

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

Departamento de Ingeniería

TESIS DOCTORAL

Caracterización de la caña común (*Arundo donax* L.)

para su uso como material de construcción.

Teresa García Ortuño

Orihuela, mayo de 2003

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

Departamento de Ingeniería

CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA COMÚN (*ARUNDO DONAX L.*)

PARA SU USO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.

TESIS DOCTORAL

Autora: Teresa García Ortuño

Director: Joaquín Julián Pastor Pérez

Dr. Ingeniero Agrónomo

C.E.U. Universidad Miguel Hernández.

Orihuela, mayo de 2003

Joaquín Julián Pastor Pérez, Dr. Ingeniero Agrónomo, Catedrático de Escuela Universitaria del Departamento de Ingeniería de la Universidad Miguel Hernández.

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral que lleva por título “**Caracterización de la caña común (*Arundo donax L.*) para su uso como material de construcción**”, de la que es autora la Ingeniera Agrónoma Dña. Teresa García Ortuño, ha sido realizada íntegramente bajo mi dirección, en el Departamento de Ingeniería, en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, durante el periodo comprendido entre los años 1.999 y 2.003.

Considerando que se trata de un trabajo original de investigación que reúne los requisitos establecidos en el R.D. 778/1.998, de 30 de abril (B.O.E. de 1 de mayo de 1.998), autorizo su presentación.

Y para que conste a todos los efectos, expido el presente certificado en Orihuela , a 29 de mayo de dos mil tres.

Fdo.: Joaquín Julián Pastor Pérez
Dr. Ingeniero Agrónomo
C.E.U. Universidad Miguel Hernández

**CARACTERIZACIÓN DE LA CAÑA COMÚN (*ARUNDO DONAX L.*)
PARA SU USO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.**

**Memoria que presenta la Ingeniera Agrónoma Dña. Teresa García Ortuño
para optar al grado de doctor**

Fdo.: Teresa García Ortuño



VºBº DIRECTOR DEL TRABAJO.

Fdo.: Joaquín Julián Pastor Pérez

Dr. Ingeniero Agrónomo

C.E.U. Universidad Miguel Hernández

En primer lugar, mi agradecimiento al director de esta tesis doctoral, el Dr. Joaquín Julián Pastor Pérez, por el interés que ha mostrado durante el desarrollo de todo el trabajo, así como por la formación investigadora y humana recibida, y sobre todo por su amistad.

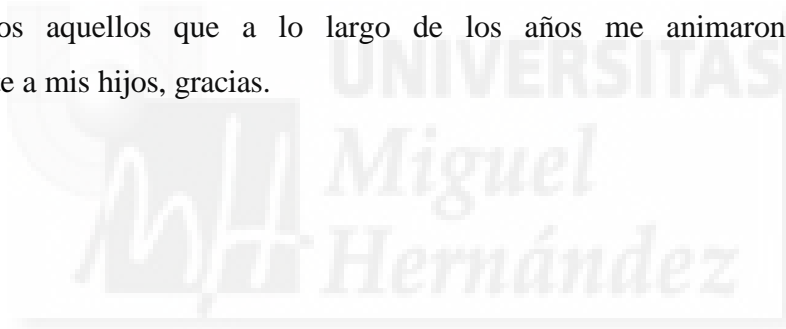
Agradecer la ayuda valiosísima de José Joaquín García Díez, nuestro habilidoso técnico del Departamento de Ingeniería en todos los ensayos, sin cuya implicación no se hubiese podido realizar este trabajo.

A Antonio Poveda, técnico de mantenimiento, agradecer su ayuda y sobre todo su experiencia en la construcción con caña común.

A todos mis compañeros del Área de Ingeniería Agroforestal por su apoyo y ánimos, incluyendo a Eva nuestra secretaria.

Agradecer a aquellos albañiles antiguos que usaron la caña el aporte de su experiencia.

A todos aquellos que a lo largo de los años me animaron y apoyaron, especialmente a mis hijos, gracias.





A mis hijos Mari-Tere,
Eugenia, Arancha, Cristina,
Antonio y Berta

	Pag.
3.2.- Técnicas experimentales.....	69
3.2.1.- Determinación de la densidad.	70
3.2.2.- Influencia de factores ambientales. Absorción de agua.....	72
3.2.3.- ensayos de esfuerzo-deformación.	74
3.2.3.1.- Ensayos de rotura por compresión.	82
3.2.3.2.- Determinación del módulo de elasticidad en compresión.	85
3.2.3.3.- Ensayos a flexotracción.	88
3.2.3.4.- Determinación del índice de tenacidad de resistencia a primera fisura.	92
3.2.3.5.- Ensayos a tracción indirecta.	95
3.2.4.-E ensayos de dureza.....	98
3.3.- Caracterización experimental del sistema de ensayos.	100
3.3.1.- Preparación del material.	100
3.3.2.-Probetas de caña común (<i>Arundo donax</i> L.).....	102
3.3.3.- Probetas de caña común con morteros.	102
3.4.- Tratamiento estadístico.....	111
4.- Resultados y Discusión.....	115
4.1.- Análisis estructural de la caña común en las edificaciones.....	117
4.2.- Propiedades físicas generales de la caña común.....	140
4.2.1.- Anisotropía y heterogeneidad.	140
4.2.2.- Densidad. Peso específico.	144
4.2.3.- Conductividad térmica y acústica.	149
4.2.4.- Higroscopicidad de la caña común.	149
4.2.5.- Patologías.	152
4.2.6.- Durabilidad.	156
4.2.7.- Dureza de la caña común.....	157
4.3.- Propiedades mecánicas de la caña común.....	159
4.3.1.- Ensayos de esfuerzo – deformación de la caña común.....	155
4.3.1.1.- Compresión.....	156
4.3.1.2.- Tracción indirecta.....	185

	Pag.
4.3.1.3.- Flexión.....	205
4.3.1.4.- Cortante.....	215
4.3.2.- Ensayos de esfuerzo – deformación de morteros de hormigón.....	223
4.3.2.1.- Compresión de morteros de hormigón-cañas.....	223
4.3.2.2.- Flexotracción de morteros de hormigón con cañas.....	235
4.3.2.3.- Tenacidad de los morteros de hormigón con cañas.....	247
4.3.2.4.- Adherencia de la caña común.....	249
4.4.- Discusión de resultados.	252
5.- Conclusiones.....	255
6.- Bibliografía.....	259



ÍNDICE DE TABLAS.

- TABLA 1.1. Fertilización con nitrógeno.
- TABLA 1.2. Análisis caña común (*arundo donax* l.)
- TABLA 1.3. Composición de las cenizas de la caña común.
- TABLA 1.4. Digestibilidad %
- TABLA 1.5. Dimensiones de las fibras de *Arundo donax* L. (mm)
- TABLA 1.6. Comparación de las dimensiones de las fibras de la caña común con otras plantas.
- TABLA 1.7. Composición química de la caña común (*Arundo donax* L.)
- TABLA 1.8. Comparación química con otras plantas
- TABLA 1.9. Digestión experimental de caña común (*Arundo donax* L.) para pasta de papel
- TABLA 1.10. Características químicas base de bioenergía.
- TABLA 1.11. Tratamiento secundario mediante sistema de biodepuración de flujo vertical con *Arundo donax* L.
- TABLA 1.12. Microorganismos patógenos.
- TABLA 3.1. Datos arena. Peso: 500g tamices utilizados serie iso-565.
- TABLA 4.1. Dimensiones de las muestras de caña común en los ensayos de densidad
- TABLA 4.2. Análisis de la varianza. Ensayos densidad.
- TABLA 4.3. Valores medios obtenidos de densidad.
- TABLA 4.4. Pesos específicos de maderas.
- TABLA 4.5. Análisis de la varianza de ensayos de dureza.
- TABLA 4.6. Pruebas robustas de igualdad de medias. Dureza
- TABLA 4.7. Valores de dureza HB de la caña común.
- TABLA 4.8. Dimensiones de las probetas de caña común. Ensayo de compresión paralela.
- TABLA 4.9. Análisis de la varianza ensayos de compresión paralela a las fibras.
- TABLA 4.10. Prueba χ^2 - cuadrado de los ensayos a compresión paralela.
- TABLA 4.11. Resultados. Tensión-deformación media a compresión paralela a las fibras.

- TABLA 4.12. Dimensiones de las probetas. Ensayo resistencia caña antigua.
- TABLA 4.13. Análisis estadístico ensayo caña antigua.
- TABLA 4.14. Informe final valores medios caña antigua.
- TABLA 4.15. Dimensiones de las muestras para ensayos de compresión perpendicular.
- TABLA 4.16. Análisis de la varianza de los ensayos de compresión perpendicular.
- TABLA 4.17. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a compresión perpendicular.
- TABLA 4.18. Resultados. Tensión-deformación media a compresión perpendicular a las fibras.
- TABLA 4.19. Comparación de las propiedades mecánicas de esfuerzos de compresión paralela y perpendicular a las fibras de la caña común con humedad media de 11,4%
- TABLA 4.20. Dimensiones de las muestras para ensayos a tracción paralela.
- TABLA 4.21. Análisis de la varianza de los ensayos de tracción paralela.
- TABLA 4.22. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a tracción paralela.
- TABLA 4.23. Resultados. Ensayos a tracción paralela a las fibras de la caña común.
- TABLA 4.24. Dimensiones de las muestras para ensayos a tracción perpendicular.
- TABLA 4.25. Prueba de homogeneidad de varianzas, Tracción perpendicular.
- TABLA 4.26. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a tracción perpendicular.
- TABLA 4.27. Resultados. Tensión media a tracción perpendicular a las fibras de la caña común.
- TABLA 4.28. Comparación de las propiedades mecánicas a tracción paralela y perpendicular de la caña común con una humedad de 11,4%.
- TABLA 4.29. Dimensiones de las muestras para ensayos a flexión.
- TABLA 4.30. Análisis de la varianza de los ensayos a flexión.
- TABLA 4.31. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a flexión de la caña común.
- TABLA 4.32. Resultados. Tensión media a flexión de la caña común.
- TABLA 4.33. Análisis de la varianza de las pruebas a tensión cortante.
- TABLA 4.34. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a cortante.
- TABLA 4.35. Resultados. Tensión media a cortante de la caña común

- TABLA 4.36. análisis de la varianza del ensayo de compresión paralela de morteros de hormigón con cañas.
- TABLA 4.37. Resultados valores medios de los ensayos a compresión paralela de los morteros de hormigón con cañas.
- TABLA 4.38. Análisis estadístico de los ensayos a compresión perpendicular de los morteros de hormigón con cañas.
- TABLA 4.39. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a compresión perpendicular de morteros con cañas.
- TABLA 4.40. Valores medios obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular del mortero de hormigón con cañas.
- TABLA 4.41. Análisis estadístico de los ensayos a flexotracción de morteros de 7 días.
- TABLA 4.42. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos de morteros a flexotracción.
- TABLA 4.43. Valores medios obtenidos en el ensayo flexotracción de morteros de hormigón y hormigón-cañas, de 28 días.
- TABLA 4.44. Análisis estadístico de los ensayos a flexotracción de morteros de 28 días.
- TABLA 4.45. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos de morteros a flexotracción de 28 días.
- TABLA 4.46. Valores medios de los morteros de 28 días a flexotracción.
- TABLA 4.47. Resumen de los valores medios del ensayo a flexión-flecha de los morteros de hormigón-cañas de 28 días.
- TABLA 4.48. Datos límite de resistencia de la madera de construcción y la caña común.

ÍNDICE DE FIGURAS.

- Fig. 1.1. Plano de la Vega Baja.
- Fig. 1.2.- *Arundo donax* L. (caña común) en proceso vegetativo y antes de ser segada.
- Fig. 1.3. Envoltura de la hoja
- Fig. 1.4. Rizoma
- Fig. 1.5. Flor de *Arundo donax* L.
- Fig. 1.6. “*Donax var Arundo versicolor*” cv *variegata*
- Fig. 1.7. “*Donax var Arundo cv Macrophylla*”
- Fig. 1.8. Reproducción en agua de rizoma.
- Fig. 1.9. Plantación en Italia de *Arundo donax* L.
- Fig. 1.10. La parte interna de *Arundo donax* L. Fuente: E.Obataya y M. Norimoto
- Fig. 1.11. Estructura de *Arundo donax* L. Fuente: E.Obataya y M. Norimoto
- Fig. 1.12. Estructura madera de pino. Fuente: E.Obataya y M. Norimoto
- Fig. 1.13. Lengüeta de caña común (*Arundo donax* L.) de un saxofón.
- Fig. 1.14. Conejera de madera y caña común. Detalle.
- Fig. 1.15. Panellas de gusanos de seda. Fuente: Guillén, J. (1.999).
- Fig. 1.16. Cañizo para contención de dunas. Ingeniero Larramendi.
- Fig. 1.17. Rajadora de cañas
- Fig. 1.18.- Telar de cañizo.
- Fig. 1.19. Siega de cañas.
- Fig. 1.20. Cortado de caña común (*Arundo donax* L.).
- Fig. 1.21. Máquina tejedora de cañizo.
- Fig. 1.22. Producto final industrial cañizo.
- Fig. 1.23. Barraca de la finca “La Caseta”.
- Fig. 1.24. Pilares de la barraca. Troncos de morera sin desbastar.
- Fig. 1.25. Detalles de sujeción de la viga de atado a los pilares en la barraca.
- Fig. 1.26. Vigas de forjado de la barraca.
- Fig. 1.27. Arriostramiento de la barraca en cruz de San Andrés.
- Fig. 1.28. El cuarto de la barraca.

- Fig. 1.29. Croquis casa de la huerta tipo A.
- Fig. 1.30. Casa de la huerta tipo B.
- Fig. 1.31. Croquis casa de la huerta tipo B.
- Fig. 1.32. Casa de la huerta tipo C.
- Fig. 1.33. Croquis de viviendas huertanas tipo C.
- Fig. 1.34. Croquis Alquería .
- Fig. 1.35. Alquería de la finca La Caseta Siglo XVII
- Fig. 1.36. Arcos de ladrillos macizos en muros.
- Fig. 1.37. Vigas de forjado de cubierta y detalles de la alquería finca La Caseta.
- Fig. 1.38. Otras disposiciones de vigas de forjado de piso de la alquería finca La Caseta.
- Fig. 1.39. Patio interior de la alquería de la finca La Caseta de arcos.
- Fig. 1.40. Sección del arco.
- Fig. 1.41. Arco ogival interior.
- Fig. 1.42. Arco de medio punto exterior.
- Fig. 1.43. Arco de medio punto interior.
- Fig. 1.44. Estructura de edificación con pilares de ladrillo y vigas de madera.
- Fig. 1.45. Detalle de cerramientos con caña.
- Fig. 1.46. Croquis casa urbana.
- Fig. 1.47. Casa urbana del siglo XIX en Orihuela (Alicante)
- Fig. 1.48. Casa urbana del siglo XVIII en Orihuela (Alicante)
- Fig. 1.49. Casa de Lo Monte.
- Fig. 1.50. Casa de Lo Monte. (Vista posterior).
- Fig. 1.51. Detalle forjado de caña común en la casa de Lo Monte.
- Fig. 1.52. Detalle de piedra caliza de la alquería finca La Caseta.
- Fig. 1.53. Detalle de caña común en forjados (mollijos) y teja alicantina.
- Fig. 1.54. Detalle de cañas en forjado de cubierta y teja árabe.
- Fig. 1.55. Teja árabe del siglo XVII.
- Fig. 3.1. Estufa
- Fig. 3.2. Balanza.
- Fig. 3.3. Diagrama de Tensión y Deformación uniaxiales.
- Fig. 3.4. Diagrama esfuerzo-deformación sistemas viscoelásticos.

- Fig. 3.5. Esfuerzos sobre la caña común
- Fig. 3.6. Máquina de ensayos a compresión.
- Fig. 3.7. Máquina de ensayos a flexotracción.
- Fig. 3.8. Curva carga-flecha. Tenacidad.
- Fig. 3.9. Cañas liseras
- Fig. 3.10. Cuerda de esparto trenzado.
- Fig. 3.11. Probetas de caña común (*Arundo donax* L.)
- Fig. 3.12. Moldes de probetas cilíndricas.
- Fig. 3.13. Cono de Abrams.
- Fig. 3.14. Equipo de refrentado.
- Fig. 3.15. Arena utilizada en los morteros.
- Fig. 3.16. Curva granulométrica de la arena de los morteros.
- Fig. 3.18. Mortero de hidróxido de cal.
- Fig. 3.19. Probetas de caña común con mortero de hidróxido de cal.
- Fig. 3. 20. Asiento del mortero de cemento.
- Fig. 3. 21. Probetas de caña común con mortero de cemento.
- Fig. 3. 22. Probetas rectangulares de caña común con mortero de cemento.
- Fig. 4.1. Croquis de disposición de cañas en las construcciones.
- Fig. 4.2. Tejido de cañas para forjado (mollije).
- Fig. 4.3. Confección del entramado de cañas sobre las guías.
- Fig. 4.4. Detalle de atado con cuerda de esparto del extremo del entramado de cañas a una viga en el muro de carga.
- Fig. 4.5. Diagramas de esfuerzo cortante y momento flector.
- Fig. 4.6. Forjado de cubierta tipo A.
- Fig. 4.7. Forjado de cubierta tipo B.
- Fig. 4.8. Forjado de cubierta tipo C.
- Fig. 4.9. Forjado de cubierta tipo D. (Barraca).
- Fig. 4.10. Forjado de piso tipo A.
- Fig. 4.11. Forjado de piso tipo B
- Fig. 4.12. Forjado de piso tipo C.
- Fig. 4.13. Forjado de piso tipo D.
- Fig. 4.14. Construcción del tabique con cañas (testero).

- Fig. 4.15. Tabique remozado con yeso solo por una cara de la almazara de la finca La Caseta.
- Fig. 4.16. Cerramiento de la barraca.
- Fig. 4.17. Edificación (alojamiento ganadero) de pilares de mampostería y cerramientos de caña unos paramentos remozados y otros no.
- Fig. 4.18. Tabique remozado con yeso por los dos lados de gran espesor.
- Fig. 4.19. Detalle de púas para unir el cañizo de falso techo.
- Fig. 4.20. Falso techo de cañizo, casa finca La Caseta.
- Fig. 4.21. Chimenea de la alquería finca La Caseta y detalle.
- Fig. 4.22. Gallinero. Finca La Caseta.
- Fig. 4.23. Separación de estancias en alojamiento ganadero.
- Fig. 4.24. Estantes y armarios de la alquería finca La Caseta.
- Fig. 4.25. Diferentes diámetros y espesores de caña común.
- Fig. 4.26. Esquema dimensiones medias de entrenudos de caña común.
- Fig. 4.27. Relación entre las distancias entre nudos y el nº de nudo.
- Fig. 4.28. Relación entre la longitud de la caña común y diámetro de inicio y diámetro final.
- Fig. 4.29. Relación entre el nº de nudo y el espesor de la caña.
- Fig. 4.30. Relación entre la longitud de entrenudos y el espesor de la caña.
- Fig. 4.31. Muestras de cañas secadas en estufa y mantenidas en desecador.
- Fig. 4.32. Gráficos normal P-P de probabilidades. Densidad
- Fig. 4.33. Relación de la densidad con el volumen de muestra.
- Fig. 4.34. Relación de la densidad con el espesor de muestra.
- Fig. 4.35. Relación de la densidad con el diámetro interior de muestra.
- Fig. 4.36. Caña común desecada y rehidratada posteriormente.
- Fig. 4.37. Gráficos de probabilidad de absorción de agua.
- Fig. 4.38. Curva de absorción y desorción de agua de la caña común.
- Fig. 4.39. Estructuras de madera y cañas sometidas a fuego.
- Fig. 4.40. Cañas descompuestas por hongos.
- Fig. 4.41. Cañas con carcoma.
- Fig. 4.42. Forjado de cubierta de cañas de una edificación del siglo XVIII, descompuestas por hongos y carcoma por, exceso de humedad.

- Fig. 4.43. Caña común de una edificación del siglo XVIII y caña de tres años.
- Fig. 4.44. Prueba de ensayos de compresión paralela a las fibras de la caña.
- Fig. 4.45. Muestras de caña antigua rotas en ensayo.
- Fig. 4.46. Curvas típicas del ensayo a compresión paralela a las fibras.
- Fig. 4.47. Diagrama de dispersión de datos de ensayos de compresión paralela.
- Fig. 4.48. Diagramas de tensión de compresión paralela a las fibras de cañas con humedad 8%.
- Fig. 4.49. Diagramas de tensión de compresión paralela a las fibras de cañas con humedad 13,7%.
- Fig. 4.50. Prueba de comparaciones múltiples. Ensayo de compresión paralela.
- Fig. 4.51. Diagrama de datos válidos de compresión paralela-deformación .
- Fig. 4.52. Curvas de tensión a compresión paralela proporcional-deformación unitaria.
- Fig. 4.53. Curvas medias compresión paralela-deformación.
- Fig. 4.54. Curvas tensión de compresión perpendicular-deformación unitaria de los ensayos 1, 2 y 3.
- Fig. 4.55. Diagramas de compresión perpendicular a las fibras-deformación unitaria de cada uno de los ensayos los ensayos 1, 2 y 3.
- Fig. 4.56. Pruebas de igualdad de medias de los ensayos de compresión perpendicular.
- Fig. 4.57. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos de compresión perpendicular.
- Fig. 4.58. Comportamiento en ejes de tensión media proporcional-deformación unitaria. Compresión perpendicular.
- Fig. 4.59. Comparación de tensiones a compresión perpendicular según la humedad.
- Fig. 4.60. Curvas medias de comportamiento a compresión perpendicular de la caña común con una humedad del 8 y 13,7%.
- Fig. 4.61. Diagrama medio de esfuerzos a compresión-deformación de la caña común.
- Fig. 4.61b. Curva tensión a tracción paralela-deformación unitaria del ensayo 1.

- Fig. 4.62. Diagramas de tensión a tracción paralela-deformación unitaria de los ensayos.
- Fig. 4.63. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos a tracción paralela.
- Fig. 4.64. Comportamiento en ejes de tensión media a tracción paralela elástica proporcional-deformación unitaria.
- Fig. 4.65. Diagrama de tensiones proporcional y de rotura a tracción paralela.
- Fig. 4.66. Curvas medias de tensión a tracción paralela deformación.
- Fig. 4.67. Curvas tensión a tracción perpendicular-deformación unitaria de los ensayos 1 y 2
- Fig. 4.68. Diagramas de esfuerzo de tracción perpendicular a las fibras-deformación.
- Fig. 4.69. Diagrama de dispersión de datos de los ensayos a tracción perpendicular.
- Fig. 4.70. Análisis de la varianza de los ensayos a tracción perpendicular.
- Fig. 4.71. Análisis estadístico de los ensayos a tracción perpendicular.
- Fig. 4.72. Comparaciones múltiples de los ensayos a tracción perpendicular.
- Fig. 4.73. Tensión media de tracción perpendicular proporcional-deformación unitaria.
- Fig. 4.74. Diagrama de máximos y mínimos de tensiones a tracción perpendicular.
- Fig. 4.75. Curva media de tensión a tracción perpendicular –deformación.
- Fig. 4.76. Curvas de tensión a tracción-deformación.
- Fig. 4.78. Curvas medias tensión a tracción-deformación de la caña común.
- Fig. 4.79. Curvas a flexión-flecha de los ensayos 1, 2 y3.
- Fig. 4.80. Diagramas de tensión flectora-deformación de los ensayos a flexión.
- Fig. 4.81. Diagrama de dispersión de los ensayos a flexión.
- Fig. 4.82. Pruebas robustas de igualdad de medias de los ensayos a flexión.
- Fig. 4.83. Comparaciones múltiples entre los ensayos a flexión.
- Fig. 4.84. Comportamiento en ejes de tensión media a flexión elástica proporcional-deformación unitaria en función de la humedad.
- Fig. 4.85. Relaciones entre tensiones elásticas proporcionales y de rotura a flexión.

- Fig. 4.86. Curvas medias a flexión-deformación unitaria de la caña común.
- Fig. 4.87. Curvas tensión tangencial- deformación angular de los ensayos 1 y 2.
- Fig. 4.88. Diagramas de dispersión de datos de tensión cortante en función de la humedad.
- Fig. 4.89. Curvas tensión tangencial-deformación angular de los ensayos válidos.
- Fig. 4.90. Comparaciones múltiples entre los ensayos a cortante.
- Fig. 4.91. Comportamiento en ejes de tensión media a cortante proporcional-deformación unitaria en función de la humedad
- Fig. 4.92. Curvas tensión cortante-deformación angular unitaria de la caña común.
- Fig. 4.93. Probetas de hormigón caña.
- Fig. 4.94. Curvas del ensayo a compresión paralela de probetas cilíndricas de morteros de hormigón
- Fig. 4.95. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a compresión paralela de hormigón-caña.
- Fig. 4.96. Comportamiento en ejes carga compresión deformación de los morteros de hormigón.
- Fig. 4.97. Curvas medias de esfuerzo de compresión paralela de-deformación de los morteros de hormigón.
- Fig. 4.98. Curvas tensión a compresión-deformación unitaria de las probetas de hormigón-caña y mortero de hormigón.
- Fig. 4.99. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos a compresión perpendicular de los morteros.
- Fig. 4.100. Diagrama medio de compresión perpendicular de los morteros de hormigón caña respecto a la deformación unitaria.
- Fig. 4.101. Diagramas de tensión a compresión perpendicular-deformación unitaria de distintos materiales.
- Fig. 4.102. Probetas de morteros para ensayos de flexotracción.
- Fig. 4.103. Ensayos a flexotracción de probetas de morteros de hormigón y hormigón-caña.

- Fig. 4.104. Curvas características de los ensayos a flexotracción de morteros de hormigón de 7 días de edad.
- Fig. 4.105. Comparaciones múltiples de los ensayos a flexotracción de morteros de 7 días de edad.
- Fig. 4.106. Diagramas de tensión a flexión-flecha de distintos materiales.
- Fig. 4.107. Curvas características de los ensayos a flexión de los morteros de 28 días.
- Fig. 4.108. Comparaciones múltiples de los ensayos a flexotracción de morteros de 28 días de edad.
- Fig. 4.109. Diagramas medios de tensión-flecha de los morteros de hormigón.
- Fig. 4.110. Curva carga-flecha media de los ensayos a flexión de morteros con caña.
- Fig. 4.111. Restos de probetas de hormigón cañas que se han sometido a flexión.
- Fig. 4.112. Probeta de caña con mortero de cal.
- Fig. 4.113. Ensayo a compresión de una probeta de mortero de cal y cañas.
- Fig. 4.114. Curvas medias de esfuerzos-deformación de la caña común.
- Fig. 4.115. Curvas medias de esfuerzo a flexión flecha de los morteros de hormigón.

1 ANTECEDENTES



1.- ANTECEDENTES.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

Para el desarrollo de las sociedades es necesario explotar los sistemas naturales, y extraer y utilizar sus recursos, pero en la actualidad se ha llegado a tal grado de sobreexplotación que pelagra la existencia de dichos recursos y de la propia sociedad, por lo que se han planteado dos necesidades: la conservación y la explotación, que son dos conceptos antagónicos. Para combinar ambas necesidades surgió un nuevo concepto: el uso sostenible. Este nuevo modelo se rige bajo el lema de “desarrollo sostenible”, entendido como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Las sociedades desarrolladas, a finales del siglo XX y una vez resueltos los problemas más acuciantes de asentamiento de la población y garantizado su nivel de vida, hacen un replanteamiento general de los procesos de producción industrial, y de sus consecuencias en costes energéticos y ambientales. La construcción, factor clave del desarrollo industrial, supone en los países industrializados el 50% de la energía consumida, y el 25% de la contaminación emitida (Celis, 2000).

Es a partir de las crisis energéticas de los años setenta cuando comienzan los primeros estudios en el campo de la adecuación ambiental en la edificación, produciéndose numerosos trabajos sobre el tema.

Existe un desfase entre evaluación económica del consumo energético y su impacto ambiental a largo plazo, y el actual sistema de evaluación del coste de producción en el sector de la construcción, está pensado en términos de rentabilidad a corto plazo, por lo que se ha de producir una concienciación real sobre la necesidad de entender la construcción como una parte fundamental en el problema del desarrollo sostenible.

Si en un principio los primeros trabajos realizados se dirigían exclusivamente al ahorro energético, en la actualidad el problema ha trascendido hacia el entendimiento de la arquitectura bioclimática como un proceso activo, donde el ahorro energético es un factor más a tener en cuenta y en el que la adecuación ambiental ha de entenderse como un sistema más amplio. La arquitectura bioclimática se caracteriza por su adecuación al

medio ambiente y al lugar en el que se introduce, imposibilitando la misma solución en situaciones geográficas y ambientales distintas.

La "arquitectura bioclimática" entendida en términos conceptuales, se fundamenta en la adecuación y utilización positiva de las condiciones medioambientales y materiales, mantenida durante el proceso del proyecto y la obra (Valsain, 2000).

Una lógica que parte del estudio de las condiciones climáticas y ambientales y de la adecuación del diseño arquitectónico para protegerse y/o utilizar los distintos procesos naturales.

En la arquitectura bioclimática se contempla el balance energético global, incluyendo no sólo la fase de vida útil del edificio, sino todo su proceso constructivo, desde la extracción de los materiales, su elaboración industrial, su puesta en obra, su uso, su reciclaje y su destrucción. En este caso, el balance energético global y su equivalencia en contaminación ambiental lleva a un análisis pormenorizado de los materiales de construcción, y por tanto, a la utilización de aquellos menos costosos en términos energéticos (o en su equivalente, en contaminación ambiental), y al rechazo, o a la mejora del sistema productivo, de aquellos otros con costes elevados, capaces de anular las posibles ganancias energéticas obtenidas durante el tiempo de usufructo del edificio. Además contempla su introducción en el paisaje, limitando el impacto visual de las construcciones y el mantenimiento de otros recursos naturales limitados, como la inclusión o el mantenimiento de la vegetación, el ahorro de agua y la depuración selectiva. (Izard, 1983)

Según Celis (2000) las actuaciones que se han realizado bajo el término de arquitectura bioclimática, edificación ecológica o construcción sostenible, son muy variadas y las podemos clasificar en tres tipologías:

- Construcciones tendentes a recuperar un cierto grado de "primitivismo", volviendo a soluciones vernáculas, enfatizando los peligros que acechan al desarrollismo y reivindicando lo natural frente a los desmanes del progreso tecnológico. Es un modelo que preconiza el empleo de materiales considerados naturales, como la tierra, la madera o la arcilla y una vuelta al medio rural.
- Arquitectura tecnológica de alta eficiencia energética, denominada "high-tech" o, en su versión supuestamente más orientada a la integración medio ambiental, "eco-tech". Es un modelo exhibicionista y de alto coste, que aplica los más espectaculares

alardes técnicos en la resolución de edificios, utilizando complejos sistemas activos de control climático (vidrios de alta eficiencia, sistemas móviles robotizados de protección, sistemas de captación solar activa), todo controlado por sistemas informáticos (domótica).

- El modelo posibilista pretende englobar los dos modelos anteriores y trata de introducir, paulatinamente, mejoras en el diseño arquitectónico, en los materiales y en la resolución constructiva de los edificios, de tal modo que con un pequeño incremento de costes, se obtengan notables beneficios en ahorro energético y adecuación ambiental.

Partiendo de este modelo posibilista se realizan estudios sobre reciclado de materiales de construcción, tecnologías de las construcciones tradicionales y su adaptación al clima, nuevos materiales renovables productores de menos residuos, materiales con menor consumo energético, etc.

Además dentro del concepto de desarrollo sostenible, no sólo se mira el futuro desarrollo, también se contempla la conservación del pasado y el legado de técnicas y culturas antiguas para transmitir las intactas a las nuevas generaciones. El término “Restauración”, entendido actualmente dentro de los planes de Protección Integral de un edificio, indica que las obras de rehabilitación son admisibles, siempre que se garantice la compatibilidad de tales intervenciones con la reposición, la devolución o la conservación de las características originales del edificio.

La investigación que se pretende realizar está dentro de la línea de arquitectura bioclimática posibilista y está dirigido a estudiar la utilización de la caña común como material de construcción, por ser un material ecológico, fácilmente renovable y que ha sido utilizado en la construcción tradicional en todos los países del área Mediterránea.

Dentro de la conservación del Patrimonio construido, es muy necesaria la investigación sobre la caña común (*Arundo donax* L.) como material de construcción a la hora de rehabilitar edificios, ya que al menos el 55 % de las edificaciones tradicionales del levante y sur de España (en la Vega Baja del Segura el 100%), tienen algún elemento constructivo que contiene este material. Cuando se procede a rehabilitar una edificación protegida en La Vega Baja, las zonas estructurales que están compuestas de caña común se suelen eliminar independientemente del estado en que se encuentren. Normalmente los materiales empleados para sustituir la caña son más

pesados, lo que obliga a reforzar los elementos resistentes de la estructura, a nivel de cimentación y muros de carga. Esto implica dos problemas, por un lado el lógico aumento de los costes de restauración, y por otro, la eliminación de los materiales empleados en la construcción primitiva, lo que está claramente enfrentado con el principio de conservación. Un buen ejemplo de ello es el “Proyecto de Rehabilitación del Palacio Episcopal” de Orihuela (Alicante) que dice textualmente:” La demolición total de las cubiertas, salvo la cúpula, se produce ante la carencia absoluta de garantías de su estabilidad y las dificultades de restauración”, más tarde vuelve a justificar que “están realizadas en fechas más próximas, con materiales poco uniformes y de baja calidad”. Dichos forjados estaban realizadas con caña común (*Arundo donax* L.) y la apariencia de ser de época reciente se debe a la gran durabilidad de dicho material vegetal (López Silgo, 1998).

Hasta la fecha no existe ningún trabajo de investigación técnica sobre la utilización de la caña común como material de construcción, es un tema nombrado por historiadores y arqueólogos y muchas veces pensando que es una arquitectura vernácula de dicha zona, nombrándola como una curiosidad, un patrimonio cultural de dicha región; pero esta técnica constructiva ha sido utilizada en todos los países Mediterráneos y en América Latina. Los españoles construyeron algunas edificaciones coloniales utilizando caña común (*Arundo donax* L.), aunque en aquellos países existían otros tipos de caña, como el bambú americano o caña guadúa, utilizada por los habitantes de la zona en sus viviendas, y actualmente mantienen los arquitectos latinoamericanos en sus investigaciones, que la utilización de caña fue una copia a las edificaciones aborígenes, como un proceso de adaptación de la arquitectura; cuando parece demostrado que los españoles solo utilizaron una técnica muy conocida y para llevarla a cabo tuvieron que importar y adaptar el material vegetal. Estas confusiones ponen de relieve la poca información bibliográfica y técnica sobre la utilización de la caña común como material de construcción, ya que era transmitida de forma oral de los maestros albañiles a los aprendices, y al sustituir la caña por otros materiales se está perdiendo toda la información.

Sobre el comportamiento mecánico de la caña común en las construcciones populares existe entre los técnicos encargados de rehabilitaciones de edificios dos teorías: unos mantienen que la caña solo servía de encofrante para los materiales que se

disponen sobre ellas y otros perciben que puede tener una función de armaduras a tracción. Teorías que intentaremos comprobar mediante este proyecto de investigación.

Asimismo este proyecto pretende abrir una línea de investigación con amplias perspectivas, que pueda plantear nuevos estudios para:

1. Contribuir con nuevos materiales a la arquitectura bioclimática, con un material ecológico, renovable y de fácil obtención como es la caña común.
2. Aportar nuevos datos sobre la historia de la arquitectura.
3. Recuperar el patrimonio cultural sobre la caña común.
4. Favorecer al conocimiento sobre técnicas y materiales constructivos utilizados desde la antigüedad.
5. Facilitar el conocimiento técnico sobre la caña común como material de construcción, como referencia a la hora de rehabilitaciones de edificios que utilicen dicho material.

Al ser la caña común (*Arundo donax* L.) una planta no seleccionada con características diferentes según el medio de desarrollo y utilizada mediante diferentes disposiciones constructivas según la zona climática; en este estudio partiremos de su utilización como material de construcción en el sureste de España, en concreto en la Vega Baja del Segura, como arquitectura adaptada al clima en sus materiales y composiciones.

1.2.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La Vega Baja es una comarca situada al sur de la Comunidad Valenciana, en el área de influencia del río Segura, que naciendo en la Sierra del Segura atraviesa Albacete y Murcia antes de entrar en Alicante, para después de efectuar un recorrido de unos 40 Km. y desembocar en el término municipal de Guardamar del Segura.

Su territorio posee una orografía escasamente accidentada comprendiendo, en su mayor parte, un valle que se extiende de oeste a este, por el fondo del cual discurre el cauce del río Segura.

La comarca tiene el espacio agrícola más importante de la provincia de Alicante, al contar con una larga tradición histórica y cuyo peso agrícola destaca por encima de cualquier otro espacio provincial.

Con una extensión de 953 Km² que representa solamente el 16,5 % de la superficie de Alicante, el papel que desempeñan sus cultivos la convierten en fundamental dentro de la economía regional.

El clima es mediterráneo con 18° C de temperatura media, con inviernos templados y veranos calurosos. Las lluvias son muy escasas (325 mm), que manifiestan un déficit hídrico evidente. No obstante, pese a lo extremado del clima y la escasez de agua, la comarca es mayoritariamente de regadío gracias al aporte del trasvase Tajo-Segura.

En el territorio se puede observar un paisaje antropomórfico, en el que destacan dos tipos de agricultura: la heredada de siglos atrás, con un marcado carácter minifundista y familiar, sujeta a prácticas agronómicas ancestrales, y la moderna agricultura nacida y desarrollada a partir de los años setenta, con la puesta en riego del secano, mediante los nuevos alumbramientos de aguas y, sobre todo, por la concesión de los caudales foráneos aportados por el ya mencionado trasvase Tajo-Segura. Esto último caracteriza un espacio muy tecnificado, con un dinamismo comercial muy desarrollado y con una explotación acorde con su época y la agricultura de mercado.



Fig. 1.1. Plano de la Vega Baja. Escala 1:200.000

CONTEXTO SOCIOHISTÓRICO.

Después de la Reconquista del Infante Alfonso de Castilla (más tarde Alfonso X el Sabio), a mediados del siglo XIII se crea la Gobernación de Orihuela, quedando la actual Vega Baja dentro de su jurisdicción. Debido a que en aquellos tiempos el Bajo Segura estaba prácticamente despoblado, el rey, como propietario eminente de las nuevas tierras, concedió a los señores extensas zonas, conduciendo a una total distribución del territorio en señoríos. Posteriormente la Gobernación de Orihuela pasa con el rey Jaime I a formar parte del Reino de Aragón, siguiendo la política de los realengos. Esta política de concesiones aumentó el interés señorial por el afianzamiento de sus dominios, razón por la que comienzan a construir casas en sus tierras para provocar la sujeción de los hombres a la tierra. Como es conocido durante la historia, el asentamiento de población es paralelo a la consolidación de la presencia señorial y al diseño de los marcos territoriales de dominación.

Inicialmente la colonización señorial de la comarca fracasó. Se residía en la ciudad de Orihuela y se trabajaba en el campo, siendo los distintos pueblos de la Vega Baja pequeñas alquerías propiedad de los señores.

La ocupación de la Vega Baja no se consigue hasta mediados del siglo XVII.

En el siglo XVIII hay un considerable grado de concentración de la propiedad configurándose una sociedad de rentistas que no viven en su mayoría en la Vega Baja y campesinos que poseían pocos medios y vivían en la huerta, comenzando el aumento de la población en la comarca.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se produjo una gran crisis agraria que motivó que los labradores cayeran en la insolvencia, arrastrando con ello a los rentistas, dando lugar a la pequeña propiedad, por lo cual se produce un aumento de la población en la Vega Baja y a mediados del siglo XIX más del 60% de la población de la zona vive en la huerta.

Posteriormente se va produciendo una ocupación paulatina del territorio construyendo un paisaje rural. En la actualidad en cada camino y vereda se producen asentamientos urbanos, constituyendo algunos parajes rurales un medio urbano sin consolidar.

1.3.- EL MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO.

1.3.1.- LA CAÑA COMÚN (*ARUNDO DONAX L.*) MATERIAL VEGETAL.

1.3.1.1.- ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.

La caña común (*Arundo donax L.*) era conocida y fue empleada por el hombre desde la antigüedad en Oriente Medio, quedando numerosos indicios de su utilización. La caña aparece en todas las culturas antiguas del Mediterráneo Oriental. En Egipto es considerada un emblema del poder real y así aparece junto al faraón en las inscripciones y además se han encontrado cañas cubriendo cobijos de momias.

La escritura cuneiforme, que data del IV milenio a. C., se realizaba grabando en placas mojadas de arcilla con la punta de una caña hueca o estilo, que producía marcas en forma de cuña.

Hacia el año 100 a. C., los sirios descubrieron en Sidón el arte del soplado del vidrio mediante una caña hueca, lo cual supuso un enorme adelanto en la técnica del trabajo en vidrio.

En la mitología griega la caña está vinculada al fuego como principio vital (Prometeo trae el fuego a los hombres en una caña hueca).

El término "caña" también es frecuente en la Biblia y por lo menos algunas de las referencias conciernen a *Arundo donax L.* Los escritores bíblicos proporcionan poca información en cuanto a la utilidad de la planta, pero se sabe que hicieron uso de sus características más conocidas, como tenacidad, rigidez, vigor y naturaleza.

En el cristianismo la caña es el símbolo de la humildad y de la justicia. “Antes de la crucifixión los soldados entregaron a Cristo una caña como cetro irónico y luego le golpearon con ella” (Mateo 27. 29-30; Marcos 15.19). En la tradición cristiano oriental la tríada compuesta por la caña, el lirio y la hoja de roble, encarnan la debilidad del hombre (la caña), transformada a través de la resurrección (el lirio), en fuerza (la hoja de roble).

Para la población de América Central la caña es el símbolo de la sequía, la juventud perdida y el calor de la vida.

La caña común es originaria de Asia Central y se fue extendiendo y naturalizando en todos los países que rodean el mar Mediterráneo, desde este área, se

dispersó extensamente, sobre todo a través de la introducción intencionada del hombre, en todas las áreas subtropicales y caliente-templadas del mundo.

La planta es muy abundante en la India, ascendiendo a elevaciones hasta 3.000 m en la cordillera del Himalaya y desde allí se ha dispersado hacia Birmania y China. También se ha introducido en Australia y muchas islas de los océanos Pacífico y Atlántico.

La caña común también se ha infiltrado extensamente en América Central, sur de Estados Unidos y en las islas Bermudas y Bahamas. (Bell, 1993, 1997), (Brandes, 1991), (Bhosys, 1912), (Cornu, 1945), (Dudley, 2000), (Eby, 1945), (Fornell, 1990), (Haciyev et al. 1991), (Iverson, 1994), (Jackson, 1994), (Luna Ercilla, 1952).

Debido a su extensa distribución geográfica y utilización *Arundo donax* L. ha asumido muchos nombres comunes. En España y países de habla hispana se le denomina: caña común, caña de Castilla, caña gigante, carrizo, cañizo, caña española, bambú español, guadua de Castilla, caña del nal, canya de San Joan, garriz, kañavera, etc.

En países de habla inglesa en general se llama: giant reed, italian reed, spanih reed, bambú, Danubio reed, reed donax, o Provence reed, así como por las denominaciones generales tales como bastón o la caña. En Estados Unidos la planta es llamada a veces carrizo mejicano.

En otros países los nombres empleados son simplemente traducción de los epítetos simples "bastón" o "bastón común". Otros nombres importantes, algunos de los cuales también se aplican al carrizo (*Phragmites communis*), son: en Birmania: alokyu; en Egipto: kasab; en Francia y África francesa: canne, canne de Provence, roseaux; en Alemania: Pahlrohr, Pfeilroh, Riesenschilf; en Grecia: kalamos; en La India: bara nal, gaba nal, narkul; en Italia: calami, caneviera, canna, berganega del canna, canna di cannitu, comuna del canna, domestica del canna, canna Montana, rocchi del da del canna, canna di stenniri, gergane del ciane, danaci, gutamu, virtamu y la forma más abigarrada se denomina zagariddara del canna.

1.3.1.2.- TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA.

Reino	<i>Plantae</i> .
Subreino	<i>Tracheobionta</i> .

División	<i>Magnoliophyta</i> , angiosperma.
Clase	<i>Liliopsida</i> , monocotiledónea.
Subclase	<i>Commelinidae</i> .
Orden	<i>Cyperales</i> .
Familia	<i>Gramineae /Poaceae</i> .
Género	<i>Arundo</i> .

El género *Arundo* de la tribu *Festucaceae*, incluye cerca de seis especies de las cuales *Arundo donax* L. es el más distribuido.

Arundo conspicua Forst. es natural de Nueva Zelanda y crece extensamente en jardines europeos como ornamental.

Arundo plinii o caña borde, es nativo de los países que circundan el mar Mediterráneo.

Arundo de Formosa es nativo de Formosa.

Arundo fulvida J. buch. y *Arundo richarde* Endl. son nativos de Nueva Zelanda. Todas las especies son muy similares diferenciándose por la altura de la planta y las características de sus fibras.

Una variedad cultivada de la especie *Arundo donax* L. (*var versicolor*) fue descrita en 1768 en el diccionario de los jardineros de Molinero.



Fig. 1.2. *Arundo donax* L. (caña común) en proceso vegetativo y antes de ser segada.

La caña común es la mayor de las gramíneas de las regiones mediterráneas, es una planta salvaje en la que no se ha realizado selección de genotipos ni mejora genética. *Arundo donax* L. es una planta perenne que forma densos cañaverales, de ramas foliosas sin ramificar. El sistema radicular es un rizoma grueso y nudoso, con raíces adventicias profundas (150 cm.) y muy resistente; los vástagos son de crecimiento rápido. El tallo es de color verde, liso, flexible, hueco y nudoso; con diámetros entre 2 y 4 cm, y se vuelve duro y leñoso el segundo año.

De cada nudo salen las hojas envolventes de color purpúreo verdoso al principio y amarillas al madurar. Estas hojas son alternas, lineales acintadas, ásperas y terminadas en punta; de 4 a 7 cm de ancho y hasta 65 cm de longitud. En el extremo del tallo está el meristemo apical que es la región activa de la división y diferenciación de las células y responsable del tamaño de la planta.



Fig. 1.3. Envoltura de la hoja



Fig. 1.4. Rizoma

Florece el segundo año, a mediados de verano principio de invierno. Las flores son hermafroditas, blancas plateadas, sin cáliz ni corola y forman grandes panojas (inflorescencias) en el extremo del tallo que son laxas y muy ramosas.

Ciertos genotipos crecidos salvajes alcanzan alturas superiores a los 6 m, con un crecimiento diario de 7 cm.



Fig. 1.5. Flor de *Arundo donax* L.

Se conocen dos variedades que han sido seleccionadas como ornamentales:

- Caña gigante rayada (*donax var Arundo versicolor*), también conocida como “*cv variegata*”. Es una planta más pequeña con rayas blancas sobre verde oscuro.
- *Cv “Macrophylla”* de hojas más anchas y de color verde grisáceo o azulado.



Fig. 1.6. “*Donax var Arundo versicolor*”
cv variegata



Fig. 1.7. “*Donax var Arundo*
cv Macrophylla”

La planta salvaje que crece a lo largo de los cauces de agua, se multiplica mediante rizomas que son arrancados por la corriente y trasladados a otras zonas. Al ser una planta salvaje no se sabe mucho sobre sus mecanismos de propagación.

En pocas regiones es viable la multiplicación por semillas, Bhanwra (1.988)⁽²²⁾ encontró que el sistema de semillas en la India era pobre, debido a la falta de meiosis en la mayoría de los óvulos.

Linder et al. (1958) regeneraron la planta mediante callos embriogénicos de las inflorescencias no maduras mediante cultivo en medio orgánico.

Christou (1994) concluye que en los ensayos realizados para la reproducción dentro de la red europea “productividad de *Arundo donax* L.”; con la división de rizomas se alcanzaron éxitos entre el 60 y 95% y que mediante la propagación por estacas con meristemos solo se consiguió regenerar el 1% de plantas.



Fig. 1.8. Reproducción en agua de rizoma.

1.3.1.3.- REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.

Arundo donax L es una planta salvaje naturalizada en lugares geográficos muy diferentes y cuyas necesidades edafoclimáticas son:

- Suelo: se adapta a la mayoría de suelos aunque prefiere suelos alcalinos, húmedos, encharcados y de drenaje. Tolera bien los suelos salinos, pesados y arenosos. Se desarrolla con pH entre 5,0 y 8,7 (Duque 1979).
- Clima: tiene un buen desarrollo en climas áridos y semiáridos y aguanta bien la sequía y la helada. Se ha adaptado a climas templados tropicales, subtropicales y calientes del mundo, por lo que está extensamente distribuido.
- Temperatura: Se ha comprobado que se obtienen buenos desarrollos de caña común con temperaturas medias entre 14° y 20° C y que sometiendo los rizomas a temperaturas de 7° C no se observa el desarrollo de ningún brote y cuando la temperatura alcanza los 11,5° C los brotes comienzan a emerger.
- Luz: alcanza un mayor desarrollo a pleno sol ya que posee una capacidad fotosintética muy alta en la fase de crecimiento.
- Altitud: no se observan cañas comunes a partir de los 1.500 m, su mayor distribución está en zonas costeras, aunque en la India se pueden encontrar plantas a 3.000 m de altitud.
- Humedad: se desarrolla muy bien en zonas húmedas y encharcadas.

1.3.1.4.- TÉCNICAS DE CULTIVO.

Existen pocos datos sobre las técnicas de cultivo de la caña común (*Arundo donax* L.) ya que es una planta no seleccionada, y cultivada en pocas zonas del mundo.

Necesidades de agua:

La caña común tiene fama de ser gran consumidora de agua porque se desarrolla con facilidad a lo largo de las corrientes de agua, pero a la vez se observa que aguanta bien la sequía. Ensayos realizados en los últimos años intentan cuantificar cuales son sus necesidades de agua.

Con el proyecto BioMatNet. FAIR-CT96-2028- Giant reed (*Arundo donax* L.), Dalianis et al. (1994) realizaron cultivos experimentales en Grecia con un marco de plantación de 1 rizoma /m² y caudales de riego de 150, 300, 400 y 700 mm anuales, y se comprobó que las plantas irrigadas aumentaban perceptiblemente la producción, pero que disminuían con grandes aportes de agua de riego; y en los tratamientos secos, las plantas cerraron los estomas y pararon la transpiración, posteriormente se desarrollaron con normalidad.

Ensayos en Italia realizados por Monti y Venturi (1999) comprobaron que plantas regadas con un 50% de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) producían igual que las regadas al 100% de ET_o. Las conclusiones provisionales de estos ensayos indican que la caña común es buena administradora de agua.

La caña tolera aguas duras y residuales y no presenta problemas de lixiviación.

Ensayos realizados sobre la fertilización con nitrógeno en Italia (Monti, Venturi et al. 1.997)⁽¹⁰⁶⁾ usando cuatro fertilizaciones distintas de nitrógeno (0, 80, 160 y 80+80) aplicando una dosis 20 días antes del comienzo vegetativo y otra dosis 15 días después. El ensayo se realizó con plantas de 3 años y se cosechó en dos veces, una en mayo y otra en agosto y obtuvieron los siguientes resultados:

- El material cosechado en agosto presentaba un nivel de humedad del 63% mientras que el cosechado en mayo contenía el 56%.
- El nivel de nitrógeno influyó en el aumento de brotes pero no en la producción total como puede verse en la tabla 1.1.

