las mejores condiciones para corte oblicuo se presentaron a 3.550 RPM., siendo excelentes sin rebajas ni desportillamiento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda emplear para el esfuerzo en el límite proporcional en flexión estática como:
E.L.P. (5° P) = 415.06 Kgrs/cm² para madera saturada.
E.L.P. (5° P) = 581.77 Kgrs/cm² para madera al 12% de C.H.
2. Se recomienda utilizar el esfuerzo máximo de rotura para flexión estática:
MOR (5° P) = 691.29 Kgrs/cm² para el estado saturado.
MOR (5° P) = 866.01 Kgrs/cm² para el 12% de contenido de humedad.
3. Se recomienda utilizar el módulo de elasticidad a flexión estática como:
MOE (5° P) = 109.441,42 Kgrs/cm² para el estado saturado.
MOE (5° P) = 123.858.62 Kgrs/cm² para el 12% de C.H.
4. Se recomienda utilizar el esfuerzo en el límite proporcional en compresión paralela a la fibra como:
ELP (5° P) = 236.23 Kgrs/cm² para el estado saturado.
ELP (5° P) = 432.25 Kgrs/cm² para el 12% de C. H.
5. Se recomienda emplear para el esfuerzo máximo de ruptura en compresión paralela a la fibra como:
ERP (5° P) = 301.58 Kgrs/cm² para el estado saturado.
ERP (5° P) = 613.21 Kgrs/cm² para el 12% de C.H.
6. Debido a que esta madera presenta en sus contracciones una relación T/R desfavorable, con tendencia a rajarse y deformarse al perder humedad, no se recomienda su empleo para situaciones que exijan buena estabilidad dimensional.
7. Se recomienda el empleo de esta madera para trabajos en donde el acabado de la superficie no sea lo principal, debido a que presenta grano arrancado en el proceso de cepillado.
8. Se recomienda el empleo de esta madera para trabajos de moldurado, en donde el acabado de la madera no sea muy exigente en cuanto a grano arrancado y grano astillado.
9. Se recomienda el empleo de revoluciones iguales o superiores a 1.000 R.P.M. en el taladrado, debido a que se consigue un mejor acabado en los agujeros.
10. Para el torneado oblicuo y paralelo al grano se recomiendan revoluciones cercanas a 3.550 R.P.M., ya que a esta condición se presentan la menor cantidad de defectos, obteniéndose el mejor acabado de la superficie.

BIBLIOGRAFIA

American Society for testing and materials (ASTM). **Anual book of ASTM Standards Wood Adhesives**. Part. 22, 1978.

Casas J., H. I. **Comportamiento en cepillado de 20 especies de madera de Venezuela**. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela, 1979.

Coma, B., P. **Prontuario de la madera**. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona.

Forest Products Laboratory. **Wood Handbook**. U.S.D.A., 1974.

Gurfinkel, G. **Wood engineering**. Primera edición. New Orleans, 1973.

Lozano, R., J. A. et al. **Normas para ensayos de trabajabilidad de**

maderas y su aplicación a seis maderas colombianas. U. Distrital, 1979.

Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el área de Recursos Forestales Tropicales (PADT-REPORT). **Estudio integral de la madera para construcción**. 2ª parte. Normas y metodología para actividades tecnológicas. Lima, Perú, 1976.

Roncancio, B., L. C. y L. Moreno. **Estudio de trabajabilidad de quince especies maderables del Pacífico, Bajo San Juan**. Parte II. Tesis de grado. U. Distrital, 1979.