TABLA 1.1. FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO.						
Nitrógeno (Kg/ha)	Biomasa fresca (t/ha)			Materia seca (t/ha)		
	Mayo	Agosto	Total	Mayo	Agosto	Total
0 N	24,6	8,3	32,9	11,0	4,9	15,9
80 N	22,5	7,9	30,4	10,9	3,9	14,8
160 N	17,8	6,4	24,3	7,9	3,3	11,2
80+80 N	19,8	10,6	30,4	7,7	6,4	14,1

Fuente: Monti, Venturi (1999)

Sobre la dinámica de nutrientes Sharma et al. (1999) observaron en la India que los tejidos finos aéreos de la planta contenían mayores cantidades de K y Ca que los tejidos enterrados, en cambio los rizomas disponían de más Na y P, el nitrógeno se hallaba en la misma proporción en todas las partes de la planta. Cuando se producían nuevos brotes los nutrientes excepto el fósforo se desplazaban de los brotes viejos a los jóvenes.

1.3.1.5.- PRODUCCIONES Y RECOLECCIÓN.

Aunque la caña común (*Arundo donax* L.) ha sido utilizado desde la antigüedad, sigue siendo una planta salvaje; solo se cultiva en la región de Var en Francia (para fabricación de instrumentos musicales) en el norte de Italia (para la industria del rayón) y actualmente se está comenzando a cultivar en otras zonas (Argentina, Formosa, etc.), es por lo que hay pocas referencias sobre producciones. En 1940 se establece una producción en Francia de 20 a 25 t/ha en materia seca, Matzkc (1988) en Italia establece una producción de 35 t/ha considerando solo vástagos secados al aire.

Experiencias realizadas en 1994 en Grecia (Dalianis), Italia (Jodice)¹ y Reino Unido (Morgana) han obtenido producciones de materia seca en suelos estériles de 15 t/ha, llegando en suelos fértiles a 40 t/ha.

La recolección es generalmente manual y dificultosa ante la gran densidad de plantas en los cañaverales y la dureza de los tallos, y aunque se han ensayado adaptaciones de distintos tipos de máquinas segadoras existentes en el mercado,

ninguna ha dado resultados óptimos (actualmente en Italia se está comprobando la adaptabilidad de las segadoras de maíz).



Fig. 1.9. Plantación en Italia de *Arundo donax* L.

1.3.1.6.- PLAGAS Y ENFERMEDADES.

La caña común es una planta resistente a plagas, enfermedades y malas hierbas. Solo es atacada en ocasiones por *O. paragramis*, familia *Ortheziidea*, superfamilia *Coccoidea*, también llamada escama blanca móvil del arroz. Estos insectos se reconocen porque las hembras producen un ovisaco blando, blanco alargado con lados rectos. El cuerpo de la hembra es de forma oval, verde oscuro o pardo, orlada con filamentos cerosos por el borde con una doble hilera por el dorso. El macho está provisto de ojos compuestos bien desarrollados. El adulto es móvil conservando sus patas y antenas de color castaño. Estos insectos se localizan en el nacimiento de hojas, en el cuello del rizoma o en otros lugares protegidos formando colonias numerosas.

En algunos casos se han observado manchas en hojas y tallos producidos por hongos de los géneros *Septoria* y *Alternaria* (García Fernández, 1971)

Y según el libro “Comptes rendus des séances de L’Académie des sciences” de Francia (1838) el *Arundo donax* L. es susceptible al virus del mosaico.

1.3.1.7.- MÉTODOS DE CONTROL DE LA CAÑA COMÚN.

La planta es una mala hierba para las plantaciones de arroz, ya que trozos de rizomas de caña son transportados por el agua de riego y además puede convertirse en un problema grave cuando crece en los márgenes de las corrientes fluviales, pues al

producirse crecidas de agua es arrancada y transportada formando grandes masas (bardomeras) que obstruyen los cauces, produciendo inundaciones y arrasando a su paso todo tipo de construcciones, por eso se realizan métodos de control periódicos en los cauces.

Ya en las “Ordenanzas del Juzgado Privativo de Aguas de Orihuela” (Alicante) de 1625, se contempla en la Ordenanza Séptima “de las mondas”, la responsabilidad de los Síndicos de acequias y azarbes de mondar los cauces cada dos años y desbardomar (quitar las cañas de los cauces) una vez al año, en el mes de marzo.

Los métodos de control de *Arundo donax* L. son manuales (siegas periódicas), mecánicos o mediante herbicidas. Dentro de los herbicidas se ha obtenido buenos resultados aplicando mediante tratamiento foliar fluazipop y glyphosate antes de la floración, con una eficacia de casi del 95%. Posteriormente se realiza el segado.

Para el control biológico se han realizado diversas experiencias utilizando numerosos insectos patógenos, entre otras las recogidas por Zuñiga et al. (1983) y realizadas con:

Schizaphiz graminum en Italia (Zuñiga et al. 1983)

Phothedes dulcis en Francia (Dufay, 1979)

Zyginidia guyuni en Pakistán (Ahmed et al. 1977)

Diatraea saccharalis en Barbados (Turker, 1940)

Que han dado buenos resultados en la zona de ensayos, pero no se han comprobado en otros lugares.

1.3.2.- ESTRUCTURA DE LA CÉLULA DE LA CAÑA COMÚN.

En la sección transversal de la caña, la epidermis demuestra un patrón regular de células epidérmicas normales pequeñas y emparedadas densamente, entremezcladas con células de forma ovalada silíceas. Varias capas de células del parénquima se encuentran inmediatamente debajo de la epidermis, en esta región las células del parénquima son relativamente pequeñas y emparedadas densamente en contraste con las células de paredes delgadas grandes del parénquima de la región interior. Una pared de células de fibra está situada dentro del cilindro de las pequeñas células del parénquima. Esta pared de células de fibra es continua alrededor del tallo y separa los tejidos finos externos de los tejidos finos internos. Los paquetes vasculares se dispersan a través del tallo, los

muy pequeños se encuentran cerca de la superficie, y su tamaño va aumentando hacia el centro. Cada paquete vascular consiste en un anillo de células de fibra que rodean el xylem y el líber.

Con la maduración las paredes de las células del parénquima y de las células de fibra adquieren mayor grosor.

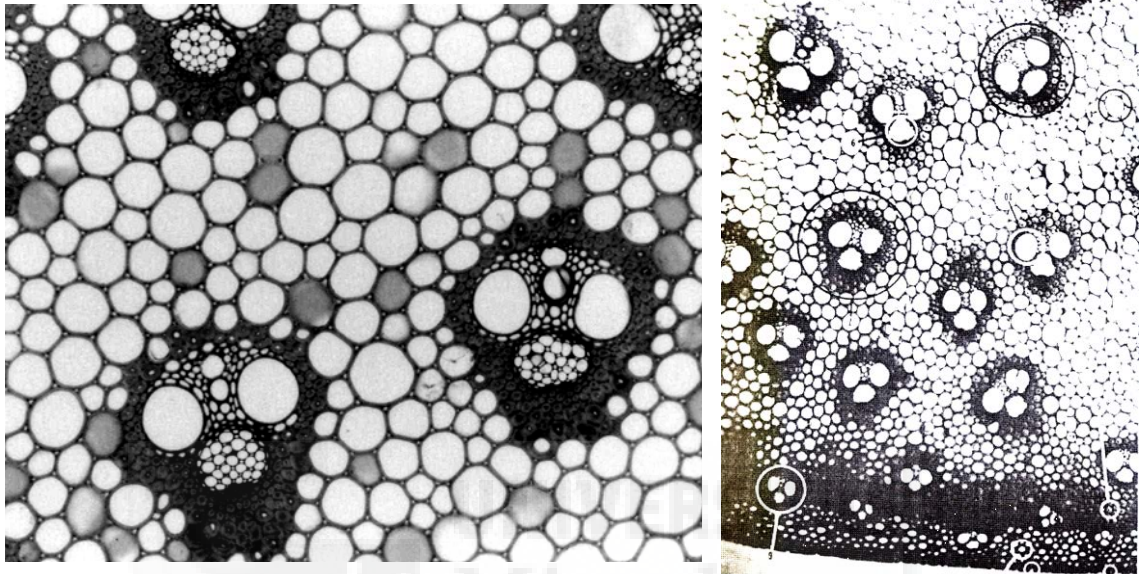


Fig. 1.10. La parte interna de la caña común (*Arundo donax L.*)

Fuente: E.Obataya y M. Norimoto

La envoltura del paquete vascular tiene células de paredes gruesas y las del parénquima células de paredes más finas. La envoltura del paquete vascular tiene las fibras a lo largo de la dirección longitudinal pudiéndose comparar la estructura de la caña común a un modelo de la fibra-espuma, según se puede observar en la figura 1.11.

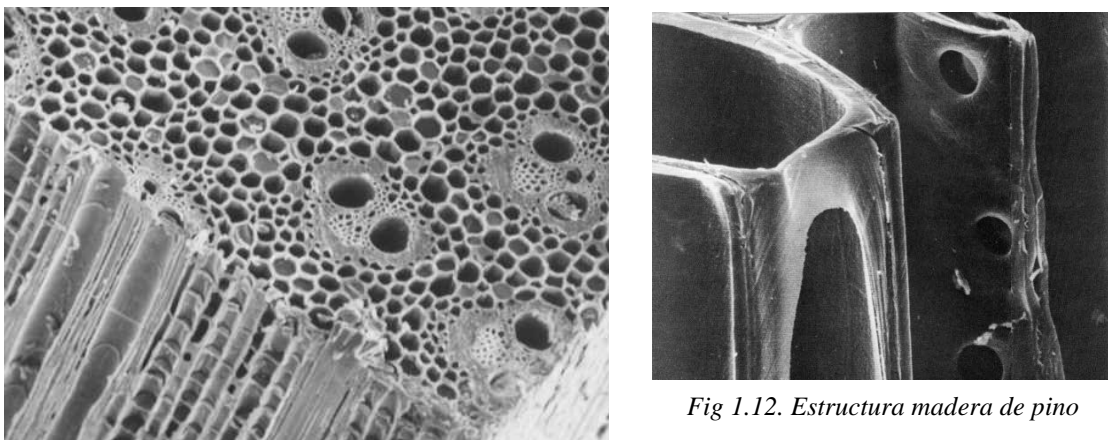


Fig 1.12. Estructura madera de pino

Fig. 1.11. Estructura de *Arundo donax L.* Fuente: E. Obataya y M. Norimoto. 1995

Para terminar de comprender la estructura de la caña común como material resistente a esfuerzos, es necesario tener unas nociones sobre su composición química comparada con la madera.

Tabla 1.2. Composición química de la caña común

Componentes químicos	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Agua (1)	AB (2)	Ceniza
<i>Arundo donax</i> L.	47,0	31,0	25,7	13,4	6,6	3,4
Madera de pino	51,4	28,1	29,1	5,0	2,2	0,2

(1) Extractos solubles en agua caliente.

(2). Extractos solubles en alcohol-benceno.

Fuente: E. Obataya y M. Norimoto, 1995

Como se puede observar, los componentes principales de la caña común no son tan diferentes de los de la madera, a excepción de su gran contenido en extractos solubles en agua.

La celulosa principal componente de la caña común es un polímero natural de la glucosa que forma fibras resistentes a tracción, es un producto incoloro e insípido. Si su calidad es buena (con un grado de polimerización adecuada) puede llegar a tener unas resistencias a tracción de aproximadamente de 100.000 kp/cm². Estas fibras aparecen tejidas en una matriz amorfa de hemicelulosas y lignina, el primero es un polímero de la glucosa ramificado que se degrada con facilidad por álcalis, y la lignina es un polímero de origen fenólico insoluble en agua. Esta matriz aporta la cohesión entre las fibras y la resistencia a compresión y esfuerzo cortante, con lo que ambos grupos de sustancias (fibras de celulosa y ligninas) forman un material compuesto que conforma la pared celular de la caña común, de manera similar a como se constituye el hormigón armado o las fibras plásticas modernas.

Según Spatz et et *al.* (1997, 1998) en la maduración de la caña se produce una lignificación de la celulosa por lo que aumenta su dureza y resistencia a compresión.

Además la caña común (*Arundo donax* L.) tiene otras sustancias que son responsables de otros aspectos, sílice y polifenoles además de otros productos, que producen coloración y características de imputrescibilidad.

A ésta micro-estructura se deben muchas propiedades de la caña, en especial una marcada anisotropía mecánica y resistencia al aplastamiento de la fibra, por lo que presenta propiedades adecuadas para ser un buen material de construcción.

1.3.3.- APLICACIONES Y USOS DE LA CAÑA COMÚN.

1.3.3.1.- INSTRUMENTOS MUSICALES.

Desde el punto de vista de la cantidad utilizada o de su valor monetario, la caña común es una gramínea poco importante, pero esta planta ha desempeñado un papel importante en la cultura del mundo occidental por su influencia en el desarrollo de la música. La planta tiene una larga historia, quizás mayor que la de cualquier otra especie, salvo excepción de las plantas básicas de la alimentación.

La música se supone que surgió hace unos 40000 años, cuando el hombre encendió fuego y aprendió a avivarlo soplando por una caña hueca (Baines, 1957).

La flauta pánica es común a varias civilizaciones y prácticamente en todas se la relaciona con el amor. Dentro de la mitología griega la leyenda de la siringa es una de las más hermosas. Cuenta que Pan, semi dios que vivía relegado en la cima de una colina al borde del Olimpo, paseaba por un bosque y se encontró con una ninfa que distraída, no había notado lo lejos que se hallaba. Pan quedó prendado de su hermosura y la persiguió. La ninfa aterrorizada por éste corrió desesperada hasta que un río la detuvo. Pan la hubiera alcanzado y declarado su amor, pero una divinidad para protegerla la transformó en una caña. El cortó la caña en trozos de diferente longitud y con ellos hizo una flauta (panpines); su música le consolaba de la pérdida cuando se sentía poseído por la pasión.

Todos los instrumentos musicales populares europeos de viento tienen la lengüeta vibratoria de caña común, e incluso los instrumentos clásicos: flauta, oboe, clarinete, saxofón, etc. (Artley, 1940), (Inoue et al., 1998), (Kolesik, 1998), (Lawton et al., 1996) (Lichtenwanger, 1940), (Perdue, 1958), (Rendall, 1954), (Veselack, 1973), (Young, 1939).

Hoy, las cañas (nombre que recibe la lengüeta vibratoria) de los instrumentos musicales de viento clásicos, todavía se hacen de las cañas de *Arundo donax* L., el mismo material que se ha empleado a través de la historia de estos instrumentos. Éste es un caso algo inusual en el cual la tecnología moderna no ha podido desarrollar un sustituto satisfactorio aunque, durante épocas de escasez de cañas se hayan realizado intentos para sustituirlas por otros materiales, que tengan igual capacidad vibratoria y tono adecuado y aún no se ha encontrado.

Las cañas para la fabricación de instrumentos tienen que tener la fuerza y grosor apropiados, para ello se cortan selectivamente tallos cada 3 años y se almacenan para su secado al aire de uno a tres años, posteriormente se cortan en bisel y se talla la caña del instrumento.



Fig. 1.13. Lengüeta de caña común (*Arundo donax L.*) de un saxofón.

1.3.3.2.- ARTESANÍA.

Con la caña común se fabrican escobas, esteras, cestas, jaulas, vallas, sombrajes y muebles, no solo como artesanía popular sino también industrial en diversas partes del mundo.



Fig. 1.14. Conejera de madera y caña común. Detalle.

1.3.3.3.- UTILIZACIÓN FARMACÉUTICA.

La caña común ya era utilizado en la antigüedad clásica; Dioscorides, médico y botánico griego del primer siglo de nuestra era, ya recomendaba el uso de la caña para aumentar la producción de orina.

En la medicina popular se ha utilizado mediante infusiones para varios tipos de enfermedades hasta llegar a atribuirle propiedades mágicas. En las referencias de

farmacología de raíces se le asignan pequeñas cantidades de alcaloides. Zhalolov et al. (1998, 2000) puntualizan que el *Arundo donax* L. entre los compuestos de tryptamines contiene: Methoxy-N-metílico y Methohidróxide (DMT), de Gramine: Gramine-N-óxido y de Bufotenidine: DMT-N-óxido y Dehydrobufotenine. Estos compuestos simples del indol no poseen propiedades alucinógenas para las personas.

La caña común posee acción diurética, vasocompresora, sudorífera y antigalactogénica (Wassel, 1984)

Tradicionalmente en la Vega Baja del Segura se ha tomado: en infusiones para problemas de tensión, y la melaza del azúcar derretida al sol dentro de una caña, se utiliza como jarabe para la tos.

1.3.3.4.- AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN.

La caña común se plantó extensamente por todos los países Mediterráneos para controlar la erosión en márgenes de canales y ríos y se sigue utilizando en la agricultura para cercas, cortavientos y tutorizar cultivos. En el sudeste de España el cuidado de los gusanos de seda se realizaba en camas o grandes bandejas de cañizo (trenzado de cañas) llamados paneras o panellas y también para el secado al aire de ñoras (pimiento redondo para pimentón).



Fig. 1.15. Panellas de gusanos de seda.

Fuente: Guillén, (1999)

Como alimento natural solo se tiene noticia de ciervos que se comen los brotes jóvenes. En algunos países como Chile y la India, se utilizan los brotes jóvenes para la alimentación del ganado. Análisis realizados por cada 100 g. de materia seca dan los siguientes resultados que se observan en la tabla 1.3.

TABLA 1.3. ANÁLISIS CAÑA COMÚN (<i>ARUNDO DONAX</i> L.) 100g				
Fuente	Proteínas (g)	Grasas (g)	Fibras (g)	Cenizas (g)
Perdu (E.E.U.U.) ⁽¹³²⁾	6,9	1,13	37,5	9,2
FAO (Chile)	6,6	2	31,8	13,9
FAO (India)	13,2	1,1	33	12,4

TABLA 1.4. COMPOSICIÓN DE LAS CENIZAS. (g)				
Referencia	Ca	P	K	Mg
Perdu (1958)	0,30 a 0,67	0,8 a 0,15	2,04 a 3,19	0,20 a 0,30

TABLA 1.5. DIGESTIBILIDAD %			
	Proteínas	Grasas	Fibras
En verde	74	56	69
Henificado	43	27	48

Fuente: Chadraesekharan, Ch., Frisk, T. (1996). FAO

<http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/AFRIS/DATA/29.htm>

Los análisis indican que los primeros brotes pueden ser un alimento para el ganado, posteriormente los tallos se endurecen y las hojas son muy ásperas e incomedibles (Fratteggiani, 1963), (Chandhuri et al., 1970).

1.3.3.5.- ACUICULTURA.

La caña común tiene una gran flexibilidad y dureza, además resiste una vez endurecida en el agua sin descomponerse, (Prenda et al. 1996) por eso la caña común ha sido utilizada tradicionalmente como caña de pescar hasta la introducción del bambú, para algunas artes de pesca como el currican todavía se utiliza; también para cercas en ríos donde se capturaban los peces (cañal), jaulas para cría de peces y laberintos-trampa donde los peces entraban y se mantenían hasta alcanzar el peso apropiado (encañizadas del mar Menor en Murcia).

Se ha utilizado también para contención de dunas en toda la zona Mediterránea (Villar, 1972), como puede verse en la figura correspondiente de las dunas de Guardamar (Alicante) a finales de siglo XIX.



Fig. 1.16. Cañizo para contención de dunas. Ingeniero Larramendi.

1.3.3.6.- PRODUCTOR DE BIOMASA Y CELULOSA.

A.- INTRODUCCIÓN.

Anselm Payen en 1838 fue el primero en reconocer la existencia de la celulosa como un material común de las paredes de las células de las plantas. Las investigaciones sobre las propiedades de *Arundo donax* L. como productor de celulosa surgen ante la escasez de recursos y la necesidad de papel, comenzaron durante la segunda guerra mundial, por lo que los investigadores realizaron análisis de distintas especies de plantas. Las dimensiones de las fibras de la planta indican el potencial para ser utilizada en la industria de la celulosa, ya que mediante tratamientos prolongados con hidróxido de calcio se consigue el alargamiento de las fibras, interesando que éstas tengan las mayores dimensiones posibles antes de comenzar el proceso industrial. Los datos disponibles sobre las dimensiones de las fibras figuran en la siguiente tabla 1.6.

TABLA 1.6. DIMENSIONES DE LAS FIBRAS DE <i>ARUNDO DONAX</i> L. (mm)				
Fuente	Longitud	Promedio longitud	Ancho	Promedio ancho
Anónimo ⁽⁸⁾	0,24-4,57	1,52	-	-
Raitt (1913)	0,62-2,25	1,50	0,0012-0,037	0,017
Onofry (1940)	0,60-5,40	1,2-2,0	0,020-0,025	0,022
Jayme et al. (1948)	0,10-5,00	-	-	-
Bhat y Virmani (1951)	0,80-2,80	1,45	-	-
Scurlock et al. (1943)	-	1,2	-	-

Para poder valorar la capacidad de la caña común (*Arundo donax* L.) en la tabla 1.7. se muestra un estudio comparativo de las dimensiones de las fibras de otras plantas.

Especie	Longitud promedio (mm)	Longitud /ancho
<i>Arundo donax</i> L.	1 a 1,8	75 : 1
Coníferas	3,5 a 6	100:1
Madera dura	1,2 a 1,4	
Maíz	1,5	
Caña de azúcar	1,7	

Fuente: Perdu (1958)

Como indica la tabla anterior, las fibras de caña común (*Arundo donax* L.) son de mayor longitud que las de otras hierbas y las de la madera dura; las coníferas tienen mejores fibras pero la caña común presenta la ventaja de un rápido crecimiento vegetativo: caña común (2 ó 3 años) y coníferas (20 años). Luego como productor de fibras puede considerarse uno de los primeros recursos renovables.

B.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE *ARUNDO DONAX* L.

Muchos investigadores han analizado la composición química de de la caña común empleando distintos métodos de análisis y con material no seleccionado, por lo que resulta difícil la comparación de los datos obtenidos, que son los que figuran en la siguiente tabla 1.8

Fuente	Celulosa%	Pentosas%	Lignina%	Ceniza%	Alcohol-benceno soluble%
Raitt (1913)	42,8	33,6	9,4	7,4	
Tomeo et al. (1954)	40,1-44,4	22,7-27,5	23,4-24,4	3,8-4,8	10,7-11,9
Jayme et al. (1948)		24,3	16,4	2,9	
Bhat y Virmani (1951)	58,0	18,4	22,0	3,6	6,8
Kolesik et al. (1998)	43,8(alpha)	20,8	22,4	2,5	
Red europea <i>Arundo</i>	61	12	21	6	
Scurlock et al. (1943)	61		21		

Si hacemos una primera aproximación y comparamos la composición química de la caña común con los análisis efectuados a otras plantas que figuran en la tabla 1.9.

TABLA 1.9. COMPARACIÓN QUÍMICA CON OTRAS PLANTAS			
Especie	Celulosa %	Hemicelulosa %	Lignina %
<i>Arundo donax</i> L.	35-40	20-30	16-25
Madera dura	45	30	20
Madera blanda	42	21	26
Bambú	41-49	24-28	24-26
Maíz	35	28	16-21
Caña de azúcar	32-48	19-24	23-32
Hierbas	44-51	42-45	13-20

Fuente: Perdu (1958)

Observamos que tiene menor contenido en celulosa que las maderas y mayor que otras plantas cultivadas, aunque diversos autores defienden que la celulosa de la caña común tiene una proporción del 75 % de α -celulosa lo que conlleva mayor calidad.

C.- RAYÓN O VISCOSA.

La mayoría de la fabricación comercial del rayón utiliza hoy el proceso viscoso. Este proceso data de principios de 1900 y la industrialización de la producción se produjo entre 1925 y 1955. Al principio, la producción era principalmente filamento textil.

La pulpa de la caña común se utiliza desde 1937 para la fabricación de rayón; esta iniciativa fue favorecida por el dictador italiano Mussolini dentro de sus planes sobre agricultura industrial, iniciándose una plantación en la provincia de Torvicosa gestionada por la empresa Viscosa S.A., que fue la que desarrolló el proceso de obtención de rayón, (Oliver, 1939), (Marinotti, 1941). La invención de modificantes en 1947 trajo las fibras utilizadas para neumáticos y marcó el principio de las fibras de alto rendimiento del rayón. Actualmente la industria italiana adquiere el 60% de la pulpa de caña común a otros países.

Algunas aplicaciones importantes de la Fibra de Rayón son las siguientes:

- Ropa: Accesorios, blusas, vestidos, chaquetas, ropa interior, guarniciones, sombrerería, holgas, ropa de deportes, juegos, lazos, ropas de trabajo
- Complementos caseros: Colchas, mantas, cortinas, drapeados, manteles, tapicería.

- Aplicaciones Industriales: Productos industriales, productos quirúrgicos médicos, productos no tejidos, fibras de neumático.
- Otros: Productos femeninos de higiene

D.- PASTA DE PAPEL.

Las investigaciones sobre la caña común para la obtención de pasta de papel comenzaron en 1.912 continuando diversos investigadores utilizando diversos procesos de digestión para la obtención de la pasta hasta 1.950 que figuran en la tabla 1.10.

Fuente	Proceso	Total química (Na ₂ O)%	Tiempo (h)	Tª C°)	Rendimiento blanqueante de pulpa	Comentarios
1. Raitt (1913)	Soda	16,3	6	153	37,0	Extraídos antes los almidones
2. Dupont y Escourrou (1925)	Soda	21,1	3	160	42,5	Material con un 8,1% de humedad
3. Bhat y Virmani (1951)	Sulfato	13,2	6	153-162	42,6	Sin hojas. Cosecha con un 36,3% de pulpa blanqueada
4. Bhat y Virmani (1951) ^(c)	Sulfato	13,2	6	153-162	35,0	Con hojas. Cosecha con un 30% de pulpa blanqueada
5. Bhat y Vimani (1951)	Soda	14,0	6	153-162	45,0	Sin hojas. Cosecha con un 38,3% de pulpa blanqueada.
6. Bhat y Virmani (1951)	Soda	14,0	6	153-162	35,0	Con hojas. Cosecha con un 27,1% de pulpa blanqueada.
7. Tomeo, Herrero, y Astor (1954)	Sulfato	17,5	5	170	42,0	-
8. Bhat y Virmani (1951)	Sulfato	17,1	6	153-162	43,3	Al 50% <i>Phragmites</i> . Cosecha 34,5% de pulpa blanqueada

Actualmente otros investigadores han utilizado otros procesos de mejora sobre la pasta de papel estudiando el efecto del solvente etanol-álcali en la producción y características de las pulpas de la caña común. La pulpa se mejoró perceptiblemente al calentarla con un aumento proporcional del solvente. Subir la concentración de etanol

desde el 20 hasta el 60% (en volumen) aumentó la producción de la pulpa de 44,0 a 48,9%, mientras que disminuía la lignina residual de 5,0 a 3,0%.

La adición de etanol tenía un efecto positivo en la preservación del complejo del carbohidrato contra la degradación en entorno alcalino. La viscosidad intrínseca de la celulosa se mejoró hasta el 35% y el contenido de xylan aumentó de 8,6 a 12,1%. También observaron la conservación de los polisacáridos de menor importancia de la fibra no celulósica con la adición solvente. Las características de la fabricación de papel de las pulpas con etanol-alcali eran mejores para un contenido del etanol del 20%. La adición solvente ayudó a la conversión de glucurónico en ácidos hexenurónicos, mientras que el contenido de hexacelulosa en pulpas con etanol-álcali de caña común (cerca de 10 $\mu\text{mol/g}$) eran substancialmente más bajas que el divulgado para las pulpas de madera, por lo que se obtenía un papel manual de mejor calidad.

1.3.3.7.- BIOENERGÍA.

La mayoría de los materiales de la biomasa son más fáciles de gasificar que el carbón, porque son más reactivos, con una estabilidad mayor de ignición. Esta característica también los hace más fáciles de procesar termoquímicamente en combustibles del alto-valor tales como metanol o hidrógeno.

Entre los combustibles líquidos obtenidos de biomasa, el biodiesel (éster del aceite vegetal) es importante por su semejanza con el combustible diesel derivado del petróleo, además tiene un contenido insignificante de sulfuro y ceniza. El bioetanol tiene un valor calorífico cercano al 70% del valor calorífico de los destilados del petróleo tales como la gasolina, y su contenido de sulfuro y de ceniza es también muy bajo. Estos combustibles líquidos tienen una presión de vapor e inflamabilidad menor que sus competidores derivados del petróleo que puede ser una ventaja en espacios confinados.

Características "típicas" seleccionadas de ciertas materias de base de biofuel o bioenergía comunes, comparadas con el carbón y el aceite figuran en la tabla 1.11.

TABLA 1.11. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS BASE DE BIOENERGÍA						
		Valor caloríf GJ/t)	Ceniza (%)	Sulfuro (%)	Potasio (%)	T ^a a la que se derrite la ceniza (°C)
Bio- materiales	Caña de azúcar	17,4	7,7			
	Madera dura	20,5	0,45	0,009	0,04	900
	Madera blanda	19,6	0,3	0,01		
	Álamo híbrido	19,0	0,5-1,5	0,03	0,3	1350
	Bambú	18,5- 19,4	0,8-2,5	0,03-0,05	0,15-0,50	
	<i>Arundo donax L.</i>	17,1	6-7	0,07		
Biofuels Líquidos	Bioetanol	28		< 0,01		S/D
	Biodiesel	40	< 0,02	< 0,05	< 0,0001	S/D
Combusti- bles Fósiles	Carbón; lignito /subbitumino	15-19	5-20	1,0-3,0	0,02-0,3	~1300
	Carbón. Bituminoso /antracita	27-30	1-10	0,5-1,5	0,06-0,15	~1300
	Aceite (destilado típico)	42-45	0,5-1,5	0,2-1,2		S/D

S/D sin datos

Fuente: Scurlock et al. (2000)

El contenido de ceniza de las biomateriales es típicamente más bajo que para la mayoría de los carbones, y el contenido de sulfuro es mucho menor que en muchos combustibles fósiles. La ceniza del carbón, puede contener metales tóxicos y otros contaminantes, la ceniza de la biomasa se puede utilizar como enmienda del suelo.

Dentro de los materiales para bioenergía la caña común (*Arundo donax L.*) tiene peores indicadores químicos que otros materiales, pero presenta la gran ventaja de que pueden obtenerse cosechas cada 2 años con producciones de hasta 40 t/ha.

También tiene el inconveniente de que el contenido mineral de la caña común puede variar en función del tipo de suelo y que es algo heterogénea respecto a su composición química elemental, pues es una planta no seleccionada.

1.3.3.8 - BIODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. ENSAYOS.

A.- Riego hidropónico con aguas residuales.

Mavrogianopoulos y Kyritsis (2002) realizaron una experiencia sobre el uso de aguas residuales de manera productiva mediante un sistema hidropónico cerrado, donde los efluentes eran aguas residuales de una granja de cerdos. Los resultados demostraron que la caña gigante obtuvo una buena cosecha y simultáneamente era una planta eficiente como biofiltro de las aguas residuales. Observándose una concentración mayor de fósforo en los tejidos jóvenes del vástago. Las concentraciones de nitrógeno, potasio, magnesio, hierro, manganeso y calcio, en tejidos jóvenes de planta estaban en los mismos niveles que las plantas normales. Solamente el fósforo durante los primeros dos años se fue acumulado en los tejidos jóvenes de la planta en una concentración más baja comparada a las plantas crecidas de forma natural en el suelo, debido a las cantidades bajas de fósforo en estas aguas residuales. Los elementos de traza cobre y cinc en general, se acumularon en los tejidos jóvenes de planta en una concentración mayor en comparación con las plantas crecidas de forma natural.

B.- Carbones activados:

La descarga en los cursos de agua de efluentes industriales contaminados con metales pesados es un grave problema a resolver, la adsorción ha demostrado ser un proceso eficiente para la eliminación de metales del agua cuando los mismos se hallan presentes en baja concentración (Cooney, 1999). Entre los materiales adsorbentes, los carbones activados son especialmente útiles para el tratamiento de aguas y su empleo ha sido recomendado por organismos internacionales con este propósito. La capacidad de adsorción de los carbones activados se debe a su estructura porosa altamente desarrollada, que les confieren un gran área específica y unas propiedades químicas en la superficie que tienen un papel importante en la adsorción de los contaminantes (Toles *et al.*, 2000).

La creciente demanda internacional de carbones activados, principalmente asociada a su uso en la resolución de problemas del medio ambiente, ha conducido a investigar el empleo de diversos residuos agroindustriales como potenciales precursores para su producción. Este tipo de materiales lignocelulósicos de bajo costo y abundante

disponibilidad, tales como cáscaras o cortezas de frutas, serrín de maderas, bagazo de caña, son sometidos a diferentes estrategias de activación para su conversión en carbones activados. En este contexto, algunos cultivos de rápido crecimiento, como los denominados genéricamente “energéticos”, constituyen una alternativa interesante, aunque sólo escasamente explorada con este propósito, debido a su alto rendimiento en biomasa y carácter renovable en períodos cortos.

Basso et al. (2001) estudiaron la factibilidad de emplear carbones activados desarrollados a partir de *Arundo donax* L.

Prepararon carbones activados a partir de cañas de *Arundo donax* L., mediante un proceso de activación química empleando soluciones de ácido fosfórico como agente activante y condiciones moderadas de operación. El carbón activado así preparado presentó un área específica de 1.194 m²/g y un volumen total de poros de 1,03 cm³/g, alcanzando una eficiencia en la remoción de Ni (II) mayor al 90 %, muy superior a la de carbón comercial, debido a la gran cantidad de poros que conforman la estructura del carbón activado con caña común (*Arundo donax* L.), como así también al contenido total de grupos funcionales oxigenados ácidos o polarizables de su superficie, que influyen significativamente sobre la adsorción de la especie metálica.

También determinaron que el pH de la solución, afecta significativamente la adsorción del metal, favoreciéndose ésta al incrementar el pH. Además, se logró recuperar el 90% de los iones Ni (II) adsorbidos sobre las muestras del carbón activado preparado mediante desorción con solución de HCl, y se determinó que las propiedades de superficie y la capacidad de adsorción metálica del carbón activado regenerado se mantienen prácticamente inalteradas. Por lo que concluyeron que los carbones activados preparados con caña común (*Arundo donax* L.) son adsorbentes y altamente eficientes para la remoción de níquel de soluciones acuosas diluidas, sugiriendo la posibilidad de su utilización para el tratamiento económico de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

C.- Lagunaje.

El principio básico de la biodepuración de flujo vertical consiste en la utilización de la capacidad de degradación y eliminación de los contaminantes que posee la

biomasa microbiana presente, además las plantas fijadas al suelo permiten un régimen térmico idóneo para los procesos microbiológicos.

Varias empresas utilizan un sistema de biodepuración por lagunaje de flujo vertical utilizando como material vegetal *Arundo donax* L. El sistema es mediante la construcción de balsas impermeabilizadas, equipadas con un sistema de drenaje adecuado para el flujo del efluente, sucesivamente se rellenan las balsas con substratos inertes según las características de las aguas residuales a tratar y posteriormente se procede al abastecimiento y distribución de las aguas residuales y a la plantación de rizomas de caña común (*Arundo donax* L.).

Los resultados de investigación se muestran en la tabla 1.12 y 1.13, como tratamiento secundario de aguas residuales urbanas después de una primera fase de sedimentación.

TABLA 1.12. TRATAMIENTO SECUNDARIO MEDIANTE SISTEMA DE BIODEPURACIÓN DE FLUJO VERTICAL CON <i>ARUNDO DONAX</i> L. Potencialidad 250 H – E (habitante – equivalente)					
Parámetros	Concentración de contaminantes presentes en el agua residual que entra (mg/L)			Concentración de contaminantes a la salida (mg/L)	
	Mínimos	Medios	Máximos	Medios	Eliminación %
Color		1:120		Incoloro	
Olor				Inodoro	
BOD ₅	160	260	420	12,5	95 %
COD	418	633	999	33,6	94 %
Fósforo total	3,15	4,75	5,76	0,1	98 %
Nitrógeno amoniacal	25	43,9	127	11,22	71 %
Nitrógeno nitroso	0,12	0,35	1,5	0,18	48 %
Nitrógeno nítrico	0,36	1,14	5,74	5,83	-

Fuente: CETA (Centro de Ecología Teórica y Aplicada). Vicenza. Italia

TABLA 1.13. MICROORGANISMOS PATÓGENOS.				
Parámetros		Valores medios de entrada	Valores medios de salida	
		Concentración	Concentración	% Eliminación
Coliformes totales	Límite superior	$3,15 \times 10^7$	$7,0 \times 10^4$	99,7 %
	NPM/100 ml	$1,14 \times 10^7$	$2,3 \times 10^4$	99,8 %
	Límite inferior	$5,7 \times 10^6$	$3,0 \times 10^3$	99,9 %
Coliformes fecales	Límite superior	$3,5 \times 10^7$	$3,0 \times 10^4$	99,9 %
	NPM/100 ml	$1,5 \times 10^6$	$1,3 \times 10^4$	99,1 %
	Límite inferior	$2,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^3$	99,8 %

Fuente: CETA (Centro de Ecología Teórica y Aplicada). Vicenza. Italia

Se han realizado también ensayos con aguas residuales industriales, demostrando que este sistema de biodepuración con caña común (*Arundo donax* L.), produce menores costes y mejores resultados que otros tipos de tratamientos de depuración.

1.3.3.9.- LA CAÑA COMÚN EN LA VEGA BAJA.

La caña común se ha utilizado desde la antigüedad en la Vega Baja, siendo diversas sus aplicaciones, especialmente como material de construcción.

4.3.9.1.- USOS TRADICIONALES DE LA CAÑA COMÚN.

Según Guillén (1999) en su libro "El habla de Orihuela", (que trata de las costumbres de la zona) en la Vega Baja, las cañas se plantaban por cepas en las motas de las acequias, de las azarbes y del río. "En febrero la cepa empieza a echar el cañote, en San Agustín (28 de agosto) le salen los guisopos (panículas). En octubre, cuando tienen toda su rasarúa (altura) y toda su ropa se cortan para bardas d' annajara (vallas). Estas se llaman cañas frescas. Después están las que se cortan en enero, también con feseta, y con los pelacañas les espolsan (quitan) las hojas".

Según la calidad de la caña se clasifican en distintos tipos según su utilización posterior.

- De carda: para calentar el horno y para tutorizar cultivos.

- Techeras: para cañizos de cielo raso y cohetes.
- Sarseras o de zarzo: para traveseros, para tejer zarzos, vallas, techos de sombrajes y, antiguamente, los testers (paredes de caña) y mollijos (cañas de los forjados).
- Liseras: para mangos de escoba, pies derechos de tomateras, traveseros de semilleros, mollijos de andana (caña que une las entramadas en cañizo), y también para estacar huertos, cañas de pesca, colgar embutidos, confeccionar espantapájaros y encañar las patas rotas de algunos animales.

Las de cañas de carda se venden a ojo; las otras en *haces*. Los haces de las techeras y de zarzo de veinticinco pares, los de las liseras de doce pares y medio. En la industria de la caña se emplean cañas liseras, techeras y de zarzo.

Una vez cortadas, se procede al rajado de las cañas techeras y de zarzo, para dividir las cañas en astillas. Para ello se usa la rajadora, madero con orificios, en cuyo interior hay dispuestas varias cuchillas radiales para fracturar la caña en 3, 4, 5, 6, 7 u 8 astillas, según el orificio que se emplee, en función siempre del grosor de la caña. Las astillas de las cañas pasan a los telares, para obtener el cañizo telar (con hilos enlazados de esparto, de pita, de yute o de lino). Se fabrica también a mano, el cañizo con un atado a punto de nudo más resistente que el otro.



Fig. 1.17. Rajadora de cañas



Fig. 1.18.- Telar de cañizo

Fuente: Guillén (1999)

1.3.3.9.2.- LA INDUSTRIA DE LA CAÑA COMÚN ACTUALMENTE.

En la actualidad existen en la comarca de la Vega Baja del Segura 7 empresas dedicadas a la comercialización de caña común, y están catalogadas en la categoría de Industrias Fabricantes, dentro de la actividad “Madera y corcho”; o en Industrias comercializadoras, dentro de la actividad “Muebles de madera, caña y bambú”.

Obtención de la materia prima

La caña común se obtiene de las riberas de los ríos y en lugares húmedos donde éstas crecen de forma salvaje.

Algunas industrias obtienen las cañas por sus propios medios y otras las compran algunos agricultores que por su propia cuenta se dedican a la recogida de productos agrícolas, entre ellos caña común.

El corte de las cañas se realiza entre los meses de diciembre y abril que es cuando han adquirido todo su porte, después de estos meses comienzan a echar brotes y éstos dificultan la recolección. Las cañas se cortan con serrucho, hoz o sierra, dejando unos 30- 40 cm de tallo, que es lo que se denomina cepa, para que la planta vuelva a desarrollarse.



Fig. 1.19. Siega de cañas.

Las cañas cortadas se atan en montones o “garbas” clasificadas por su diámetro exterior en tres categorías:

- Techeras < 1 a 1,6 cm<
- Comunes < 1,6 a 2 cm <
- Liseras < 2 a 3 cm

Las techeras y comunes se atan en grupos de 50 unidades, y las liseras en grupos de 25 unidades debido a su mayor diámetro.

El proceso industrial utilizado es el siguiente:

- Secado:

Las cañas se apilan verticalmente, esto se realiza atando con cuerdas las primeras cañas y posteriormente el resto se deposita sobre éstas, quedando una pila de forma cónica. El apilado horizontal sería menos costoso pero quedaría estancada entre las cañas el agua de lluvia y se estropearían.

Las cañas debidamente apiladas se dejan secar al sol hasta junio o julio (6-7 meses) y son utilizadas posteriormente.

- Pelado:

El pelado de la caña común (*Arundo donax* L.) consiste en despojarlas de las hojas y flores, dejando su tallo prácticamente liso. Este proceso se realiza mediante una máquina peladora” que tiene en la parte delantera 7 brazos metálicos con cuchillas afiladas en sus extremos y con éstas se seccionan todas las hojas que rodean al tallo.

La caña se introduce por un extremo en un hueco de la parte frontal de la máquina, y los brazos metálicos se cierran alrededor de la caña aprisionándola. En dicho hueco hay una rueda giratoria que la impulsa hacia delante, de forma que al avanzar la caña, las cuchillas seccionan las hojas alrededor del tallo. Una vez pelada se deposita sobre una bandeja metálica, hasta tener un número suficiente para ser trasladadas al siguiente proceso.

- Cortado

El corte de las cañas consiste en seccionarlas transversalmente de forma que todas tengan aproximadamente la misma longitud, y eliminar las partes curvas que se encuentran normalmente en el extremo del tallo.

El corte se realiza en grupos de 1, 1,5 y 2 m de longitud para ser utilizados posterior en los entramados.

Sobre la máquina cortadora se depositan las cañas en grupos, alineadas por los extremos opuestos al corte. La cortadora está formada por un disco de sierra montado sobre una pequeña mesa metálica.



Fig. 1.20. Cortado de caña común (*Arundo donax L.*).

➤ Astillado.

En este proceso las cañas se dividen en astillas longitudinales, mas o menos uniformes realizando el proceso una máquina llamada “rajadora”.

El astillado se realiza en las cañas comunes y liseras, pero no en las techeras que son de menor diámetro. Estas últimas pueden ser utilizadas en el siguiente proceso sin necesidad de ser astilladas.

El operario encargado del proceso de astillado, recoge las cañas cortadas y las deposita sobre dos caballetes situados delante de la máquina, posteriormente introduce las cañas una a una en la máquina de astillado, éstas irán siendo impulsadas hacia dentro mediante ruedas dentadas en movimiento.

La máquina posee cinco orificios de diferente diámetro, cada uno de estos llevarán a la caña hacia unas cuchillas que hay en su interior. Las cuchillas se encuentran dispuestas en unas piezas metálicas con diferentes ranuras en forma estrellada, en cada uno de las cuales se cortará una astilla. Estas piezas metálicas tienen distinto número de ranuras, las hay con 2, 3, 4, 5 y 6 para poder obtener ese mismo número de astillas.

Dependiendo del diámetro de la caña se introducirá en una u otro orificio de la máquina. El objetivo es obtener un anchura de las astillas de la caña lo más uniformes posible.

Después de ser astilladas las cañas se depositan en un contenedor metálico situado en la parte posterior de la máquina.

➤ Tejido.

Una vez que las cañas se han astillado (en el caso de las liseras y comunes) se tejen con alambre para obtener así el producto final que es el cañizo.

El operario encargado de este proceso coge las astillas del contenedor o las cañas techeras de la mesa de cortado y las coloca junto a la máquina tejedora

Las astillas o cañas se van introduciendo una a una por una abertura de la máquina, en la cual unas ruedas dentadas las arrastran hacia su interior, sobre de una bandeja metálica. La astilla se introduce con la parte seccionada hacia abajo.

La máquina tejedora posee varias bobinas de alambre con el que se realiza el atado. Hay un par de bobinas en nueve tramos diferentes situados en la parte posterior de la máquina. Cada par de bobinas se encuentran en un mismo eje unidas por sus bases.



Fig. 1.21. Máquina tejedora de cañizo.

La primera astilla de caña, se ata de forma manual a los alambres para que esté bien sujeta la primera pieza y posteriormente se irán introduciendo el resto de astillas y la máquina tejedora las irá uniendo, formando una especie de tejido de caña. Este tejido

es transportado mediante dos rodillos hasta una barra situada en la parte más inferior de la máquina donde se irá enrollando, formando un rodillo de cañizo.

El proceso termina cuando se obtiene la longitud necesaria de cañas unidas, o sea la longitud de cañizo requerida y se atan los extremos del alambre a la última astilla de caña.



Fig. 1.22. Producto final industrial cañizo.

1.3.3.9.2.- TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS QUE UTILIZAN CAÑA COMÚN EN LA VEGA BAJA .

Las edificaciones rurales de la Vega Baja son producto de sociedades heterogéneas que se fueron asentando a lo largo de la historia (Echarri, 2001). Una de las características fundamentales de la arquitectura popular es la economía de medios, que le lleva al uso para la construcción de los materiales propios del lugar .

En las tipologías se muestra toda la variedad que ha surgido del análisis de las construcciones que utilizan caña común (*Arundo donax* L.): barraquetas, barracas, viviendas de la huerta, alquerías, edificaciones de núcleos urbanos, casas nobles y palacios.

BARRAQUETA.

Es una choza que está totalmente construida con caña común y se sitúan en el bancal para guardar las cosechas en verano. Por extensión, se denominan así toda suerte de garita, así mismo, cuando dos planos se apoyan mutuamente formando un ángulo diedro, se dice que están en barraqueta.

BARRACA.

Quedan ahora muy pocas y ninguna conserva sus materiales originales, se les han añadido nuevos materiales. Solo hemos contabilizado 5 de ellas en las que se puedan reconocer un 60 % de los materiales de la primitiva construcción.





Fig. 1.23. Barraca de la finca “La Caseta”. Siglo XVIII, posteriormente transformada.(Orihuela).

La barraca sólo tiene dos habitaciones: la entrada y el cuarto que sirve de dormitorio, comunicados ambos a través de un hueco central practicado en el tabique de separación, tiene un atillo donde se suben los víveres de consumo a más largo plazo y los enredos. A veces también existe una cocina baja, aunque lo normal es que la cocina se disponga enfrente de la barraca, protegido por un tinglado de cañas tejidas, y junto a la cocina el horno.

La barraca se construía de forma artesanal bajo las ordenes de un maestro albañil (el maestro barraquero), y la ayuda de la familia que iba a habitar la casa.

Primero se marcaba sobre el terreno la superficie a construir en forma de rectángulo y se excavaban los hoyos, uno por esquina y el resto separados equidistantes entre 1 y 1,25 m, donde posteriormente se anclaban los pilares de madera sin desbastar o pies derechos. Una modificación que se produjo posteriormente ante la falta de maderas resistentes fue la de poner pilares de mampostería.



Fig. 1.24. Pilares de la barraca. Troncos de morera sin desbastar.



Fig. 1.25. Detalles de sujeción de la viga de atado a los pilares en la barraca.

Los pilares se sujetaban (6 u 8, según el tamaño de la construcción) con una argamasa de cal. Sobre las cabezas de pilares se colocaba la viga de atado y sobre ellas dispuestas lateralmente, las vigas del forjado que son de vigas tendidas a lo ancho de la crujía, normalmente dos o tres y en el centro de las vigas que son las cadenas de unión, se colocaba un enano o pie derecho, todos los enanos unidos en cabeza por una carrera de coronación o lomero que serviría para sujetar las tijeras o pares de la cubierta a dos aguas.



Fig. 1.26. Vigas de forjado de la barraca.

Sobre las vigas de forjado se disponía un tejido de cañas (mollijos o cañas enteras de los forjados) sellado con un mortero de yeso y barro, que constituirá el techo del cuarto y el suelo del altillo o sostre.

Entre los pares de las tijeras y las vigas de atado de cabeza de pilares se colocaban vigas entrecruzadas o vigas contraviento, que se apoyaban en la confluencia de los ángulos formados por la viga de forjado y su respectivo pie derecho. Sobre la estructura de la cubierta a dos aguas se colocaba un cañizo y encima un manto de sisca o albardín.



Fig. 1.27. Arriostramiento de la barraca en cruz de San Andrés.

Todos los elementos de madera exterior eran generalmente troncos de olivera o morera sin desbastar, siendo los interiores de madera de pino o teca.

Una vez construida la estructura se fabricaba el cerramiento y el tabique de separación entre el cuarto y la entrada, las paredes se realizaban con un tejido de cañas (testeros) y se repellaban con yeso, posteriormente se encalaban.



Fig. 1.28. El cuarto de la barraca.

Algunos huertanos han hecho construcciones similares a la barraca de manera más rudimentaria, con el mismo fin, y les llaman barracones. No tienen tabiques, pero sí atillo para almacenar la paja y la hierba seca. Las paredes son de cañas repelladas con barro y en vez de puerta un zarzo (tejido de cañas).

CASA DE LA HUERTA.

Hay tres tipos distintos de casa huertana, aunque en cada uno de ellos es posible encontrar algunas variantes.

TIPO A.



Fig. 1.29. Croquis casa de la huerta tipo A.

El tipo A es tipológicamente la continuadora de la barraca. La planta está dividida por un tabique en dos dependencias: la entrada y el cuarto. En la entrada suele haber un tinajero, una cocina baja y un armario rinconera, aparte del mobiliario. El cuarto es el dormitorio de la casa. Enfrente, protegido por un cobertizo de cañas, está el hogaril y al lado el horno. Detrás va adosada la cuadra, que en otras ocasiones aparece separada, ocupando un barracón o un cobijo similar. Suelen estar construidas de adobes o de mampostería y la cubierta a una sola vertiente con teja alicantina.

TIPO B.



Fig. 1.30. Casa de la huerta tipo B.

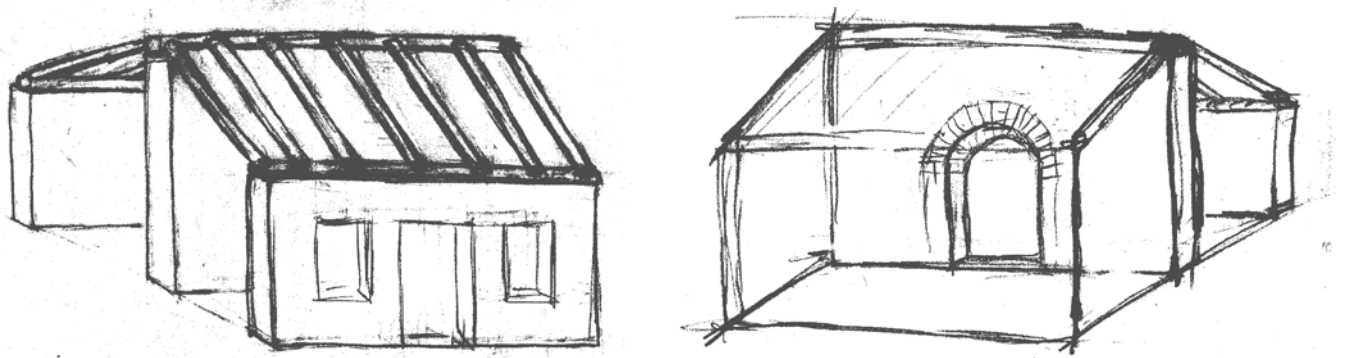


Fig. 1.31. Croquis casa de la huerta tipo B.

El tipo B es una casa más evolucionada con dos crujías paralelas a fachada, de una o dos plantas, tejado a dos vertientes, puerta centrada y dos amplias ventanas laterales enrejadas. Consta de una entrada que se comunica a través de un hueco sin puerta con la cocina, que está al fondo, y a la derecha (o a la izquierda) de ambas dependencias, dos cuartos. La cuadra suele estar situada lateralmente, y junto a ella casi siempre hay un sombraje de cañas para el carro.

TIPO C.



Fig. 1.32. Casa de la huerta tipo C.

En el tipo C la vivienda es similar a la anterior y alrededor hay bastante espacio, limitado por una pared con caña común (testero). Algunas veces, en la parte posterior existe un corral al que se entra por una puerta grande de dos hojas, practicable para bestias y carruajes; en el corral, está la cuadra, un gallinero, unas conejeras y un sombraje de cañas para el carro y encima de la cuadra, una sala (o almacén doméstico) de techo bajo, al que se accede por una escalera de cinco o seis peldaños. La cubierta de la sala normalmente es plana formando una terraza.

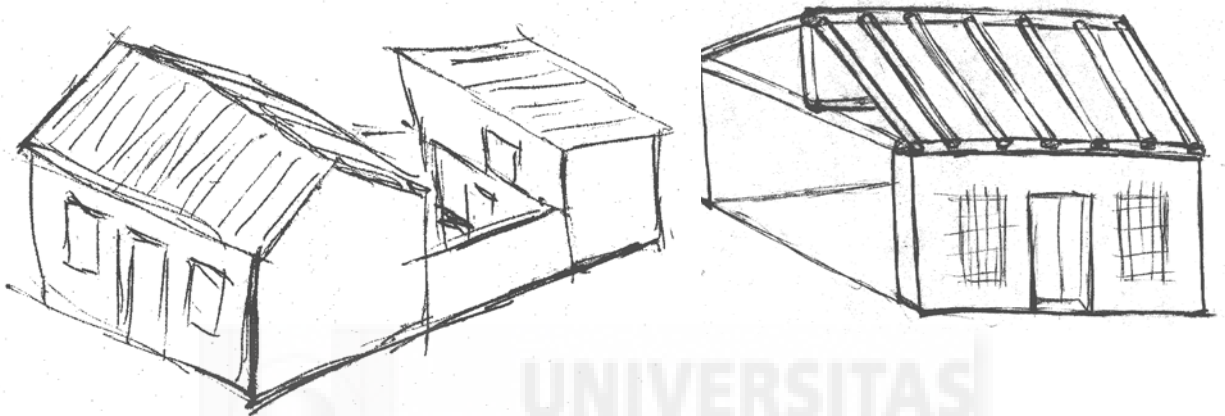


Fig. 1.33. Croquis de viviendas huertanas tipo C.

Estructura y materiales:

La técnica de construcción recuerda básicamente a la barraca. La técnica de cimentación es la zanja corrida siendo las dimensiones y profundidad variables en función del tipo de edificación. En general el relleno de la zanja está construido de la siguiente forma:

- Una capa formada por una mezcla de cal, arena y piedra machacada.
- Tongadas sucesivas de piedras colocando las de mayores dimensiones en la zona inferior y apisonando cada tongada. El mortero empleado es cal y arena de río en la proporción de 1:2.

La estructura es de muros de carga generalmente de mampostería, trabada con barro o seca. Más común es el empleo de la piedra seca, sin mortero, generalmente sólo hasta una cierta altura, a partir de la que se continúa en mampostería, en esos casos el ancho de los muros no es mayor de 40 cm y como las piedras son pequeñas y no dan para cruzar se dispone cada tanto, piedras a lo ancho del muro, del exterior al interior

para que traben. Al día se levantaba un metro aproximadamente de muro.

También para construir los muros es muy común el uso del tapial de barro, muy pobre en cal pero abundante en mampuestos, las piedras que le dan consistencia. El tapial está compuesto por tierra viva arcillosa, arena, gravilla y paja. La técnica de puesta en obra se realiza por tongadas de 10 cm. compactadas cada 10 cm. y enrasado o reforzado mediante tendeles de yeso o verdugadas de adobe, unas veces con costra y otras no. Los cajones eran de cuarenta a cincuenta centímetros de espesor y se compactaban con pisones.

Algunas edificaciones son de adobes, moldeados con barro y pajas cocidos al sol. En el mejor de los casos se levantaba un muro de piedra de unos 80 cm escasos de altura y se continuaba después con los citados adobes (más anchos y menos gruesos que los actuales ladrillo).

La tabiquería en el interior de la vivienda es de adobe o de entramado de caña común (*Arundo donax* L) recubiertas de yeso.

Por otro lado, en la cubierta, no se emplea el término armadura, sino tejado y tijera, que se compone de planchas -las hileras que descansan sobre los muros y paralelas a éste; lomera —la viga cumbreira y vigas —los pares. Estos últimos van estribados en una plancha sobre el muro de carga, o bien sujetos al muro con una cruceta. Si la crujía es muy ancha, se refuerzan los pares con quítacimbras, tirantas y jabalcón, travesaños a los pares que tienen por objeto evitar la comba de las vigas del tejado. Por encima de las vigas se dispone una cubierta de cañizo cubriendo completamente la superficie y encima se colocan las tejas.

En cuanto a los forjados, son de vigas tendidas a lo ancho de la crujía sobre las que se coloca cañizo. Las vigas son de chopo, incluso y cuando el promotor era muy pobre de arsavarones, que son los bohordos de las piteras o pitones.

ALQUERÍA.

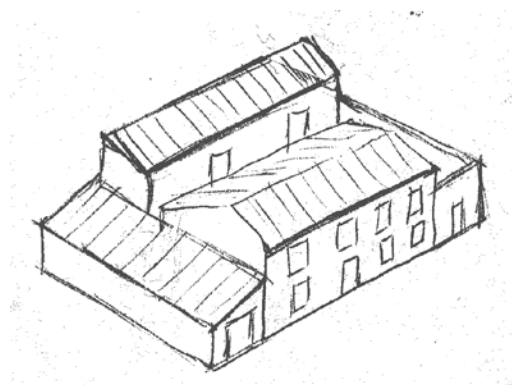


Fig. 1.34. Croquis Alquería .

La alquería la componen varias edificaciones y una gran casa de una o dos plantas de amplias dependencias alrededor de un patio interior.

La alquería presenta mayor tamaño y complejidad, es una edificación concebida como centro de una explotación agrícola más o menos extensa, generalmente engloba en un mismo edificio o edificios anexos una serie de dependencias: vivienda del propietario, almazara, bodega, almacenes de aperos y de cosechas, establos, etc.



Fig. 1.35. Alquería de la finca La Caseta. Siglo XVII. (Orihuela)

Buena parte de las alquerías de la Vega Baja tienen su origen en el siglo XVIII, debido a la expansión demográfica y agrícola de esta centuria, aunque existen otras más antiguas y más modernas; de ahí que exista una gran variedad tipológica.

La estructura de las alquerías más antiguas es normalmente es una combinación de arco de ladrillo y muro de carga.



Fig. 1.36. Arcos de ladrillos macizos en muros. Alquería finca La Caseta (Orihuela)

Las vigas son siempre rollizos, troncos o por lo general ramas, desbastadas. En casas de sectores más altos en la escala social se emplean cuarterones, vigas de sección rectangular de madera de teca.



Fig. 1.37. Vigas de forjado de cubierta y detalles de la alquería de la finca La Caseta.(Orihuela).



Fig. 1.38. Otras disposiciones de vigas de forjado de piso de la alquería de la finca La Caseta.



Fig. 1.39. Patio interior de arcos de la alquería de la finca La Caseta.

Se construye con piedra de mampostería o de adobe y la tecnología es como la de la casa huertana, mezclando el arco de adobe o ladrillo con el muro de carga de mampostería y contiene los mismos elementos estructurales contruidos con caña común. El arco es de ladrillo de medio punto u ojival.

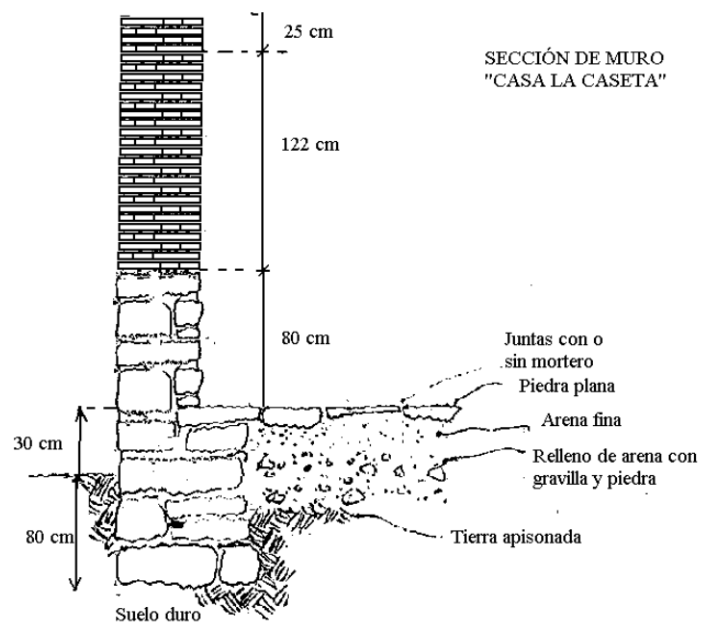


Fig. 1.40. Sección del arco.



Fig. 1.41. Arco ogival interior. Alquería de la finca La Caseta. (Orihuela).



Fig. 1.42. Arco de medio punto exterior. Alquería de la finca La Caseta.(Orihuela).



Fig. 1.43. Arco de medio punto interior. Alquería de la finca La Caseta. (Orihuela).

También existen edificaciones cuya estructura es a base de pilares, arcos de ladrillo y vigas de madera, siendo solo los cerramientos de mampostería.



Fig. 1.44. Estructura de edificación con pilares de ladrillo y vigas de madera. Alquería de la finca La Caseta.

Los cerramientos de las edificaciones se realizan con muro de mampostería, caña o ladrillo.



Fig. 1.45. Detalle de cerramientos con caña. Alquería de la finca La Caseta.

CASA URBANA.

La casa es de una o dos crujías paralelas a la calle, sobre una parcela rectangular alargada, siendo el lado menor el de fachada y adosadas a medianería. La altura de la vivienda tradicional es por lo general de dos a tres plantas (PB+ 1 ó PB+2), con cubierta a dos aguas y terraza. Un primer tipo es el de vivienda "elemental", consiste en una vivienda de una o dos crujías, con dos habitaciones en cada una de ellas, con puerta de doble hoja de acceso.

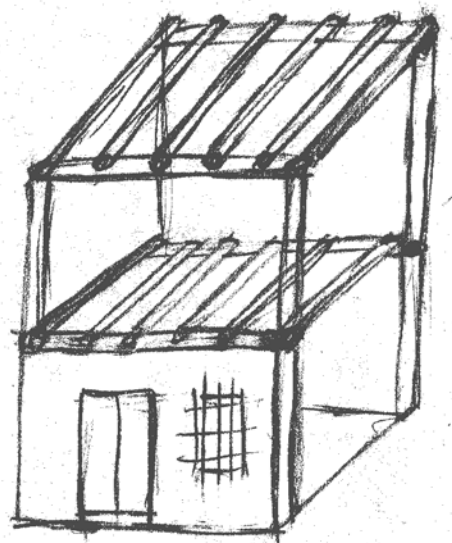


Fig. 1.46. Croquis casa urbana

Sin pasillos, las dependencias sirven de paso unas a otras. Una chimenea (*humero*) en una de las paredes de la habitación principal, localiza el espacio de cocina. En la planta alta, a la que se accede por una escalera de obra de un solo tramo, se encuentra la cámara, espacio con valor habitacional o productivo, según las necesidades del momento.



Fig. 1.47 . Casa urbana del siglo XIX ,Orihuela (Alicante). Detalle de forjado.



Fig. 1.48 .Casa urbana del siglo XVIII. Orihuela (Alicante). Detalle de forjados.

El tipo de vivienda mayoritario es básicamente el anterior con mayor longitud y anchura de crujías, lo que permite disponer más dependencias en cada una de ellas, y con ello especializar los espacios. La existencia de una tercera crujía no cambia substancialmente el esquema. Así, aparece el portal como elemento de introducción y transición, y el cuerpo de casa como nexo de las diferentes dependencias, tanto en la planta baja como con las de la planta alta.

VIVIENDA DE CARÁCTER SEÑORIAL.

Un último tipo se refiere a la vivienda de carácter "señorial", una vivienda en la que el número de crujías llega a cuatro, y donde por efecto de iluminación interior así como para dotar de valor de la vivienda se introduce un patio interior cubierto con un lucernario. Aquí se pasa normalmente a dos a tres plantas, siendo la segunda de dormitorio, trasladándose las dependencias productivas al patio.

En la segunda planta, sobre el mismo área que en la planta baja se disponen las habitaciones, mientras que las cámaras y pajares se sitúan sobre las zonas productivas de la planta baja, de modo que el espacio productivo y el habitacional se dividen también en vertical.

En las casas de mayor poder adquisitivo, hay otras dependencias que suponen la especialización y duplicación de algunas de las anteriores, para adaptarlas a una actividad profesional o como elemento de ostentación. Así, el despacho, la sala de música, el comedor y el comedor de diario.



Fig. 1.49. Casa de la finca de Lo Monte. Siglo XVIII.



Fig. 1.50. Vista posterior. Casa de la finca de Lo Monte. Siglo XVIII..(Orihuela).

La tecnología constructiva es similar a la de la casa huertana. Además de la mampostería, es habitual la fábrica de tapial en muros maestros y a veces es visible la verdugada de ladrillos.

Respecto a las edificaciones en mampostería, los muros se construían con un grosor alrededor de unos 50 cm. El mortero podía ser sólo de barro o de barro con cal y arena. Se colocaba una capa de unos 10 cm de barro y se iban trabando las piedras. En la mayoría de casos se emplean varias técnicas en el alzado completo del inmueble, la planta baja construida en mampostería y la alta en tapial o bien de ladrillo. La fábrica de mampostería está normalmente enfoscada.



Fig.1.51. Detalle forjado de caña común en la casa de Lo Monte.

En el interior de la casa, la compartimentación se hace con tabiques de ladrillo en las zonas nobles y de caña enlucida con yeso en el resto.

Los forjados son de cuarterones y cañas con yeso, acabados con yeso pintado. El entramado de los techos se hacía colocando las cañas sobre las vigas como soporte para la solera; las cañas se ataban por manos con tomizas de esparto, cuerdas que solo sirven para el montaje de las cañas de modo que una vez fraguado el yeso, se podían cortar.

MATERIALES USADOS EN LAS EDIFICACIONES.

Como resumen podemos decir que los materiales más comúnmente usados en la arquitectura popular de la Vega Baja los podemos agrupar en tres bloques:

- Vegetales: troncos de olivo y morera, usados como «pies derechos»; madera de chopo de pino y teca, usados para vigas. Albardín y «sisca» para la cubierta de los tejados
- Caña común: es seguramente el vegetal más utilizado ya sea en entramados usados como elementos de cierre (testeros), forjados (mollijes), falsos techos (cañizo) y tabiques (testeros).
- Tierra: la tierra o arcilla se utiliza en crudo para la fabricación de adobes y tapial, y cocida en forma de ladrillos o tejas. Tradicionalmente se usaba el ladrillo macizo y la teja árabe, más tarde sustituidos por el ladrillo hueco y la teja plana o alicantina.
- Piedra: las rocas más usadas son la arenisca y la caliza, generalmente sin trabajar o poco trabajadas, siendo escaso el uso de sillares.



Fig. 1.52. Detalle de piedra caliza de la alquería finca La Caseta.(Orihuela).



Fig. 1.53. Detalle de caña común en forjados (mollijes) y teja alicantina.

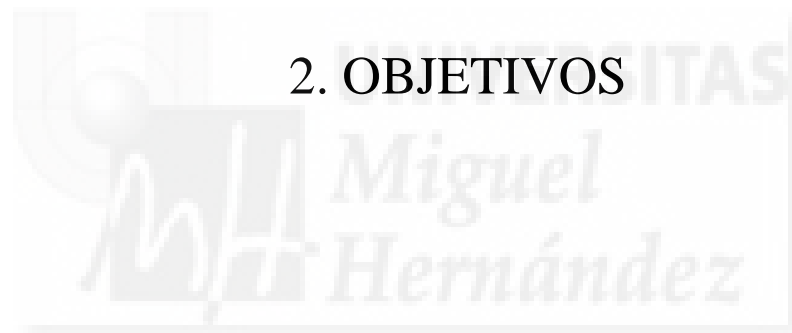


Fig. 1.54. Detalle de cañas en forjado de cubierta y teja árabe.



Fig. 1.55. Teja árabe del siglo XVII.

2. OBJETIVOS



2.- OBJETIVOS.

El objetivo general de este proyecto es colaborar en la edificación sostenible con materiales ecológicos, renovables y autóctonos, y contribuir con diferentes alternativas tecnológicas a la rehabilitación de edificios del patrimonio histórico cultural de la Vega Baja del Segura y rescatar un patrimonio en vías de extinción como es la caña común (*Arundo donax L.*).

Pretender hoy realizar edificaciones con las técnicas y materiales antiguos, sería inviable en los países desarrollados, por el coste adicional en mano de obra y solo aplicable a población de baja densidad, pero la caña común no presenta solo propiedades mecánicas utilizables como material de construcción, sino que tiene múltiples usos, que combinados podrían resolver muchos problemas ambientales de contaminación y de eliminación de residuos.

Por ello se plantea dentro de los objetivos de este trabajo, recopilar toda la información dispersa sobre la caña común, y determinar las propiedades mecánicas y físicas que han permitido su utilización como material de construcción a lo largo del tiempo. Es decir evaluar las técnicas tradicionales de construcción con caña común y las posibilidades de rehabilitación de edificaciones y de fabricación de nuevos componentes de construcción que sean útiles con este material vegetal.

Como objetivos específicos, deben ser citados:

- a) Recopilar los datos disponible sobre la caña común como material vegetal debido a que está dispersa en diferentes artículos, publicaciones y prácticas locales.
- b) Elaborar información sobre la tecnología constructiva tradicional con caña común, ya que los sistemas constructivos tradicionales han ofrecido desde siempre una gran variedad de formas de presentarse en sus particularidades locales en cuanto a materiales y denominación. Además, el modo de trabajo de algunas de estas estructuras difieren de la forma estructural de concebir hoy en día los edificios.
- c) Analizar y evaluar las propiedades de la caña común como material de construcción en las edificaciones tradicionales del sureste español.

- d) Caracterizar física y mecánicamente las propiedades de la caña común, para posibilitar utilizaciones futuras como material de construcción, mediante técnicas experimentales.
- e) Determinar la conveniencia del uso de la caña común (*Arundo donax* L.) como material de construcción.
- f) Reunir información sobre la caña común tendente a la producción y al uso de nuevos materiales que la utilicen.
- g) Colaborar en la recuperación del patrimonio construido con caña común en la Vega Baja, en vías de extinción.



3.MATERIALES Y METODOS

*Mh Miguel
Hernández*

3.- METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO.

El plan de trabajo que define este proyecto de investigación se desarrollará en dos fases:

- a) Análisis y evaluación de la caña común en las edificaciones .
- b) Evaluación mediante técnicas experimentales en laboratorio de las propiedades de la caña común como material de construcción.

3.1.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA CAÑA COMÚN EN LAS EDIFICACIONES.

Se obtendrá información mediante entrevistas con antiguos albañiles que utilizaron la caña común y en empresas que la siguen recolectando y comercializando.

Se realizarán visitas técnicas y toma de datos de las edificaciones que utilizan este recurso. Una vez efectuada la toma de datos de las construcciones que utilizan la caña común (*Arundo donax* L.) como material de construcción, se procederá al análisis de la información considerando los siguientes aspectos arquitectónicos:

Formales. Se trata de analizar las relaciones entre los elementos que definen la estructura arquitectónica.

Constructivos. Se estudian las técnicas constructivas propias de los distintos elementos.

La metodología de análisis:

- a. Determinación de las distintas soluciones técnicas adoptadas utilizando caña común (*Arundo donax* L.).
- b. Características de los distintos elementos estudiados.
- c. El funcionamiento mecánico y físico al que responde el material objeto de estudio.
- d. Identificación de las patologías de la caña común (*Arundo donax* L.) en las edificaciones.

3.2.- TÉCNICAS EXPERIMENTALES.

Las técnicas experimentales serán técnicas destructivas en laboratorio, donde se evaluarán las propiedades físicas y mecánicas de la caña común como material de

construcción y probetas de mortero de hormigón y cal apagada con caña común, simulando las disposiciones en obra de las edificaciones populares.

3.2.1.- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

Para hallar la densidad de la caña común y la caña con morteros de cal y cemento se aplicará dentro de las posibilidades y tipo de probeta a ensayar las normas UNE .

Densidad es la relación entre la masa de una cantidad dada de material y su volumen, expresada en kilogramos por metro cúbico.

El método para determinar la densidad del material se aplica a en las siguientes condiciones:

- a) Según se recibe.
- b) Saturado.
- c) Secado en estufa.

Aparatos empleados.

Estufa. Si el ensayo se realiza sobre material secado en estufa, se utilizará una con ventilación por aire forzado y regulable a 105 ± 5 °C.

Balanza. Para la determinación de la masa se utiliza una balanza con el alcance suficiente para la pesada de la muestra de ensayo, y con una resolución del 0, 1% del alcance máximo de la misma. El límite de error correspondería al 0,2% del alcance máximo.

Tanque de agua. Si el ensayo se hace sobre una muestra de forma irregular, se utilizará un tanque de agua de dimensiones adecuadas para sumergir y manejar la muestra, y equipado con un mecanismo para mantener el nivel del agua constante.



Fig. 3.1. Estufa

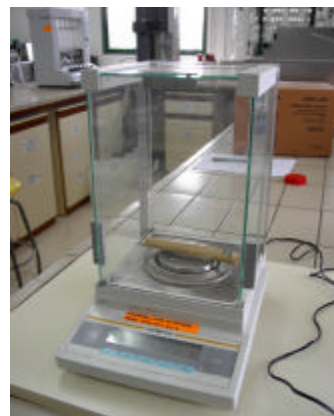


Fig. 3.2. Balanza.

Procedimiento empleado:

- Determinación de la masa de la muestra.

* Masa de la muestra "según se recibe". Se pesa la muestra según se recibe y se anota la masa (m_0).

* Masa de la muestra saturada. Se sumerge la muestra en agua a 20 ± 2 °C hasta que no se observe un incremento de la masa. Antes de pesar, se seca la muestra utilizando un paño húmedo para retirar el agua superficial de la misma y se toma la masa de la muestra (m_1).

* Masa de la muestra secada en estufa. Se seca la muestra en la estufa a 105 ± 5 °C hasta que no se observe variación en la masa. Se considera que se ha alcanzado este estado, cuando entre dos pesadas, con un intervalo de 24 h, se observa una diferencia menor del 0,2% de la masa de la muestra seca. Se toma la masa de la muestra (m_2).

- Determinación del volumen de la muestra

La determinación del volumen se realiza mediante balanza hidrostática. Si la muestra es de forma irregular, su volumen se determina después de saturarla, mediante pesada en agua a 20 ± 2 °C. Se equilibra la balanza hidrostática asegurándose que el cestillo que cuelga de ella esté totalmente sumergido en el tanque de agua. El cestillo se sumerge a la misma profundidad cuando se pese con o sin la muestra. Se coloca la muestra en el cestillo sumergiéndolo completamente en agua eliminando las burbujas de aire de la muestra. Cuando ha cesado de oscilar la balanza hidrostática se anota la masa de la muestra (m_3).

El volumen V de la muestra se obtiene mediante la fórmula:

$$V = \frac{m_1 - m_3}{\rho_w} \quad (3.1)$$

donde

ρ_w es la densidad del agua.

Si la muestra recibida o preparada es suficientemente grande y de forma sencilla y regular, de manera que sus dimensiones puedan medirse con una exactitud del 2%, puede calcularse directamente el volumen utilizando las dimensiones geométricas.

Cálculo y expresión de resultados

La densidad ρ_0 de la muestra "según se recibe", expresada en kilogramos por metro cúbico, se obtiene por la fórmula:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (3.2)$$

donde

m_0 , es la masa, en kilogramos, de la muestra "según se recibe"

V , es el volumen de la muestra "según se recibe".

La densidad ρ_1 de la muestra saturada, expresada en kilogramos por metro cúbico, se obtiene por la fórmula:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V} \quad (3.3)$$

donde

m_1 , es la masa, en kilogramos, de la muestra saturada

V , es el volumen, en metros cúbicos, de la muestra saturada.

Densidad de la muestra secada en estufa

La densidad ρ_2 , de la muestra secada en estufa, expresada en kilogramos por metro cúbico, se obtienen mediante la fórmula:

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V} \quad (3.4)$$

donde

m_2 , es la masa en kilogramos de la muestra secada en estufa;

V , es el volumen, en metros cúbicos, de la muestra secada en estufa.

3.2.2.- INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES. ABSORCIÓN DE AGUA.

Los materiales vegetales son sensibles a fenómenos de absorción de líquidos relativos al ambiente que les rodea y pueden afectar a sus propiedades mecánicas y térmicas. Este factor debe ser tenido en cuenta en las aplicaciones de la caña común (*Arundo donax* L.), puesto que la exposición a un ambiente húmedo es un hecho relativamente habitual.

Es necesario, pues, analizar el fenómeno de absorción y transporte de agua en este material, para mejorar la capacidad de predicción sobre su comportamiento. Se

analizarán, consecuentemente, las propiedades mecánicas en función de la cantidad de agua absorbida.

Las plantas absorben agua en proporciones variables. La naturaleza de las interacciones moleculares entre el agua y las células vegetales es compleja, y aún no se encuentra completamente determinada. El agua puede encontrarse principalmente de dos formas: agua *libre* que ocupa los microespacios celulares, y agua *ligada* a la célula .

Este agua libre es la que estudiaremos, ya que es la que puede modificar las propiedades de la caña común como material de construcción.

El transporte de agua dentro de los materiales es estudiado habitualmente por métodos de absorción. Una muestra es expuesta a la humedad en unas condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y presión de vapor. El cambio en la masa de la muestra, como resultado de los procesos de absorción o desorción, es medido en función del tiempo de exposición.

Las curvas de absorción, representan de la ganancia de masa frente al tiempo y pueden ser utilizadas para estudiar el comportamiento difusional del sistema. En función de la forma de tales curvas, es posible identificar los mecanismos de difusión.

$$M_t (\%) = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad \frac{(\text{masa de agua})}{(\text{masa de la muestra})} \quad (3.5)$$

donde

M_t : ganancia de masa (agua) al cabo de un tiempo t .

m : masa de la muestra tras un tiempo t .

m_0 : masa inicial de la muestra seca.

La relación entre la cantidad absorbida a lo largo del tiempo para una temperatura determinada y la cantidad de agua total absorbida nos da indica el comportamiento del material.

$$\frac{M_t}{M_s} = \text{cte} \quad (3.6)$$

donde

M_s : ganancia de agua total.

El análisis de la absorción de agua se realizará a temperatura ambiente, ya que ésta es la temperatura a la que estará sometida la caña común (*Arundo donax* L.) en las

construcciones; para examinar los efectos de tales variables sobre este fenómeno, y obtener información sobre la naturaleza del transporte de agua en este material.

Posteriormente, se analizarán las propiedades mecánicas en función de distintas cantidades de agua absorbidas. con el objetivo de estudiar la influencia del agua sobre tales propiedades.

3.2.3.- ENSAYOS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN.

Los ensayos de esfuerzo (σ)-deformación (ϵ) unitarios han sido tradicionalmente los más popular y universalmente empleados de todos los distintos tipos de ensayos mecánicos.

Los ensayos de tracción y compresión son los más frecuentes y existen dos métodos de ensayo estándares internacionales (para plásticos) dados por las normas ISO 527⁽¹¹¹⁾ para piezas de al menos 1 mm de espesor e ISO1184⁽¹¹²⁾ para piezas de espesor menor a 1 mm; también se emplean dos métodos estándar americanos ASTM D638⁽¹¹³⁾ y ASTM D882⁽¹¹⁴⁾. Su diferencia con los internacionales radica en las dimensiones de las muestras pero coinciden en las velocidades de ensayo y las temperaturas. Seguiremos la nomenclatura recomendada en las normas ISO527 y ASTM D638 para la caña común (*Arundo donax* L.). Para los ensayos con morteros de hormigón y cal seguiremos las normas UNE ensayos de morteros de hormigón con fibras.

Comenzaremos recordando algunos conceptos básicos necesarios para una correcta interpretación de estos ensayos.

En primer lugar, se define *esfuerzo* (F) como la fuerza a que se somete la pieza, también denominado carga. En general, pueden ser esfuerzos de tracción, esfuerzos de compresión, esfuerzos cortantes, esfuerzos de torsión, esfuerzos de flexión, o presiones hidrostáticas

Tensión (σ) o *esfuerzo unitario* es la razón de una fuerza (carga) aplicada al área de la sección transversal (A). La tensión es una magnitud tensorial, a diferencia de la fuerza, no puede asignársele una dirección específica. Sus dimensiones son $L^{-1} MT^{-2}$ correspondientes a fuerza por unidad de superficie, energía por unidad de volumen o presión y se medirán en las correspondientes unidades.

La *deformación unitaria* (ϵ) es la variación de forma que sufre un cuerpo al estar sometido a una fuerza, o sea el cambio relativo en dimensiones.

A cada uno de los tipos de esfuerzo descritos corresponde un tipo de deformación. La deformación es una magnitud adimensional, y en la práctica es común convertir la deformación en un *porcentaje de deformación* o *porcentaje de elongación*, ϵ (%). Así, cuando tenemos fuerzas de tracción o de compresión uniaxiales, la tensión en ingeniería, se define como:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3.7)$$

donde “F” es la fuerza uniaxial aplicada y “A₀” el área original de la sección transversal.

La deformación en ingeniería es:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.8)$$

donde ΔL es la variación de la longitud en la dirección de la fuerza aplicada y L la longitud de la muestra. En la mayoría de los casos, tal deformación se determina mediante el uso de una pequeña *longitud de calibración* dentro de una probeta o muestra de mayores dimensiones.

En la figura 3.3 se muestra el diagrama esfuerzo-deformación de una probeta de acero dulce sometida a una fuerza de tracción uniaxial F.

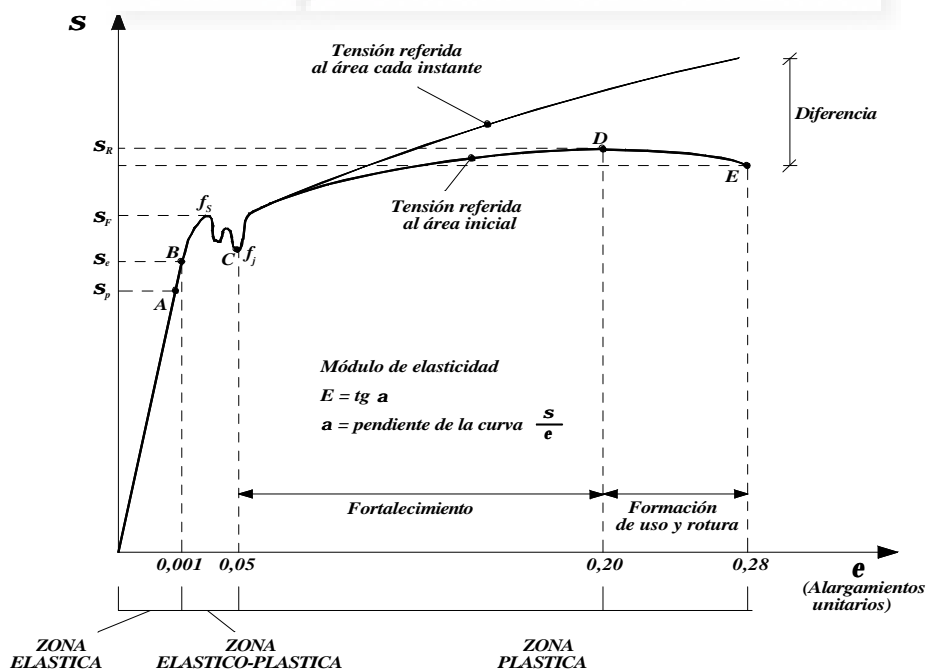


Fig. 3.3. Diagrama Tensión-Deformación uniaxiales del acero.

En dicho diagrama pueden observarse los siguientes intervalos:

Tramo elástico: Al cesar las fuerzas exteriores aplicadas la deformación desaparece.

En este tramo se pueden observar dos zonas:

1) *Zona elástica proporcional (OA)*. Es el tramo recto en el que el alargamiento es proporcional al esfuerzo aplicado.

Esta proporcionalidad fue establecida en 1.678 por el físico inglés Robert Hooke y constituye una ley fundamental de la resistencia de materiales.

$$\text{Ley de Hooke} \quad \frac{\Delta L}{L} = \varepsilon = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{A} = \frac{1}{E} \cdot \sigma \quad (3.9)$$

“E” es la pendiente de la recta del diagrama y recibe el nombre de módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young. Tiene un valor constante y distinto para cada material.

$$E = \text{tang } \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) \quad (3.10)$$

donde F: Fuerza aplicada.

A: Área de la sección recta.

ε : Alargamiento unitario.

σ : Tensión.

El límite superior de este tramo, recibe el nombre de tensión límite de proporcionalidad σ_p o tensión de fluencia.

Asociado a la deformación longitudinal ε_x se produce una disminución de la sección transversal (acortamiento ε_y ε_z) existiendo una relación entre ambos.

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\nu \cdot \varepsilon_x \quad (3.11)$$

Siendo ν coeficiente de Poisson.

2) *Zona elástica no proporcional (AB)*

Al límite de tensión en esta zona se le denomina tensión en el límite elástico σ_e . En el acero de construcción esta tensión límite corresponde a un alargamiento aproximado del 5 %.

A partir de esta zona las deformaciones son permanentes.

Tramo elastoplástico (BC):

En este tramo aparecen grandes deformaciones sin aumento de carga, hay deformación permanente + elástica.

Al límite de tensión en este tramo se le llama tensión de fluencia σ_f

Tramo plástico: Se diferencian dos zonas.

1) *Zona de fortalecimiento (CD)*. El material vuelve a coger resistencia pero hay grandes deformaciones.

2) *Zona de rotura (DE)*. La rotura se produce en este tramo.

La *tensión real*, σ_{iR} , y la *deformación real*, ϵ_i , pueden ser diferentes de esos valores, pues el área de la sección de la muestra a ensayar varía continuamente durante la prueba mecánica. El esfuerzo unitario y la deformación reales se definen en función de las variaciones en la dimensión divididas por los valores instantáneos de la misma.

El esfuerzo requerido para producir una deformación dada, o la deformación adquirida bajo una carga aplicada, dependen de la naturaleza del material. La rigidez se define como la resistencia a la deformación bajo cargas aplicadas y flexibilidad como el inverso, es decir, la facilidad del material a ser deformado bajo cargas. Estos conceptos son determinados empíricamente con la obtención de los *módulos elásticos* en los ensayos mecánicos de esfuerzo-deformación.

La razón del esfuerzo a la deformación es el *módulo de elasticidad* del material, cuanto mayor sea éste, mayor será el esfuerzo requerido para una deformación dada. Sus dimensiones y unidades se corresponden con las del esfuerzo.

Para esfuerzos y deformaciones uniaxiales, por tracción o compresión, la experiencia demuestra que hasta un cierto límite, el módulo de elasticidad “E” es un valor constante en cada material verificándose la ley de Hooke.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (constante)} \quad (3.12)$$

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (\epsilon_x + \nu \cdot \epsilon_y) \quad (3.13)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (\epsilon_y + \nu \cdot \epsilon_x) \quad (3.14)$$

Análogamente pueden definirse los módulos elásticos para los esfuerzos cortantes (*módulo de cizalla, G*) y para la presión hidrostática (*módulo de compresibilidad, B*). La teoría de la elasticidad lineal relaciona los módulos elásticos a través del coeficiente de Poisson; en materiales isótropos:

$$E = 2 \cdot G(1 + \nu) \quad (3.15)$$

Siendo el módulo de cizalla G

$$G = \frac{Q}{\tau} \quad (3.16)$$

donde

Q : esfuerzo cortante.

τ : tensión tangencial.

En los ensayos de tensión (por tracción o compresión) se obtienen curvas o diagramas de esfuerzo-deformación que caracterizan el comportamiento mecánico y permiten evaluar la resistencia de los materiales; se obtienen, además, valores de algunos puntos significativos de interés tanto teórico como práctico.

Si la deformación plástica entre el límite elástico y el punto de fractura es grande, el material es *dúctil*. Si la fractura se produce en torno al límite elástico, el material es *quebradizo, frágil* o “brittle”.

Algunos autores emplean el término “strong”, para calificar a un material cuya deformación plástica no es grande antes de la rotura, de modo que presenta un comportamiento intermedio entre frágil y dúctil.

Se define el concepto de *tenacidad* o “toughness” en relación al área encerrada bajo la curva $\sigma-\epsilon$, que representa la energía mecánica por unidad de volumen necesaria para producir la rotura. El área puede emplearse como medida de la tenacidad y por tanto de la resistencia a la rotura del material. Puede observarse una cierta relación entre ductilidad y tenacidad: cuanto más dúctil es un material, mayor será el área encerrada y mayor la tenacidad o energía empleada para la rotura; si bien es cierto que un material frágil, si alcanza altos valores de esfuerzo máximo puede ser un material tenaz.

La mayor deformación alcanzada, en términos absolutos, se corresponde con la de la rotura, pero el *esfuerzo máximo*, σ_{\max} , alcanzado no coincide necesariamente con el esfuerzo a rotura σ_R . La deformación correspondiente a σ_{\max} , se denominará ϵ_{\max} ó

$\varepsilon_{t_{\max}}$ superado el punto cedente. El valor σ_{\max} mide la resistencia máxima a la tracción o compresión, y puede aportar información sobre la presencia de defectos en el material.

Los puntos $(\sigma_1, \varepsilon_1)$ y $(\sigma_2, \varepsilon_2)$ utilizados para calcular el módulo elástico de tracción, o módulo de Young, según la norma ISO 527 se evalúan en los siguientes puntos:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.17)$$

$\varepsilon_1 = 0,05\%$ y $\varepsilon_2 = 0,25\%$, o bien puede utilizarse una regresión lineal sobre esa zona de la curva.

Atendiendo a los valores del módulo, algunos autores emplean los términos “hard” y “soft” para referirse a los materiales de módulo alto o de módulo bajo, respectivamente.

La traducción de “hard” como duro puede originar confusión, pues el término dureza se refiere a la resistencia a la deformación plástica, medida usualmente en ensayos de penetración a la superficie.

La caña debe sus propiedades mecánicas a la composición química y micro estructura. Estos aspectos nos dan las posibilidades máximas que tiene la caña como material resistente. Aunque se estudien con detalle estas propiedades, no hay que olvidar que se trata de un material vivo muy heterogéneo. Esta heterogeneidad se convierte en una gran incertidumbre a la hora de utilizar la caña. Además tiene un comportamiento viscoelástico.

En la figura 3.4 se representa el comportamiento típico de esfuerzo - deformación unitaria de un material vegetal.

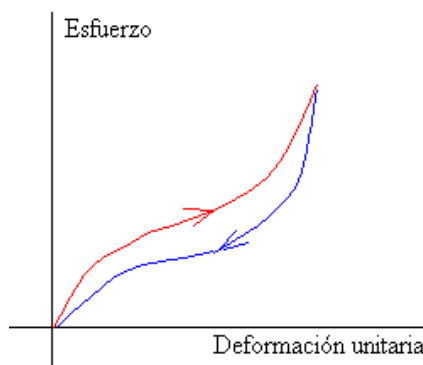


Fig. 3.4. Diagrama esfuerzo-deformación sistemas viscoelásticos.

El esfuerzo no es proporcional a la deformación unitaria (curva de color rojo), sin embargo, la sustancia es elástica en el sentido que si se suprime la fuerza sobre el material recupera su longitud inicial. Al disminuir el esfuerzo la curva de retorno (en color azul) no es recorrida en sentido contrario. La falta de coincidencia de las curvas de incremento y disminución del esfuerzo se denomina histéresis elástica.

La caña común posee una anisotropía muy marcada entre el sentido longitudinal y transversal, así tendremos un módulo de elasticidad en el sentido longitudinal y otro módulo en sentido transversal muy diferente. Por lo que tendremos que realizar los ensayos mecánicos siguientes:

Esfuerzos paralelos a la fibra:

- Tracción paralela a la fibra.
- Compresión paralela a la fibra.
- Flexotracción paralela a la fibra.

Esfuerzos perpendiculares a la fibra:

- Cortante paralelo a la fibra.
- Compresión perpendicular a la fibra.
- Tracción perpendicular a la fibra.

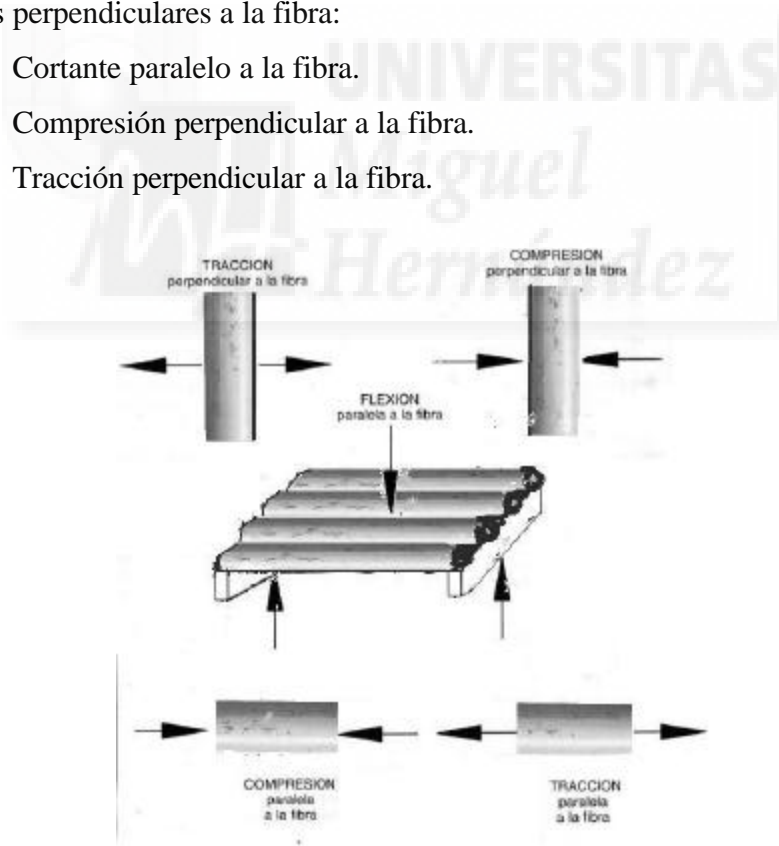


Fig. 3.5. Esfuerzos sobre la caña común

Definiciones:

- Límite de proporcionalidad longitudinal: Punto del gráfico tensión longitudinal–deformación, en el cual la curva se desvía de la línea recta inicial.
- Módulo de elasticidad longitudinal: Medida de la resistencia a la deformación axial de la probeta de ensayo cuando se le somete a una carga de dirección paralela a las fibras de la caña. Se determina como la pendiente de la zona lineal del gráfico tensión-deformación por debajo del límite de proporcionalidad.
- Tensión máxima de rotura longitudinal: carga máxima por unidad de superficie, soportada por la probeta cuando se le aplica una carga de compresión, de dirección paralela a las fibras de la caña
- Límite de proporcionalidad transversal: Punto del gráfico tensión transversal –deformación, en el cual la curva se desvía de la línea recta inicial.
- Módulo de elasticidad transversal: Medida de la resistencia a la deformación axial de la probeta de ensayo cuando se le somete a una carga de dirección perpendicular a las fibras de la caña. Se determina como la pendiente de la zona lineal del gráfico carga-deformación por debajo del límite de proporcionalidad.
- Tensión máxima de rotura transversal: Carga máxima por unidad de superficie soportada por la probeta, cuando se le aplica una carga de compresión de dirección perpendicular de fibras de la caña.
- Tensión máxima de rotura a flexión: carga máxima por unidad de superficie, soportada por la probeta cuando se le aplica una carga de flexión, de dirección perpendicular a las fibras de la caña.

El rango de tiempos empleado en los ensayos de esfuerzo deformación es muy bajo. Las normas ISO 527 y ASTM D638 permiten velocidades entre 1 mm/min y 500 mm/min, lo cual representa un rango de unos tres órdenes de magnitud, de 10^{-5} a 10^{-2} m/s, pero incluso no todas son aplicables para un material, pues las normas recomiendan ciertos criterios para descartar algunas velocidades en el ensayo de un material concreto. Por ejemplo, se debe usar en general una velocidad que produzca la rotura al menos entre 0,5 a 5 minutos de tiempo total de ensayo, según la ASTM D638.

3.2.3.1.- ENSAYOS DE ROTURA POR COMPRESIÓN.

Los ensayos a compresión se ajustarán a la norma rotura por compresión. UNE 83-304-84 y UNE 83-507-86 ⁽³⁾. Esta norma tiene por objeto indicar los medios y procedimientos que se han de emplear para la rotura por compresión de probetas cilíndricas.

Aparato empleado:



Fig. 3.6. Máquina de ensayos a compresión.

Se usará una máquina de ensayos de compresión que cumple las características que se señalan a continuación:

- Sistema de regulación de aplicación de las cargas.

La máquina está provista de un sistema de regulación de cargas tal que éstas puedan aumentarse de forma continua y sin saltos bruscos entre los límites marcados en la norma.

- Platos de carga.

La máquina dispone de dos platos de acero con una dureza en las caras de contacto con las probetas, no inferior a 55 HRC, según norma UNE 7-053 ⁽³⁾ y con un tratamiento tal, que la profundidad de la capa tratada es al menos de 5 mm.

La superficie de los platos que han de estar en contacto con las caras de la probeta serán planas y estarán rectificadas. El error en la planeidad de las mismas, deberá ser inferior a 0,01 mm cada 100 mm. En máquinas ya usadas, los platos deberán someterse a un nuevo rectificado cuando el error en la planeidad sea el doble del valor especificado.

La dimensión menor de la superficie de los platos será superior en un 3% como mínimo, al diámetro de la probeta a ensayar. El plato inferior tendrá marcas que sirvan de guía para un correcto centrado de la probeta. En el caso de que dichas marcas estén realizadas mediante acanaladuras en la superficie del plato, la dimensión transversal de la misma no deberá ser superior a 1 mm.

El espesor de los platos debe ser tal que asegure la indeformabilidad de los mismos durante el ensayo. Las dimensiones mínimas serán las siguientes:

- Plato inferior

25 mm en estado nuevo y 22,5 cuando esté usado.

- Plato superior:

Cuando el radio de la rótula sea inferior al radio de la probeta a ensayar, la porción del plato que sobresale de la esfera de la rótula, debe tener un espesor igualo mayor a la diferencia entre el radio de la probeta y el radio de la esfera.

- Rótula

El plato superior estará montado sobre una rótula esférica que permita efectuar giros de al menos 4 grados sexagesimales alrededor del eje vertical y de cualquier valor en el eje horizontal.

El centro de la esfera de la rótula debe coincidir con el centro de la superficie de apoyo del plato superior sobre la probeta, con una tolerancia de $1/200$ de la diagonal o diámetro del plato según sea éste cuadrado o circular. A su vez el centro de la rótula estará en la vertical del centro del elemento que transmite la carga a los platos, con una tolerancia de $(0,2 \cdot h/20)$ mm, siendo h, la distancia entre platos expresada en milímetros en el ensayo considerado. La rótula tendrá un diámetro superior al 75% del diámetro de la probeta a ensayar.

- Elementos de lectura de cargas. La lectura de cargas debe realizarse apreciando al menos el 1% del resultado del ensayo. Ello conduce a que el mínimo resultado aceptable, sea aquel que corresponde a cien veces la apreciación del elemento de lectura. Para que sean válidas las lecturas obtenidas, deben estar comprendidas entre el 0% y el 90% de la capacidad máxima de la escala empleada.

La apreciación del elemento de lectura debe ser superior al 1,5% de la capacidad máxima de la escala empleada. En todos los casos el elemento de lectura, debe disponer de un indicador de la carga máxima alcanzada.

- Verificación y precisión de la máquina de ensayos.

Verificación. La máquina se verificará de una forma ordinaria, en intervalos de tiempo no mayores de 1 año o cuando el número de probetas ensayadas sea superior a 7.000. La verificación se efectuará de acuerdo con las prescripciones de la norma UNE 7281. De forma extraordinaria se verificará siempre que se sospeche de la existencia de algún error o cuando se efectúe cualquier operación de reparación de algún mecanismo de la máquina.

Precisión. Las máquinas a emplear serán de clase 1 o clase 2. Serán máquinas de clase 1, cuando la precisión sea mayor del 1% entre el 10 y el 90% de la escala empleada y de clase 2 cuando dicha precisión sea mayor del 2%.

Procedimiento operatorio.

Probetas. formas y dimensiones:

En general deberán refrentarse de acuerdo con la norma UNE 83-303. las probetas que presenten las siguientes condiciones.

- irregularidades en su superficie superiores a 0,1 mm
- desviaciones con el eje, superiores a 0,52 mm.

Cuando se trata de probetas testigo cilíndricas, su dimensión transversal se tomará como la media de las medidas realizadas, con una precisión de 0,1 mm, de dos diámetros aproximadamente perpendiculares, tomados en los puntos de mínima sección. La altura de las probetas en las que se incluirá el refrentado se determinará con una precisión de 1 mm.

Colocación en la prensa.

Las probetas que por las condiciones del ensayo se han curado en cámara húmeda o sumergida en agua, no deben perder humedad antes de la rotura. Para ello se procurará que el tiempo transcurrido desde su extracción de la cámara húmeda o balsa de conservación, hasta el ensayo de compresión, sea como máximo de 3 h.

La probeta se colocará cuidadosamente centrada en el plato inferior, ayudándose de las marcas de referencia señaladas.

Se moverán los platos de la prensa de forma que el plato superior apoye en la cara superior de la probeta, sin que ayude al elemento de carga. Antes de empezar la carga se

girará con la mano suavemente el plato superior, para conseguir que se efectúe un asiento uniforme.

Aplicación de la carga.

A continuación se aplicará la carga de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de tensión media sobre la probeta sea de $5 \pm 2 \text{ Kg/cm}^2/\text{s}$ ($0,5 \pm 0,2 \text{ MPa/s}$).

Carga de rotura.

La carga se aplicará sin variación de las condiciones indicadas anteriormente, hasta que la probeta se deforme rápidamente antes de la rotura. A partir de ese momento, no se modificarán las posiciones de los mandos de la máquina, tomándose como carga de rotura la máxima alcanzada.

Factores de corrección por esbeltez.

Para probetas cilíndricas con relación altura /diámetro inferior a 2 se le aplicarán los factores de corrección que se indican a continuación

Relación entre la altura y el diámetro	Coefficiente de corrección
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,94
1,10	0,90

3.2.3.2.- DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN COMPRESIÓN.

La norma UNE 83316:1.996 ⁽³⁾ tiene por objeto especificar un método para la determinación del módulo de elasticidad estático en compresión del hormigón endurecido y hormigón con fibras, sobre probetas de ensayo que pueden ser enmoldadas o extraídas de un elemento estructural. El módulo de elasticidad estático en compresión, E_c , es conocido como el módulo secante, que, en Newton por milímetro cuadrado, se calcula mediante la fórmula:

$$E_c = \frac{Ds}{De} \quad (3.18)$$

donde

$\Delta\sigma$ y $\Delta\varepsilon$, son, respectivamente, los incrementos de tensión y de deformación producidos entre las tensiones de 0,5 N/mm² y la correspondiente a 1/3 de la tensión de rotura del hormigón.

Aparatos.

Una máquina de ensayos que cumpla las especificaciones de la Norma UNE 83304. Capaz de aplicar la carga de ensayo a la velocidad especificada y de mantenerla en el escalón correspondiente.

Instrumentos (por ejemplo, extensómetros de cristal o dial, bandas extensométricas, captadores inductivos, bandas de cuerda vibrante), para medir los cambios de longitud, teniendo una base de medida no menor de dos tercios del diámetro de la probeta de ensayo y que permita su colocación en tal forma que los puntos de medida sean equidistantes de las bases de la probeta ya una distancia no menor de un cuarto de la altura de la misma. Las medidas deben tomarse normalmente en dos generatrices opuestas de la probeta de ensayo. El aparato de medida debe tener un límite de error de $\pm 5 \times 10^{-6}$.

Probetas de ensayo.

Las muestras de ensayo serán preferentemente de forma cilíndrica de diámetro 150 mm y altura 300 mm. Alternativamente, pueden usarse otros tipos de probetas de ensayo siempre que cumplan las exigencias de la Norma UNE 83301⁽³⁾, procurando que la relación longitud /diámetro esté en el rango 2 L/D 4, y que el diámetro, D, sea al menos 3 veces el tamaño máximo del árido en el hormigón.

En el caso de muestras obtenidas con trépano o cortadas de un elemento estructural, según la Norma UNE 83302⁽³⁾, estos requisitos, en ocasiones, no podrán cumplirse, en cuyo caso deberá especificarse en el informe de ensayo.

Preparación de las probetas de ensayo

Las probetas de ensayo deben fabricarse, conservarse y refrentarse de acuerdo con las Normas UNE 83301 y UNE 83303⁽³⁾. Si se emplean otros procedimientos de

curado, (por ejemplo, en el caso de probetas testigo obtenidas con trépano), esta variación se indicará en el informe de ensayo.

Procedimiento de ensayo.

- Determinación de la resistencia a compresión

Determinar la resistencia a compresión sobre tres probetas, iguales en forma y tamaño a aquellas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad estático, fabricadas y curadas en condiciones iguales, según la Norma UNE 83301⁽³⁾. El valor medio de la resistencia a compresión, f_c determinará el esfuerzo a aplicar en la determinación del módulo de elasticidad estático.

- Determinación del módulo de elasticidad estático

Centrar la probeta en la máquina de ensayo, con el instrumento de medida colocado en posición axial. Aplicar la tensión inicial, σ_b , es decir $0,5 \text{ N/mm}^2$ y registrar la deformación leída en cada línea de medición.

Incrementar uniformemente la tensión a una velocidad de $0,5 \pm 0,2 \text{ N/mm}^2$ por segundo hasta que la tensión alcance el valor de un tercio de la resistencia a compresión del hormigón ($\sigma_a = f_c/3$). Mantener la carga durante 60 s y registrar la deformación medida, tomando lecturas de cada línea de medida con intervalos de 30 s. Si estas lecturas difieren en más del 20% del valor medio, volver a centrar la probeta de ensayo y repetir el mismo. Si no es posible reducir estas diferencias por debajo del 20% , desechar el resultado del ensayo.

Cuando se ha comprobado que el centrado ha producido medidas correctas, reducir la carga, a la misma velocidad que durante el proceso de carga, hasta el nivel de la tensión inicial ($0,5 \text{ N/mm}^2$). Realizar al menos dos ciclos adicionales de carga-descarga, utilizando las mismas velocidades, y mantener las tensiones (σ_a y σ_b) constantes durante un período de 60 s. Después de terminar el último ciclo y esperar un período de 60 s manteniendo la tensión $\sigma_b = 0,5 \text{ N/mm}^2$, registrar las lecturas de las deformaciones, ϵ_b tomadas al cabo de 30 s.

Volver a cargar la probeta hasta la tensión σ_a a la velocidad especificada, y registrar las lecturas de las deformaciones relativas, ϵ_a , tomadas a los 30 s. Cuando todas las medidas han sido terminadas, incrementar la carga en la probeta de ensayo, a

la velocidad especificada, hasta que se produzca la rotura. Si la resistencia a compresión de la probeta difiere de f_c en más del 20% se debe hacer constar en el informe del ensayo.

Expresión de los resultados.

Calcular las deformaciones medias, ε_a y ε_b respectivamente, en cada una de las líneas de medida en el ciclo de carga (ciclo que sigue al menos a dos ciclos de carga-descarga, una vez centrada la probeta).

El módulo de elasticidad estático en compresión, E_c , en Newton por milímetro cuadrado, está dado por la fórmula:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (3.19)$$

donde

σ_a , es la tensión en el escalón correspondiente a $\sigma_a = \frac{f_c}{3}$, en Newton por mm^2

σ_b , es la tensión inicial (0,5 N/mm²)

ε_a , es la deformación media, bajo el nivel de carga máxima.

ε_b , es la deformación media, bajo el nivel de esfuerzo base de carga.

Redondear los resultados a 500 N/mm² para valores superiores a 10.000 N/mm² y a 100 N/mm² para valores por debajo de 10.000 N/mm².

3.2.3.3.- ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN.

Los ensayos a flexotracción se ajustarán a las normas: rotura flexotracción. UNE 83 305-86, UNE 83-509-88 y UNE 83-821 ⁽³⁾ según el material.

Estas normas tienen por objeto indicar los medios y procedimientos que se han de emplear para la rotura por flexotracción de probetas prismáticas de hormigón y hormigones con fibras, que hayan sido fabricadas y conservadas de acuerdo con la norma UNE 83-301 ⁽³⁾.

Aparato empleado.

Se usará una máquina de ensayos que cumpla las características que se señalan a continuación:

Sistema de regulación de aplicación de las cargas: la máquina debe estar provista de un sistema de regulación de cargas tal, que éstas puedan aumentarse de forma continua y sin saltos bruscos.



Fig. 3.7. Máquina de ensayos a flexotracción.

Elementos de transmisión de cargas: los elementos de transmisión de cargas deben asegurar que la fuerza se aplica perpendicularmente a la cara de la probeta. El mecanismo para la aplicación de las cargas, consistirá en dos rodillos para apoyo de la probeta y dos rodillos para aplicación de la carga

Todos los rodillos deben estar fabricados de acero, rectificadas y tendrán sección circular con un diámetro de 20 mm y deben tener una longitud superior en 10 mm a la dimensión menor de la probeta a ensayar.

Todos los rodillos, excepto uno de los soportantes, deben poder girar alrededor de sus ejes, así como bascular en el plano normal al eje de la probeta que contenga el eje del rodillo. La distancia L entre rodillos de apoyo debe ser de 3 veces la dimensión menor de la probeta, d , y deben asegurar su correcta posición con una precisión de $\pm 0,5$ mm.

Elementos de lectura de las cargas: la lectura de cargas debe realizarse apreciando, al menos, el 1 % del resultado del ensayo. Ello conduce a que el mínimo

resultado aceptable sea aquel que corresponda a cien veces la apreciación del elemento de lectura. Para que sean válidas las lecturas obtenidas, éstas deben estar comprendidas entre el 10 y el 90% de la capacidad máxima de la escala empleada.

La apreciación del elemento de lectura debe ser superior al 0,5 % de la capacidad máxima de la escala empleada.

En todos los casos, el elemento de lectura debe disponer de un indicador de la carga máxima alcanzada.

Verificación y precisión de la máquina de ensayos:

- Verificación. La máquina se verificará de una forma ordinaria, en intervalos de tiempo no mayores de 1 año o cuando el número de probetas ensayadas sea superior a 7.000. La verificación se efectuará de acuerdo con las prescripciones de la norma UNE 7-281. De forma extraordinaria se verificará siempre que se sospeche de la existencia de algún error o cuando se efectúe cualquier operación de reparación en algún mecanismo de la máquina.

- Precisión. La precisión será superior al 1% entre el 10 y el 90 % de la escala de medida.

Procedimiento operatorio.

Probetas, formas y dimensiones:

La forma y dimensiones de las probetas se ajustarán a lo indicado en la norma UNE 83-301, recomendándose los siguientes valores del lado d , según el tamaño máximo del árido.

$d = 100$ mm para árido de tamaño máximo hasta 25 mm

$d = 150$ mm para árido de tamaño máximo hasta 38 mm

$d = 200$ mm para árido de tamaño máximo hasta 50 mm

La longitud L será de 4 ó 5 d .

Comprobación de dimensiones

Medir la longitud L y las dimensiones reales de la sección transversal (d_1 paralela a la dirección de llenado del molde; d_2 normal a esta dirección), con una precisión de 1 mm. La planeidad de superficies a lo largo de las líneas en que vayan a aplicarse los rodillos de apoyo y de carga, debe ser inferior a 0,05 mm por 100 mm de longitud.

Colocación en la prensa

Las probetas fabricadas y conservadas de acuerdo con la norma UNE 83-301, no deben perder humedad antes de la rotura. Para ello, el tiempo transcurrido desde su extracción de la cámara húmeda o balsa de conservación hasta el ensayo por flexotracción será, como máximo, de 3 h. Durante este tiempo se mantendrán las probetas cubiertas con arpilleras húmedas.

Colocar la probeta en la máquina de ensayo, correctamente centrada y con las caras laterales de moldeo en contacto con los rodillos. No aplicar la carga hasta que los rodillos de apoyo de carga estén en contacto firme con la probeta.

Aplicación de la carga:

A continuación se aplicará la carga, de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de la tensión de flexotracción calculada de acuerdo con el capítulo 4, sea de $0,05 \pm 0,01$ MPa ($0,5 \pm 0,1$ kgf/cm²) por segundo.

Carga de rotura:

La carga se aplicará sin variación de las condiciones indicadas anteriormente, hasta que la probeta se deforme rápidamente antes de la rotura. A partir de ese momento no se modificarán las posiciones de los mandos de la máquina, tomándose como carga de rotura la máxima alcanzada.

Los ensayos, cuyo plano de rotura se produzca fuera del tercio central de la probeta, serán considerados nulos.

Expresión de los resultados.

a) La tensión de rotura por flexotracción en probetas de sección rectangular se calculará por la fórmula:

$$f_{cf} = \frac{F \cdot L}{d_1 \cdot d_2^2} \quad (3.20)$$

donde

f_{cf} : es la tensión de rotura por flexotracción en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (Mega Pascal).

F: es la carga de rotura en kilogramos-fuerza (Newton).

d_1 : es el lado de la sección de la probeta, paralela a la dirección de llenado en centímetros (milímetros)

d_2 : es el lado de la sección de la probeta normal a la dirección de llenado en centímetros (milímetros).

L es la distancia entre apoyos en centímetros (milímetros).

La tensión de rotura se calculará con una precisión de 1 kgf/cm² (0, 1 MPa).

b) La tensión de rotura por flexotracción en probetas de sección hueca circular se calculará por la fórmula

$$\sigma_f = \frac{F \cdot L}{0,098 \cdot (D^4 - (D - 2 \cdot e)^4)} \quad (3.21)$$

donde

σ_f : es la tensión de rotura por flexotracción en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (Mega Pascal).

F: es la carga de rotura en kilogramos-fuerza (Newton).

D: es el diámetro de la probeta en centímetros (milímetros).

e: es el espesor en centímetros (milímetros).

L es la distancia entre apoyos en centímetros (milímetros).

c) La tensión tangencial de rotura por esfuerzo cortante debido a flexión en probetas de sección hueca circular se calculará por la fórmula

$$\tau = \frac{F \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot e)^2)} \quad (3.22)$$

3.2.3.4.- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TENACIDAD DE RESISTENCIA A PRIMERA FISURA. HORMIGONES CON FIBRAS.

La norma UNE 83-510-89 tiene por objeto especificar el método de ensayo para determinar la resistencia a primera fisura, tenacidad e índice de tenacidad a flexotracción del hormigón reforzado con fibras mediante el análisis de la curva carga-flecha obtenida en un ensayo de flexotracción con cargas a un tercio de la luz entre ejes de apoyos.

- a. La tenacidad mide la capacidad de absorción de energía del hormigón con fibras. Es por lo tanto, una propiedad del material compuesto y su valor depende no sólo de la dosificación y del tipo de fibras sino también de las características de la matriz.
- b. El índice de tenacidad depende principalmente del tipo de fibras y de su dosificación. Las características de la matriz apenas influyen en su valor.

Normas para consulta.

UNE 83-5041 } -Hormigones con fibras de acero y /o polipropileno. Fabricación de probetas de hormigón fresco para los ensayos de laboratorio.

UNE 83-509- Hormigones con fibras de acero y /o polipropileno. Rotura por flexotracción.

Aparatos empleados.

Máquina de ensayo.

Consiste en una prensa universal o de ensayo a flexión tal como la indicada en la norma UNE 83-509.

Equipos de medida de deformación

Consistente en dos transductores electrónicos o flexímetros mecánicos que colocados en el centro de la luz entre ejes de apoyos a ambos lados de la probeta, midan la flecha de la misma con una precisión de 5 micras y un rango adecuado para realizar las medidas indicadas anteriormente.

Para obtener la curva carga-flecha se puede utilizar opcionalmente un registrador x-v debidamente acoplado para recoger tanto las indicaciones de carga como de desplazamientos.

Procedimiento operatorio.

Probetas, formas y dimensiones.

Las probetas empleadas en el ensayo de flexotracción deben ser las definidas en la norma UNE 83-509, con una longitud total mínima de tres veces el canto de la probeta a ensayar más 50 milímetros. La relación entre ancho y canto de la probeta no debe ser superior a 1,5. La dimensión más pequeña de la probeta nunca será inferior a tres veces el tamaño máximo de árido grueso, ni a dos veces la dimensión máxima de la fibra.

Colocación de las probetas en la prensa.

Las probetas fabricadas y conservadas de acuerdo con la norma UNE 83-504 ⁽³⁾ se colocan sobre la prensa, según lo indicado en la norma UNE 83-509 ⁽³⁾.

Aplicación de la carga.

La carga se aplica de forma que se consiga una velocidad de aumento de la flecha comprendida entre 1/1.000 y 1/3.000 de la luz entre ejes de apoyos /minuto. El ensayo se considera finalizado cuando la flecha sea superior en un 10% al valor mayor de las dos siguientes:

- $\frac{1}{150}$ de la luz entre ejes de apoyos, ó
- 15,5 veces la flecha correspondientes a la primera fisura.

Definición de la curva carga-flecha.

Se define la flecha como la media aritmética entre las dos lecturas tomadas en cada uno de los transductores electrónicos o flexímetros mecánicos, para cada carga. Para la definición total de la curva carga-flecha se determinan al menos cinco puntos desde el inicio del ensayo hasta que se produzca la primera fisura y veinticinco hasta que la flecha cumpla la condición impuesta anteriormente.

Obtención y expresión de resultados.

Medida de la sección transversal de las probetas después del ensayo Se procede de igual modo a lo indicado en la norma UNE 83-509 ⁽³⁾.

Corrección de origen .

Al comienzo del ensayo pueden producirse acoplamientos en la probeta, no eliminados por el equipo de medida de deformación y que se detectan por la aparición de un tramo no lineal en la primera parte de la curva carga-flecha (véase la figura 3.8). Cuando esto sucede debe corregirse la posición de origen; para lo cual se prolonga la línea recta AT hasta su intersección con el eje de abscisas determinando el nuevo origen O'. A efectos de interpretación de resultados, la línea O'A sustituye a la OA y el origen de coordenadas pasa a ser el punto O'.

Primera fisura

La primera fisura corresponde al punto en el cual la curva carga-flecha se aparta de la linealidad; aproximadamente en este punto la matriz del hormigón se fisura.

(Punto A de la figura). Si es visible la primera fisura, debe indicarse en qué tercio de la luz entre ejes de apoyos se ha producido.

La flecha de primera fisura F_f viene indicada por el segmento O'B de la figura.

La carga de primera fisura es la carga que produce la primera fisura P_f , viniendo representada por el segmento BA en el diagrama carga-flecha. La tensión a primera fisura se calcula introduciendo esta carga P_f en la fórmula que corresponda de las señaladas en la norma U NE 83-509.

La tenacidad, T , es la energía que es necesaria comunicar a la probeta en el ensayo de flexión para que ésta alcance una flecha igual a $1/150$ de la distancia entre ejes de apoyos y viene representada por el área O'AC'D' de la figura.

El índice de tenacidad I_{30} se obtiene como resultado de dividir el área bajo la curva carga-flecha desde el origen hasta una flecha igual a $15,5$ veces la flecha de primera fisura (O' A C' D') por el área del triángulo O' A B.

Nota: En un material elastoplástico ideal el índice de tenacidad alcanzará el valor 30

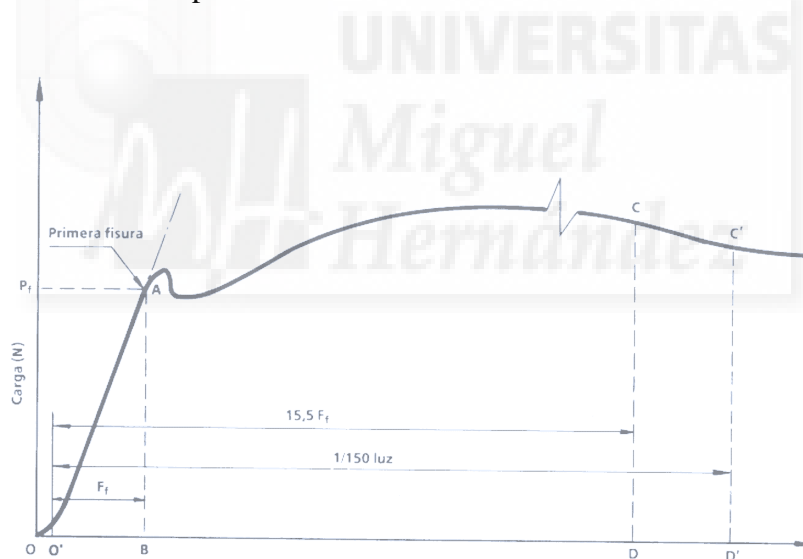


Fig. 3.8. Curva carga-flecha.

3.2.3.5.- ENSAYOS A TRACCIÓN INDIRECTA.

(Ensayo Brasileño). UNE 83 306-85 ⁽³⁾.

Esta norma tiene por objeto indicar los medios y procedimientos que se han de emplear para la rotura por tracción indirecta (ensayo brasileño) de probetas cilíndricas de hormigón, que han sido fabricadas y conservadas de acuerdo con la norma UNE 83-301 ⁽³⁾.

Aparatos necesarios.

Máquina de ensayo

Se utilizará una máquina de ensayos de compresión que cumpla las características indicadas en el capítulo 2 de la norma UNE 83-304 ⁽³⁾, con los accesorios siguientes.

Barra o placa de apoyo suplementaria : Si el diámetro o la mayor longitud de uno o de los dos platos de la máquina de ensayo es menor que la longitud de la probeta a ensayar, deberá utilizarse una barra de sección rectangular o placa suplementaria de acero, con las superficies que van a estar en contacto con los platos de la prensa mecanizadas de forma que no presenten desigualdades mayores de 0,25 mm en cualquier dirección. Su longitud será igual o superior a la de la probeta y el ancho mínimo será de 50 mm y tendrá un espesor igualo superior a la mitad de la diferencia entre la longitud de la probeta y la mayor dimensión del plato de la prensa.

Bandas de apoyo. Se usarán dos bandas de apoyo de madera contrachapada o cartón sin defectos, de 3 mm de espesor, un ancho aproximado de 25 mm y una longitud igual o ligeramente superior a la longitud de la probeta. Las bandas de apoyo no podrán ser empleadas en más de un ensayo.

Procedimiento operatorio

Probeta. Según se trate de probetas enmoldadas o testigo, las mismas se ajustarán a lo indicado en las normas UNE 83-301 o UNE 83-302 ⁽³⁾. Antes de su colocación en la máquina de ensayos se marcará con una línea un diámetro en cada cara, usando algún método que asegure que las dos líneas pertenecen a un mismo plano axial. Se marcarán las generatrices que unen los extremos correspondientes de los diámetros marcados, de forma que quede claramente definido el plano de carga.

El diámetro de la probeta se tomará como la media, redondeada en medios milímetros, de las medidas, realizadas con una precisión de 1 mm, de tres diámetros contenidos en el plano de carga, tomados dos en la proximidad de cada una de las caras y el tercero cerca de la sección central. La longitud se tomará como la media de al menos dos medidas, efectuadas con una precisión de 1 mm, en el plano de carga.

Colocación de la probeta en la máquina de ensayos. Las probetas que por las condiciones del ensayo se han curado en cámara húmeda o sumergidas en agua, no

deben perder humedad antes de la rotura. Para ello se procurará que el tiempo transcurrido desde su extracción hasta el ensayo, sea como máximo de 3 h.

Se empieza colocando en el plato inferior, si es necesario, la barra suplementaria de forma que su centro y el centro del plato coincidan. Seguidamente se coloca una de las bandas de apoyo indicadas en el apartado 2.3 centrada sobre la barra suplementaria o sobre el plato de la prensa. Sobre la banda se coloca la probeta de forma que el plano de carga quede en posición vertical, y centrado respecto al eje de la banda y de la barra suplementaria. Se dispone la segunda banda de apoyo, sobre la generatriz superior del plano de carga y centrada con ella. A continuación, si es necesario, se coloca la barra suplementaria superior, con su eje en el plano de carga y su centro en la vertical del centro de la probeta.

Se aproximan los platos de la máquina sin dar carga, pero de forma que quede fijada la posición del conjunto y se asegure que el centro de la probeta esté en la vertical del centro del plato superior y que los ejes de las barras suplementarias, cuando se usan, estén contenidas en el plano vertical de carga.

Aplicación de la carga. A continuación se aplicará la carga de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de la tensión de tracción indirecta, calculada según la ecuación 3.23 sea de $0,3 \pm 0,1 \text{ kgf/cm}^2/\text{s}$ ($0,03 \pm 0,01 \text{ MPa/s}$)

Carga de rotura. La carga se aplicará sin variación de las condiciones indicadas anteriormente, hasta que la probeta se deforme rápidamente antes de la rotura. A partir de este momento no se modificarán las posiciones de los mandos de la máquina, hasta que se llegue a la rotura de la probeta, tomándose como carga de rotura la carga máxima alcanzada.

La tensión de rotura a tracción indirecta se calculará con la fórmula:

$$f_{ti} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (3.23)$$

donde

f_{ti} : es la tensión de rotura o tracción indirecta en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (Mega Pascal)

P: es la carga de rotura en kilogramos fuerza (Newton)

L: es la longitud de probeta en centímetros (milímetros)

D: es el diámetro de la probeta en centímetros (milímetros).

3.3.4.- ENSAYOS DE DUREZA.

La dureza es una medida de la resistencia de un material a la deformación permanente (plástica). Los ensayos de dureza se clasifican en tres categorías:

- Los ensayos que miden la resistencia de un material a la penetración de su superficie. Como ejemplos tenemos la dureza Brinell, Vickers y Knoop , dureza Barcol, durómetros Shore .
- Los ensayos que miden la resistencia de un material a ser rayado. Como ejemplos se pueden citar la dureza Bierbaum o la dureza Moh.
- Los ensayos que miden la resistencia al rebote. El ejemplo principal son los distintos tipos de durezas Rockwell . Muchos de los distintos tipos de ensayos son combinaciones de la primera y la tercera clase.

En general, la dureza se mide principalmente en relación con la resistencia a ser forzada la superficie del material con un elemento penetrador de distintas geometrías y características según el tipo de ensayo utilizado. Para la mayoría de los ensayos estándar, se emplea una carga conocida, presionando el penetrador a 90° sobre la superficie del material.

Una vez retirado el penetrador, se calcula un número empírico de dureza o se hace la lectura en un dial o pantalla digital, con base al área o profundidad de la huella.

La naturaleza viscoelástica de los materiales vegetales introduce dificultades para la interpretación y correlación de las medidas. Los resultados son dependientes del tiempo de aplicación de la carga y de la rapidez con que se mida la huella una vez que se ha retirado el penetrador. Solamente los ensayos Rockwell especifican completamente los rangos de tiempo que se deben utilizar.

Además de los factores relacionados directamente con la respuesta viscoelástica, otros muchos pueden influir en los resultados, como las condiciones superficiales de la muestra, la presencia de rellenos en la matriz o la anisotropía de los materiales vegetales.

Los dos tipos principales de ensayos de dureza para materiales vegetales son los ensayos de durezas Rockwell y las durezas Shore; los primeros para materiales relativamente duros y los segundos para menor dureza. No existe un único tipo de ensayo que cubra todo el rango de durezas.

Existe cierto solapamiento entre algunas de las escalas, siendo posible para el mismo material obtener distintos valores para distintas escalas, pudiendo calcularse correlaciones entre ellos. Por último, realizaremos una breve descripción de los ensayos de dureza Rockwell puesto que constituirán la parte principal del estudio experimental realizado.

Los ensayos de dureza Rockwell.

Estos ensayos miden el incremento neto en la profundidad de la huella mientras que la carga aplicada sobre el penetrador se incrementa desde una precarga o valor fijo mínimo de la carga ejercida hasta un valor máximo, siendo restablecida de nuevo hasta el valor de precarga.

Las escalas de dureza Rockwell se denotan en orden creciente. Cuanto más alto es el número de dureza en cada escala, mayor es la dureza del material

En cuanto al método de ensayo, la norma ASTM D785 describe dos procedimientos. En el primero, la precarga se aplica durante 10s, penetrando ligeramente en el material y asegurando un buen contacto. Posteriormente se aplica la carga máxima durante 15 s, se retira y se realiza la lectura 15 s después, con la precarga todavía actuando.

En el segundo procedimiento, limitado a la escala R, la lectura se realiza a los 15 s de la aplicación de la carga máxima, con la precarga actuando. El número de dureza Rockwell en este procedimiento se calcula restando a la lectura tomada al valor 150.

Aparato empleado.

Aparato de ensayo de dureza digital modelo HLJ-2.100, precisión $\pm 0,8 \%$, con escalas de dureza HB de 30 a 655, HRC de 20 a 68 , RB de 13 a 100, HV de 80 a 977, HS de 32 a 100.

3.3.- CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA.

3.3.1.- PREPARACIÓN DEL MATERIAL.

Para realizar los ensayos de laboratorio se recolectará material vegetal y se realizará la construcción de entramados de caña como los modelos tradicionales.

a) Siega y selección de caña común (*Arundo donax* L.) cuantificando su calidad para los fines del proyecto:

El material vegetal será recolectado en febrero, será material de segundo año y la selección será un función de la calidad como material de construcción.

Según denominación local las cañas se clasifican en: sarseras, techeras y liseras.

Sarseras: utilizadas para entramados de tapiales de tierra.

Techeras: utilizadas de forma astillada y tejidas en telar (cañizo) para falsos techos.

Liseras: son las de mayor grosor y linealidad y las que conforman los forjados de pisos y cubiertas unidas dos a dos fuertemente. Las cañas se usan enteras enfrentados el diámetro mayor de una con el menor de la otra, denominándose esta forma de tejido también cañizo. Cuando se utilizan en paramentos horizontales reciben el nombre de testeros.

b) Aplicación de los tratamientos de secado y conservación tradicionales.

Las cañas son segadas por la base y dejadas en el lugar de corte tendidas en el suelo durante dos semanas, posteriormente se procede al apilado de las cañas en posición vertical en forma de “cabaña india” sin haber realizado ningún tipo de selección en el lugar de siega, a los tres meses se procede a la selección y se conforman las diferentes pilas de cañas en el lugar de comercialización, donde permanecen durante el tiempo de secado que es diferente según el tipo de utilización. Dichas pilas no tienen ninguna protección contra los agentes atmosféricos.

Los procedimientos para la toma de muestras de caña común serán similares a las utilizadas en las construcciones. Las muestras se tomarán con las precauciones necesarias para conseguir que sean verdaderamente representativas.

Las cañas seleccionadas serán de dos años, secadas al aire durante un año, con las dimensiones adecuadas para estar dentro de las catalogadas como “liseras” que eran las utilizadas como material de construcción.

c) Construcción de elementos resistentes según su disposición en obra (modelización).

Se construirán entramados de caña liserá sin pelar unidas mediante cuerdas trenzadas de esparto verde recién segado y humedecido al modo tradicional, evaluando en dichas cañas el espesor de los nudos, distancia entre nudos y espesor del tramo hueco de la caña. El atado de las cañas se realiza uniéndolas dos a dos de forma que no coincidan los nudos.



Fig. 3.9. Cañas liseras



Fig. 3.10. Cuerda de esparto trenzado.

d) Medición de las cañas para obtener todos los datos necesarios para hallar sus dimensiones y averiguar las relaciones entre ellas para poder utilizar parámetros homogéneos :

Longitud .

Diámetros (interior y exterior).

Espesores (máximo y mínimos entre nudos).

Ovalización.

Distancia entre nudos.

e) Elaboración de probetas para ensayos mecánicos:

Las probetas para los ensayos serán de tres clases para valorar las propiedades mecánicas de la caña común (*Arundo donax* L.): caña común , de entramado de cañas con mortero de cemento y de entramado de cañas con mortero de hidróxido de cal. Y otras dos clases de probetas con los materiales usados en los morteros con caña común

(mortero de cemento y mortero de hidróxido de cal) para evaluar los efectos de las cañas sobre dichos morteros.

3.3.2.- PROBETAS DE CAÑA COMÚN.

Las probetas de caña común (*Arundo donax* L.) utilizadas para los ensayos a compresión paralela a las fibras no tendrán nudos, se elegirán los diámetros y espesores mediante muestreo y su longitud será el doble del diámetro. Se utilizarán 15 muestras de caña común con dos contenidos de humedad diferentes. También se realizarán pruebas a compresión con muestras de caña de más de 100 años.



Fig. 3.11. Probetas de caña común (*Arundo donax* L.).

Las probetas de caña común utilizadas para los ensayos a compresión y tracción indirecta no tendrán nudos, se elegirán los diámetros y espesores mediante muestreo y su longitud será el doble que su diámetro exterior medio.

Probetas de caña común utilizadas para los ensayos a flexión, se elegirán los diámetros y espesores mediante muestreo y su longitud será cuatro o cinco veces el diámetro exterior. Se calculará el número de ensayos necesarios con caña común, con dos contenidos de humedad diferentes.

3.3.3.- PROBETAS DE CAÑA COMÚN CON MORTEROS.

Para la fabricación de probetas para ensayos a rotura y ensayo brasileño se adoptará dentro de las posibilidades la norma fabricación y conservación de probetas UNE 83-301-91 ⁽³⁾.

La forma de las probetas utilizadas en estos ensayos serán cilindros de diámetro 15 cm y altura 30 cm. y se fabricarán:

Probetas de caña común en un cilindro de mortero de cal.

Probetas de caña común en un cilindro de mortero de cemento.

Probetas de mortero de cemento.



Fig. 3.12. Moldes de probetas cilíndricas.

Las probetas para ensayos a flexión serán rectangulares de 40 x 10 x 7 cm. y se fabricarán:

Probetas de caña común con mortero de cemento.

Probetas de mortero de cemento.

Los moldes para la fabricación de probetas serán de acero, y conservarán su estanquidad y sus dimensiones con el uso, dentro de los límites que se especifican para cada tipo de molde. Las superficies interiores de los moldes deberán estar exentas de irregularidades. El plano de la base del molde es normal al eje del mismo.

Las dimensiones del molde, a lo largo de su período de uso deberán ser tales que se mantengan entre los siguientes límites:

Sección nominal: $\pm 1,0\%$. Altura nominal: $\pm 2,0\%$

Útiles de compactación.

- Vibrador de aguja. La relación entre el diámetro de la probeta y el diámetro del elemento vibrador es superior a 4. Se recomienda que éste sea de 25 mm. La frecuencia mínima recomendada será de 120 Hz (7.200 ciclos por minuto).

- Barra metálica. La barra será lisa y cilíndrica de 600 mm de longitud y 16 mm de diámetro; en sus 25 mm finales será troncocónica y estará rematada en ese extremo por un casquete esférico.

Previamente al llenado, las paredes y bases de los moldes se impregnan de un producto adecuado que facilite su posterior desmoldeo.

Procedimiento de compactación.

El procedimiento utilizado en las probetas con hormigón dependerá del asiento medido mediante el cono de Abrams (norma UNE 83-313) ⁽³⁾.



Fig. 3.13. Cono de Abrams.

Si el asiento medido es menor de 4 cm, la compactación será por mesa vibratoria o vibrador de aguja. Para hormigones con asiento igual o mayor de 4 cm, se utilizará la compactación por picado.

Después de la compactación por cualquiera de los métodos que se indican, se procede a retirar el material sobrante, fratasándose su superficie y manipulándose lo menos posible para dejar la cara lisa de forma tal que cumpla las tolerancias de acabado.

El conjunto de todas las operaciones desde la preparación de la muestra no excederá de un tiempo de 15 min.

Compactación por vibrado.

El mortero se vierte en el molde en un número de capas tal que cumpla las prescripciones de la tabla y cada capa se compacta por el procedimiento de vibrado.

utilizado, hasta que el mortero que afluye a la superficie cubra las partículas de árido o caña que se encuentran en la misma.

Número de capas exigido por tipo de probeta. Compactación por vibrado.

Tipo y altura	Número de capas	Altura máxima de cada capa
Cilindros de: 300 a 450 mm	2 iguales.	Mitad de probeta

Debe evitarse una sobrevibración, para no producir segregación en el mortero.

En caso de empleo del vibrador de aguja, se debe utilizará éste de forma tal que penetre de forma centrada y rápida hasta aproximadamente 20 mm del fondo del molde, sin tocar las paredes del mismo. Cuando la compactación sea de capas intermedias, el vibrador penetrará en la capa inferior unos 20 mm. En el momento en que se alcance la compactación del mortero se retirará el vibrador de forma suave, para evitar la producción de oquedades.

Conservación y desmoldeo de las probetas.

Con el fin de evitar la desecación de la masa, las probetas se mantendrán en sus moldes, con su superficie cubierta de arpillera húmeda o similar, y protegida de la intemperie de forma tal que la temperatura alrededor de las probetas esté comprendida entre 16° C y 27° C, hasta el momento de ser depositadas en el lugar de conservación normalizado. Las probetas no deben moverse ni desmoldarse hasta transcurridas al menos 24 h desde el momento de su fabricación.

Una vez extraídas del molde las probetas se marcarán de forma que no resulten alteradas las superficies que han de estar en contacto con los platos de la prensa de ensayo.

Lugar de conservación normalizado: la balsa de inmersión cumple la condición de mantener la temperatura del agua a $20^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$.

A continuación las probetas se transportarán a la balsa de inmersión, las probetas deberán colocarse de forma tal, que no estén en contacto entre ellas. Durante todas las manipulaciones realizadas con las probetas se debe evitar los golpes y demás incidencias que pudiesen descartarillas o fisurarlas.

Para el refrentado de probetas cilíndricas se adoptará la norma que indica los procedimientos para el refrentado con mortero de azufre de probetas cilíndricas destinadas al ensayo de rotura por compresión.

Aparatos empleados.

Dispositivo de refrentado que consta de:



Fig. 3.14. Equipo de refrentado.

Mecanismo de alineación. Constará esencialmente de un triedro tri-rectángulo. Este dispositivo asegurará la ortogonalidad entre la superficie refrentada y el eje de la probeta dentro del margen de $0,5^\circ$.

Plato de refrentado. Deben estar formados por materiales que aseguren un correcto funcionamiento del material que se use para refrentar. En particular y en el caso de platos metálicos estos tendrán un espesor mínimo de 13 mm.

En todos los casos los platos tendrán las siguientes características. -diámetro superior en 25 mm al diámetro de la probeta.

-superficie plana, con una desviación máxima de 0,05 mm en 150 mm.

-cuando la superficie esté usada deberá ser lisa y no presentará oquedades de más de 0,25 mm de profundidad o de extensión mayor de 30 mm^2 .

-dureza superior a 60 HRC. UNE 83-303-84 -2

Dispositivo de mezclado para mortero de azufre.

Deberá estar equipado con sistema de calentamiento y preferentemente con control automático de temperatura.

Materiales para refrentar. Condiciones.

El material para el refrentado debe asegurar:

- a) un contacto íntimo con el hormigón de la probeta en estado húmedo.
- b) la ausencia de fisuras u oquedades en la capa de refrentado.
- c) una resistencia igual o superior a la de la probeta que se ensaya y en cualquier caso superior a 350 kp/cm^2 (34,3 MPa) a las 2 h en probeta cúbica de 4 cm.
- d) la conformación de una cara perfectamente lisa, cubriendo las irregularidades de fabricación de las probetas.

Mortero de azufre.

El mortero de azufre se define como la mezcla íntima conseguida, mediante tratamiento térmico adecuado, de azufre y arena, con la posible incorporación de un fundente idóneo. La composición del mortero de azufre se ajustará de forma tal, que una vez endurecido por cristalización del azufre, no presente fisuras apreciables a simple vista. Los componentes tendrán las siguientes características:

62 %, en peso, de azufre 36 %, en peso, de arena.

2 %, en peso, de negro humo.

Procedimiento operatorio.

Preparación de la pasta de refrentado.

Pesar los componentes del mortero de azufre, mezclarlos e introducirlos en el recipiente de calentamiento hasta las 3/4 partes de su capacidad, asegurándose que los componentes no estén húmedos para evitar la formación de burbujas. A continuación se calientan de forma tal, que la temperatura no sobrepase los 150°C ; conforme se va produciendo la fusión del azufre, se remueve la mezcla con la varilla para homogeneizarla y evitar la segregación de la arena.

Una vez fundido el azufre en su totalidad, se considera terminada la preparación del mortero, conservando éste a una temperatura comprendida entre 120 y 130°C .

Las recargas del recipiente deben realizarse una vez agotado lo más posible el material primitivo, se debe asegurar que el material más antiguo no ha sido calentado más de cinco veces.

Refrentado.

Una vez preparada la pasta de refrentar, se coloca el dispositivo de refrentado cerca del recipiente de calentamiento, perfectamente limpio y preferentemente un poco caliente para impedir un enfriamiento brusco de la pasta con objeto de permitir la producción de capas de refrentado adecuadas. Con un pincel o brocha, se aplica al plato de refrentar una ligera capa de aceite o desencofrante. Se limpia y se retira el exceso de humedad superficial de la cara de la probeta a refrentar, para impedir la formación de burbujas de vapor debajo del material de refrentado. Se vierte en el plato de refrentado la cantidad precisa de pasta, teniendo la precaución de agitar ésta, antes de proceder al vertido. A continuación, se coloca encima del plato la probeta, presionándola con las manos de dos formas:

- contra el plato para eliminar el producto sobrante.
- contra el diedro perpendicular al molde para conseguir que la cara refrentada sea perpendicular al eje de la probeta.

Después de unos 45 s, el mortero de azufre está lo suficientemente duro para proceder al desmoldado de la probeta. Para lo cual se golpea ligeramente el plato en todo su contorno, por medio del martillo.

Una vez hecho el refrentado de la probeta ésta deberá cumplir las siguientes condiciones:

- No presentar fisuras. En caso contrario se retira el refrentado defectuoso y se vuelve a refrentar .
- No presentar burbujas interiores, ni falta de adherencia con la cara. Para comprobarlo se golpea con los nudillos, la superficie refrentada.
- No presentará en su superficie irregularidades superiores a 0,1 mm.
- Los planos de las dos caras, serán perpendiculares al eje con una tolerancia de 0,5°.
- El espesor medio de la cara refrentada deberá ser superior a 3 mm, siendo su valor máximo en cualquier punto inferior a 8 mm.
- La superficie refrentada será siempre igual o mayor que la sección transversal de la probeta.

Las probetas podrán ensayarse una vez el refrentado ha alcanzado la resistencia suficiente para lo cual bastará esperar un período de tiempo de aproximadamente 2 h.

Arena utilizada en la fabricación de los morteros de hidróxido de cal y de hormigón.

Determinación de la curva granulométrica de la arena según la norma UNE-EN 933-1. Método del tamizado ⁽³⁾.

La arena utilizada tiene un contenido de humedad del 10%.



Fig. 3.15. Arena utilizada en los morteros.

TABLA 3.1. Datos arena. Peso: 500g Tamices utilizados serie ISO-565.						
Tamiz	W Tamiz (B2)	W árido + tam	W árido retenido	% árido pasa	% árido retenido	% árido retenido acumulado
63,00	498	0	0	100	0	0
31,50	494	0	0	100	0	0
16,00	477	0	0	100	0	0
8,00	483	485	2	99,6	0,4	0,4
4,00	531	567	36	92,46	7,14	7,54
2,00	521	647	126	67,46	25,0	32,54
1,00	492	621	129	41,87	25,60	58,13
0,50	454	551	97	22,62	19,25	77,38
0,250	416	486	70	8,73	13,89	91,27
0,125	423	466	43	0,2	8,53	99,80
0	377	380	1	0,0	0,20	100,00
Total			504		100	

Módulo granulométrico de la arena : 4,67

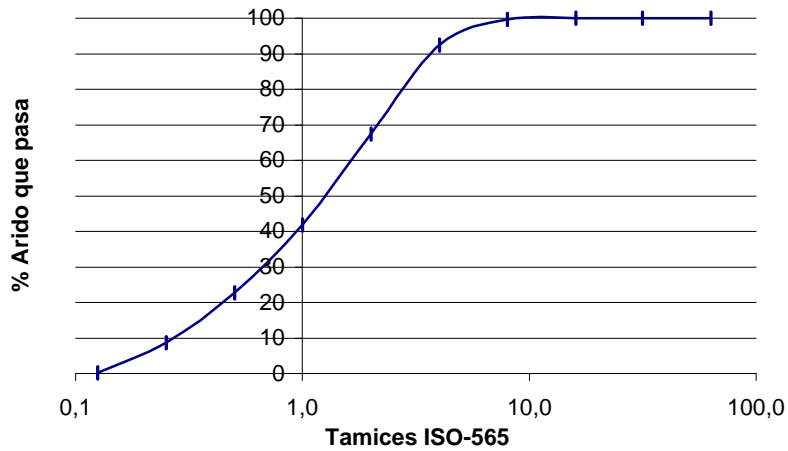


Fig. 3.16. Curva granulométrica de la arena de los morteros.

Mortero de hidróxido de cal.

Dosificación del mortero de cal en volumen:

Hidróxido de cal: Arena: Agua. 1:4:1,5. Para un contenido de humedad de la arena del 10%.

Dosificación en peso: 1: 6,9: 2,25

El asiento del mortero de cal medido en el cono de Abrams mayor de 4 cm, por lo que la compactación se realiza por picado.

Mortero de cemento.

Dosificación del mortero de cemento en peso:

Cemento: Arena: Agua 1: 4: 0,6 . Para un contenido de humedad de la arena del 10%. Cemento tipo CEM II/A-P-32,5.

El asiento del mortero medido en el cono de Abrams mayor de 4 cm, por lo que la compactación se realiza por picado.



Fig. 3. 17. Asiento del mortero de cemento.

3.4.- TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

El propósito principal de la estadística aplicada a la experimentación es suministrar un instrumento objetivo para el análisis de ensayos en los que los resultados no siguen leyes exactas. Es bien conocido, que dos árboles de un mismo clon, plantados en un mismo suelo incluso con las mismas condiciones climáticas y de cultivo, pocas veces llegan al mismo resultado. Estas diferencias aparecen por causas ambientales o genéticas que escapan al control del investigador. Esto representa la variabilidad existente entre las unidades experimentales que se denomina error experimental.

La estadística exige que se disponga de unos resultados que permitan estimar de un modo adecuado las medias a ensayar y que se puedan realizar pruebas de significación basadas en el error experimental.

Las pruebas de significación permiten estimar la probabilidad de que las diferencias encontradas, entre los distintos comportamientos, sean debidas al azar.

Tamaño del experimento.

Para obtener el tamaño del experimento (número de réplicas o repeticiones) se ha utilizado el método de Cochran y Cox (1.957)⁽⁹⁷⁾. Es un método aproximado para calcular el número de repeticiones “r” requerido para una probabilidad dada “β”, y así obtener un resultado significativo. De acuerdo con estos autores debe obtenerse:

$$r \geq 2 \cdot \left(\frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \cdot (t_1 + t_2) \quad (3.23)$$

Siendo:

σ , coeficiente de variación del conjunto de observaciones.

δ , diferencia verdadera entre valores medios que se desea detectar expresada en % de la media general.

t_1 , es el valor de la t de Student para la prueba de significancia.

t_2 , es el valor de la distribución de la t de Student correspondiente a la probabilidad de $2 \cdot (1 - \beta)$, siendo β el poder de la prueba.

El procedimiento de cálculo de número de repeticiones necesario, es mediante tanteo en función de los grados de libertad y las repeticiones, por lo que utilizaremos la ecuación simplificada 3.24, quedando dentro de la seguridad.

$$\text{Para } 0,90 \leq \beta \leq 0,95 \quad \rightarrow \quad t_1 + t_2 \leq 2$$

Luego utilizaremos para calcular el número de repeticiones de los ensayos la siguiente ecuación:

$$r \geq \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} \quad (3.24)$$

Análisis de la varianza.

Proceso aritmético que descompone una suma total de cuadrados en componentes asociados con fuentes de varianza reconocidas (Steel y Torrie, 1985). El Análisis de la Varianza fue diseñado por Sir Ronald A. Fisher y se ha utilizado en todos los campos de investigación en los que los datos se miden cuantitativamente (Fisher y Yates, 1957).

El interés principal del Análisis de la Varianza para un factor, se centra en analizar cuáles son las variables independientes y cuáles son las combinaciones de las mismas que producen diferencias en la conducta observada registrada como variable cuantitativa.

El Análisis de la Varianza de medidas repetidas, se caracteriza por el hecho de que las observaciones o respuestas diferentes, registradas para cada elemento, no son el resultado de valorar variables diferentes, sino el resultado de valorar un mismo aspecto distintas ocasiones.

Con el análisis de la varianza se llega a la conclusión de rechazar o no la hipótesis nula de igualdad de medias en los ensayos. En caso de rechazarla se sabe que al menos existe una diferencia significativa entre algún par de medias por lo que se recurre a los métodos de comparaciones múltiples.

Pruebas de significación.

Cuando ya ha sido realizado el Análisis de la Varianza y obtenido que los valores medios son significativos asintóticamente, se comprueba la presencia del valor más indicativo, así como las diferencias existentes entre ellos. Se llevan a cabo las pruebas de significación basadas en el error experimental.

Las comparaciones de muestras se pueden hacer: a priori por contraste, o posteriormente mediante comparaciones múltiples. Entre las pruebas múltiples hay diversos procedimientos como son: t de Student, LSD (Low significant difference),

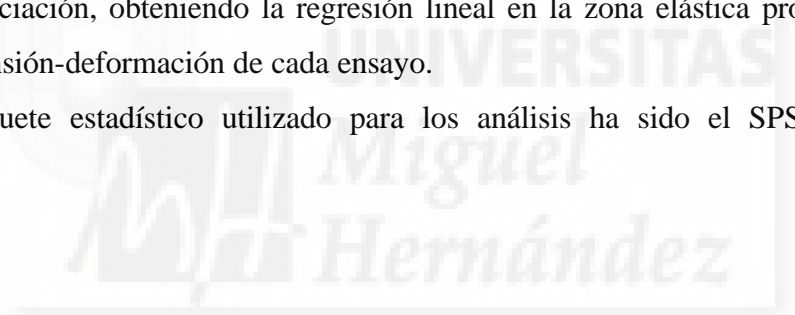
Scheffé, Tukey, Student-Newman-Keuls, Duncan, Amplitud múltiple de Duncan, Waller-Duncan, etc.

En esta investigación se ha empleado para las comparaciones múltiples el método de Scheffé, cuando los tamaños muestrales de cada repetición no eran iguales y el método de Tukey, para tamaños de muestras iguales.

Como prueba de significación para comprobar que los datos son adecuados al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población de estudio, se ha realizado la prueba χ^2 basada en el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad o el método gráfico conocido como la recta de Henry, donde se comprueba la normalidad del residuo y nos indica si los ensayos son representativos.

Por último para obtener la función lineal entre las variables tensión-deformación de los ensayos que permitan explicar o predecir la variable independiente, se analizó el modelo de regresión mediante el coeficiente de correlación de Pearson para estimar el grado de asociación, obteniendo la regresión lineal en la zona elástica proporcional de las curvas tensión-deformación de cada ensayo.

El paquete estadístico utilizado para los análisis ha sido el SPSS 11.5 para Windows.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MH Miguel Hernández

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CAÑA COMÚN EN LAS CONSTRUCCIONES.

La caña común como material de construcción se utilizó en todas las construcciones de la Vega Baja hasta principios del siglo XX, fundamentalmente formando parte de los forjados de cubierta y de piso; hasta los años sesenta se siguió utilizando para pequeñas construcciones unifamiliares y alojamientos ganaderos.

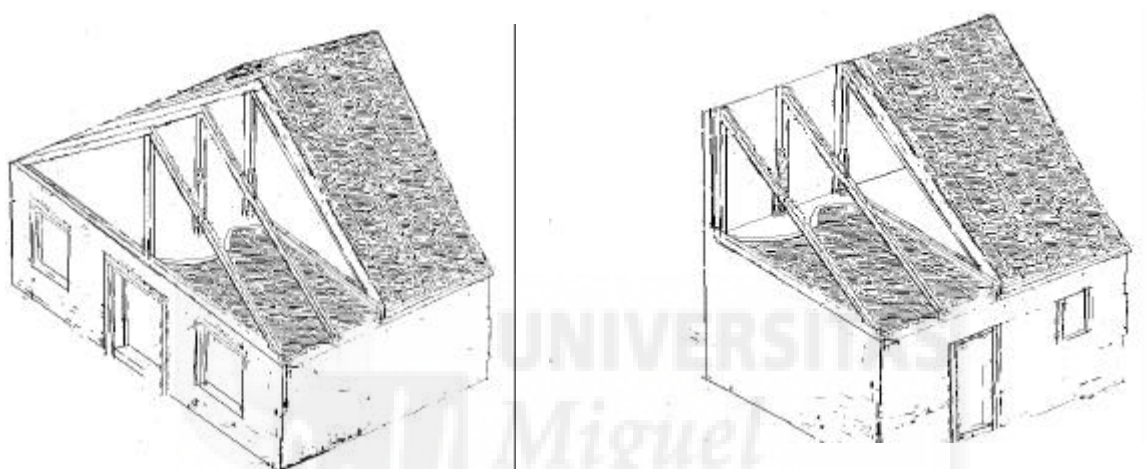


Fig. 4.1. Croquis de disposición de caña común en las construcciones.

Para analizar la capacidad resistente de la caña común en las edificaciones, se ha realizado un estudio teórico en función de los datos obtenidos en diferentes construcciones y así poder caracterizar las funciones que realiza la caña común en dichas estructuras.

A.- FORJADOS.

El entramado que forma el forjado de las edificaciones se realiza mediante cañas unidas con una cuerda trenzada de esparto, dicha cuerda para que permanezca flexible tiene que estar húmeda, por lo que se sumerge en agua durante todo el proceso de atado. Las cañas se enlazan sin pelar (para conseguir mayor adherencia) dos a dos, mediante una caña guía cada 80 cm como se observa en la figura 4.2.



Fig. 4.2. Tejido de cañas para forjado (mollije).

Este entramado se coloca sobre las viguetas de madera perpendicularmente a ellas y colocadas entre dos cañas guías, y los extremos de las cañas se atan a una viga de madera que descansa sobre el muro de carga. En los forjados de piso una vez colocado el entramado de caña, se corta la cuerda de unión cañas y se quitan las cañas guía, para proceder al enlucido; en los forjados de cubierta permanecen las guías si son no son vistas.

La caña se teje completa teniendo unas dimensiones medias aprovechables de 6 metros, por lo que se cortan en función de la superficie a cubrir.



Fig.4.3. Confección del entramado de cañas sobre las cañas guías.



Fig. 4.4. Detalle de atado con cuerda de esparto del extremo del entramado de cañas a una viga en el muro de carga.

En las edificaciones tradicionales, la caña común (*Arundo donax* L.) se utiliza como material constructivo resistente, es el elemento estructural de reparto de esfuerzos sobre las viguetas de madera en las que se apoya, por lo que se realiza un estudio teórico de las tensiones a las que está sometida la caña en cada una de las disposiciones en obra observadas, que posteriormente se comparará con los resultados experimentales sobre la resistencia de la caña común.

En los forjados la caña común se comporta como una viga continua sometida a una carga uniforme que le transmiten los materiales a los que sustenta.

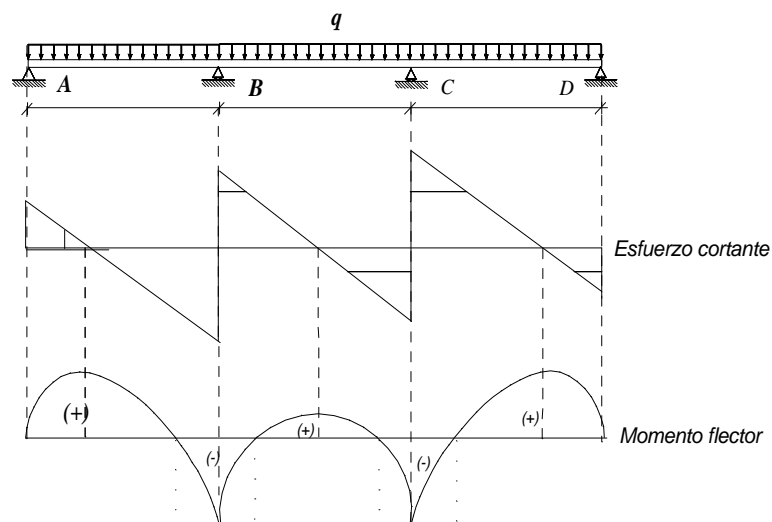


Fig.4.5. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector de viga continua.

DISPOSICIONES DE FORJADO DE CUBIERTA:

En las edificaciones estudiadas se han observado diferentes disposiciones del entramado de cañas (mollije) en los forjados, según la separación entre las viguetas de madera y sus dimensiones, además si estaban enfoscadas las cañas o no por la parte inferior, y los hemos clasificado en cuatro grupos: A, B, C y D.

Forjado de cubierta tipo A:

Los forjados de cubierta de tipo A tienen un ángulo de inclinación de 20 ° y están enlucidas por la parte inferior con un mortero de cal o de yeso y pertenece a la zona de vivienda.



Fig. 4.6. Forjado de cubierta tipo A.

Disposición constructiva:

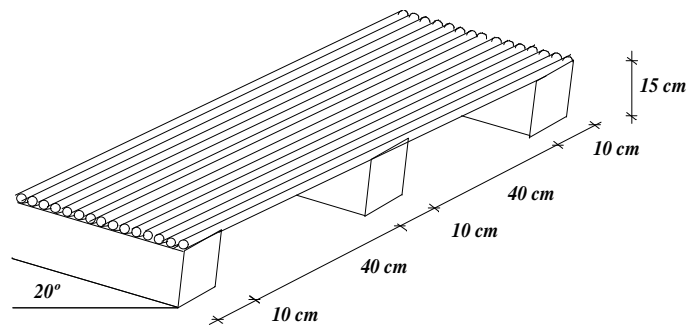
- Inclinación de la cubierta: 20°
- Separación entre viguetas: 40 cm
- Dimensiones de las viguetas: 10 x 15 cm.

Acciones sobre la caña:

- Teja curva (pesada 2,4 kg por pieza)60 kg/m²
- Argamasa de unión (mortero ligero e = 10 cm)190 kg/m²
- Enlucido inferior (revoco de cal) 16 kg/m²
- Viento (cerrada, zona eólica X, α = 20°) 0 kg/m²
- Total esfuerzos 266 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 5,91 kg/m de caña.



Análisis del forjado de cubierta tipo A:

Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.1)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 5,91 \cdot 0,5^2 = 0,156641 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión flectora sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.2)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098 \text{ cm}$.

Diámetro interior medio $d = 2,053 \text{ cm}$

Tensión a flexión

sobre las cañas: $\sigma = 265,43 \text{ kp/cm}^2$

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 5,91 \cdot 0,5 = 1,7733 \text{ kp} \quad (4.3)$$

Tensión cortante cilindro hueco:

$$\tau = \frac{Q \cdot (R^2 - y^2)}{3 \cdot I} \quad (4.4)$$

$$y = r \Rightarrow Q_{\max} \quad \tau = \frac{Q \cdot (R^2 - r^2)}{3 \cdot 0,7854 \cdot (R^4 - r^4)} \quad \tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} \quad (4.5)$$

La tensión cortante será: $\tau = 0,34939 \text{ kp/cm}^2$

Forjado de cubierta tipo B:

A este forjado no se le corta la caña guía que es de gran grosor y se deja vista a través del enlucido de cal. Pertenece al forjado del alojamiento ganadero de la alquería de la finca La Caseta (Orihuela).



Fig. 4.7. Forjado de cubierta tipo B.

Disposición constructiva:

- Angulo de inclinación de la cubierta: 20°
- Separación entre las viguetas: 50 cm
- Dimensiones de las viguetas: 12x16

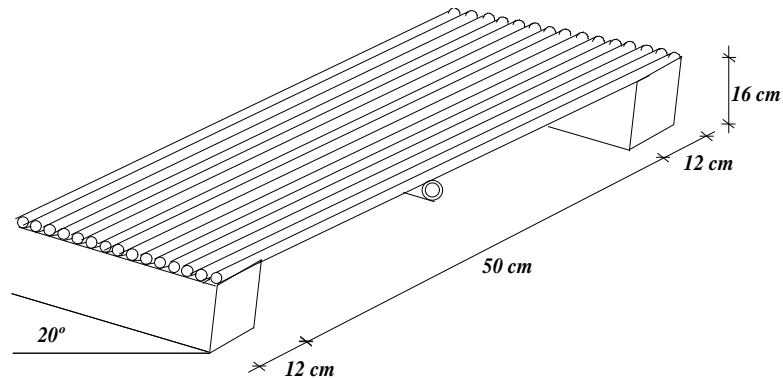
Acciones sobre la caña:

- Teja curva (pesada 2,4 kg por pieza)60 kg/m²
- Argamasa de unión (mortero ligero e = 10 cm)190 kg/m²
- Enlucido inferior (revoco de cal) 16 kg/m²
- Viento (cerrada, zona eólica X, $\alpha = 20^\circ$) 0 kg/m²
- Total esfuerzos 266 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 5,91 kg/m de caña

Análisis del forjado de cubierta tipo B:



Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.6)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 5,91 \cdot 0,62^2 = 0,24086 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión flectora sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.7)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098 \text{ cm}$.

Diámetro interior medio $d = 2,016 \text{ cm}$

Tensión a flexión sobre las cañas: $\sigma = 408,12 \text{ kp/cm}^2$

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 5,91 \cdot 0,62 = 2,19893 \text{ kp} \quad (4.8)$$

Tensión cortante cilindro hueco:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} \quad (4.9)$$

La tensión cortante será: $\tau = 0,43325 \text{ kp/cm}^2$

Forjado de cubierta tipo C:

Este forjado tiene menor inclinación y cañas de pequeño diámetro, por la parte inferior lleva un revoco de mortero de cal, que en algunas partes se ha desprendido. Pertenece a la zona de vivienda de la casa de la alquería finca La Caseta (Orihuela).



Fig. 4.8. Forjado de cubierta tipo C.

Disposición constructiva:

- Ángulo de inclinación de la cubierta: 13°
- Separación entre las viguetas: 30 cm
- Dimensiones de las viguetas: 8 x15 cm

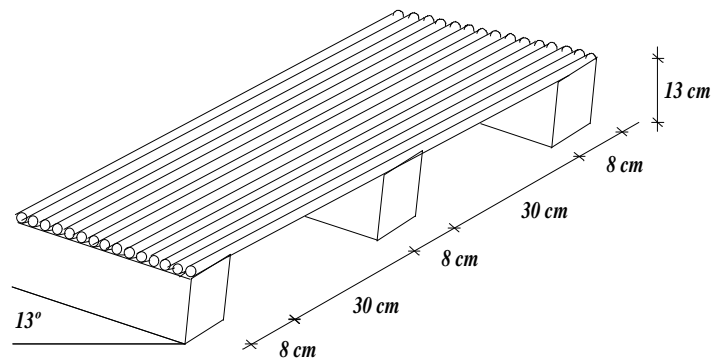
Acciones sobre la caña:

- Teja curva (pesada 2,4 kg por pieza)60 kg/m²
- Argamasa de unión (mortero ligero e = 10 cm)190 kg/m²
- Enlucido inferior (revoco de cal) 16 kg/m²
- Viento (cerrada, zona eólica X, $\alpha = 13^\circ$) -10 kg/m²
- Total esfuerzos 266 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 5,91 kg/m de caña.

Análisis del forjado de cubierta tipo C:



Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.10)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 5,9 \cdot 0,38^2 = 0,09047 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión a flexión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.11)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098 \text{ cm}$.

Diámetro interior medio $d = 2,053 \text{ cm}$

Tensión a flexión sobre las cañas $\sigma = 153,31 \text{ kp/cm}^2$

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 5,91 \cdot 0,38 = 1,34777 \text{ kp} \quad (4.12)$$

La tensión cortante será:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} = 0,26555 \text{ kp/cm}^2 \quad (4.13)$$

Forjado de cubierta tipo D:

Es el forjado de cubierta de la barraca, tiene un ángulo de inclinación de 58° y como se ve afectado por vientos de presión en su estructura existen cruces de San Andrés para arriostramiento, además las cañas gruesas guías parece que se utilizan como viguetas intermedias de las de madera.



Fig. 4.9. Forjado de cubierta tipo D. (Barraca)

Dicho forjado pertenece a la barraca de la finca La Caseta (Orihuela) y es del siglo XVIII.

Disposición constructiva:

- Angulo de inclinación de la cubierta: 58°
- Separación entre las viguetas: 80 cm
- Dimensiones de las viguetas: 5 x 6 cm
- Dimensiones de las viguetas: 8 x15 cm

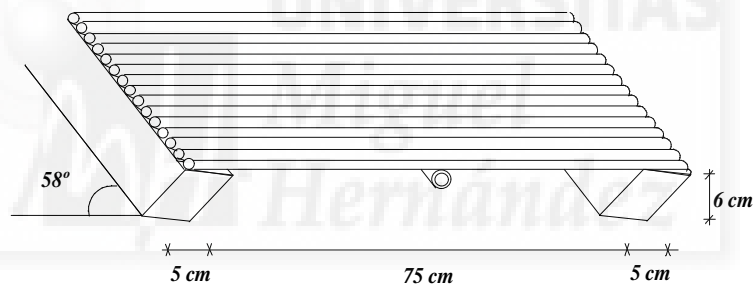
Acciones sobre la caña:

- Teja plana (pesada 3,6 kg por pieza) 50 kg/m²
- Viento (cerrada, zona eólica X, α = 58°) + 61 kg/m²
- Total esfuerzos 111 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 2,47 kg/m de caña.

Análisis del forjado de cubierta tipo D:



Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.14)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 2,47 \cdot 0,8^2 = 0,167338 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.15)$$

Diámetro exterior medio D = 2,098 cm.

Diámetro interior medio d = 2,053cm

Tensión a flexión sobre las cañas: σ = 222,13 kp/cm²

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 2,47 \cdot 0,8 = 1,184 \text{ kp} \quad (4.16)$$

La tensión cortante será:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} = 0,23328 \text{ kp/cm}^2 \quad (4.17)$$

DISPOSICIONES DE FORJADO DE PISO.

Los forjados de piso presentan variaciones entre unas construcciones y otras según la disposición de las cañas y los elementos sustentantes, por lo que se han clasificado en 4 grupos: tipo A, B, C y D.

Forjado de piso tipo A

Este forjado constituye el altillo de la barraca, siendo utilizada la parte superior del piso como almacén y la parte inferior como el dormitorio. Pertenece a la barraca de la alquería finca La Caseta (Orihuela)



Fig. 4.10. Forjado de piso tipo A.

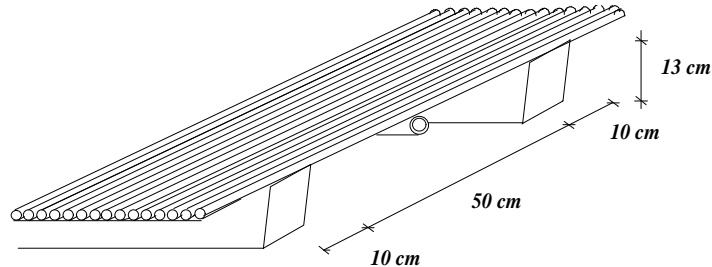
Disposición constructiva:

- Separación entre las vigas: 50 cm
- Dimensiones de las vigas: 10 x 13

Acciones sobre la caña:

- Solado (mortero ligero de cal 10 cm) 190 kg/m²
- Sobrecarga de uso (mínima) 100 kg/m²

Total esfuerzos	290 kg/m ²
Número de cañas aproximado por metro lineal	45
Carga sobre cada caña.....	6,45 kg/m de caña
Análisis del forjado de piso tipo A:	



Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.18)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 6,45 \cdot 0,6^2 = 0,24592 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión a flexión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.19)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098 \text{ cm}$.

Diámetro interior medio $d = 2,053 \text{ cm}$

Tensión a flexión sobre las cañas: $\sigma = 326,44 \text{ kp/cm}^2$

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 6,45 \cdot 0,6 = 2,32 \text{ kp} \quad (4.20)$$

La tensión cortante será:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} = 0,4571 \text{ kp/cm}^2 \quad (4.21)$$

Forjado de piso tipo B:

Este forjado forma parte de parte de la almazara de la finca La Caseta (Orihuela). Las vigas tienen diferentes separaciones y las cañas guía quedan vistas. La parte superior del piso es un almacén de forraje para los animales y se abre mediante una puerta al patio interior.



Fig. 4.11. Forjado de piso tipo B.

Separación entre las vigas: 25 y 40 cm

Dimensiones de las vigas: 10 x 12 cm

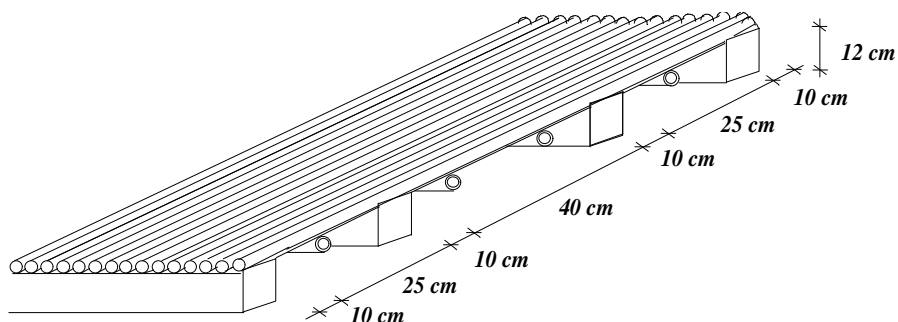
Acciones sobre la caña:

- Pavimento (baldosa hidráulica incluido relleno 7 cm) .. 110 kg/m²
- Mortero de cal de 5 cm 80 kg/cm²
- Sobrecarga de uso (mínima) 100 kg/m²
- Total esfuerzos 290 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 5,55 kg/m de caña

Análisis del forjado de piso tipo A:



$$\text{Momento flector máximo: } M_{\max} = 0,219 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.22)$$

$$M_{\max} = 0,219 \cdot 5,55 \cdot 0,5^2 = 0,30417 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión a flexión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.23)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098$ cm.

Diámetro interior medio $d = 2,053$ cm

Tensión a flexión sobre las cañas: $\sigma = 403,75$ kp/cm²

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 5,55 \cdot 0,5 = 0,8325 \text{ kp} \quad (4.24)$$

La tensión cortante será:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} = 0,164 \text{ kp/cm}^2 \quad (4.25)$$

Forjado de piso tipo C:

El forjado está por la parte inferior enlucido con una capa de 2 cm de yeso. Pertenece a una zona utilizada como almacén agrícola en la parte inferior y vivienda de los jornaleros de la alquería de la finca La Caseta (Orihuela).



Fig. 4.12. Forjado de piso tipo C.

Separación entre las vigas: 45 cm

Dimensiones de las vigas: 12 x 16 cm

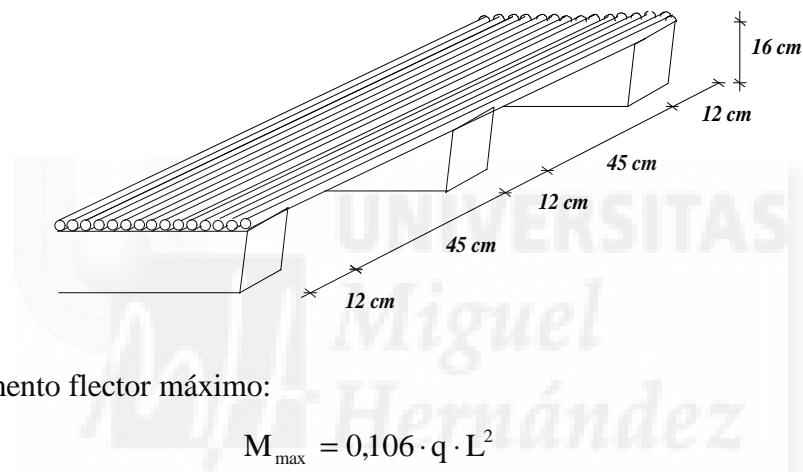
Acciones sobre la caña:

- Pavimento (baldosa hidráulica incluido relleno 5 cm) .. 70 kg/m²
 - Mortero de cal de 5 cm 80 kg/cm²
 - Enlucido inferior (revoco de cal) 16 kg/m²
 - Sobrecarga de uso (mínima) 100 kg/m²
- Total esfuerzos 266 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 5,91 kg/m

Análisis del forjado de piso tipo C:



Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.26)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 5,91 \cdot 0,57^2 = 0,20357 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión a flexión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.27)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098 \text{ cm}$.

Diámetro interior medio $d = 2,053 \text{ cm}$

Tensión a flexión sobre las cañas: $\sigma = 270,23 \text{ kp/cm}^2$

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 5,91 \cdot 0,57 = 2,0216 \text{ kp} \quad (4.27)$$

La tensión cortante será:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} = 0,3983 \text{ kp/cm}^2 \quad (4.28)$$

Forjado de piso tipo D:

En este forjado se imita los arcos de ladrillos con un mortero de cal. Pertenece a la entrada y a la cocina de la casa de la alquería de la finca La Caseta, la parte superior son dependencias de la vivienda.



Fig. 4.13. Forjado de piso tipo D.

Separación entre las vigas: 25 cm.

Dimensiones de las vigas: 10x15 cm.

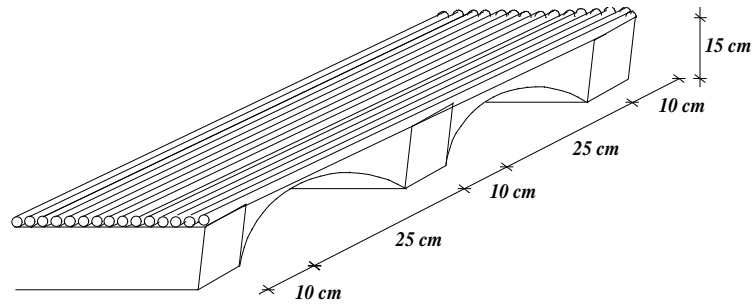
Acciones sobre la caña:

- Pavimento (baldosa hidráulica incluido relleno 5 cm) ... 70 kg/m²
- Mortero de cal de 5 cm 80 kg/cm²
- Enlucido inferior (bovedilla de yeso e = 2 cm) 25 kg/m²
- Sobrecarga de uso (mínima) 100 kg/m²
- Total esfuerzos 275 kg/m²

Número de cañas aproximado por metro lineal 45

Carga sobre cada caña..... 6,11 kg/m de caña

Análisis del forjado de piso tipo D:



Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 \quad (4.29)$$

$$M_{\max} = 0,106 \cdot 6,11 \cdot 0,35^2 = 0,07935 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Tensión a flexión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.30)$$

Diámetro exterior medio $D = 2,098 \text{ cm}$.

Diámetro interior medio $d = 2,053 \text{ cm}$

Tensión a flexión sobre las cañas: $\sigma = 105,33 \text{ kp/cm}^2$

Esfuerzo cortante máximo:

$$Q = \frac{3}{5} \cdot q \cdot L = \frac{3}{5} \cdot 6,11 \cdot 0,35 = 1,2831 \text{ kp} \quad (4.31)$$

La tensión cortante será:

$$\tau = \frac{Q}{2,3562 \cdot (R^2 + r^2)} = 0,2528 \text{ kp/cm}^2 \quad (4.32)$$

En el análisis realizado de los forjados de las edificaciones tradicionales construidas con caña común (*Arundo donax* L.) las tensiones flectoras teóricamente obtenidas oscilan entre los 100 y 400 kp/cm² siendo los valores menores los obtenidos en las dependencias de las viviendas, y los mayores en los almacenes. La tensión cortante a las que se somete a las cañas es muy baja siendo el mayor valor teórico obtenido 0,46 kp/cm².

B.- TABIQUES O TESTEROS.

Los cerramientos también se realizan mediante entramados de cañas que reciben el nombre de testeros, sobre todo se usan en la barraca y en los alojamientos ganaderos. En el resto de viviendas se usan estos entramados como tabiques en las zonas menos nobles de la casa.



Fig. 4.14. Construcción del tabique con cañas (testero).

La forma de realizar el entramado de cañas es igual que para los forjados, en este caso se anclan las guías y cuando se ha unido el tejido de cañas a los muros de sujeción se procede a quitar dichas guías y a enlucir con yeso o mortero de cal por una o ambas caras del entramado.



Fig. 4.15. Tabique de separación interior remozado con yeso solo por una cara de la almazara de la finca La Caseta.



Fig. 4.16. Cerramiento de la barraca de la finca La Caseta.



Fig. 4.17. Edificación (alojamiento ganadero) de pilares de mampostería y cerramientos de caña unos paramentos remozados y otros no, para ventilación.



Fig. 4.18. Tabique remozado con yeso por los dos lados de gran espesor.

Las tensiones que recibe la caña común formando parte de los cerramientos exteriores solo es la debida al viento.

Análisis de los cerramientos

Empuje del viento en zona eólica X67 kp/m²

Separación entre los apoyos de las cañas.....50 cm.

Diámetro exterior medio de las cañas.....2,098 cm.

Carga sobre cada caña.

$$q = 0,0067 \cdot 2,098 = 0,014056 \text{ kp}$$

Momento flector máximo:

$$M_{\max} = 0,106 \cdot q \cdot L^2 = 3,72 \quad (4.33)$$

Tensión a flexión sobre la caña:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M_{\max} \cdot D}{0,0982 \cdot (D^4 - d^4)} \quad (4.34)$$

Diámetro exterior medio D = 2,098 cm.

Diámetro interior medio d = 2,053 cm

Tensión a flexión sobre las cañas: $\sigma = 49,38 \text{ kp/cm}^2$

Las cañas de los cerramientos soportan pequeñas tensiones, mucho menores que las de los forjados.

FALSOS TECHOS.

Para los falsos techos se utilizan las cañas techeras y de zarzo que son de menor porte y grosor que las utilizadas para los forjados. Las cañas se dividen en astillas mediante la rajadora, que es un madero con orificios, en cuyo interior hay dispuestas varias cuchillas radiales para fracturar la caña en 3, 4, 5, 6, 7 u 8 astillas según el grosor de la caña, posteriormente pasan a los telares para obtener el cañizo telar.

Dicho entramado o cañizo se clava mediante púas a las viguetas por la parte inferior y posteriormente se enlucce con mortero de cal, yeso o escayola.



Fig. 4.19. Detalle de púas para unir el falso techo de cañizo.



Fig. 4.20. Forjado de caña y falso techo de cañizo, alquería finca La Caseta.

C.- OTROS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.

La caña común (*Arundo donax* L.) ha sido utilizada para todos tipo de elementos constructivos en las viviendas tradicionales, normalmente como soporte de otros materiales; armarios, estantes, jaulas, gallineros, etc., incluso para remozar las chimeneas de las cocinas como puede observarse en la figura 4.21 de la cocina de la alquería de la finca La Caseta (Orihuela).



Fig. 4.21. Chimenea de la alquería finca La Caseta y detalle del interior de caña.



Fig. 4.22. Gallinero. Finca La Caseta.



Fig. 4.23. Separación de estancias en alojamiento ganadero.



Fig. 4.24. Estantes y armarios de la alquería finca La Caseta.

4.2.- PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES DE LA CAÑA COMÚN (*ARUNDO DONAX L.*).

Como material la caña común debe sus propiedades a la composición química y micro-estructura de la célula, en especial tiene una marcada anisotropía mecánica y resistencia al aplastamiento de la fibra. Estos aspectos nos dan las posibilidades máximas que tiene la caña como material resistente. Las propiedades varían ya que es un material vivo muy heterogéneo y obtenido de plantas no cultivadas. Esta heterogeneidad crea cierta incertidumbre a la hora de su utilización, por lo que es necesario el estudio de las propiedades de la caña común como material resistente.

4.2.1.- ANISOTROPÍA Y HETEROGENEIDAD.

Anisotropía es el comportamiento distinto en función de que una propiedad se estudie en la dirección axial, radial o tangencial. En la caña común (*Arundo donax L.*) la anisotropía es muy acusada debido a su composición celular y a las diferentes dimensiones que presentan sus fibras en sentido longitudinal o transversal. Además siendo una planta no cultivada, también presenta propiedades distintas según las características del clima y el suelo donde se ha desarrollado.

Heterogeneidad. La caña común (*Arundo donax L.*) es heterogénea ya que varía el espesor, distancia entre nudos, longitud de las fibras, etc. en la misma caña y de una caña a otra.

Cada tramo entre dos nudos del tallo de la caña común (*Arundo donax L.*), tiene forma troncocónica, hueca y ovalada, siendo de diferente longitud y espesor; los nudos son macizos y con diverso espesor según el tramo de caña considerado.



Fig. 4.25. Diferentes diámetros y espesores de caña común.

Realizada la medición de 50 cañas liseras se obtuvieron los siguientes datos sobre sus valores medios.

Los valores medios de los diámetros interior y exterior y la distancia entre nudos, medidos en las cañas liseras utilizadas en la Vega Baja como material de construcción, son los que se observan en el esquema de la figura 4.26.

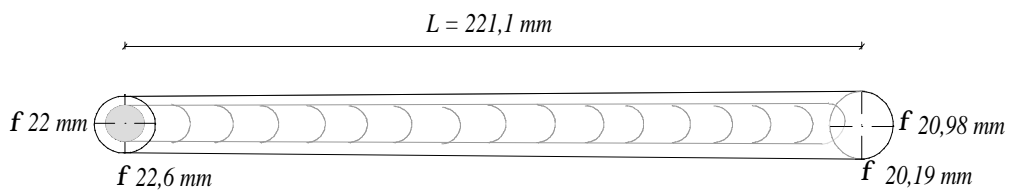


Fig. 4.26. Esquema dimensiones medias de entrenudos de caña común.

La longitud entre dos nudos de una caña común (mm.) en función del número de nudo adopta una regresión polinómica con un coeficiente de regresión de 0,9732 como indica la figura 4.27.

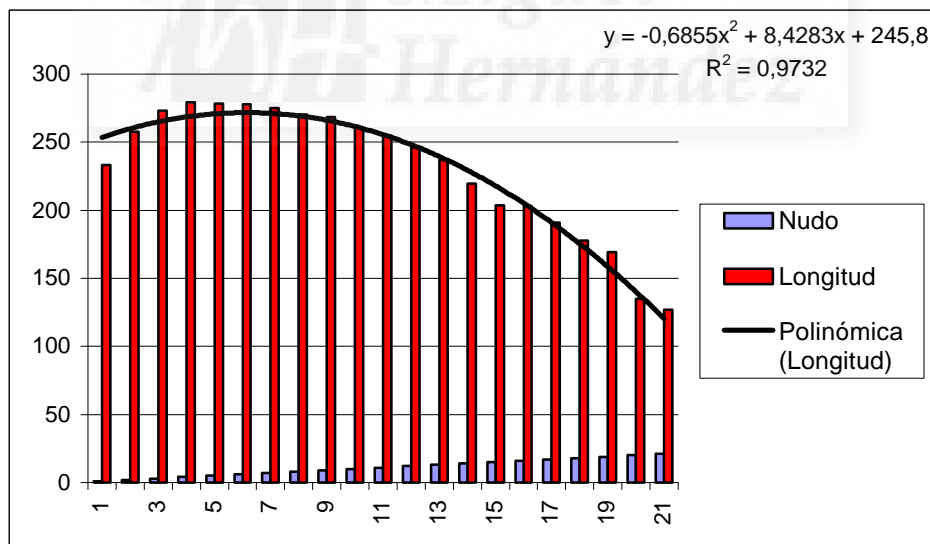


Fig. 4.27. Relación entre las distancias entre nudos (mm) y el n° de nudo.

También se adaptan a una regresión polinómica cuadrática la relación entre la longitud de cada tramo (o distancia entre nudos), el diámetro de inicio y el diámetro

final de los nudos de las cañas, con coeficientes de regresión de 0,988, como se puede observar en la figura 4.28 .

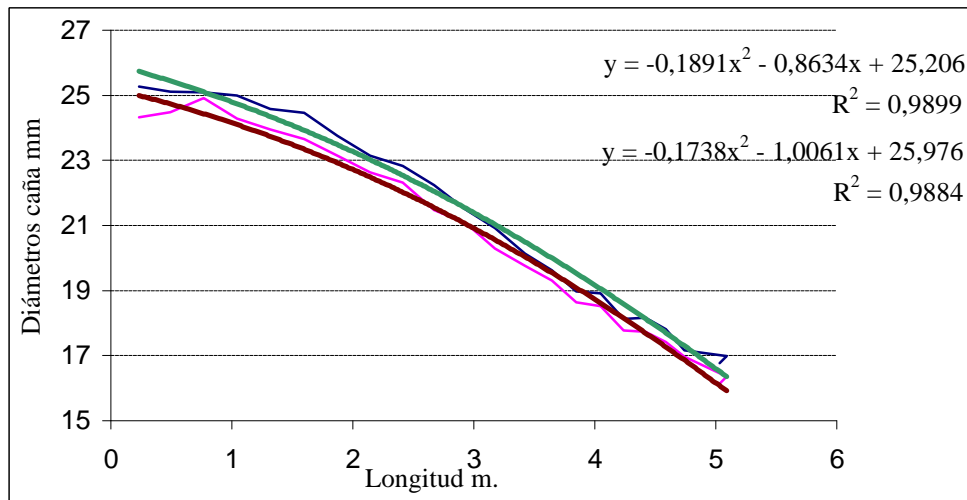


Fig. 4.28. Relación entre la longitud de la caña común, diámetro de inicio y diámetro final entre nudos.

Las cañas además de presentar diferentes longitudes entre nudos y diámetros, también varían de espesor según el tramo de caña considerado. En la figura 4.29 se relacionan los espesores medios de las cañas con el tramo entre nudos, observando que hay una disminución lineal, existiendo una relación entre el número de nudo y el espesor de la caña, comenzando la caña con espesores mayores .

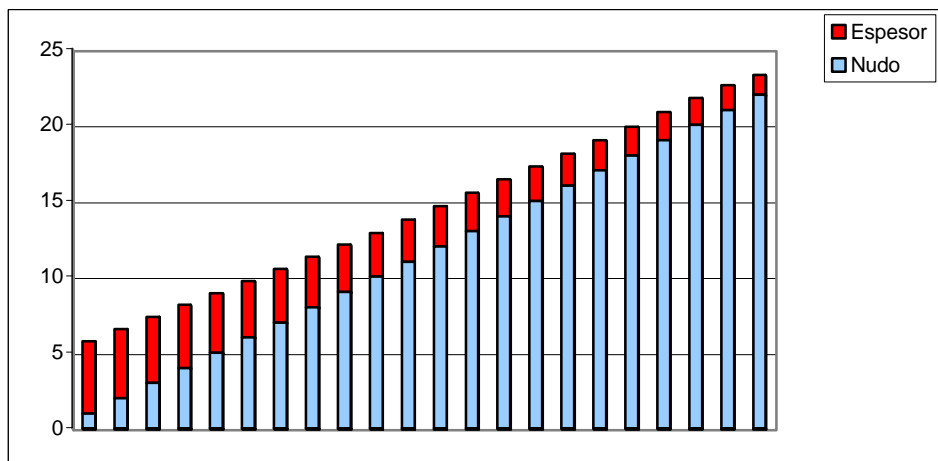


Fig. 4.29. Relación entre el n° de nudo y el espesor de la caña (mm).

Al relacionar los diámetros medios de la caña en función del número de nudo y el espesor de la caña como indica la figura 4.30, se observa que poseen una relación polinómica lineal, del mismo tipo que la longitud entre nudos, que es la variable independiente, con un coeficiente de regresión de 0,978.

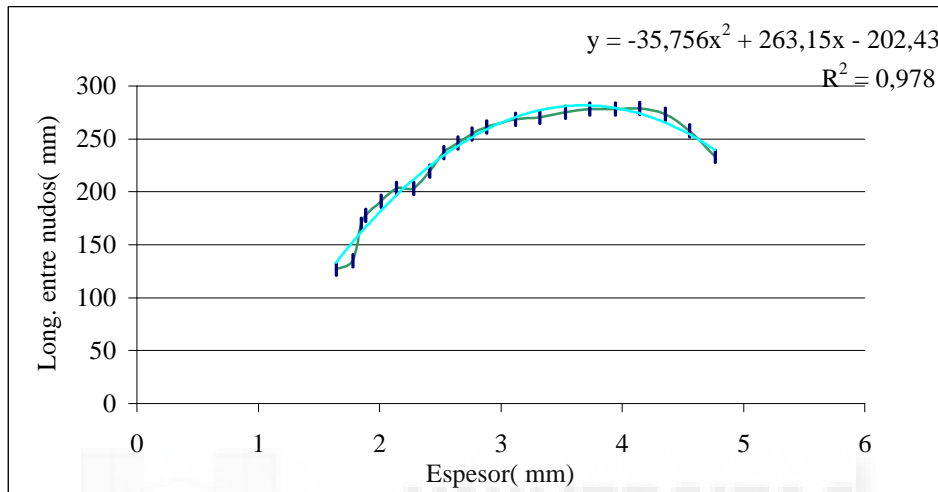


Fig. 4.30. Relación entre la longitud de entrenudos y el espesor de la caña.

La caña común por tanto, presentará un comportamiento desigual mucho más acusado que el de los materiales de construcción industriales. La heterogeneidad hay que entenderla como una fuente de variabilidad. La primera fuente de variabilidad es debida a que no existe en general ninguna mejora o domesticación de la especie y además hay que considerar las diferencias de crecimiento, factores edafoclimáticos y el proceso de secado, que marcan también las propiedades de la caña.

Aunque dicha heterogeneidad de dimensiones es predecible, como se ha comprobado en las muestras analizadas y se pueden adoptar unas dimensiones medias, ya que se hacen los entramados de caña común utilizados para forjados, uniendo la primera caña por el extremo de mayor diámetro y espesor, y la siguiente por el de menor diámetro y espesor, y así sucesivamente; por lo que entre dos cañas se puede considerar un diámetro y un espesor medios.

4.2.2.- DENSIDAD. PESO ESPECÍFICO.

Densidad es la relación entre la masa de una cantidad dada de material y su volumen. Si la cantidad de material se expresa en peso de materia, dicha relación es el peso específico.

La pared celular vegetal aporta la resistencia, por tanto cuanto mayor sea la densidad se supone más resistencia mecánica. La cota de resistencia es el cociente entre el valor de la resistencia y el peso específico, este valor es casi constante en los materiales, por lo que la densidad se utiliza para valorar el comportamiento del material frente a esfuerzos de flexión, compresión, adherencia y dureza.

La densidad de la caña común (*Arundo donax* L) depende en gran medida de la fracción del volumen de la envoltura del paquete vascular, porque dicha envoltura tiene células con paredes gruesas de fibras, que son más pesadas que las células del parénquima, y aunque éste ocupe mayor superficie, tiene células de paredes finas.

Se han realizado ensayos de densidad sobre muestras de caña sobre la densidad anhidra, la densidad básica y la densidad saturada de la caña común.

La densidad anhidra se determinó con las muestras en condición anhidra. El peso se determinó con una balanza de precisión y el volumen empleando el procedimiento de Arquímedes. La densidad básica se midió registrando el peso de las muestras tal como se recibe la caña común y el peso anhidro.



Fig. 4.31. Muestras de cañas secadas en estufa y mantenidas hasta el ensayo en un desecador.

El cálculo de las densidades de cada una de las muestras se realiza como indican las siguientes ecuaciones:

$$\text{Densidad de la muestra tal como se recibe: } \rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (4.35)$$

$$\text{Densidad de la muestra anhidra: } \rho_1 = \frac{m_1}{V} \quad (4.36)$$

$$\text{Densidad de la muestra saturada: } \rho_2 = \frac{m_2}{V} \quad (4.37)$$

Tabla 4.1. Dimensiones de las muestras de caña común en los ensayos

N° muestra	I-1	I-2	I-3	II-1	II-2	II-3	III-1	III-2	III-3	IV-1	IV-2	IV-3	V-1	V-2	V-3	VI-1	VI-2	VI-3
Longitud	110	118	140	102	112	130	124	115	88	95	139	120	111	126	98	118	155	135
Diámetro exterior	14,85	16,52	16,24	16,5	16,06	15,61	15,2	18,71	17,35	19,6	17,93	19,5	17,86	16,57	17,78	14,48	16,5	15,39
Diámetro interior	11,65	13,48	13,02	13,46	12,58	12,57	12,5	15,35	14,03	15,4	13,73	16,66	14,42	13,55	14,22	11,98	13,42	12,29
Espesor	1,6	1,52	1,61	1,52	1,74	1,52	1,35	1,68	1,66	2,1	2,1	1,42	1,72	1,51	1,78	1,25	1,54	1,55
Volumen Calc.	7,326	8,452	10,36	7,296	8,767	8,747	7,284	10,34	7,201	10,97	14,52	9,679	9,681	9,002	8,768	6,131	11,22	9,098
Volumen Medido	7,273	8,485	10,30	7,273	8,788	8,788	7,273	10,3	7,273	10,91	14,55	9,697	9,697	9,091	8,788	6,061	11,21	9,091
Diferencia	0,053	-0,033	0,057	0,024	-0,021	-0,041	0,011	0,033	-0,072	0,059	-0,029	-0,018	-0,016	-0,089	-0,02	0,07	0,006	0,007
Masa recibida m ₀	4,1655	5,2535	5,8851	4,3861	5,0495	5,0838	3,9842	6,4972	4,7338	5,8517	7,7786	5,8890	6,1861	5,2747	5,2775	3,4670	6,0190	4,8822
Masa secada m ₁	3,8195	4,8351	5,4134	4,0349	4,6565	4,6681	3,6703	5,9825	4,3630	5,3917	7,1662	5,4268	5,6995	4,8592	4,8589	3,1919	5,5423	4,4930
Masa saturada m ₂	7,947	9,139	11,033	8,141	8,972	9,177	7,358	10,52	8,003	11,209	13,705	11,131	10,486	9,137	8,824	6,672	10,339	8,354

Realizado el análisis de la varianza de los resultados obtenidos en las muestras de caña común de la densidad del material tal como se recibe, la densidad anhidra y la densidad saturada mediante el programa estadístico SPSS, se obtuvo que existía correlación entre variables y que no existían diferencias significativas para un error del 5% entre los ensayos, que se indican en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Análisis de la varianza.

ANOVA		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DENSID2	Inter-grupos	0,061	10	0,006	3,153	0,070
	Intra-grupos	0,014	7	0,002		
	Total	0,074	17			
DENSID0	Inter-grupos	0,013	10	0,001	1,354	0,354
	Intra-grupos	0,007	7	0,001		
	Total	0,020	17			
DENSID1	Inter-grupos	0,015	10	0,002	1,387	0,341
	Intra-grupos	0,008	7	0,001		
	Total	0,023	17			

Tabla 4.3. Valores medios obtenidos de Densidad:

		DENSIDAD 0	DENSIDAD 1	DENSIDAD 2
N	Válidos	18	18	18
	Perdidos	0	0	0
Media		0,53658	0,58288	1,03936
Error típ. de la media		0,00800	0,00866	0,01560
Desv. típ.		0,03392	0,03674	0,06617
Mínimo		0,49268	0,53478	0,91894
Máximo		0,59991	0,65090	1,14788

Realizado el análisis estadístico mediante el modelo de distribución contrastada normal, utilizando la fórmula de proporción de Blom y asignando como rango de empates la media, se obtuvieron los siguientes datos para las variables densidad.

Para la variable *densidad de las muestras tal como se reciben*:

- Parámetros de la distribución normal estimado: ubicación = 0,58287554 y escala = 0,03673801

Para la variable *densidad anhidra*.

- Parámetros de la distribución normal estimado: ubicación = 0,53658331 y escala = 0,03392036

Para la variable *densidad saturada*

- Parámetros de la distribución normal estimado: ubicación = 1,0393593 y escala = 0,06616662

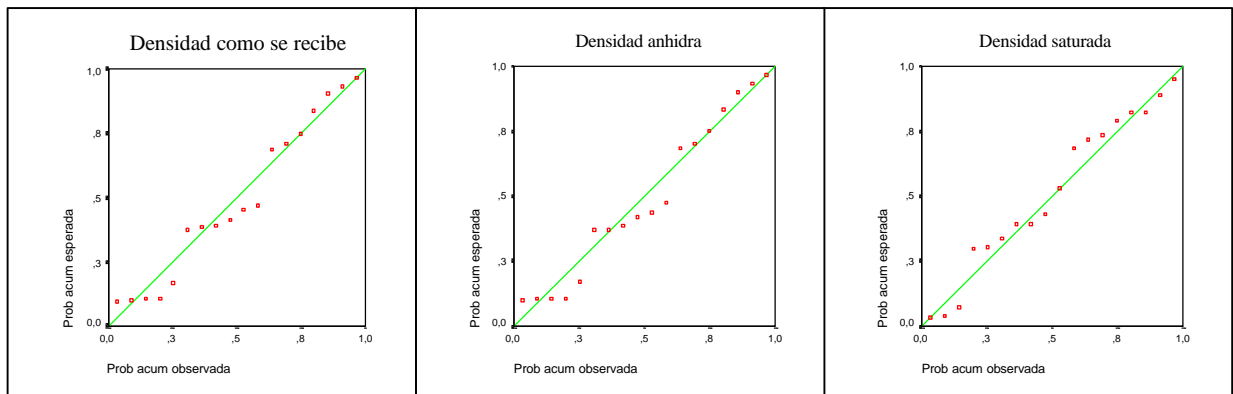


Fig. 4.32. Gráficos normal P-P de probabilidades.

Al relacionar las densidades del material como se recibe, densidad anhidra y densidad saturada en los grupos de muestras con el volumen de dichas muestras, se

observa que no hay diferencias significativas como se indica el gráfico de secuencias de la figura 4.33.

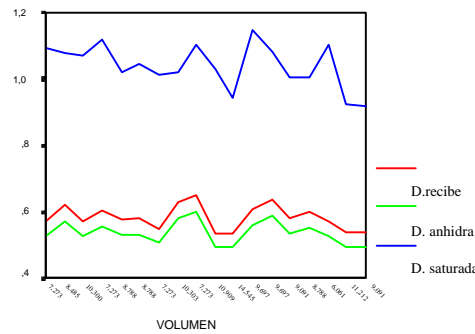


Fig. 4.33. Relación de la densidad con el volumen de muestra.

La densidad no depende del espesor de las muestras, como se puede observar en el gráfico de secuencias de la figura 4.34.

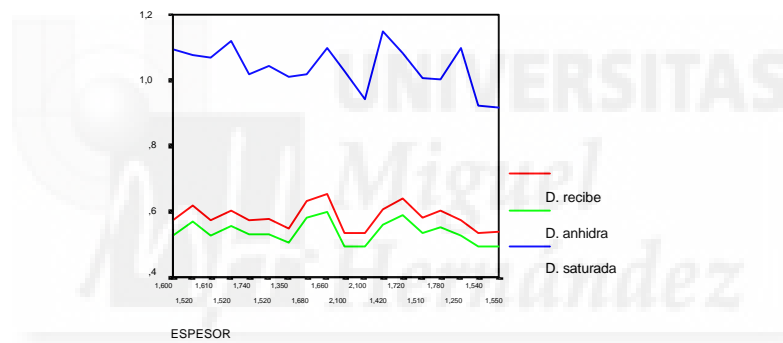


Fig. 4.34. Relación de la densidad con el espesor de muestra.

La relación entre las densidades de las muestras tal como se reciben, densidad anhidra y densidad saturada y el diámetro interior, tampoco presenta diferencias significativas, como indica el gráfico de secuencias de la figura 4.35.

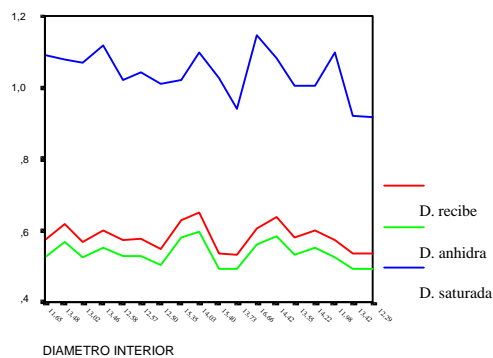


Fig. 4.35. Relación de la densidad con el diámetro interior de muestra.

Por tanto las densidades de la caña común sin nudos serán:

- Densidad de la caña común tal como se recibe $\rho_0 = 583 \text{ kg/m}^3$
- Densidad de la caña común anhidra $\rho_1 = 537 \text{ kg/m}^3$
- Densidad de la caña común saturada $\rho_2 = 1.040 \text{ kg/m}^3$

Como la caña común utilizada como material de construcción no recibe ningún tratamiento tomaremos como densidad $\rho_0 = 583 \text{ kg/m}^3$

El peso específico se relaciona con la mayor parte de las propiedades físicas de los materiales, por ello viene a ser un indicador de la calidad de los materiales vegetales, y de sus posibles aplicaciones, a mayor peso específico se suponen mejores resistencias a esfuerzos (cota de calidad).

En la tabla 4.4 se relaciona los pesos específico de diversas maderas utilizadas como material de construcción con la caña común, donde se observa que sus valores son parecidos al pino de Flandes, no siendo muy diferente al resto de maderas usados en construcción, lo cual nos indica que puede ser un buen material.

TABLA 4.4. PESOS ESPECÍFICOS DE MADERAS.	
<i>Especie</i>	<i>Peso específico Kg/m³, 15% HR</i>
<i>Arundo donax L</i>	583*
Abeto	430
Acacia	700
Álamo blanco	450
Pino de Flandes	550
Haya	800
Pino silvestre	600

Fuente: Ormea, G.B.(1.975) ⁽¹²⁷⁾.

* La caña común con un 8,63 % de humedad. Fuente propia.

La caña presenta buenas características como material de construcción dentro de las especies vegetales, en general las maderas de las frondosas son más densas, pero aparecen también casos extremos, como la madera de balsa (frondosa) que tiene densidades desde 250 Kg/m^3 o la teca, más densa que el agua.

4.2.3.- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y ACÚSTICA.

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de la fibra y tamaño de los poros.

Las propiedades térmicas hacen de los vegetales un material térmico muy confortable en las edificaciones. Las dilataciones térmicas son muy reducidas y quedan enmascaradas por las contracciones higroscópicas.

No hay trabajos de investigación sobre la conductividad térmica y acústica de la caña común (*Arundo donax* L.) aunque debe tener un comportamiento similar a la madera, pues tiene similar densidad y composición química, e incluso puede ser mejor ya que la caña común es más porosa e higroscópica que la madera.

Si tenemos en cuenta las propiedades de confort que se observa en las construcciones que han empleado caña común (*Arundo donax* L.), ésta parece ser un buen aislante térmico, incluso en condiciones de frío y humedad, aunque su medición escapa a este estudio y deberá ser comprobado con posterioridad.

La conductividad acústica de los materiales es directamente proporcional a su módulo de elasticidad, la caña común tiene un módulo de elasticidad pequeño respecto a otros materiales, por lo que se puede considerar buen aislante térmico en general, mucho mejor aislante en el sentido normal a las fibras ya que debido a la heterogeneidad de la caña, los módulos de elasticidad longitudinal y transversal están en una proporción de 7/0,35; luego las condiciones acústicas son muy variables según los ejes de transmisión. Si comparamos la caña común con la madera usada en construcción (cuyos módulos de elasticidad están en la proporción 10/0,64) la caña debe ser mejor aislante acústico. En general puede ser un aislante aceptable y tener, por las observaciones directas efectuadas en las edificaciones, un comportamiento excelente frente al ruido de impacto, debido a sus características vibratorias, lo que deberá ser comprobado en posteriores experiencias.

4.2.4.- HIGROSCOPICIDAD DE LA CAÑA COMÚN

La caña común tiene una gran capacidad para recuperar su estructura, experiencias realizadas por Obataya y Norimoto, sometiendo la caña a un proceso de

deseccación y posterior hidratación, introduciéndola en vapor de agua, comprobaron que recuperaba toda su estructura anterior, como se puede observar en la figura 4.36.

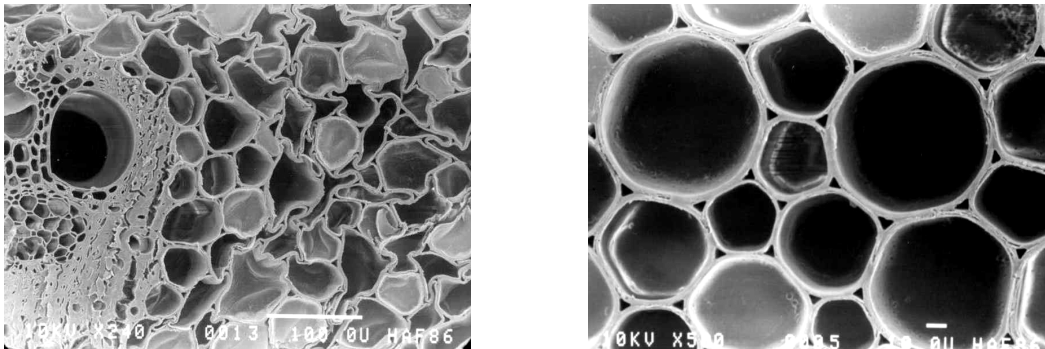


Fig. 4.36. Caña común desecada y rehidratada posteriormente.

Fuente: Obataya y Norimoto.⁽¹¹⁷⁾

La humedad se define como el porcentaje de agua absorbida por un material. La ganancia de agua expresada como M_t en valores porcentuales es el resultado de la siguiente operación:

$$M_t(\%) = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 \left(\frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de la muestra}} \right) \quad (4.38)$$

Las mediciones de contenido de humedad se realizaron siguiendo el procedimiento de secado en estufa. Las muestras se pesaron en su condición según se reciben y luego se dejaron en estufa de secado a una temperatura de $103 \pm 2^\circ \text{C}$ hasta que alcanzaron peso constante, esto es peso anhidro. Los pesos húmedos y anhidros se utilizaron para calcular el contenido de humedad expresado como porcentaje de la condición de humedad.

En los ensayos de desorción de agua de la caña común (*Arundo donax* L.) se realizaron a T^a ambiente partiendo de las muestras de caña saturada mediante secado al aire en el mes de marzo con una T^a media de $14,8^\circ \text{C}$, utilizando tiempos de 24 horas.

Realizado el análisis estadístico de la varianza de los valores obtenidos en las muestras mediante el programa SPSS, se obtuvo que existía correlación entre las variables y no había diferencias significativas para un error del 5 % entre los ensayos, obteniendo los datos medios.

El análisis mediante una distribución contrastada normal, utilizando la fórmula de estimación de Blom, con el rango de asignación de empates media, se obtuvieron los valores medios con una probabilidad del 95% siendo representativos de la población estudiada, como indica la figura 4.37.

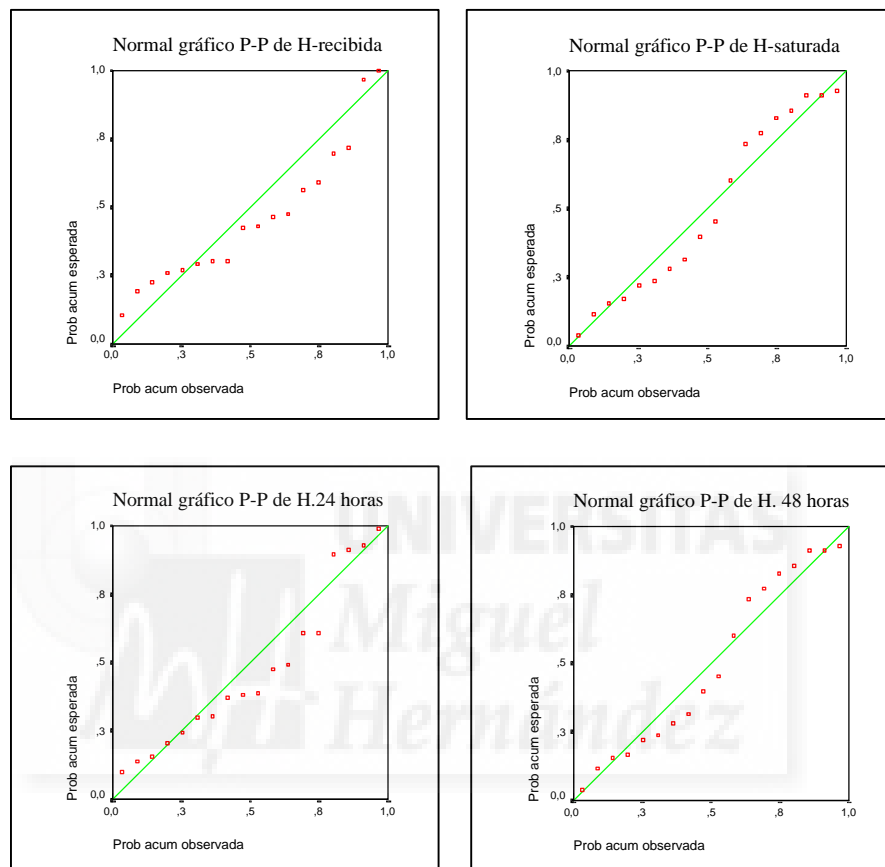


Fig. 4.37. Gráficos de probabilidad de absorción de agua.

Luego :

- Humedad de la muestra según se recibe: 8,63 %
- Humedad de las muestras sumergidas en agua 24 horas: 94,85 % (saturación)
- Humedad de las muestras saturadas, secadas al sol 24 horas: 65,97 %
- Humedad de las muestras secadas al sol 48 horas: 13,28 %

Lo que demuestra que la caña común es un material muy higroscópico y presenta gran facilidad para la absorción y desorción de agua, como indica la siguiente gráfica de secuencias de la figura 4.38.

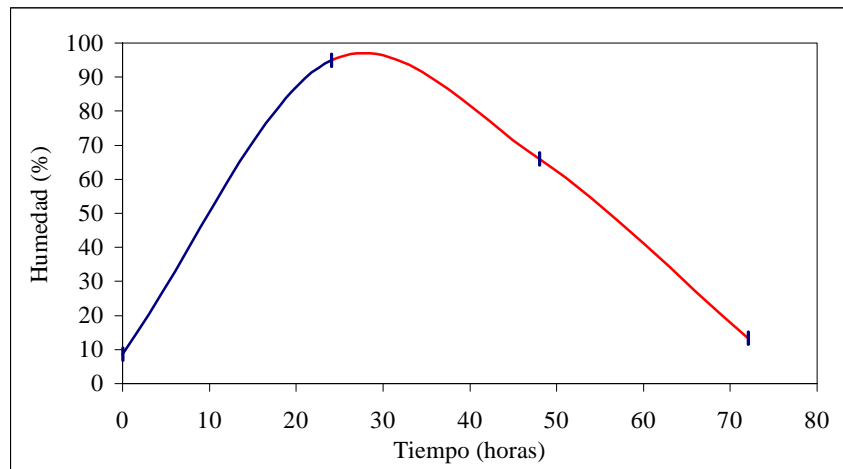


Fig. 4.38. Curva de absorción y desorción de agua de la caña común (*Arundo donax L.*)

4.2.5.- PATOLOGÍAS.

Las patologías que puede sufrir la caña como material resistente serán debidas a agentes externos : el fuego, la humedad, el sol y los agentes bióticos.

A.- El fuego

La caña es un material combustible, con un poder calorífico de 17,1 GJ/t. La capacidad de un material para consumirse depende de su densidad, humedad y disposición en obra. En las construcciones tradicionales, el entramado de cañas normalmente está cubierto por un mortero de cal que va endureciéndose con el tiempo por carbonatación en el aire, con una perfecta estanqueidad, por lo que las cañas están muy protegidas y el contacto con la cal le da unas características que la hacen más resistente al fuego, como se puede ver en la figura 4.39, donde las vigas de madera han ardido y las cañas permanecen inalteradas. Además, a lo largo de la historia, no se tiene noticia de que se hayan producido grandes incendios en las edificaciones de la zona.



Fig. 4.39. Estructuras de madera y cañas sometidas a fuego.

B.- La humedad.

La humedad es el principal agente de deterioro de la caña común. Los contenidos en humedad por encima del 80% la deterioran con bastante probabilidad, debido a los ataques biológicos etc, pero como la caña pierde la humedad rápidamente, solo habrá problemas en las zonas donde no haya aireación y posibilite el continuo encharcamiento.

Los grandes cambios de humedad de equilibrio en la caña no provocan deformaciones, y recupera fácilmente su estructura.

C.- El sol

La acción combinada del agua, del sol y de los agentes atmosféricos se denomina meteorización. El sol influye en dos aspectos:

- La fracción de luz visible e infrarroja de la radiación solar, calienta la parte más externa de la caña. Este calentamiento es muy localizado debido al aislamiento y provoca una desecación brusca y muy localizada. La consecuencia es el estrés higroscópico de los materiales, pero la caña común recupera su estructura con facilidad, por lo que le afecta menos que a otros materiales de construcción.

- El otro aspecto de la acción solar es la fotodegradación debida a los rayos ultravioletas, que degradan principalmente la lignina. La caña común (*Arundo donax* L.) al tener células epidérmicas emparedadas densamente y entremezcladas con células de síliceas, resiste fuertemente a la fotodegradación.

D.- Agentes bióticos

➤ **Hongos de pudrición:**

Son organismos vegetales saprofitos o parásitos de la celulosa u otros materiales. Se extienden mediante esporas, que están en todas partes, y ofrecen gran resistencia a las condiciones ambientales. Son muy dañinos y llegan a destruir la caña por completo.

Necesitan en general:

- Algo de aire, en torno a un 10%
- Contenido en humedad de la caña superior al 60%.

Por tanto, con ventilación suficiente no se verán afectadas las cañas por hongos, además, el diseño que se hace con la caña común al revestirla con mortero de cal por ambas caras, impide su ataque. Solo en construcciones abandonadas, donde se ha producido estancamiento del agua de lluvia hemos observado la descomposición de la caña por el ataque de hongos.



Fig. 4.40. Cañas descompuestas por hongos.

➤ ***Insectos. Anobidos (carcoma):***

Son insectos de ciclo larvario de entre 1 a 3 años, con salida entre los meses de mayo a agosto. El insecto mide entre 3 y 5 mm, de color marrón con punteaduras. Las larvas miden apenas 1 mm, son blancas, arqueadas y vellosas. Hacen galerías en cualquier dirección, con perforaciones redondas de 1,5 a 2 mm de diámetro, y dejan un serrín granuloso con consistencia similar a la harina.

En las edificaciones inspeccionadas se ha observado el ataque de carcoma en zonas en contacto con madera que también tenía en mayor proporción, lo que parece indicar que se transmite a la caña común a partir del ataque a la madera. Se ha encontrado en construcciones abandonadas y muy deterioradas.



Fig. 4.41. Cañas procedentes de edificaciones abiertas con carcoma.



Fig. 4.42. Forjado de cubierta de cañas de una edificación del siglo XVIII, descompuestas por hongos y carcoma por exceso de humedad.

5.1.6.- DURABILIDAD

Es la duración natural de los materiales expuestos al exterior. La durabilidad depende en primer lugar de la especie, del clima y del tipo de agente biótico que le ataque, además de los tratamientos protectores que haya recibido.

Clasificación de los materiales según su durabilidad:

Durabilidad natural.

0 - no durable 10 a ños

X - medianamente durable 10 a 15 años

XX - resistente 15 a ños

Clases de servicio.

A nivel de proyecto de norma y de eurocódigo se distinguen 3 clases de ambientes en función de donde se ubica los materiales.

Clase de servicio 1. Humedad 12% en cualquier caso.

Clase de servicio 2. Humedad entre 12 a 20% bajo cubierta aún en exterior.

Clase de servicio 3. Humedad 20%, expuesta a la intemperie.

Clases de riesgo.

Hemos visto que la humedad excesiva y el contacto con el exterior o con el suelo son los mayores problemas que tienen los materiales vegetales. Con estos criterios se distinguen 5 clases de riesgo según el grado de exposición a la humedad.

La caña común (*Arundo donax* L.) se puede clasificar como XX resistente, para clases de servicio 3 y el único riesgo es el encharcamiento.

A la caña le afectan pocos agentes externos, es muy higroscópica y aumentan sus propiedades mecánicas con la humedad, por lo que puede ser clasificada como de gran durabilidad, pues existen vallas de cañas a la intemperie y sin ningún tipo de tratamientos con más de 50 años de antigüedad en perfecto estado, ya que la caña común contiene células silíceas y polifenoles que producen su coloración y le dan características de imputrescibilidad.

En la figura 5.20 se puede observar el color y buen estado de conservación que tiene la caña común (*Arundo donax* L.) recogida del forjado de cubierta de una edificación de más de 200 años, y que estaba abierta al exterior.



Fig. 4.43 . Caña común de una edificación del siglo XVIII y caña de tres años.

4.2.7.- DUREZA DE LA CAÑA COMÚN.

Se han realizado ensayos de durezas Rockwell con el equipo aparato de ensayo de dureza digital modelo HLJ-2.100, precisión $\pm 0,8 \%$, con escalas de dureza HB de 30 a 655, HRC de 20 a 68 , RB de 13 a 100, HV de 80 a 977, HS de 32 a 100

Se han seguido las especificaciones de la norma ASTM D785 empleándose el primer procedimiento descrito en la norma. Después de varios ensayos de prueba se comprobó que la escala adecuada de medida era la HB.

Las muestras del ensayo consistieron en 8 cañas con una humedad del 8% , 8 cañas con el 56,8% y 5 cañas con humedad del 18 %, siendo todas de distinto diámetro y espesor. Para cada muestra de caña se midieron al menos cuatro valores de dureza en cada una de ellas.

Tabla 4.5. Análisis de estadístico de la variable dureza

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DUREZEX	3,204	2	116	0,054

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DUREZA EXTERIOR	Inter-grupos	1528,838	2	764,419	2,365	,098
	Intra-grupos	37487,162	116	323,165		
	Total	39016,000	118			

Tabla 4.6. Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
DUREZEX	Welch	2,213	2	71,662	0,117
	Brown-Forsythe	2,273	2	94,527	0,109

a Distribuidos en F asintóticamente.

Luego están relacionados los datos. Se presentarán los valores medios junto con las desviaciones estándar obtenidas. En la tabla 4.7 se dan los valores de dureza HB determinados para cada humedad..

Tabla 4.7.- Durezas HB de la caña común.

HUMEDAD		DUREZA EXT
1.- 8%	Media	275,7143
	N	42
	Desv. típ.	17,75619
	Error típ. de la media	2,73984
2.- 18%	Media	281,0286
	N	35
	Desv. típ.	11,86924
	Error típ. de la media	3,69658
3.- 56,6%	Media	272,0952
	N	42
	Desv. típ.	14,22778
	Error típ. de la media	2,19539
Total	Media	276,0000
	N	119
	Desv. típ.	18,18362
	Error típ. de la media	1,66689

Se puede observar como la caña es un material vegetal de los más duros y presenta la mayor dureza a la penetración de su superficie a una humedad del 18%, cuanto la humedad llega al 56,6% la caña pierde algo de dureza

4.3.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CAÑA COMÚN

La razón principal para el uso de la mayoría de materiales de construcción, es que poseen unas propiedades mecánicas convenientes, a unos costes competitivos, en relación con otros materiales.

Por este motivo, las propiedades mecánicas pueden ser consideradas como las más importantes de todas las propiedades, físicas o químicas de un material para ser utilizado como material de construcción. Es pues necesario, poseer un conocimiento elemental del comportamiento mecánico de la caña común (*Arundo donax* L.) para sus aplicaciones finales, y de cómo este comportamiento puede verse afectado por numerosos factores.

El conocimiento de las propiedades mecánicas puede basarse en la descripción macroscópica de la característica del comportamiento en cuestión, o puede buscarse una explicación de este comportamiento en términos moleculares. Para las aplicaciones de los materiales de construcción, estudiar el comportamiento mecánico, bajo condiciones que simulen las de servicio, es con frecuencia lo único que se precisa, junto con información empírica que se relacione con los métodos de puesta en servicio.

Describiremos principalmente, pues, las propiedades mecánicas de la caña común a estudio, de acuerdo con este criterio.

4.3.1.- ENSAYOS A ESFUERZO – DEFORMACIÓN DE LA CAÑA COMÚN (*ARUNDO DONAX* L).

Con antelación a los ensayos sistemáticos, se han realizado pruebas a distintas velocidades dentro del rango aconsejado por las normas. Se ha seleccionado como velocidad estándar en los ensayos 1 mm/min.

Se han utilizado modos de operación de control del desplazamiento o de control de carga, según el tipo de estudio realizado. Las velocidades de desplazamiento o el ritmo de carga aplicada se han seleccionado convenientemente según el ensayo realizado. Los ensayos han sido realizados en condiciones ambientales de $22 \pm 1^\circ\text{C}$.

Las muestras de caña común para los ensayos se eligieron al azar, seleccionando entre 50 cañas liseras comerciales, de tramos de diferentes diámetros y espesor, no correspondiendo ninguna muestra a la misma caña. Debido a la higroscopicidad de la caña común y debido a que el contenido de humedad modifica las propiedades

mecánicas, se obtuvieron dos tipologías de muestras; unas al 8 % de humedad obtenida mediante el secado en estufa durante 24 horas y otra al 13,7 % mediante inmersión en agua.

4.3.1.1.- COMPRESIÓN.

Las pruebas a compresión con caña común se realizaron mediante ensayos de rotura a compresión en dirección paralela y perpendicular a las fibras, utilizando la máquina de ensayos a compresión que cumple las características indicadas en las normas. Para medir los cambios de longitud se han utilizado extensómetros con un error de $\pm 5 \times 10^{-6}$.

A.-COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS:

El tamaño de muestra se realizó en función de ensayos previos al no disponer de datos sobre el comportamiento de la caña común, salvo estimaciones en obras ya construidas.

Cálculo del número de repeticiones necesarias para la obtención de la tensión de rotura σ_R , mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $\sigma_R = 45 \text{ N/mm}^2$.

$$\text{Cañas 8 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 6,2^2}{4,5^2} = 7,59 \approx 8 \quad (4.39)$$

$$\text{Cañas 13,7 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 5,7^2}{4,8^2} = 5,6 \approx 7 \quad (4.40)$$

Siendo: r, número de repeticiones de ensayos necesarios.

σ , desviación típica de los datos de la variable tensión.

δ , error que se tolera respecto al valor medio de la variable (10 %).

Se han realizado 14 ensayos o repeticiones con caña común (*Arundo donax* L.) con un 8 % de humedad y 14 ensayos con caña con un 13,7 % de humedad. Las muestras se tomaron al azar entre cañas liseras comerciales cada una de diferente caña y de distintos tramos.



Fig. 4.44.. Prueba de ensayos de rotura a compresión paralela a las fibras de la caña común (*Arundo donax L.*).

Las muestras de caña común sometidas al ensayo no tenían nudos y su longitud el doble que el diámetro para evitar pandeo.

Tabla 4.8. Dimensiones de las probetas de caña común a ensayar.

Nº	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
1	23,01	3,47	2 x 23,01	13,7
2	24,15	2,96	2 x 24,15	13,7
3	29,06	3,32	2 x 29,06	13,7
4	22,09	3,23	2 x 22,09	13,7
5	23,01	3,02	2 x 23,01	13,7
6	29,04	3,14	2 x 29,04	13,7
7	22,09	3,44	2 x 22,09	13,7
8	29,05	4,01	2 x 29,05	13,7
9	29,04	3,47	2 x 29,04	13,7
10	28,47	3,91	2 x 28,47	13,7
11	25,08	2,90	2 x 25,08	13,7
12	23,14	3,60	2 x 23,14	13,7
13	23,01	3,64	2 x 23,01	13,7
14	23,15	3,61	2 x 23,15	13,7

N°	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
15	26,65	3,02	2 x 26,65	8
16	24,65	2,92	2 x 24,65	8
17	21,30	2,82	2 x 21,30	8
18	23,50	3,16	2 x 23,50	8
19	23,53	2,86	2 x 23,53	8
20	22,47	3,22	2 x 22,47	8
21	22,48	3,02	2 x 22,48	8
22	22,47	3,18	2 x 22,47	8
23	21,32	2,80	2 x 21,32	8
24	23,50	3,02	2 x 23,50	8
25	26,24	3,30	2 x 26,24	8
26	26,68	3,36	2 x 26,68	8
27	27,89	3,71	2 x 27,89	8
28	22,50	2,84	2 x 22,5	8

Posteriormente para evaluar la resistencia a lo largo del tiempo se realizaron ensayos a rotura sobre caña procedente de la alquería de la finca “La Caseta”, edificación del siglo XVII.



Fig. 4.45. Muestras de caña antigua rotas en el ensayo.

El número de repeticiones para la caña de cosecha:

$$r = 28$$

En la realización de los ensayos se anotaron para cada probeta 36 puntos de esfuerzo deformación. Luego el tamaño de muestra “N” de las cañas nuevas de cosecha:

$$N = 36$$

Un ejemplo de las curvas obtenidas típicamente para este material, en condiciones ambientales y ensayado a velocidades del orden de 1 mm/min es el representado en la figura 4.46. Las líneas se corresponden en cada una de las probetas, en este caso la figura pertenece al comportamiento durante el ensayo de las probetas 1, 2 y 3, donde se observa un comportamiento de material dúctil, y claramente se diferencian la zona elástica proporcional, la zona elastoplástica, la zona plástica y la zona de rotura.

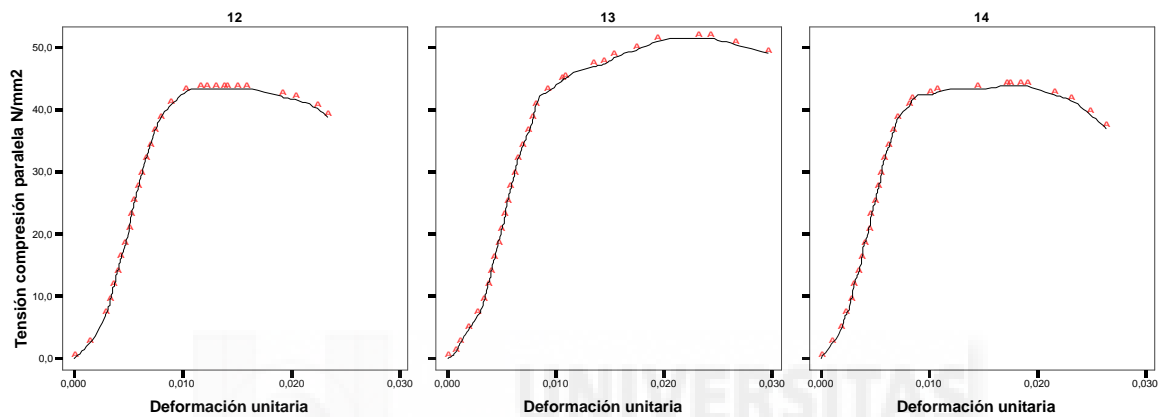


Fig. 4.46. Curvas típicas de un ensayo a compresión paralela a las fibras de la caña común (*Arundo donax L.*)

Estas curvas indican que la caña común se comporta como un material dúctil a esfuerzos de compresión paralela a las fibras, obteniéndose deformaciones superiores al 20 %, donde se distingue la zona elástica proporcional, la zona de fortalecimiento y la zona plástica.

Mediante el diagrama de dispersión de la figura 4.47 que recoge los ensayos, se observa de forma intuitiva la correlación existente entre ellos.

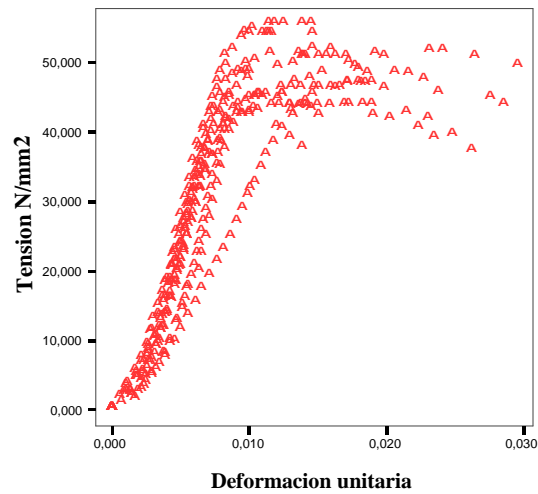


Fig. 4.47. Diagrama de dispersión de datos de ensayos

Dado que no existen puntos de cedencia o fluencia, “yield”, en el comportamiento observado, los valores máximos de tensión, σ_{\max} , “tensile strength”, y la deformación correspondiente, ϵ_{\max} , coinciden con la tensión y la deformación a rotura, σ_R y ϵ_R , respectivamente, y pueden tomarse como medida de la resistencia a rotura del material en los ensayos de compresión paralela realizados.

En este trabajo hemos desarrollado un procedimiento de cálculo de los valores medios de carga y desplazamiento instantáneos sobre los puntos pertenecientes a las curvas de todas las probetas útiles en cada ensayo, de modo que representaremos gráficamente los puntos correspondientes a los comportamientos “promedio” obtenidos en cada ensayo.

Puede entenderse que esto nos permitirá realizar comparaciones de distintos ensayos sobre unos mismos ejes, teniendo en cuenta los comportamientos medios sujetos a las desviaciones estadísticas resultado del número de probetas ensayadas en cada muestra.

Dentro de los valores medios resaltaremos: la tensión a compresión paralela elástica proporcional, la tensión a compresión paralela a rotura y el módulo de elasticidad o módulo de Young longitudinal.

Presentaremos, pues, agrupados en tablas, los datos de los valores medios de las propiedades mecánicas relevantes para cada ensayo; se consignarán, además, las

desviaciones estándar con respecto a tales valores medios, junto con un valor porcentual de incertidumbre obtenido como el cociente entre la desviación estándar y el valor medio, para cada magnitud.

Para realizar el análisis estadístico de las 28 repeticiones de ensayo de caña común de cosecha, se han utilizado 25 repeticiones con valores significativos y correlacionados, mediante las pruebas de correlación de Tukey, para obtener los valores medios, los diagramas de cada uno de estos ensayos son los que indican las figuras 4.48 y 4.49.

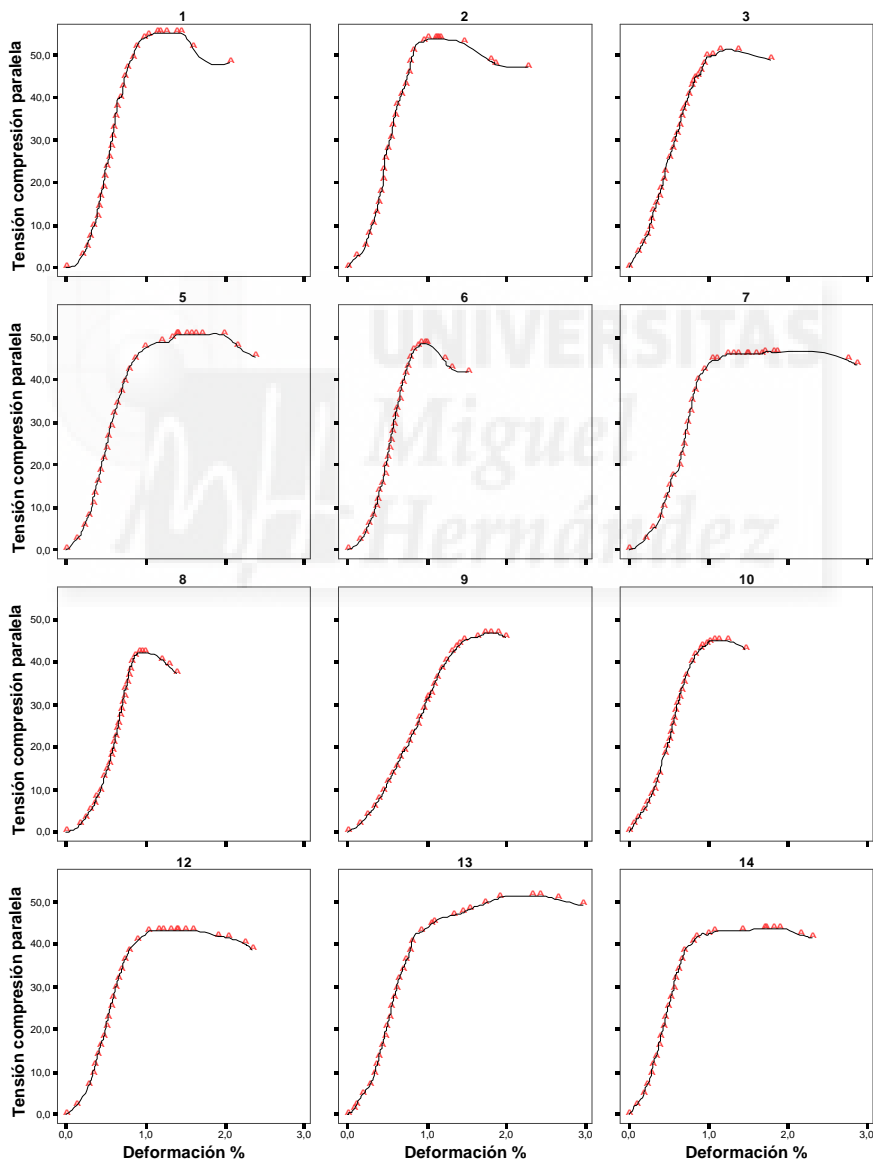


Fig. 4.48. Diagramas de tensión de compresión paralela a las fibras con humedad 13,7%.

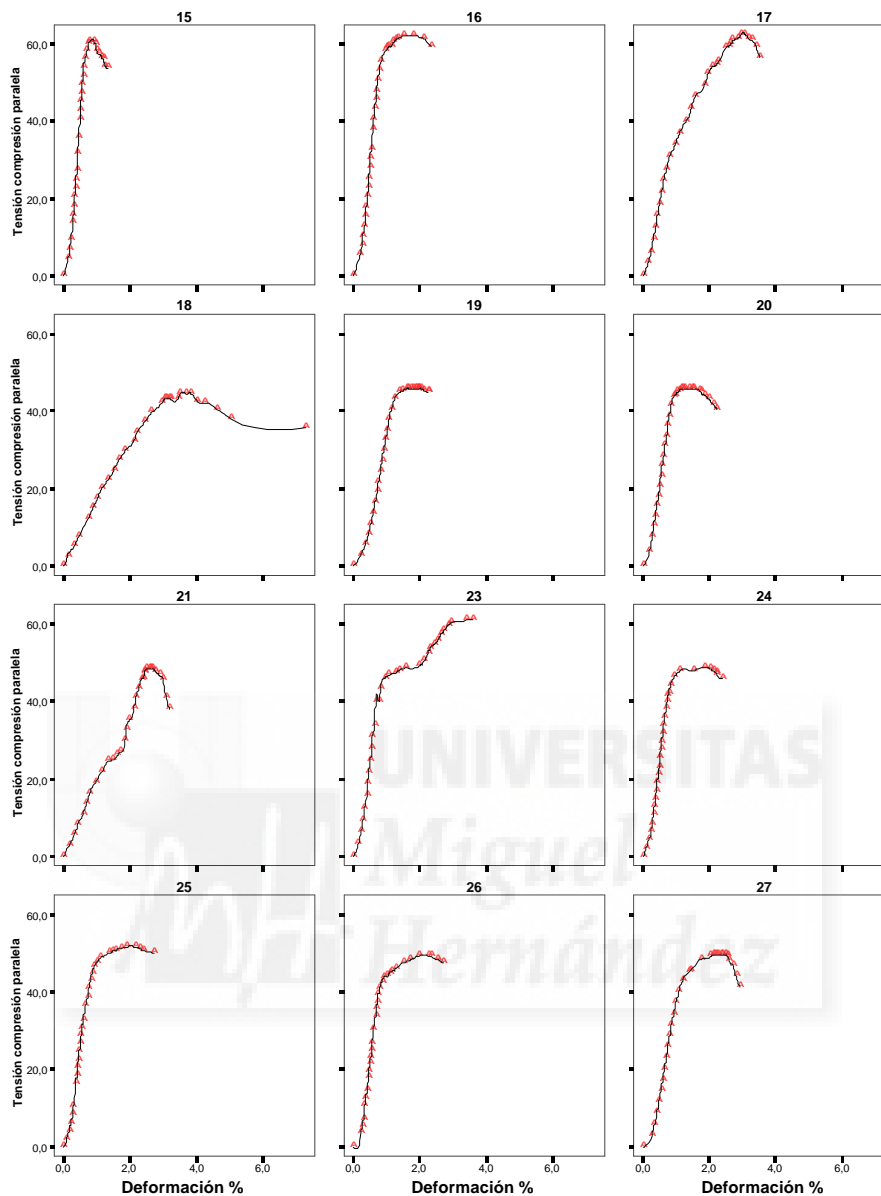


Fig. 4.49. Diagramas de tensión de compresión paralela a las fibras con humedad 8 %

Debido a que se estudian las diferencias de comportamiento de la caña común respecto a la humedad de las muestras, se realizó el análisis estadístico en función de dicha humedad.

Considerando en las curvas de esfuerzo-deformación, la tensión de compresión paralela y la deformación como variables cuantitativas dependientes de la humedad, el análisis de la varianza consistió en analizar el comportamiento de las variables en sus 25 subpoblaciones. Al tener las repeticiones diferente tamaño de muestra se recurrió a las

pruebas robustas de igualdad de media para comprobar su significación y los resultados obtenidos se indican en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Análisis de la varianza ensayo compresión paralela a las fibras.

ANOVA: 8% HUMEDAD						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DEFORMACIÓN	Inter-grupos	0,00146083	7	0,00020869	0,35721687	0,11116065
	Intra-grupos	0,01448847	248	5,8421E-05		
	Total	0,01594931	255			
T. COMP. PARAL.	Inter-grupos	2462,36842	7	351,766917	1,20619952	0,2997849
	Intra-grupos	72324,8467	248	291,632446		
	Total	74787,2151	255			

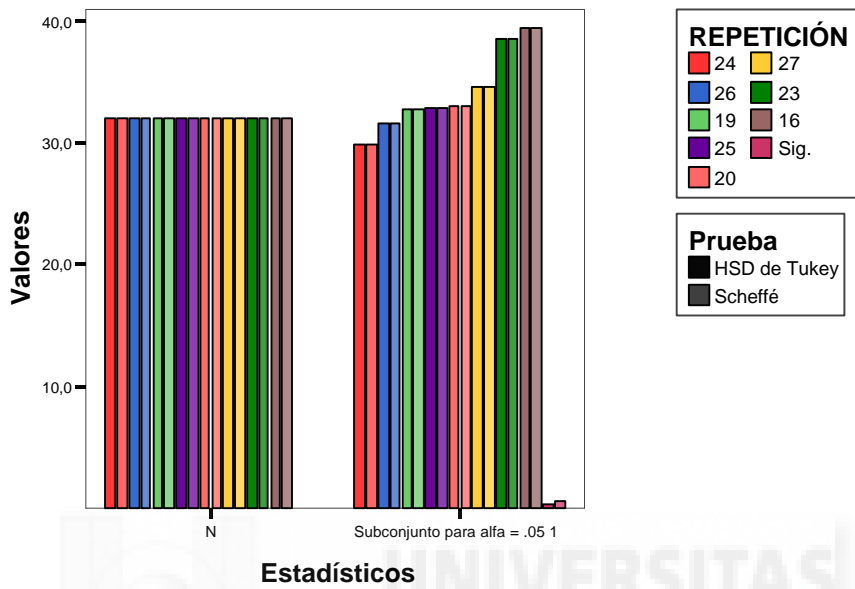
ANOVA: 13,7% HUMEDAD						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
T. COMP. PARAL.	Inter-grupos	3252,364709	11	295,669519	1,127085089	0,338476566
	Intra-grupos	97062,52269	370	262,3311424		
	Total	100314,8874	381			
DEFORMACIÓN	Inter-grupos	0,000799985	11	7,27259E-05	2,4674255	0,035449325
	Intra-grupos	0,010905532	370	2,94744E-05		
	Total	0,011705517	381			

Pruebas robustas de igualdad de las medias		13,7% HUMEDAD			
		Estadístico	gl1	gl2	Sig.
T. COMP. PARAL.	Welch	1,0927677	11	145,6756884	0,371049318
	Brown-Forsythe	1,127783076	11	359,3742945	0,338052384
DEFORMAC	Welch	2,788012144	11	145,1869789	0,055572733
	Brown-Forsythe	2,460744619	11	285,5989899	0,045927492
a	Distribuidos en F asintóticamente.				

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias, se comprobó que existía correlación entre variables y que no hay diferencias significativas para un error del 5% entre los ensayos.

Utilizando para las comparaciones múltiples entre los ensayos realizados los métodos de Tukey y de Scheffé como indica la figura 4.50, se han obtenido los datos válidos de la curva tensión-deformación para los esfuerzos de compresión paralela a las fibras de la caña común, como indica la figura 4.51 en función de la humedad.

TENSIÓN COMPRESIÓN PARALELA 8% HUMEDAD



TENSIÓN COMPRESIÓN PARALELA 13,7 % HUMEDAD

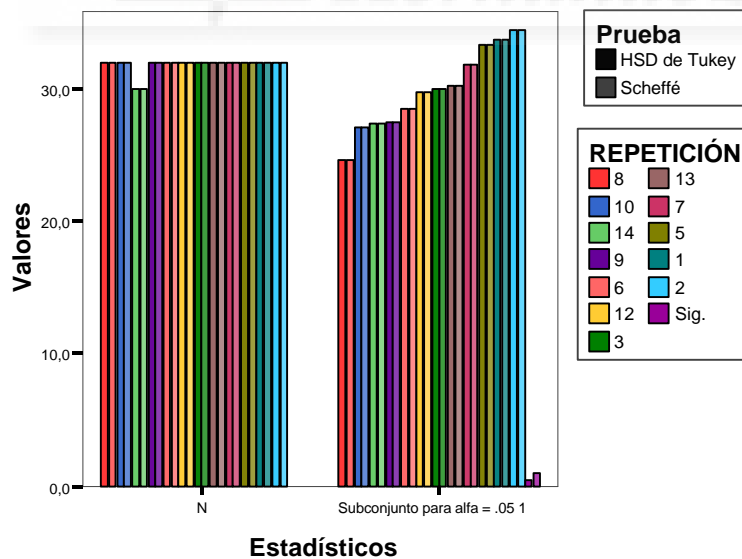


Fig. 4.50. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos.

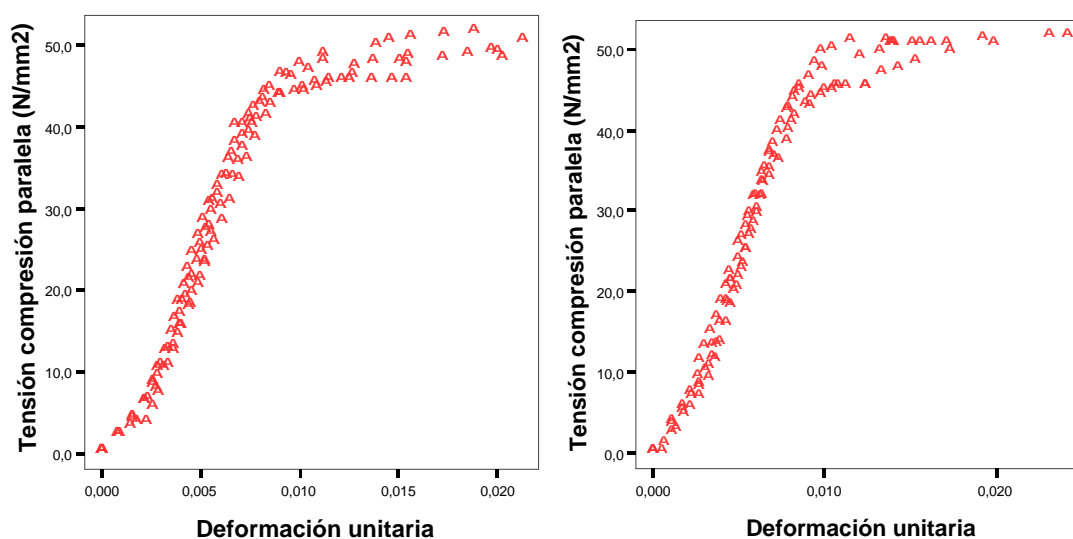


Fig 4.51. Diagramas de datos válidos de tensión a compresión paralela a las fibras-deformación unitaria, obtenidos en los ensayos para humedades 13,7 % y 8 %.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica $\geq 0,963$) es mayor que 0,05 como indica la tabla 4.10, luego se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

Tabla 4.10. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a compresión paralela.

Estadísticos de contraste		HUMEDAD 8 %
	DEFORMACIÓN	TENSIÓN COMPRESIÓN PARALELA
Chi-cuadrado ^{ab}	121,120419	252,895288
gl	363	306
Sig. asintót.	1	0,98801985
a	364 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.	
b	307 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,2.	

Estadísticos de contraste		HUMEDAD 13,7 %
	DEFORMACIÓN	TENSIÓN COMPRESIÓN PARALELA
Chi-cuadrado ^{a,b}	136,7329843	271,5078534
gl	336	315
Sig. asintót.	1	0,96349313
a	337 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.	
b	316 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,2.	

En la zona elástica proporcional, se ha obtenido asimismo una distribución normal y mediante la correlación de Pearson, se ha hallado la recta de regresión para distinta humedad, con un intervalo de predicción de la media del 95 %.

Humedad 13,7 % $R^2 = 0,92$.

Humedad 8 % $R^2 = 0,96$.

En la figura 4.52 se indica el diagrama medio de tensión a compresión paralela a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.) en la zona elástica proporcional respecto a la deformación unitaria.

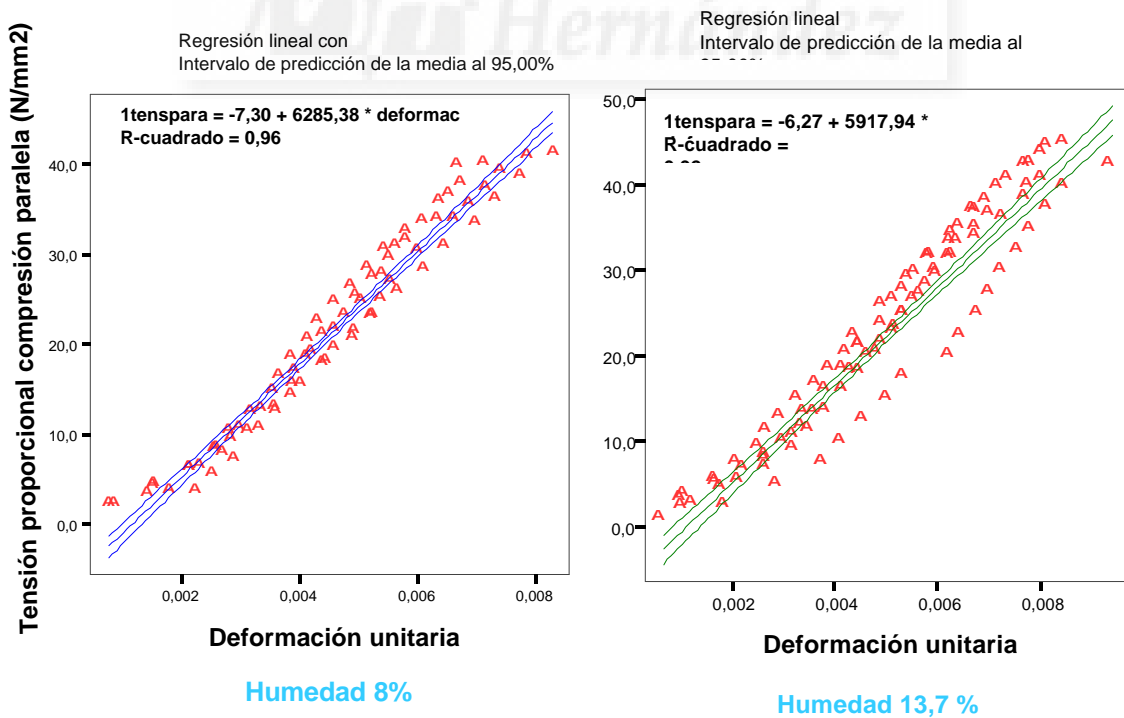


Fig. 4.52. Curvas de tensión media a compresión paralela proporcional-deformación unitaria.

La tabla 4.11 resume los valores medios obtenidos en el ensayo a compresión paralela a las fibras de la caña común, junto con las desviaciones estándar. Se obtiene el módulo de elasticidad longitudinal “E”, la tensión y la deformación proporcional, σ_p y ϵ_p , y la deformación y la tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura, ϵ_R y σ_R , distinguiendo dichos esfuerzos y deformaciones en función de la humedad de las muestras ensayadas.

Tabla 4.11. Resultados. Tensión-Deformación media a compresión paralela a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.).

Humedad muestra %		Módulo de elastic. longitudinal E (N/mm ²)	Tensión proporcional σ_p (N/mm ²)	Deformación proporcional unitaria ϵ_p	Tensión a rotura σ_R (N/mm ²)	Deformación rotura unitaria ϵ_R
8	Media	6.285	39,25	0,00624	52,28	0,018
	Desv. típ.		4,74	0,00495	4,84	0,00495
	Error tip. med		1,53	0,0049	1,97	0,0049
13,7	Media	5.918	39,33	0,00673	52,30	0,024
	Desv. típ.		2,99	,01220	4,06	0,00674
	Error tip. med		0,61	0,0004	1,17	0,0004
11,4	Media	6.102	39,26	0,00654	52,29	0,022

En los valores medios obtenidos se observa que las tensiones a compresión paralela a las fibras son similares cuando la humedad aumenta del 8 al 13,7 %, y se produce un incremento del 10% de la deformación unitaria, aumentando por tanto la zona de comportamiento elástica y la zona de fortalecimiento de la caña común. El módulo de elasticidad longitudinal “E” disminuye ligeramente con el incremento de humedad.

La figura 4.53 representa las curvas medias de tensión a compresión paralela-deformación unitaria a distinta humedad.

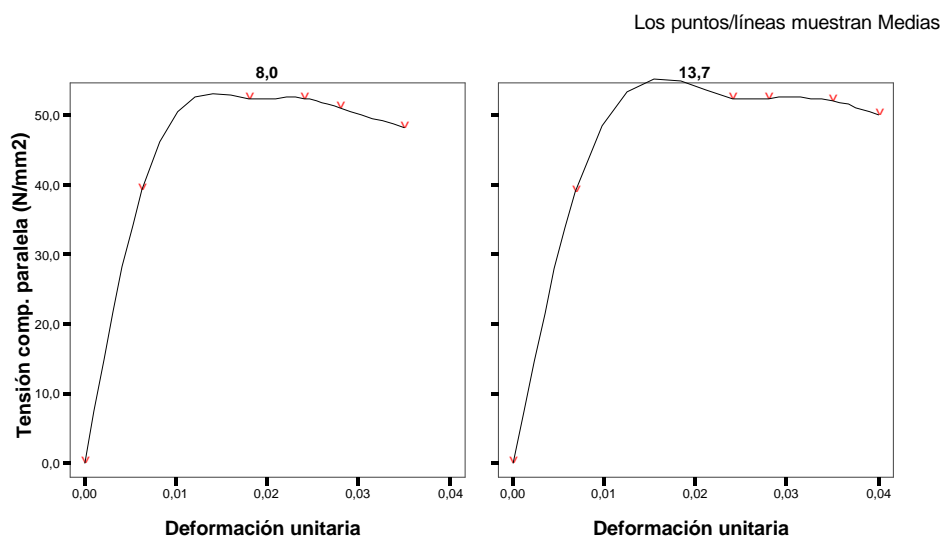


Fig. 4.53. Curvas compresión paralela-deformación.

Evaluación de la resistencia a compresión paralela de la caña común a lo largo del tiempo.

Los ensayos se realizaron a rotura a compresión paralela a humedad ambiente, con cañas de cosecha y con cañas procedentes de la alquería de la finca “La Caseta” del siglo XVII, cuyas dimensiones son las de la tabla 4.12.

Tabla 4.12.- Dimensiones de las probetas.

Nº	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Antigüedad
1	25,18	1,82	2 x 25,18	1
2	24,18	1,71	2 x 24,18	1
3	22,35	2,49	2 x 22,35	1
4	20,59	2,40	2 x 20,59	1
5	20,30	2,40	2 x 20,30	1
6	20,45	2,40	2 x 20,45	1
7	22,69	2,62	2 x 22,69	1
8	19,24	2,05	2 x 19,24	1
9	22,69	2,62	2 x 22,69	1
10	26,16	2,22	2 x 26,16	1
11	25,20	2,79	2 x 25,20	1
12	25,22	2,81	2 x 25,22	1
13	19,16	5,38	2 x 19,16	1
14	29,95	5,20	2 x 29,95	2
15	29,70	5,30	2 x 29,70	2

Nº	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Antigüedad
16	29,80	5,28	2 x 29,80	2
17	29,82	3,39	2 x 29,82	2
18	22,08	3,39	2 x 22,08	2
19	21,69	2,64	2 x 21,69	2
20	20,38	2,35	2 x 20,38	2

1 = nueva. 2 = antigua.

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias como puede observarse en la tabla 4.13, se obtuvo que existe correlación entre las tensiones de rotura de las cañas de cosecha y la caña antigua y que no existen diferencias significativas para un error del 5%.

Tabla 4.13. Análisis estadístico.

Prueba de homogeneidad de varianzas: TENS. ROTURA

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,001	1	18	0,981

Tabla de ANOVA ^(a)			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TENS. ROT * EDAD	Inter-grupos	(Combinadas)	75,846	1	75,846	1,391	0,254
	Intra-grupos		981,301	18	54,517		
	Total		1057,148	19			

a Con menos de tres grupos, las medidas de linealidad para TENSROT * EDAD no se pueden calcular.

Pruebas robustas de igualdad de las medias: TENSIÓN ROTURA

	Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
Welch	1,410	1	15,500	0,253
Brown-Forsythe	1,410	1	15,500	0,253

a Distribuidos en F asintóticamente.

La tabla 4.14 resume los valores medios obtenidos en el ensayo de comprobación de la resistencia de la caña común a lo largo del tiempo, y se observa que mantiene las propiedades mecánicas al cabo de los años, si no ha sufrido ninguna patología.

Tabla 4.14. Informa final sobre valores medios: TENSIÓN ROTURA COMP. PAR.

EDAD	Media	N	Desv. típ.	Error típ. de la media
1	52,66983	12	5,473508	2,157416
2	52,19475	8	5,239918	2,559697
Total	52,37980	20	5,459178	1,667923

B.- COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.

Cálculo del número de repeticiones necesarias para la obtención de la tensión de rotura σ_R a compresión perpendicular, mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo.

Valor medio de la variable $\sigma_R = 6 \text{ N/mm}^2$ y $\sigma_R = 10 \text{ N/mm}^2$.

$$\text{Cañas 8 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,75^2}{0,6^2} = 6,25 \approx 7 \quad (4.40)$$

$$\text{Cañas 13,7 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 1,5^2}{1^2} = 9 \quad (4.41)$$

Siendo: r, número de repeticiones de ensayos necesarios.

σ , desviación típica de los datos de la variable tensión.

δ , error que se tolera respecto al valor medio de la variable (10 %).

Para los ensayos se tomaron en función de los ensayos previos, 24 muestras con un contenido de agua del 8% y 13,7%, obtenidas al azar de 50 cañas liseras comerciales, cortadas de distintos tramos y no correspondiendo ninguna muestra a la misma caña. Las probetas de caña eran sin nudos, correspondiendo los diámetros exteriores y los espesores a los valores medios de las muestras, siendo sus dimensiones las que se indican en la tabla 4.15.

Tabla 4.15. Dimensiones de las muestras de caña común para los ensayos de compresión perpendicular a las fibras.

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
1	29,80	4,83	150	8
2	30,05	4,41	150	8
3	21,52	3,47	150	8
4	29,33	3,80	150	8
5	25,64	4,26	150	8
6	23,02	3,26	150	8
7	27,39	3,98	150	8
8	22,38	3,36	150	8
9	23,68	3,61	150	8
10	25,33	3,73	150	8

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
11	24,26	3,86	150	13,7
12	23,59	3,16	150	13,7
13	22,14	3,03	150	13,7
14	20,40	2,25	150	13,7
15	21,00	2,29	150	13,7
16	19,97	2,37	150	13,7
17	19,19	2,17	150	13,7
18	20,89	2,48	150	13,7
19	20,11	2,25	150	13,7
20	20,89	2,46	150	13,7
21	20,43	2,38	150	13,7
22	25,09	2,47	150	13,7
23	24,58	2,85	150	13,7
24	25,24	2,56	150	13,7

En la realización del ensayo se anotaron para cada muestra más de 12 puntos de deformación y esfuerzo aplicado. Luego se realizaron 24 repeticiones y el tamaño de la muestra $N = 12$.

Las curvas esfuerzo-deformación características obtenidas en cada una de las muestras son como las que se observan en la figura 4.54.

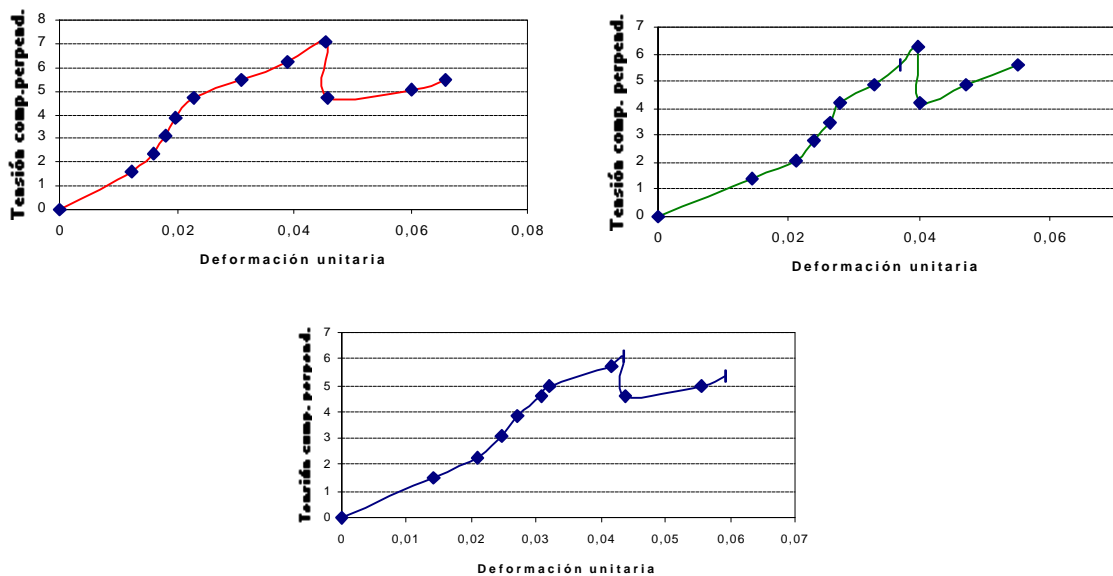


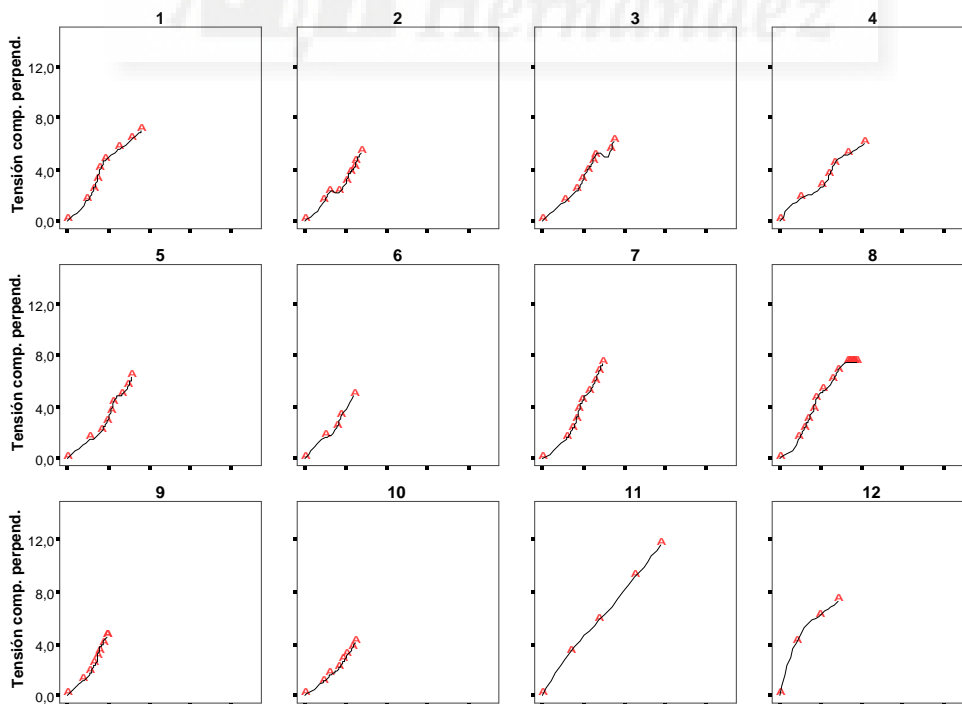
Fig. 4.54. Curvas tensión de compresión perpendicular- deformación unitaria de los ensayos 1, 2 y 3.

Estas curvas indican dos zonas donde existe una tensión proporcional, hasta llegar a la primera fisura y posteriormente una zona de fortalecimiento plástica llegando hasta la rotura total, no existiendo una zona elastoplástica. De las curvas obtenidas podemos afirmar que la caña común se comporta como un material frágil respecto a los esfuerzos de compresión perpendicular, aunque la rotura total se alcance con un alargamiento aproximado del 6%, ya que como material de construcción el esfuerzo a primera fisura es el que se debe considerar como el máximo a rotura.

Para el análisis estadístico del ensayo solo consideraremos hasta primera fisura, y calcularemos los valores medios de carga y desplazamiento instantáneo sobre los puntos pertenecientes a las curvas de todas las muestras útiles en cada ensayo, distinguiendo entre ellas el contenido de humedad por lo que los tamaños de las muestras no son iguales variando desde 12 hasta 5.

Debido a que se estudian las diferencias de comportamiento de la caña común respecto a la humedad de las muestras, se realizó el análisis estadístico en función de dicha humedad.

En la figura 4.55 se indican los diagramas de esfuerzo deformación de los ensayos válidos hasta 1ª fisura, la cual tomaremos como tensión de rotura, obtenidos mediante el método de las comparaciones múltiples.



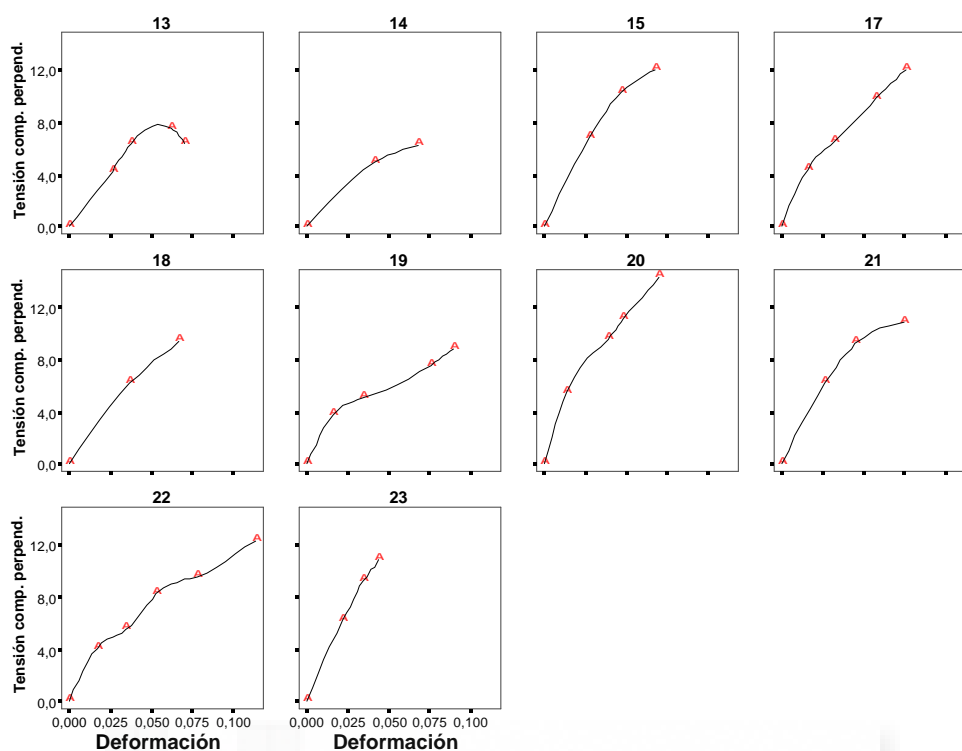


Fig. 4.55. Diagramas de esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras- deformación unitaria para cada una de los ensayos válidos con humedad 8 % y 13,7 %.

Considerando en las curvas de esfuerzo-deformación, la tensión de compresión paralela y la deformación como variables cuantitativas dependientes de la humedad, el análisis de la varianza consistió en analizar el comportamiento de las variables en sus 25 subpoblaciones. Al tener las repeticiones diferente tamaño de muestra se recurre a las pruebas robustas de igualdad de media (Welch y Brown-Forsythe) para comprobar su significación y los resultados obtenidos se indican en la tabla 4.16 y la figura 4.56.

Tabla 4.16. Análisis de la varianza de los ensayos a compresión perpendicular.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TENSIÓN COMP.PERP.	Inter-grupos	365,624443	21	17,4106877	1,88137172	0,04762561
	Intra-grupos	1147,52723	124	9,25425188		
	Total	1513,15168	145			
DEFORMAC	Inter-grupos	0,01017269	21	0,00048441	1,13889948	0,31808512
	Intra-grupos	0,05274155	124	0,00042534		
	Total	0,06291424	145			

Pruebas robustas de igualdad de las medias

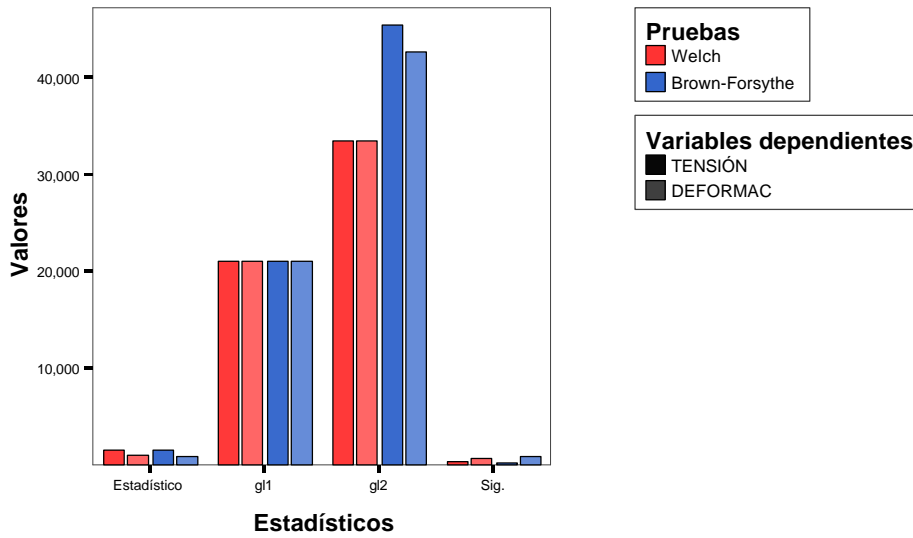
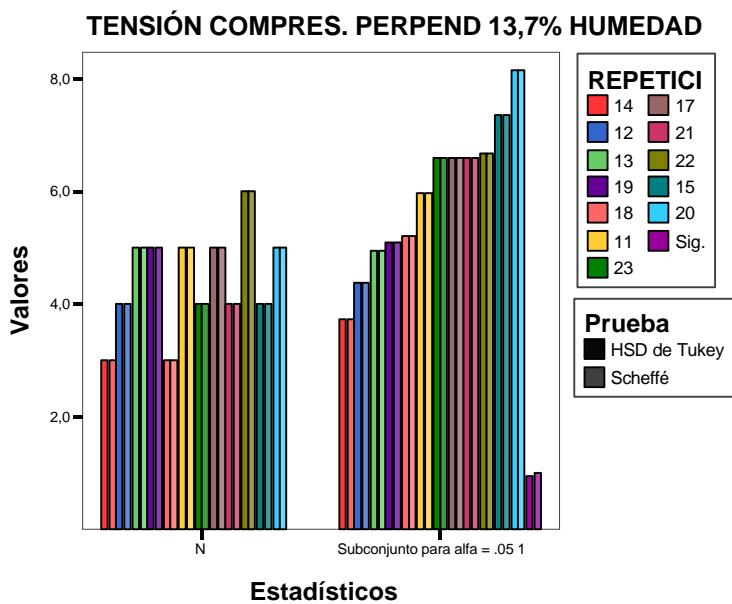


Fig. 4.56. Pruebas de igualdad de medias en los ensayos de compresión perpendicular a las fibras.

Utilizando para las comparaciones múltiples el método de Tukey y el de Scheffé se obtuvo que no existían diferencias significativas para un error del 5% entre los ensayos como se indica en la figura 4.57.



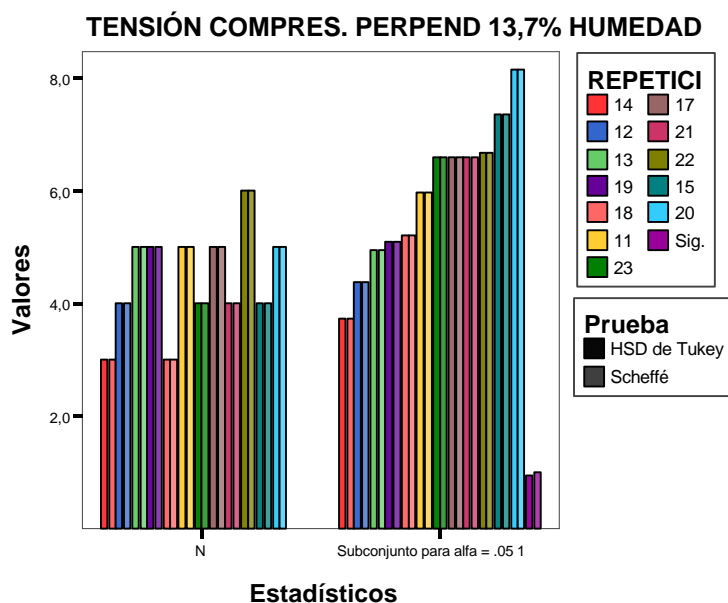


Fig. 4.57. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos compresión perpendicular.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo, se utilizó el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba Chi-cuadrado, indicando que el ensayo es significativo.

Tabla 4.17. Prueba Chi-cuadrado.

Humedad 8%

	DEFOR. UNIT	TENSIÓN COMP. PERP.
Chi-cuadrado ^(a,b)	0,976	44,530
gl	81	72
Sig. asintót.	1,000	0,995

a 82 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

b 73 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

Humedad 13,7%

	DEFOR. UNIT	TENSIÓN COMP. PERP.
Chi-cuadrado ^(a)	0,000	0,000
gl	30	30
Sig. asintót.	1,000	1,000

a 31 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

b 31 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

En la zona elástica proporcional de las curvas de ensayo, se ha obtenido asimismo una distribución normal, y mediante la correlación de Pearson, se ha hallado la recta de regresión para distinta humedad, con intervalo de predicción de la media del 95 %.

Humedad 8 % $R^2 = 0,92.$

Humedad 13,7 % $R^2 = 0,91.$

En la figura 4.58 se indica el diagrama medio de tensión a compresión perpendicular a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.) en la zona elástica proporcional, respecto a la deformación unitaria.

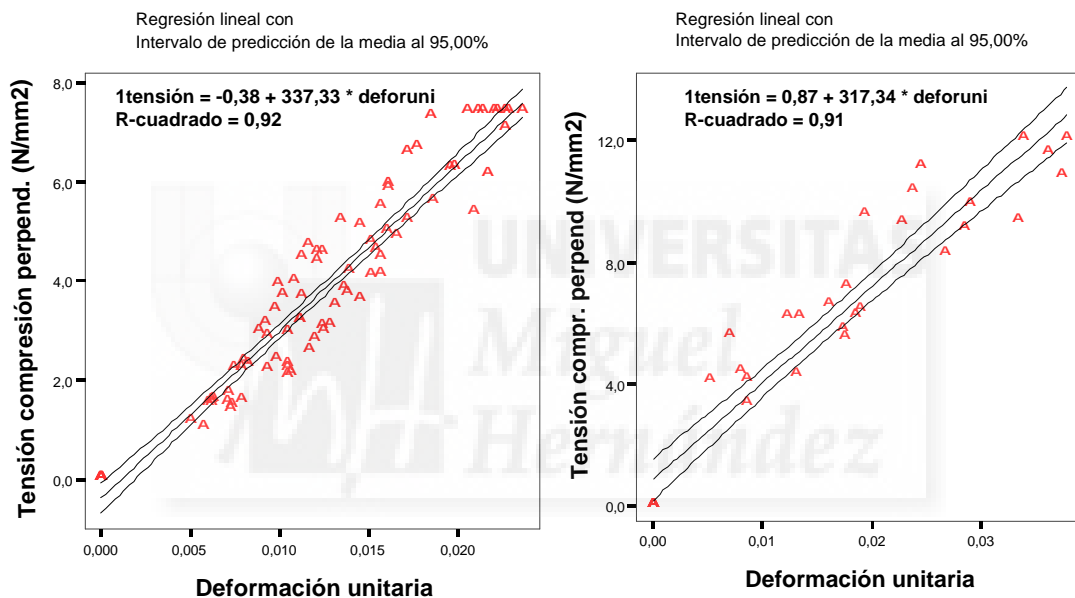


Fig. 4.58. Comportamiento en ejes de tensión media a compresión perpendicular proporcional-deformación unitaria humedad 8 y 13,7%.

La tabla 4.18 resume los valores medios obtenidos en el ensayo a compresión paralela a las fibras de la caña común, junto con las desviaciones estándar. Se obtiene el módulo de elasticidad transversal “E”, la tensión y la deformación elástica proporcional, σ_p y ϵ_p , y la deformación y la tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura, ϵ_R y σ_R , distinguiendo dichos esfuerzos y deformaciones en función de la humedad de las muestras ensayadas.

Tabla 4.18. Resultados. Tensión-Deformación a compresión perpendicular a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.)

Humedad muestra %		Módulo de elasticidad transversal E (N/mm ²)	Tensión proporcional σ_p (N/mm ²)	Deformación proporcional unitaria ϵ_p	Tensión a rotura σ_R (N/mm ²)	Deformación rotura unitaria ϵ_R
8	Media	337	4,8210	0,0167	6,025	0,031
	Desv. típ.		0,40741	0,00626	1,1510	0,012
	Error tip. med.		0,14404	0,00067	0,3836	0,0009
13,7	Media	317	6,6116	0,0216	11,6060	0,038
	Desv. típ.		1,0174	0,01220	1,53501	0,022
	Error tip. med.		0,39489	0,00191	0,58018	0,0013
11,4	Media	327	5,656	0,0192	8,647	0,0345

En los resultados se observa que mejoran las propiedades mecánicas de la caña común en la dirección perpendicular a las fibras, cuanto mayor es el contenido de humedad, o sea que cuanto mayor sea la densidad mejores propiedades mecánicas perpendiculares.

El módulo de elasticidad o módulo de Young transversal “E” cambia muy poco en función de la humedad (se puede decir que es constante), ya que la tensión proporcional a compresión perpendicular y la deformación varía en función de la humedad como se observó en la figura 4.58, ya que el módulo es la tangente a la curva en la zona elástica proporcional del diagrama esfuerzo-deformación.

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p} \quad (4.42)$$

La variación de las propiedades mecánicas de la caña común se puede observar de forma intuitiva en el diagrama de la figura 4.59, donde se comparan los valores medios

de la tensión elástica proporcional y tensión de rotura a esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras

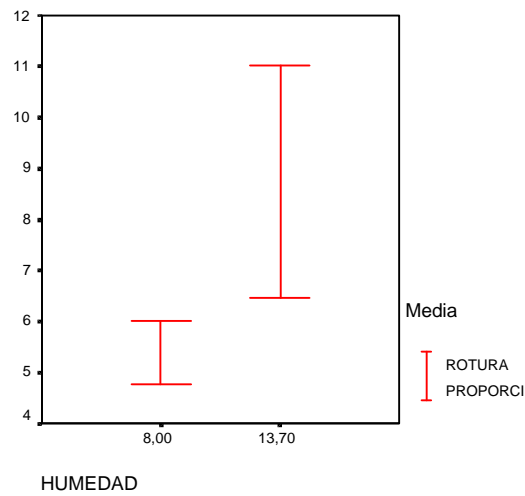


Fig. 4.59. Comparación de tensiones a compresión perpendicular.

La figura 4.60 representa las curvas medias de tensión a compresión paralela-deformación unitaria en función del contenido de humedad, donde se puede observar el comportamiento medio de la caña común sometida a esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras.

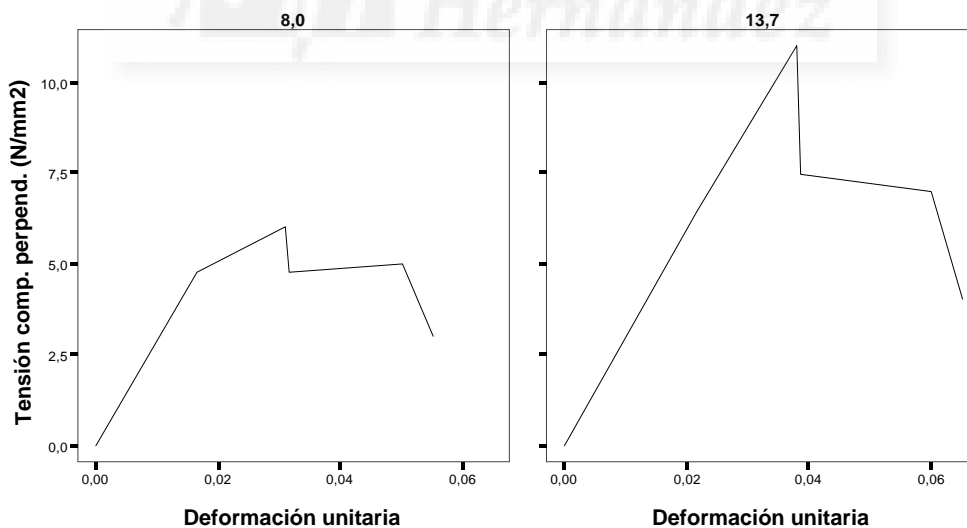


Fig. 4.60. Curvas medias de comportamiento a compresión perpendicular de la caña común con una humedad del 8 y 13,7%.

Si analizamos conjuntamente los resultados de los ensayos a compresión paralela y perpendicular a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.), comprobamos la gran anisotropía de la caña común, (que ya quedó indicada en apartados anteriores) en función de las dimensiones de sus fibras en el sentido longitudinal y transversal. En la tabla 4,19 establecemos dicha relación para valores medios ya que la caña común en función de la humedad ambiente, tendrá un contenido de humedad entre un 8% y un 13,7 % en la zona geográfica de estudio (Vega Baja).

Tabla 4.19. Comparación de las propiedades mecánicas de esfuerzos a compresión paralela y perpendicular a las fibras de la caña común, para una humedad media de 11,4%.

	Esfuerzos de compresión paralela a las fibras	Esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras
Módulo E (N/mm ²)	6019	327
Tensión elástica proporcional (N/mm ²) σ_p	39,26	5,66
Tensión a rotura (N/mm ²) σ_R	52,29	8,65
Deformación unitaria a rotura ϵ_R	0,022	0,034

La caña común aguanta esfuerzos mucho mayores a compresión paralela a las fibras teniendo mayor rigidez como indica el módulo de elasticidad longitudinal, a esfuerzos de compresión perpendicular soporta mayores deformaciones teniendo menor resistencia y rigidez, como indica el módulo de elasticidad transversal.

Dicha relación entre los esfuerzos a compresión paralela y perpendicular se pueden observar de forma intuitiva en las curvas de esfuerzo- deformación a compresión de la figura 4.61

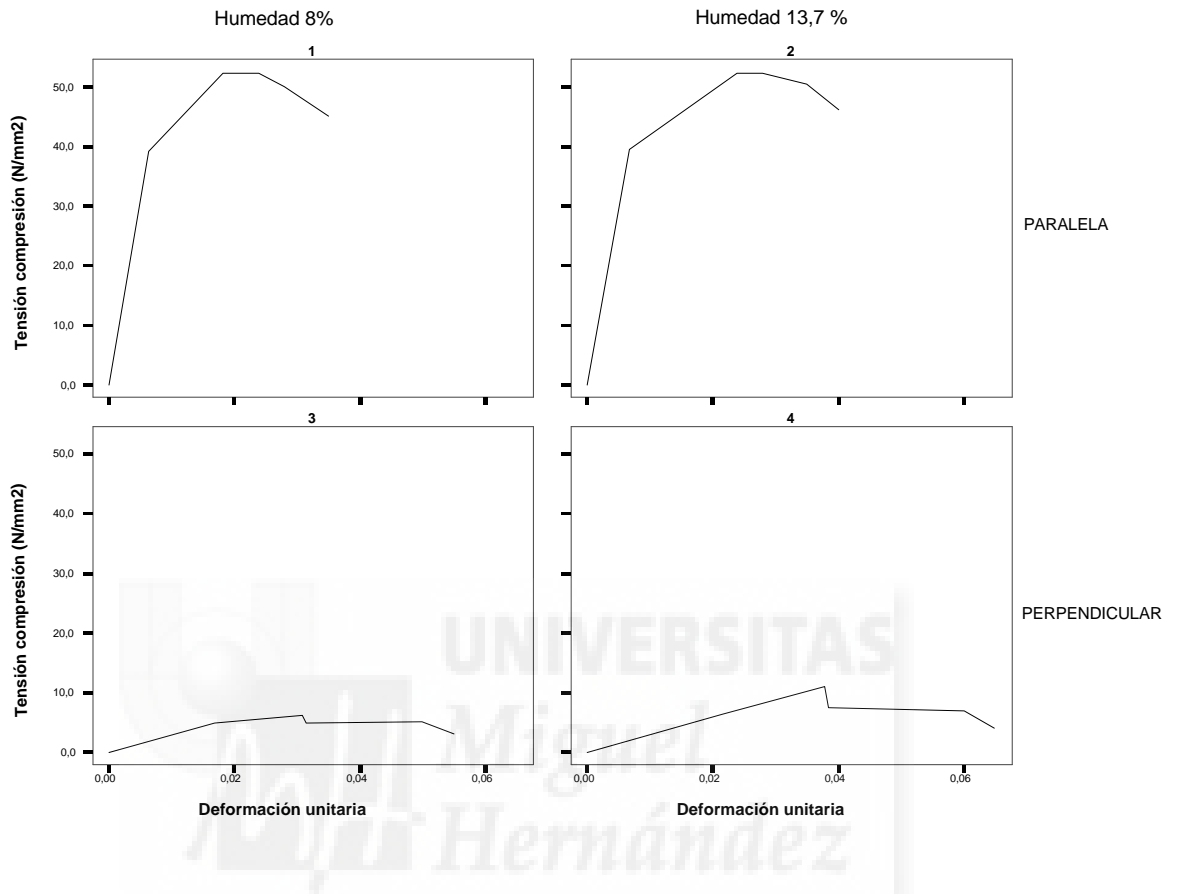


Fig. 4.61. Diagrama de esfuerzos a compresión-deformación de la caña común.

4.3.1.2.- TRACCIÓN INDIRECTA.

Al no disponer de máquina de ensayos a tracción, se ha recurrido a las máquinas disponibles a flexión y compresión, realizando los ensayos a tracción indirecta.

Para los cálculos a tracción paralela a las fibras, los ensayos han sido realizados a esfuerzos de flexión, debido a que al flechar la probeta, se traccionan las fibras inferiores, produciéndose un alargamiento de dichas fibras.

Para los cálculos a tracción perpendicular los ensayos se han realizado mediante el dispositivo brasileñas a compresión procediendo en el ensayo y calculando las tensiones mediante las ecuaciones que indican la norma aplicada UNE 83 306-85⁽³⁾.

A.- TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.

Para hallar el número de repeticiones necesarias se realizaron ensayos previos, al no tener información sobre el comportamiento a tracción paralela a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.).

Cálculo del número de repeticiones necesarias para la obtención de la tensión de rotura σ_R , mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $\sigma_R = 15 \text{ N/mm}^2$ y $\sigma_R = 18 \text{ N/mm}^2$.

$$\text{Cañas 8 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 1,8^2}{1,5^2} = 5,76 \approx 6 \quad (4.43)$$

$$\text{Cañas 13,7 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 2,3^2}{1,8^2} = 6,53 \approx 7 \quad (4.44)$$

Se han realizado 10 repeticiones con caña común (*Arundo donax* L.) con un 8 % de humedad y 15 repeticiones con caña con un 13,7 % de humedad. Las muestras se eligieron al azar entre cañas liseras comerciales, siendo todas las probetas de diferente caña y de distintos tramos de la caña, cortadas sin nudos.

Las probetas de caña común sometidas al ensayo de tracción paralela tenían las dimensiones que figuran en la tabla 4.20.

Tabla 4.20. Dimensiones de las muestras para ensayos a tracción paralela.

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
1	14,85	1,60	70	13,7
2	16,52	1,52	70	13,7
3	16,24	1,61	70	13,7
4	16,50	1,52	70	13,7
5	16,06	1,74	70	13,7
6	15,61	1,52	70	13,7
7	15,20	1,35	70	13,7
8	18,71	1,68	70	13,7
9	17,35	1,66	70	13,7
10	19,60	2,10	70	13,7
11	17,93	2,11	70	13,7
12	17,86	1,72	70	13,7
13	16,57	1,51	70	13,7
14	14,48	1,25	70	13,7
15	16,50	1,54	70	13,7
16	15,35	1,55	70	8
17	21,64	2,35	70	8
18	21,90	2,31	70	8
19	21,61	2,27	70	8
20	21,05	2,06	70	8
21	20,54	2,26	70	8
22	21,73	2,47	70	8
23	22,31	2,29	70	8
24	22,40	2,35	70	8
25	20,09	2,09	70	8

En la realización del ensayo se anotaron para cada muestra más de 8 puntos de deformación y esfuerzo aplicado. Luego se realizaron 25 repeticiones y el tamaño de la muestra $N = 8$.

Las curvas esfuerzo-deformación características obtenidas en cada una de las muestras son las que se observan en la figura 4.61 correspondiente al ensayo de la probeta de caña común nº 1 .

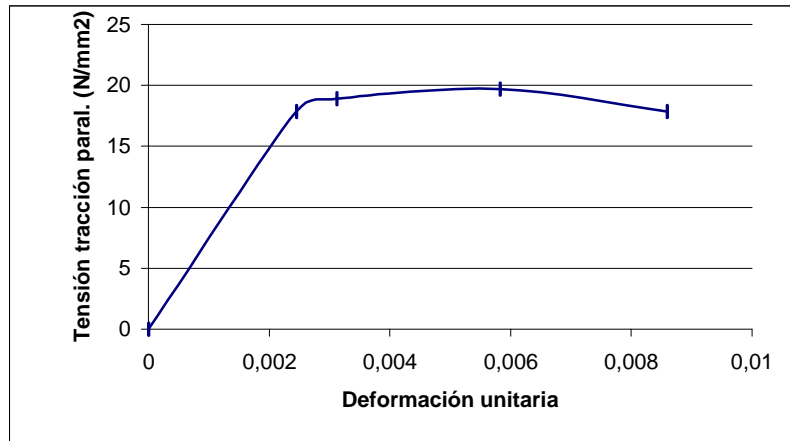


Fig. 4.61b. Curva tensión a tracción paralela-deformación unitaria del ensayo 1.

En estas curvas se observa un comportamiento de material dúctil, la zona elástica con la subzona proporcional, la zona elastoplástica con la subzona de fortalecimiento y la zona plástica, con una deformación aproximada para tensión máxima del 0,4 % y la rotura total se alcanza con deformaciones superiores al 0,6 %. Como material de construcción la tensión máxima se debe considerar como la tensión a rotura, debido que a partir de esta zona, el material pasa a estado plástico.

Para el análisis estadístico del ensayo solo consideraremos hasta la tensión máxima y calcularemos los valores medios de carga y desplazamiento instantáneo sobre los puntos pertenecientes a las curvas de todas las muestras útiles en cada ensayo, distinguiendo entre ellas el contenido de humedad.

En la figura 4.62 se muestran los diagramas de esfuerzo deformación de los ensayos válidos a tracción paralela a las fibras de la caña común con humedad del 8 y 13,7%, comprobados mediante el método de comparaciones múltiples hasta la tensión máxima, la cual tomaremos como tensión de rotura.

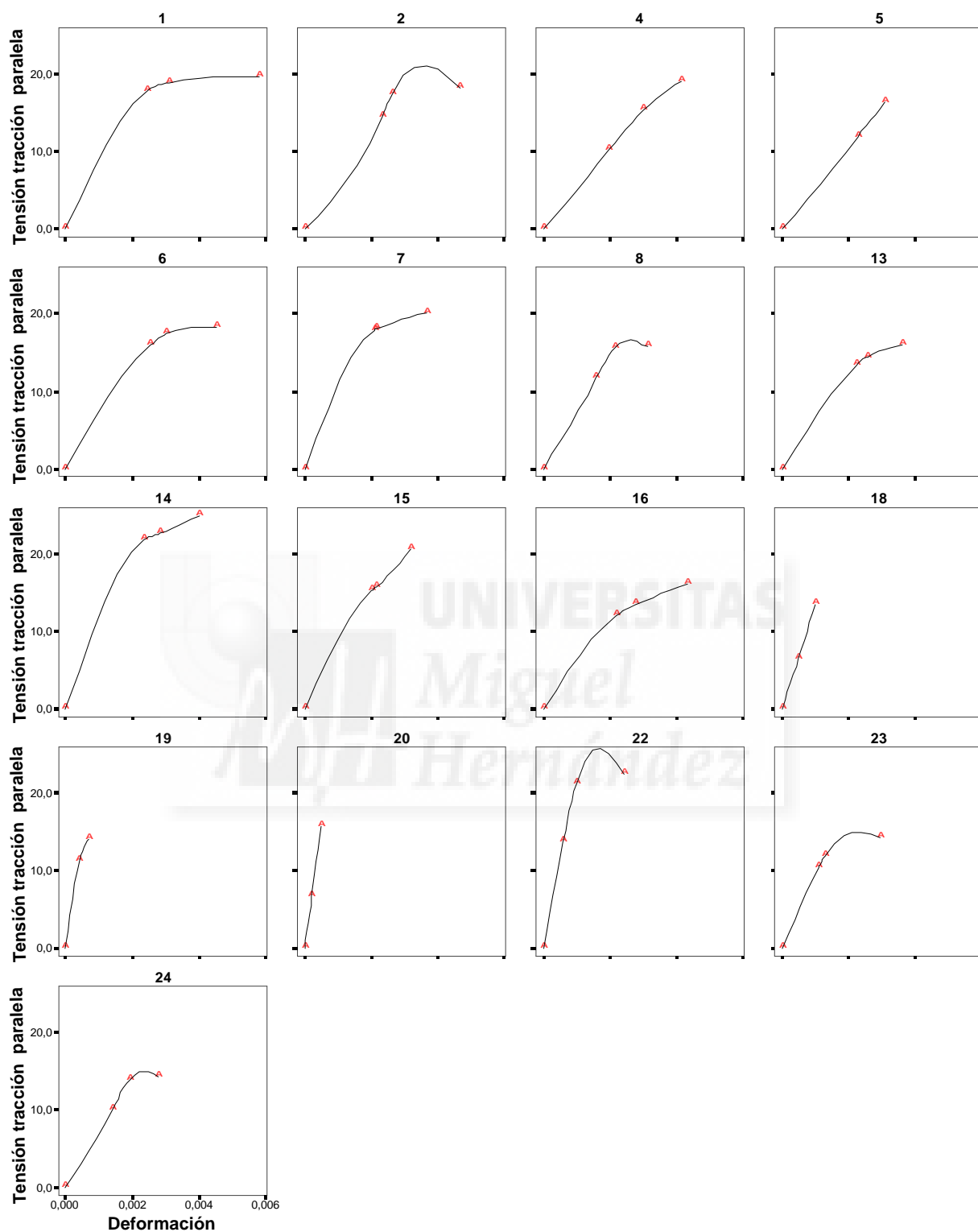


Fig. 4.62. Diagramas de tensión a tracción paralela- deformación unitaria.

Los diagramas de la figura 4.62 nos indican que la caña común varía su comportamiento a tracción paralela a las fibras, en función del contenido de humedad, ya que se observan curvas diferentes, por lo que para obtener los resultados de tensiones y deformaciones medios tendremos que tener en cuenta la humedad de la caña.

El análisis estadístico del ensayo consistió en analizar el comportamiento de las variables en sus 17 subpoblaciones, mediante el análisis de la varianza, las pruebas de homogeneidad de varianzas y las pruebas robustas de igualdad de medias para comprobar su significación.

Realizado el análisis de la varianza mediante el programa estadístico SPSS, se obtuvo que había correlación entre variables y que no existían diferencias significativas para un error del 5% entre los ensayos, como indica la tabla 4.21.

Tabla 4.21. Análisis de la varianza de los ensayos a tracción paralela.

Prueba de homogeneidad de varianza

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TRACCIÓN PARALELA	0,27116781	16	68	0,9973151
DEFORMACIÓN	1,03136947	16	68	0,4365479

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRACCIÓN PARALELA	Inter-grupos	570,360881	16	35,647555	0,69670565	0,78735354
	Intra-grupos	3479,27959	68	51,1658764		
	Total	4049,64048	84			
DEFORMAC UNITARIA	Inter-grupos	7,9462E-05	16	4,9663E-06	1,03617194	0,43189929
	Intra-grupos	0,00032592	68	4,793E-06		
	Total	0,00040538	84			

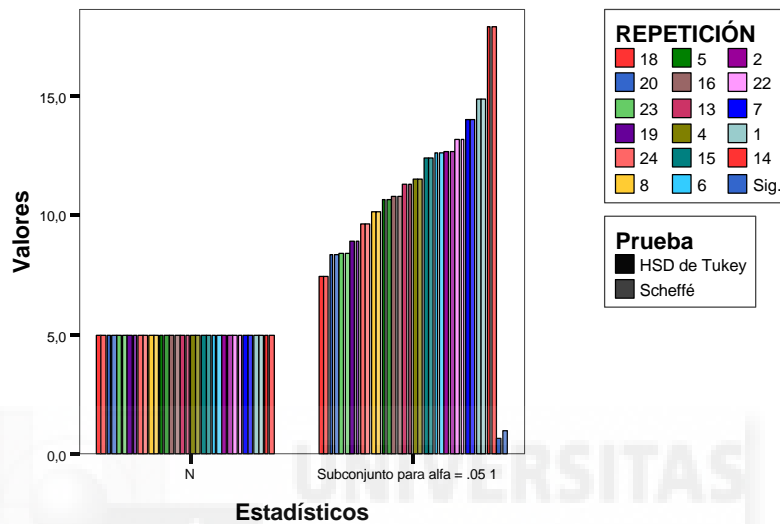
Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
TRACCIÓN PARALELA	Welch	0,458	16	25,489	0,946
	Brown-Forsythe	0,697	16	58,970	0,786
DEFORMAC. UNITARIA	Welch	1,393	16	25,378	0,222
	Brown-Forsythe	1,036	16	49,434	0,438

a Distribuidos en F asintóticamente.

Utilizando los métodos de Tukey y de Scheffé para las comparaciones múltiples de los ensayos hasta la tensión de rotura, se obtuvo que no había diferencias significativas para un error del 5% , utilizando un tamaño muestral $N = 5$ como indica la figura 4.63.

TRACCION PARALELA



DEFORMACIÓN

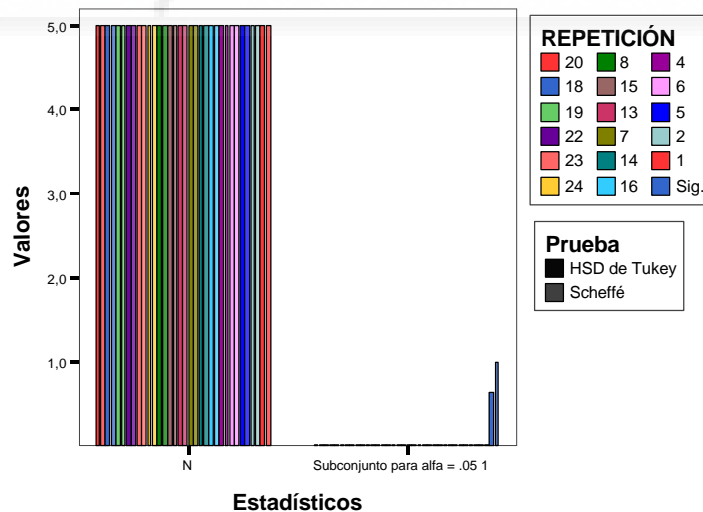


Fig. 4.63. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos a tracción paralela.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para

detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica = 1) es mayor que 0,05 como indica la tabla 4.22, se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

Tabla 4.22. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a compresión paralela.

Estadísticos de contraste.

	TRACCIÓN PARALELA	DEFORMAC. UNIT.
Chi-cuadrado ^(a,b)	0,971	0,000
gl	67	68
Sig. asintót.	1,000	1,000

a 68 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

b 69 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,0.

En la zona elástica proporcional se ha obtenido asimismo una distribución normal y mediante la correlación de Pearson, se ha hallado la recta de regresión para distinta humedad, con intervalo de predicción de la media del 95 %.

$$\text{Humedad 8 \%} \quad R^2 = 0,91.$$

$$\text{Humedad 13,7 \%} \quad R^2 = 0,93.$$

En la figura 4.64 se indica el diagrama medio de tensión a tracción paralela a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.) en la zona elástica proporcional, respecto a la deformación unitaria, también se obtiene el módulo de elasticidad E longitudinal en función de la humedad.

Los resultados medios de las variables obtenidas de los ensayos mediante análisis estadístico con el programa SPSS se indican en la tabla 4.23. donde se resumen los valores medios obtenidos en el ensayo, junto con las desviaciones estándar. Se obtiene el módulo de elasticidad longitudinal "E", tensión y deformación proporcional σ_p y ϵ_p , y deformación y tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura, ϵ_R y σ_R , distinguiendo dichos esfuerzos y deformaciones en función de la humedad de las probetas ensayadas.

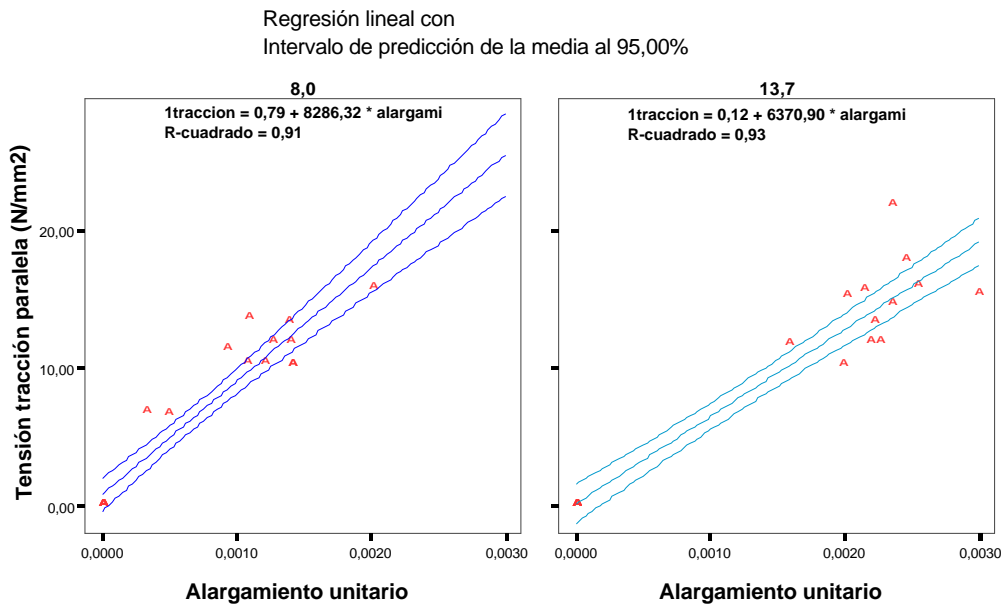


Fig. 4.64. Comportamiento en ejes de tensión a tracción paralela
elástica proporcional-deformación unitaria.

Tabla 4.23. Resultados. Ensayos a tracción paralela a las fibras de la caña común
(*Arundo donax* L.)

Humedad muestra %		Módulo de elasticidad longitudinal E (N/mm ²)	Tensión proporcional σ_p (N/mm ²)	Deformación proporcional unitaria ϵ_p	Tensión a rotura σ_R (N/mm ²)	Deformación rotura unitaria ϵ_R
8	Media	8286	11,72	0,00141	15,71	0,002014996
	Desv. típ.		1,46	0,00123	3,325	0,00068
	Error tip.media		0,73	0,00013	1,35	0,000152
13,7	Media	6370	15,93	0,0025	18,44	0,00299
	Desv. típ.		1,93	0,0014	2,19	0,00025
	Error tip.media		0,863	0,000224	0,883	0,00025
11,4	Media	7007	14,31	0,00199	17,41	0,00253

En los valores medios obtenidos se observa que las tensiones a tracción paralela a las fibras de la caña común, aumentan aproximadamente un 1,35 % cuando la humedad aumenta desde 8 a 13,7 %, y también se produce un incremento de la deformación

unitaria, aumentando por tanto la zona de comportamiento elástica y la zona de fortalecimiento de la caña común.

En los resultados se observa que mejoran las propiedades a tracción paralela de la caña común, cuanto mayor es el contenido de humedad, aumentan las resistencias y disminuyendo algo la rigidez al disminuir el módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young “E”.

Se puede observar de forma intuitiva como afecta la humedad a las propiedades mecánicas de la caña común, en el diagrama de máximos y mínimos de la figura 4.65, donde se comparan los valores medios de la tensión elástica proporcional a tracción paralela a las fibras y a rotura.

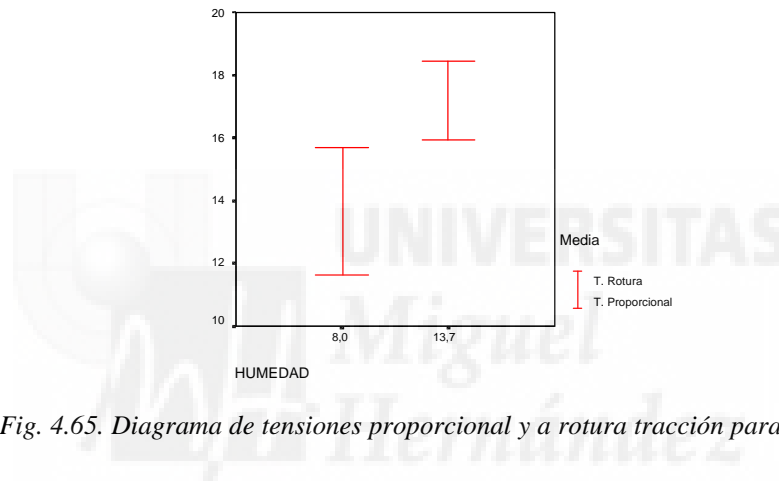


Fig. 4.65. Diagrama de tensiones proporcional y a rotura tracción paralela

La figura 4.66 representa las curvas de comportamiento medio obtenidas de los ensayos a tracción paralela- deformación unitaria a distinta humedad, estas curvas indican que la caña común se comporta a tracción paralela a las fibras como un material frágil, pues no existe zona elastoplástica ni de fortalecimiento, aunque no colapsa pasa rápidamente a la zona plástica.

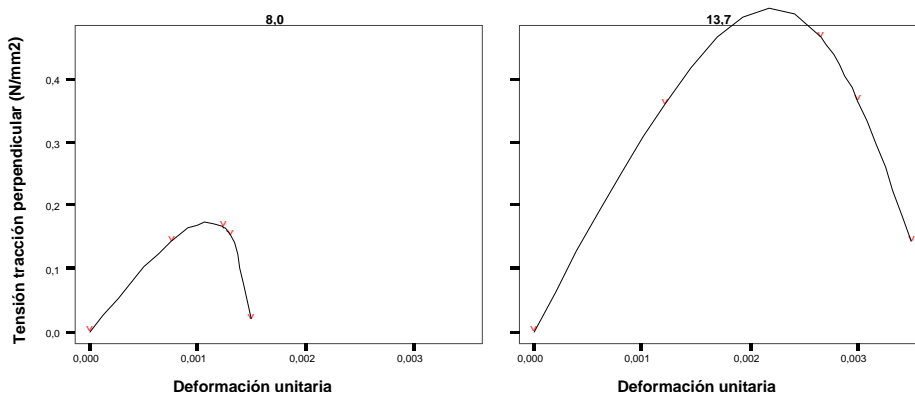


Fig. 4.66. Curvas medias de tensión a tracción paralela-deformación.

B.- TRACCIÓN PERPENDICULAR.

Al no disponer de información sobre el comportamiento de la caña común (*Arundo donax* L.) a tracción perpendicular, para hallar el número de repeticiones de los ensayos necesarios se realizaron ensayos previos.

Cálculo del número de repeticiones de ensayo necesarias para la obtención de la tensión de rotura σ_R , mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $\sigma_R = 0,15 \text{ N/mm}^2$ y $\sigma_R = 0,45 \text{ N/mm}^2$.

$$\text{Cañas 8 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,018^2}{0,015^2} = 5,76 \approx 6 \quad (4.45)$$

$$\text{Cañas 13,7 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,06^2}{0,045^2} = 7,1 \approx 8 \quad (4.46)$$

Se han realizado 11 repeticiones de ensayos con caña común con un 8% de humedad y 13 repeticiones con caña con un 13,7 %. Las muestras se eligieron al azar entre cañas liseras, obtenidas de 50 cañas liseras comerciales, cortadas de distintos tramos de la caña y no correspondiendo ninguna muestra a la misma. Las probetas de caña eran sin nudos, correspondiendo los diámetros exteriores y los espesores a los valores medios de las muestras, siendo los que se exponen en la tabla 4.24.

Tabla 4.24. Dimensiones de las muestras para ensayos a tracción perpendicular.

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
1	29,80	4,83	150	13,7
2	30,05	4,41	150	13,7
3	21,52	3,47	150	13,7
4	29,33	3,80	150	13,7
5	25,64	4,26	150	13,7
6	23,02	3,26	150	13,7
7	27,39	3,98	150	13,7
8	22,38	3,36	150	13,7
9	23,68	3,61	150	13,7
10	25,33	3,73	150	13,7
11	24,26	3,86	150	13,7

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
12	23,59	3,16	150	13,7
13	22,14	3,03	150	13,7
14	20,40	2,25	150	8
15	21,00	2,29	150	8
16	19,97	2,37	150	8
17	19,19	2,17	150	8
18	20,89	2,48	150	8
19	20,11	2,25	150	8
20	20,89	2,46	150	8
21	20,43	2,38	150	8
22	25,09	2,47	150	8
23	24,58	2,85	150	8
24	25,24	2,56	150	8

En la realización del ensayo se anotaron para cada muestra más de 15 puntos de deformación y esfuerzo aplicado.

Las curvas esfuerzo-deformación características obtenidas en cada una de las muestras son como las que se observan en la figura 4.67.

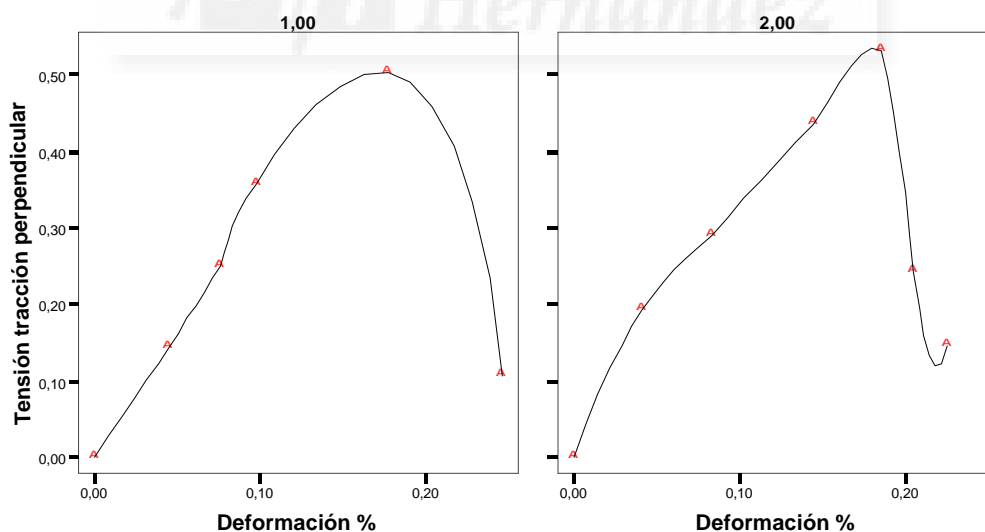
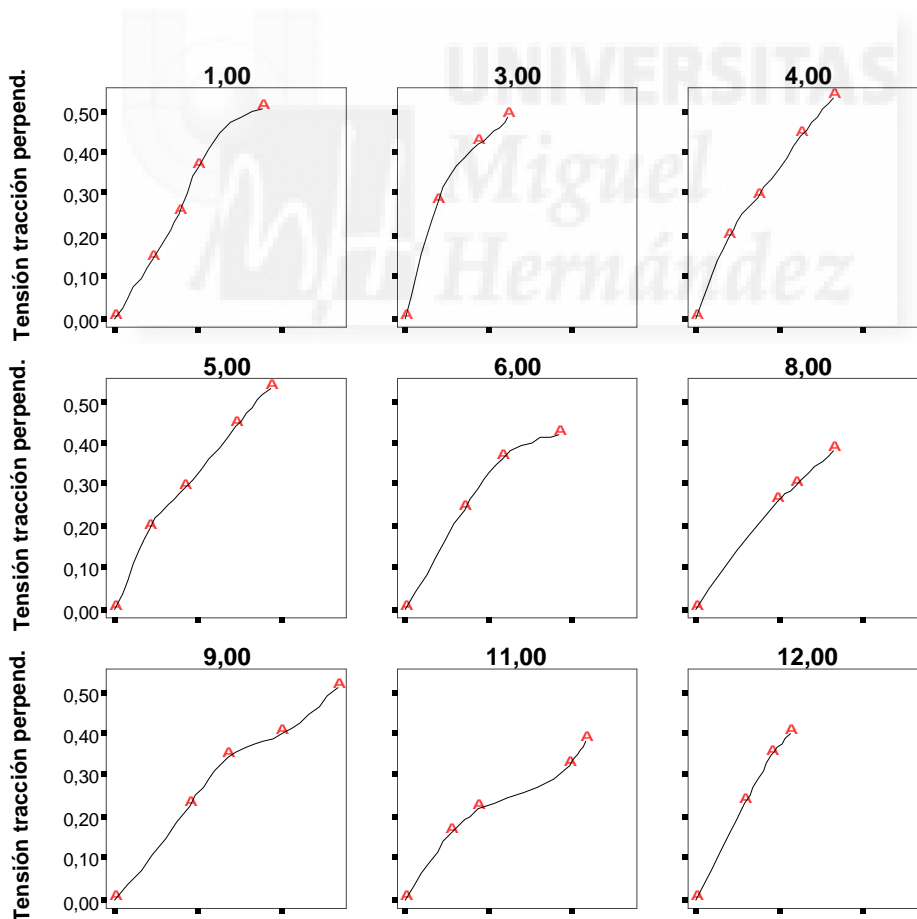


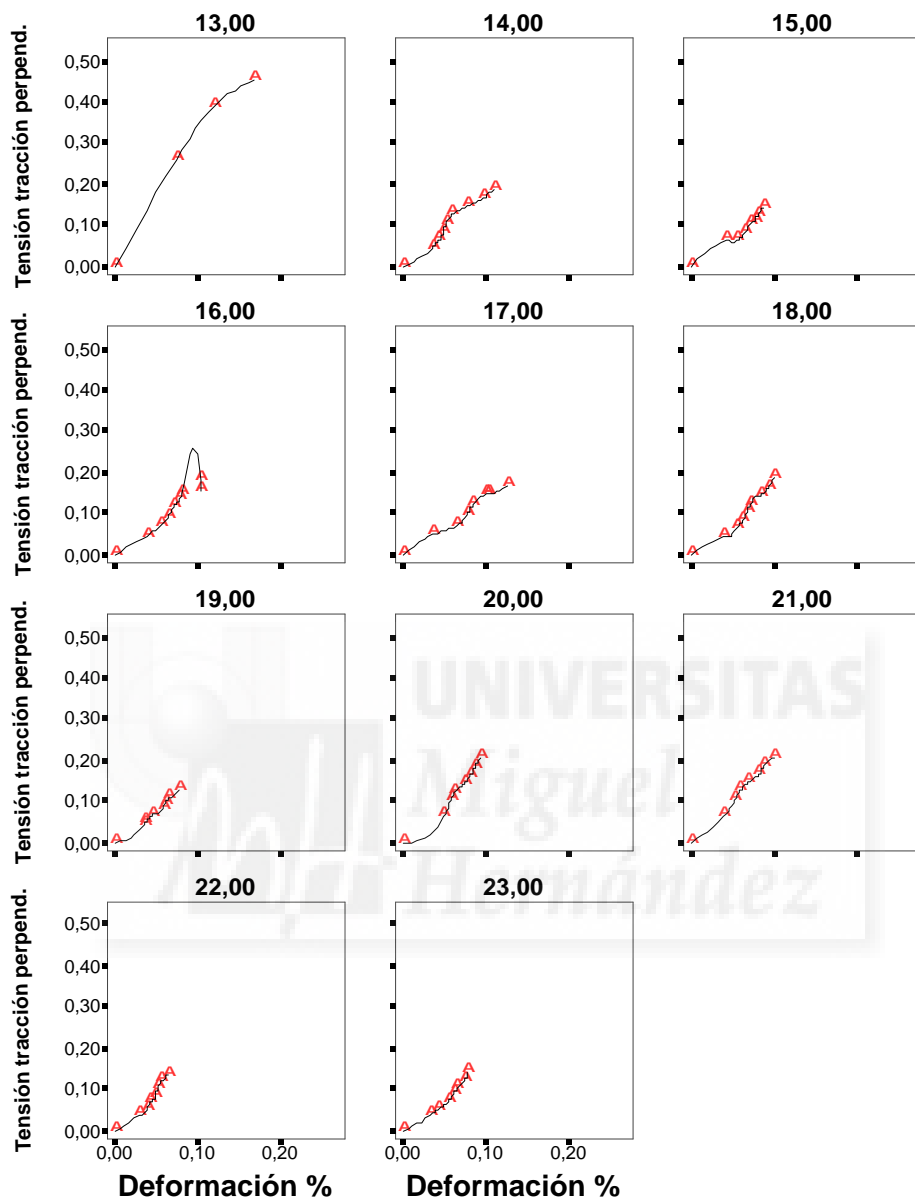
Fig. 4.67. Curvas tensión de tracción perpendicular- deformación unitaria de los ensayos 1 y 2.

En estas curvas se observan que la caña común pasa directamente de la zona elástica a rotura, no existiendo una zona de fortalecimiento. De las curvas obtenidas podemos como una primera aproximación decir, que la caña común se comporta como un material frágil respecto a los esfuerzos a tracción perpendicular, ya que la rotura total se alcanza con un alargamiento aproximado del 0,2 %.

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de los ensayos a tracción perpendicular indirecta de la caña común (*Arundo donax* L.) como material de construcción, consideraremos para la obtención de los valores medios, la tensión proporcional, la tensión máxima a rotura, y desplazamiento instantáneo sobre los puntos pertenecientes a las curvas de todas las muestras útiles en cada ensayo, distinguiendo entre ellas el contenido de humedad.

En la figura 4.68 se muestran los diagramas de esfuerzo deformación de los ensayos válidos hasta la tensión máxima, la cual tomaremos como tensión de rotura.





En el diagrama de dispersión de datos de los ensayos de la figura 4.69, se observa de forma intuitiva, la correlación existente entre los ensayos en función del contenido de humedad, por lo que realizaremos el análisis estadístico en función de la humedad.

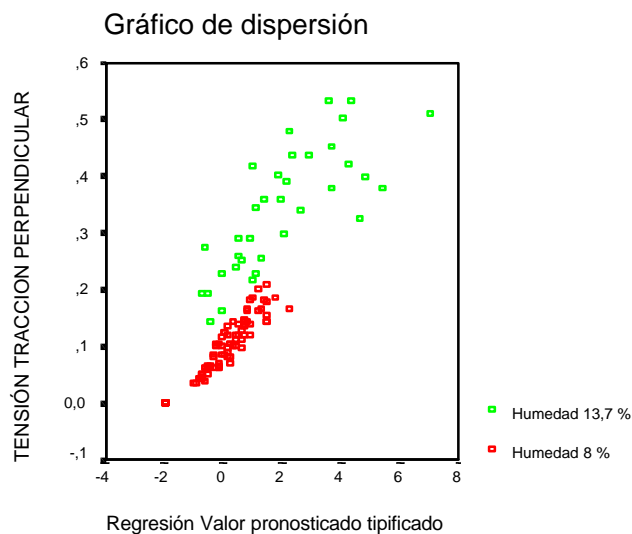


Fig. 4.69. Diagrama de dispersión de datos de ensayos a tracción perpendicular

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias (Welch y Brown-Forsythe) mediante el programa estadístico SPSS, se obtuvo que existía correlación entre variables como indica la tabla 4.25 y figuras 4.70 y 4.71 en función del contenido de humedad de la caña común.

TABLA 4.25. Prueba de homogeneidad de varianzas.

8% HUMEDAD

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TENSION T. PERPEND	0,472	9	72	0,889
DEFOR. UNIT	0,428	9	72	0,916

13,7% HUMEDAD

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DEFOR. UNIT	0,548	9	35	0,829
TENSIÓN T. PERPEND	0,114	9	35	0,999

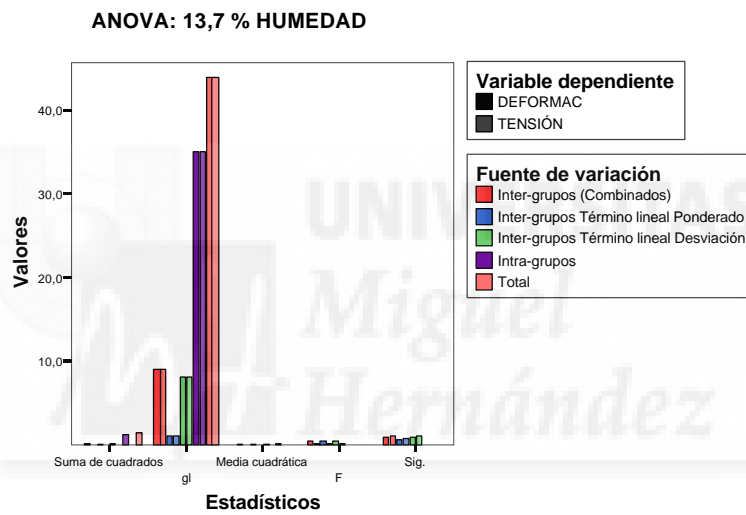
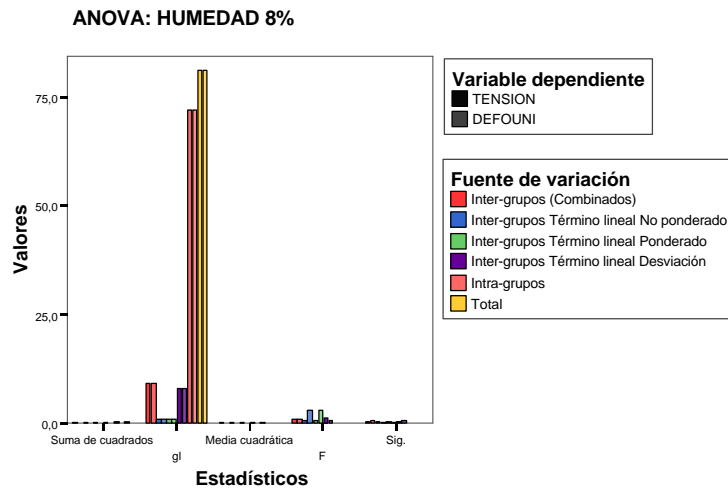
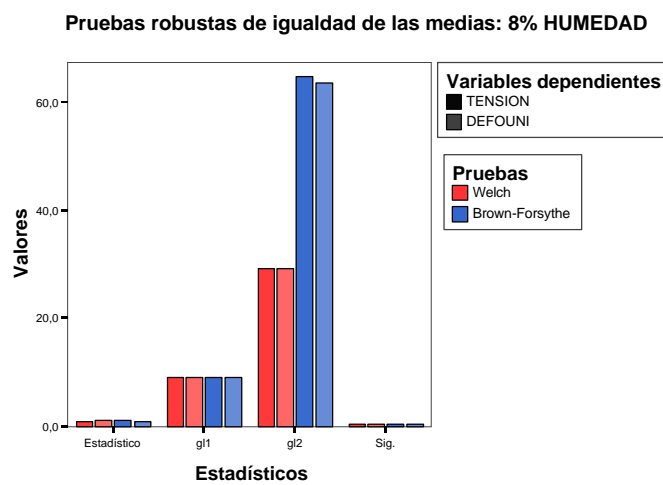


Fig. 4.70. Análisis de la varianza de los ensayos a tracción perpendicular.



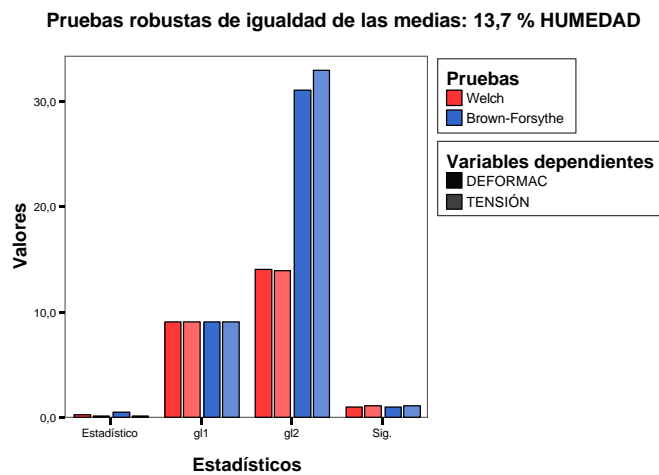


Fig. 4.71. Análisis estadístico de las pruebas de los ensayos a tracción perpendicular.

Utilizando para las comparaciones múltiples el método de Tukey y el de Scheffé se obtuvo que no existían diferencias significativas para un error del 5% entre los ensayos como se indica en la figura 4.72.

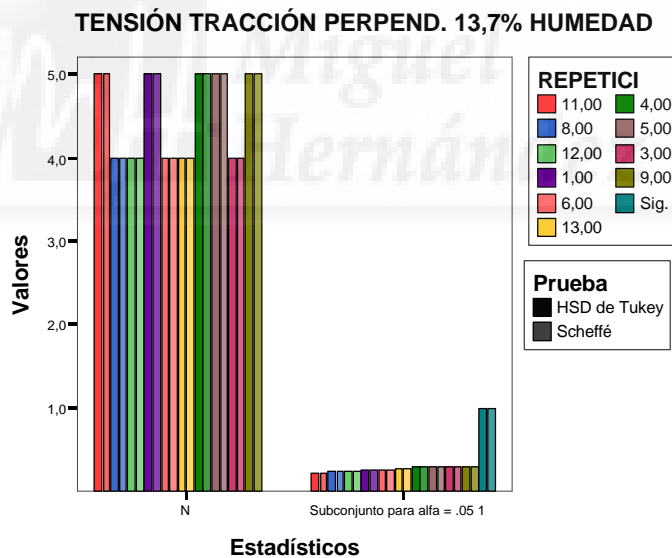


Fig. 4.72. Comparaciones múltiples entre los ensayos a tracción perpendicular.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica $\geq 0,904$) es mayor que 0,05

como indica la tabla 4.26, se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

Tabla 4.26. Prueba χ^2 -cuadrado de los ensayos a compresión paralela.

Estadísticos de contraste:

	TENSIÓN TRAC. PERP.	DEFOR. UNIT
Chi-cuadrado ^(a,b)	56,878	56,976
gl	72	73
Sig. asintót.	0,904	0,916

a 73 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

b 74 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,1.

En la zona de comportamiento mecánico proporcional se ha obtenido una distribución normal y la recta de regresión para distinta humedad, con intervalo de predicción de la media del 95 %, así como el módulo de elasticidad transversal E.

Humedad 13,7 % $R^2 = 0,92$.

Humedad 8 % $R^2 = 0,92$.

Como indica la figura 4.73 donde se observa el diagrama tensión de tracción perpendicular a las fibras de la caña común, hasta la zona elástica proporcional en relación a la deformación unitaria.

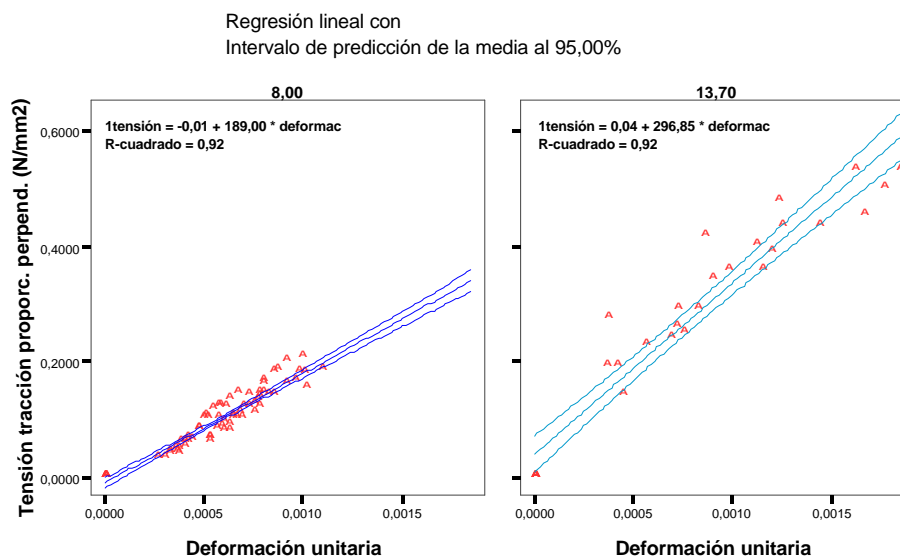


Fig. 4.73. Tensión media de tracción perpendicular proporcional-deformación.

Los resultados medios de tensión proporcional y tensión a rotura a tracción perpendicular a las fibras de la caña común obtenidos en los ensayos mediante análisis estadístico con el programa SPSS se indican en la tabla 4.27.

Tabla 4.27. Resultados. Tensión media a tracción perpendicular a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.)

Humedad muestra %		Módulo de elasticidad transversal E (N/mm ²)	Tensión proporcional σ_p (N/mm ²)	Deformación proporcional unitaria ϵ_p	Tensión a rotura σ_R (N/mm ²)	Deformación rotura unitaria ϵ_R
8	Media	189	0,1444	0,00076	0,1668	0,00123
	Desv. típ.		0,01786	0,00028	0,01949	0,0241
	Error tip. med.		0,00881	3,326 E-05	0,00933	0,0091
13,7	Media	296	0,3611	0,001219	0,4660	0,00266
	Desv. típ.		0,0385	0,00058	0,0337	0,0702
	Error tip. med.		0,0145	0,00011	0,0150	0,0027
11,4	Media	254	0,2527	0,00099	0,3085	0,00194

En los resultados se observa que mejoran las propiedades mecánicas de la caña común en dirección perpendicular a las fibras cuanto mayor es el contenido de humedad, o sea que mayor densidad, aumentan las propiedades mecánicas perpendiculares a tracción y compresión.

Esto se puede observar de forma intuitiva en el diagrama de máximos y mínimos de la figura 4.74 donde se comparan los valores medios de la tensión elástica proporcional y la tensión de rotura a esfuerzos de tracción perpendicular a las fibras, en función de la humedad.

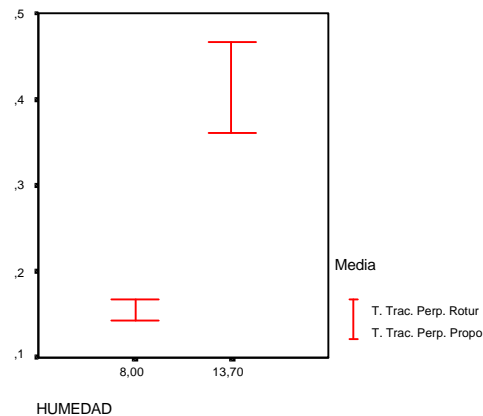


Fig. 4.74. Diagrama máx. y mín. de tensiones a tracción perpendicular.

La figura 4.75 representa las curvas medias obtenidas en los ensayos de tensión a tracción perpendicular-deformación unitaria en función del contenido de humedad de la caña común.

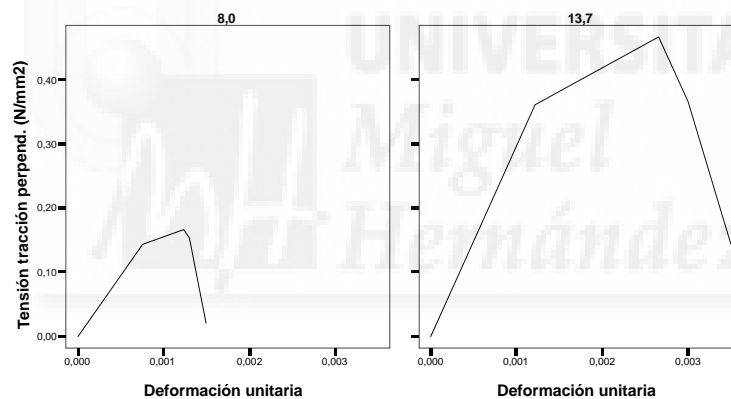


Fig 4.75. Curva media de tensión a tracción perpendicular-deformación.

Si analizamos el comportamiento y los resultados de los ensayos a tracción paralela y perpendicular a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.), comprobamos la gran anisotropía de la caña común, que ya quedó indicada en apartados anteriores, en función de las dimensiones de sus fibras en el sentido longitudinal y transversal.

En la tabla 4.28 establecemos dicha relación para valores medios ya que la caña común en función de la humedad ambiente tendrá un contenido de humedad entre un 8% y un 13,7 % en la zona geográfica de estudio (Vega Baja).

Tabla 4.28. Comparación de las propiedades mecánicas a tracción paralela y perpendicular a las fibras de la caña común, para una humedad media de 11,4%.

	Esfuerzos de tracción paralela a las fibras	Esfuerzos de tracción perpendicular a las fibras
Módulo E (N/mm ²)	7007	254
Tensión proporcional (N/mm ²) σ_p	14,31	0,2527
Tensión a rotura (N/mm ²) σ_R	17,41	0,3085
Deformación unitaria a rotura ϵ_R	0,00253	0,00194

En esta tabla se observa la diferencia entre los esfuerzos a tracción en la dirección longitudinal y transversal igual que para los esfuerzos a compresión, lo que confirma la anisotropía de la caña común en función de la longitud de sus fibras.

Los diagramas de la figura 4.78 indican de forma intuitiva la resistencia a esfuerzos a tracción paralela y perpendicular de la caña común, comprobándose que resiste mayores esfuerzos en la dirección paralela a sus fibras y admite mayores deformaciones; y la influencia de la humedad ya que a mayor contenido de humedad de la caña, tanto en la dirección paralela como en la perpendicular a ellas aumentan las resistencias y deformaciones.

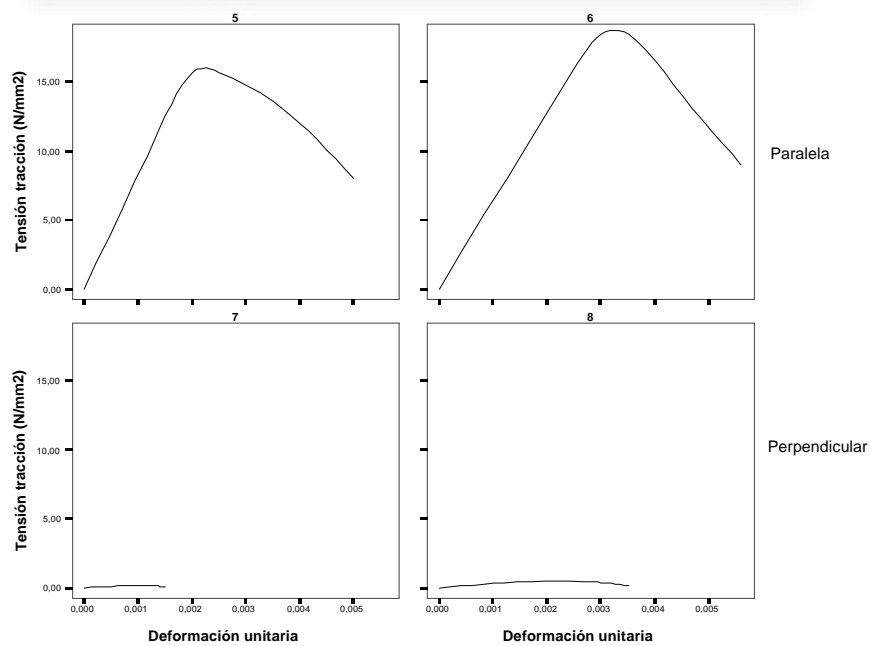


Fig. 4.78. Curvas tensión a tracción-deformación de la caña común.

4.3.1.3.- FLEXIÓN.

La caña común está sometida a flexión en todas las edificaciones que la utilizan, por tanto el ensayo a flexión es el que mejor nos puede indicar su funcionamiento como material de construcción.

Para hallar el número de repeticiones de ensayos necesarias se realizaron pruebas previas, ya que no había información sobre el comportamiento a flexión de la caña común (*Arundo donax* L.).

Cálculo del número de repeticiones de ensayos necesarias para la obtención de la tensión de rotura σ_R , mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $\sigma_R = 28 \text{ N/mm}^2$ y $\sigma_R = 36 \text{ N/mm}^2$.

$$\text{Cañas 8 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 3,2^2}{2,8^2} = 5,22 \approx 6 \quad (4.47)$$

$$\text{Cañas 13,7 \% humedad} \quad r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 5,5^2}{3,6^2} = 9,33 \approx 10 \quad (4.48)$$

Se han realizado 10 repeticiones de ensayos con caña común con un 8 % de humedad y 13 repeticiones con caña con un 13,7 % de humedad. Las muestras se eligieron al azar entre cañas liseras comerciales, obtenidas de 50 cañas liseras comerciales, cortadas de distintos tramos de la caña y no correspondiendo ninguna muestra a la misma caña. Las probetas se cortaron sin nudos, correspondiendo los diámetros exteriores y los espesores a los valores medios de las muestras, siendo sus dimensiones las que se muestran en la tabla 4.29.

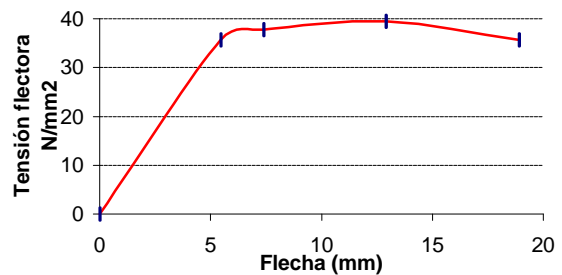
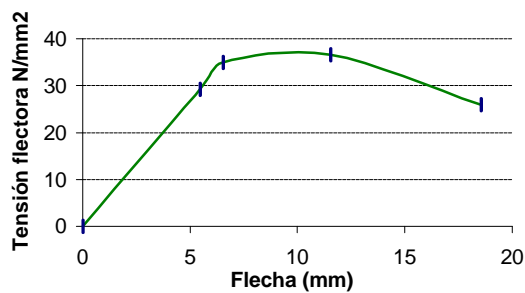
Tabla 4.29. Dimensiones de las muestras para ensayos a flexión:

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
1	14,85	1,60	70	13,7
2	16,52	1,52	70	13,7
3	16,24	1,61	70	13,7
4	16,50	1,52	70	13,7
5	16,06	1,74	70	13,7

Nº muestra	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)
6	15,61	1,52	70	13,7
7	15,20	1,35	70	13,7
8	18,71	1,68	70	13,7
9	17,35	1,66	70	13,7
10	19,60	2,10	70	13,7
11	17,93	2,11	70	13,7
12	17,86	1,72	70	13,7
13	16,57	1,51	70	13,7
14	14,48	1,25	70	13,7
15	16,50	1,54	70	13,7
16	15,35	1,55	70	8
17	21,64	2,35	70	8
18	21,90	2,31	70	8
19	21,61	2,27	70	8
20	21,05	2,06	70	8
21	20,54	2,26	70	8
22	21,73	2,47	70	8
23	22,31	2,29	70	8
24	22,40	2,35	70	8
25	20,09	2,09	70	8

En la realización de los ensayos se anotaron para cada probeta más de 6 puntos de deformación y esfuerzo aplicado, luego $N = 6$.

Las curvas tensión a flexión-flecha características obtenidas en cada una de las muestras son las que se observan en la figura 4.79, correspondiente a las muestras ensayadas números 1, 2 y 3, que indican el comportamiento de la caña común en el ensayo.



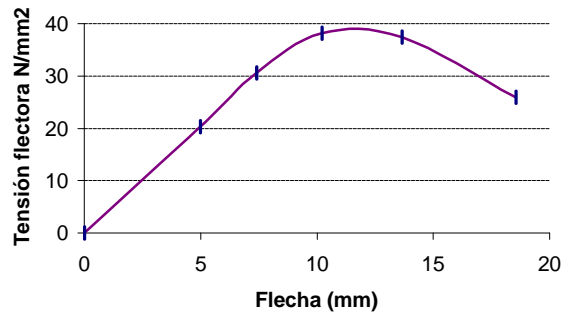


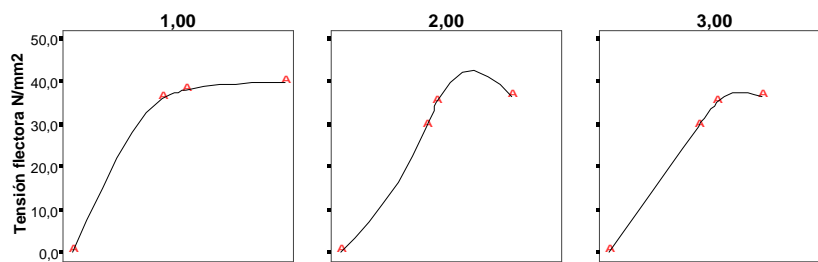
Fig. 4.79. Curvas tensión a flexión- flecha de los ensayos 1, 2 y 3.

En estas curvas se observa un comportamiento de material dúctil, la zona elástica con la subzona proporcional, la zona elastoplástica y la zona plástica, con una flecha para tensión máxima mayor del 5% y la rotura total se alcanza con flechas superiores al 20%. Como material de construcción la tensión máxima se debe considerar como la tensión a rotura ya que a partir de esta zona el material pasa a estado plástico.

Para el análisis estadístico del ensayo solo consideraremos hasta la tensión máxima y calcularemos los valores medios de carga y desplazamiento instantáneo sobre los puntos pertenecientes a las curvas de todas las muestras útiles en cada ensayo, distinguiendo entre ellas el contenido de humedad.

Para poder comparar la resistencia de la caña común a flexión con las resistencia que presenta a otros esfuerzos mecánicos, construiremos las curvas esfuerzo-deformación relacionando la tensión debida a flexión con el alargamiento unitario de las fibras inferiores.

En la figura 4.80 se muestran los diagramas de tensión a flexión-deformación unitaria de los ensayos válidos hasta la tensión máxima.



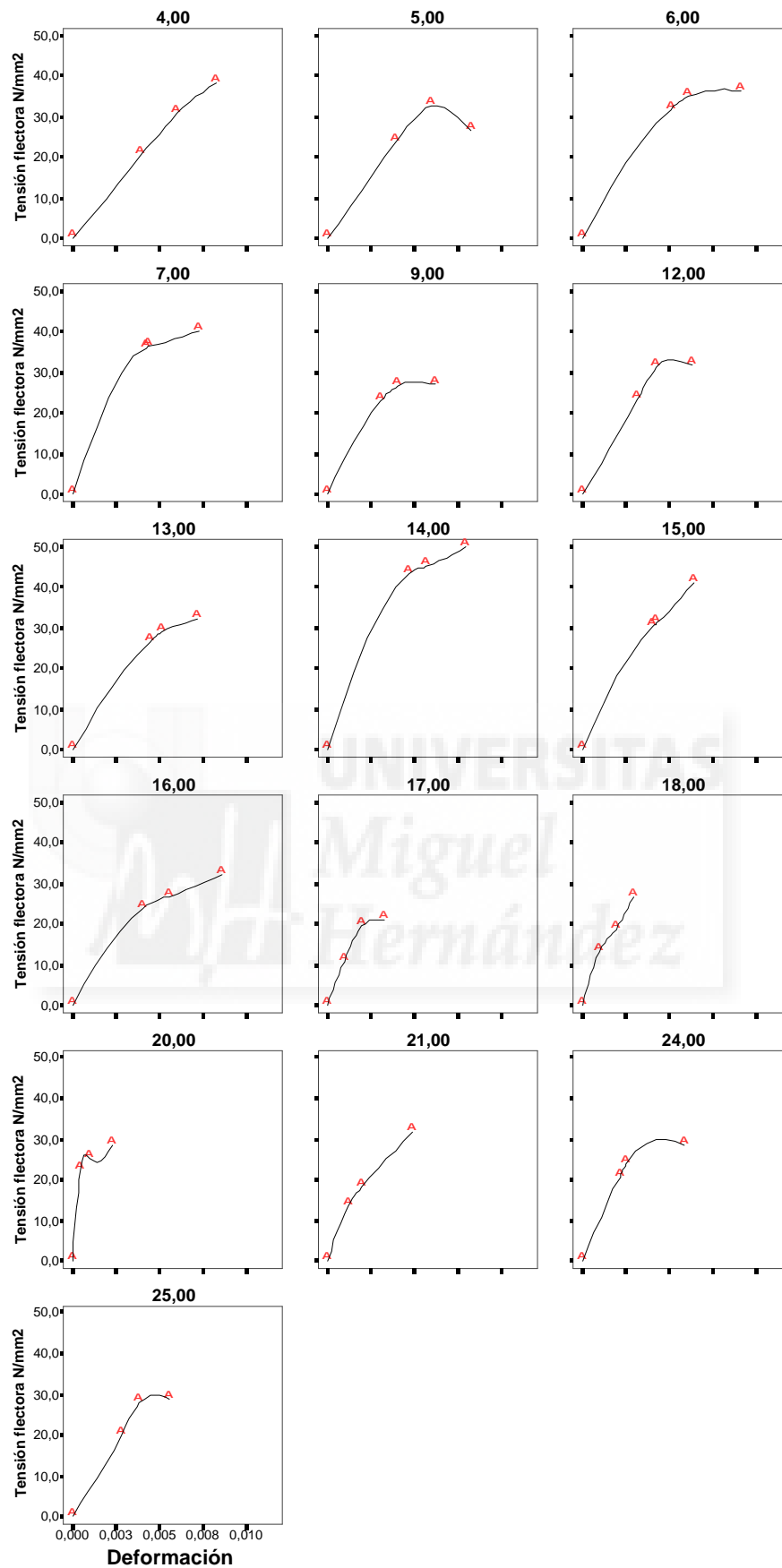


Fig. 4.80. Diagramas de tensión a flexión- deformación unitaria de cada uno de los ensayos.

El diagrama de dispersión de la figura 4.81 nos indica que la caña común varía su comportamiento a flexión, en función de la absorción de agua, por lo que para obtener los resultados de esfuerzos y deformaciones medios tendremos que tener en cuenta la humedad que contiene la caña.

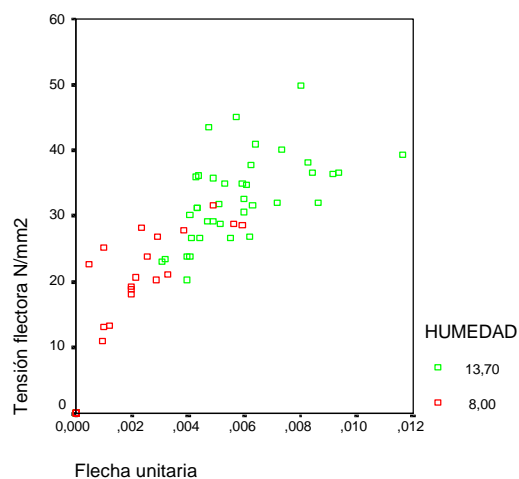


Fig. 4.81. Diagrama de dispersión de los ensayos a flexión.

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias (Welch y Brown-Forsythe) mediante el programa estadístico SPSS, se obtuvo que existía correlación entre variables como indica la tabla 4.29 y la figura 4.82.

Tabla 4.30. Análisis de la varianza.

Prueba de homogeneidad de varianzas: TENSIÓN FLEXIÓN

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,348	18	57	0,992

ANOVA: TENSIÓN FLEXIÓN

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	(Combinados)	2006,546	18	111,475	0,458	0,965
	Término lineal	584,947	1	584,947	2,404	0,127
	Desviación	1421,599	17	83,623	0,344	0,991
Intra-grupos		13867,452	57	243,289		
Total		15873,999	75			

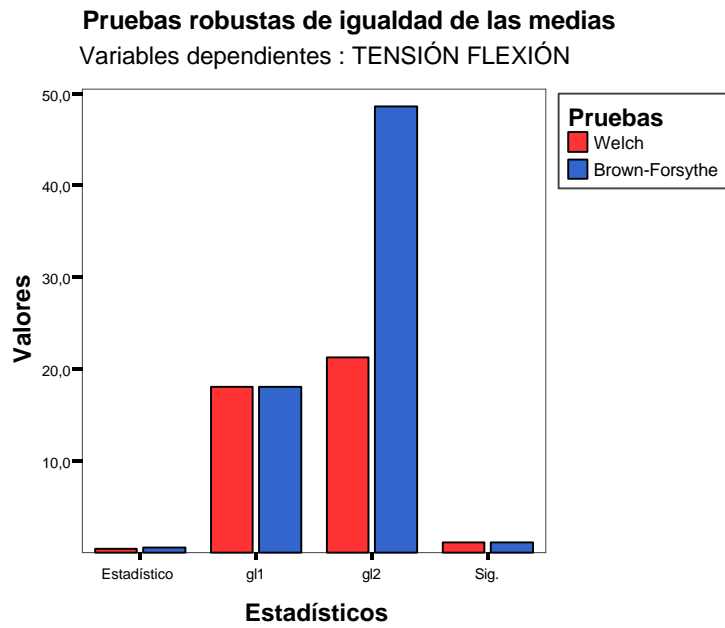


Fig. 4.82. Pruebas robustas de igualdad de medias ensayos a flexión.

Utilizando para las comparaciones múltiples entre las repeticiones de los ensayos el método de Tukey, de Duncan y de Scheffé, se obtuvo que no existían diferencias significativas para un error del 5% entre las pruebas como se indica en la figura 4.83.

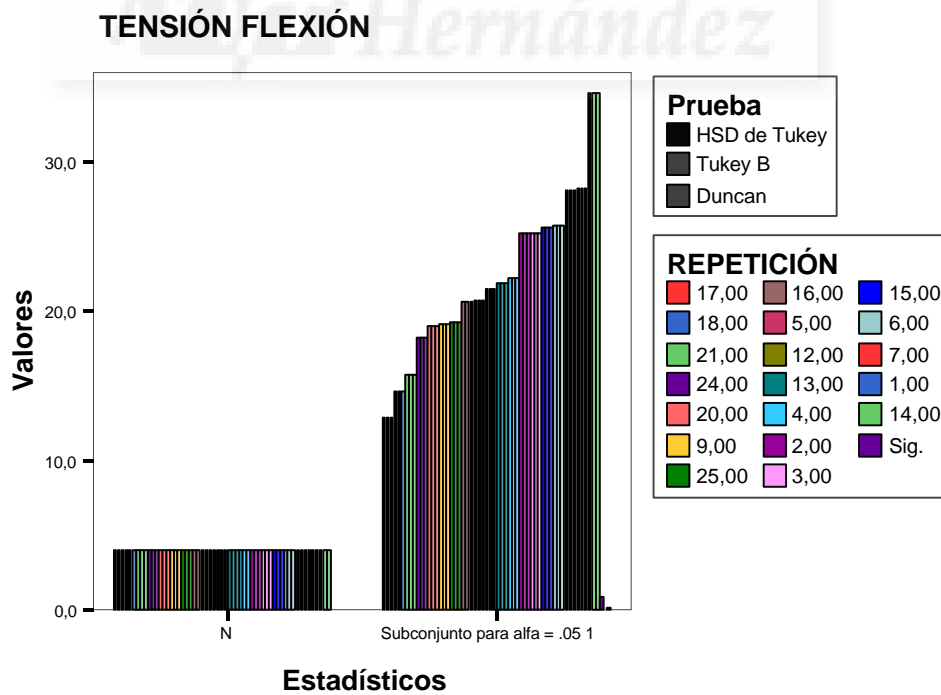


Fig. 4.83. Comparaciones múltiples entre los ensayos.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo, utilizando el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obtenemos que el ensayo es significativo, como indica la tabla 4.30.

Tabla 4.31. Estadísticos de contraste

8% HUMEDAD

	TENSIÓN FLEXIÓN	DEFORMAC
Chi-cuadrado ^(a, b)	18,750	18,750
gl	18	18
Sig. asintót.	0,407	0,407

a 19 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

b 19 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

13,7% HUMEDAD

	TENSIÓN FLEXIÓN	DEFORMAC
Chi-cuadrado ^(a, b)	43,167	48,000
gl	24	27
Sig. asintót.	0,050	0,068

a 25 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,4.

b 28 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

En la zona de comportamiento mecánico proporcional se ha obtenido una distribución normal y la recta de regresión para distinta humedad, con intervalo de predicción de la media del 95 %, obteniendo al relacionar tensión con el alargamiento de las fibras inferiores el módulo de elasticidad longitudinal "E".

$$\text{Humedad 8 \%} \quad R^2 = 0,91.$$

$$\text{Humedad 13,7 \%} \quad R^2 = 0,92.$$

Como indica la figura 4.84, donde se observa el diagrama tensión a flexión de la caña común, hasta la zona elástica proporcional en relación a la deformación unitaria.

Los resultados medios de tensión elástica proporcional y tensión de rotura a flexión de la caña común (*Arundo donax* L.) obtenidos en los ensayos, mediante análisis estadístico con el programa SPSS se indican en la tabla 4.31.

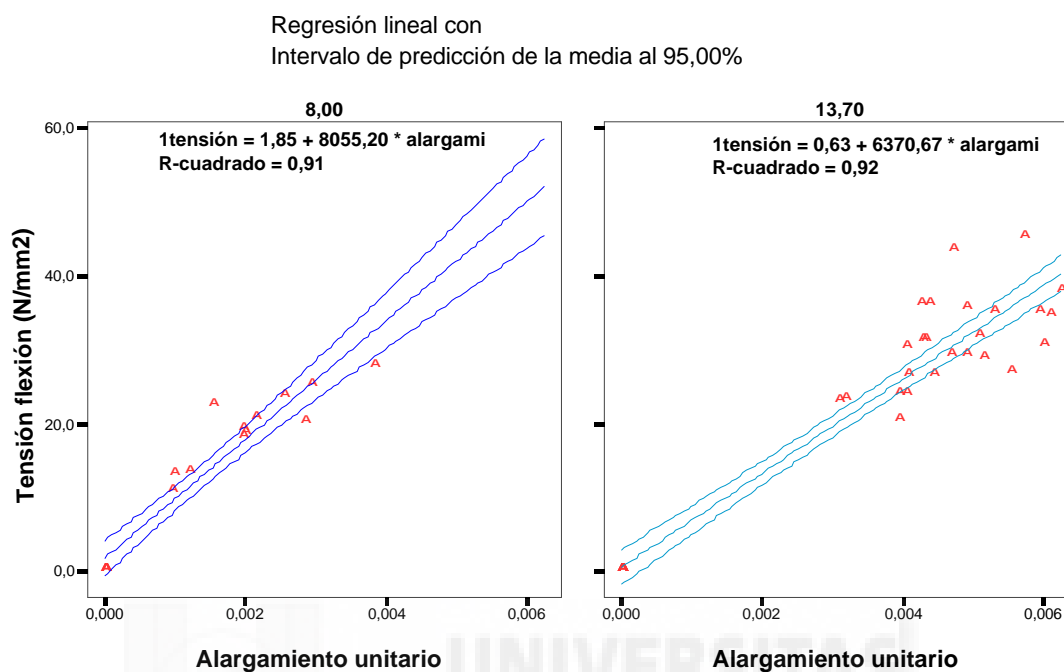


Fig. 4.84. Comportamiento en ejes de tensión media a flexión proporcional-deformación unitaria en función de la humedad de la caña.

La tabla 4.32 resumen los valores medios obtenidos en el ensayo, junto con las desviaciones estándar y errores típicos de la media. Se obtiene el módulo de elasticidad longitudinal “E”, tensión y deformación proporcional σ_p y ϵ_p , y deformación y tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura, ϵ_R y σ_R , distinguiendo dichos esfuerzos y deformaciones en función de la humedad de las probetas ensayadas.

Tabla 4.32. Resultados. Tensión a flexión de la caña común (*Arundo donax* L.).

Humedad muestra %		Módulo de elasticidad longitudinal E (N/mm ²)	Tensión proporcional σ_p (N/mm ²)	Deformación proporcional unitaria ϵ_p	Tensión a rotura σ_R (N/mm ²)	Deformación rotura unitaria ϵ_R
8	Media	8055	22,17	0,00275	28,78	0,0059
	Desv. típ.		2,931	0,00179	1,734	0,0017
	Error tipo med		1,629	0,00036	0,776	0,00036
13,7	Media	6370	30,891	0,0048	36,386	0,0116
	Desv. típ.		4,59	0,0030	5,73	9,37 E-06
	Error tipo med		1,55	0,0004	1,59	0,0001
11,4	Media	7096	28,14	0,0038	34,27	0,00875

En los resultados se observa que mejoran las propiedades a flexión de la caña común cuanto mayor es el contenido de humedad, o sea que a mayor densidad mayor resistencia a flexión.

En el diagrama de máximos y mínimos de la figura 4.85 se comparan los valores medios de la tensión a flexión elástica proporcional y de rotura, observando que se produce un incremento de la resistencia a flexión en función del incremento de humedad.

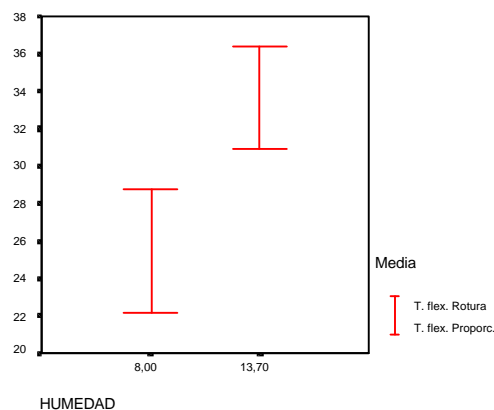


Fig. 4.85. Relación entre tensiones elásticas proporcionales y de rotura a flexión .

Los datos medios obtenidos indican que la caña tiene un buen comportamiento a flexión con resistencias elevadas, quizás el problema como material de construcción sea

que alcanza grandes deformaciones y es poco rígida comparándola con otros materiales, por lo que habrá que tener en consideración la flecha.

La figura 4.86 representa la curva media de flexión-deformación unitaria en función de la humedad de la caña común, obtenida en los ensayos que nos indica el funcionamiento de este material a esfuerzos de flexión.

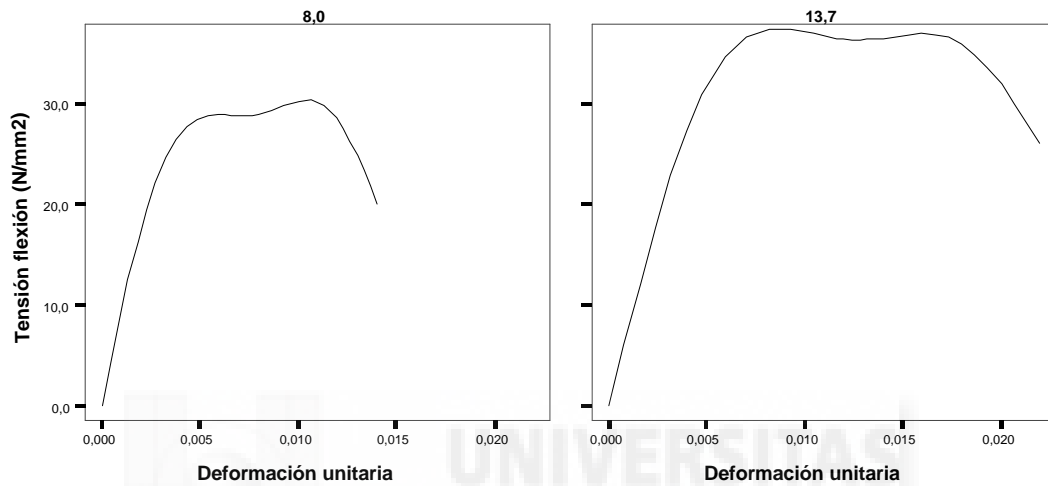


Fig. 4.86. Curvas tensión a flexión-deformación unitaria de la caña común.

4.3.1.4.- CORTANTE.

Los ensayos realizados a flexión en las probetas de caña los utilizaremos para el cálculo de la tensión cortante; debido a que la fuerza aplicada sobre la probeta produce una tensión tangencial sobre la sección recta de la caña común. Tomando como diámetro exterior el diámetro exterior medio y como espesor, el espesor medio. Calculamos para cada repetición de ensayo la tensión tangencial o tensión cortante, mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F \cdot 4}{\pi \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot e)^2)} \quad (4.49)$$

Las curvas esfuerzo tangencial-deformación angular características obtenidas en cada una de las muestras son las que se observan en la figura 4.87 correspondientes a los ensayos de las probetas de caña común 1 y 2.

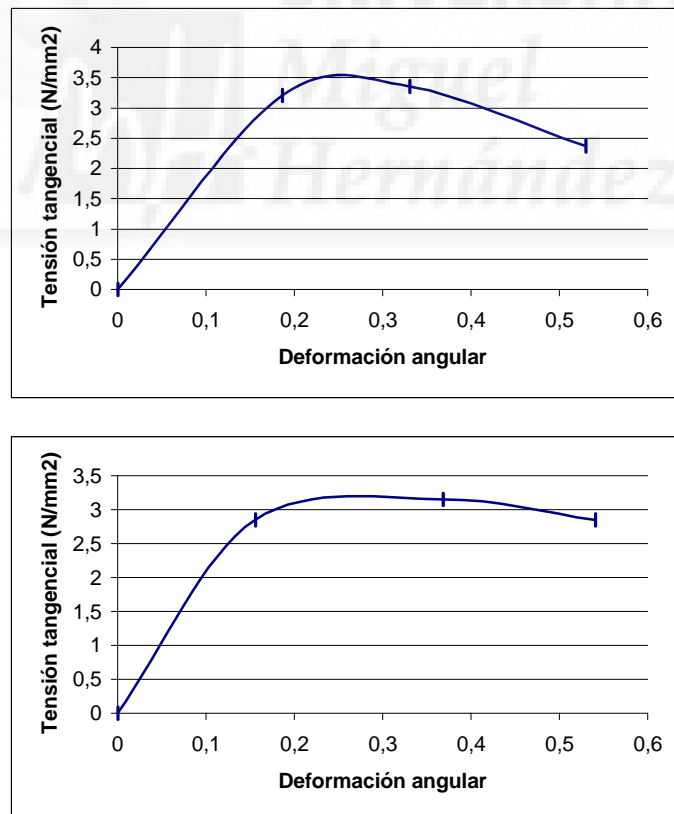


Fig. 4.87. Curvas tensión tangencial- deformación angular de los ensayos 1 y 2 .

En estas curvas se observa un comportamiento de material dúctil, la zona elástica con la subzona proporcional, la zona elastoplástica y la zona plástica, con una deformación para tensión máxima, mayor que el 10 % y la rotura total se alcanza con deformaciones superiores al 15 %. Como material de construcción la tensión máxima se debe considerar como la tensión a rotura ya que a partir de esta zona el material pasa a estado plástico.

En el diagrama de dispersión de datos de la figura 4.88 se observa que la tensión tangencial depende de la humedad de la caña común por lo que se realizarán los análisis en función de la humedad.

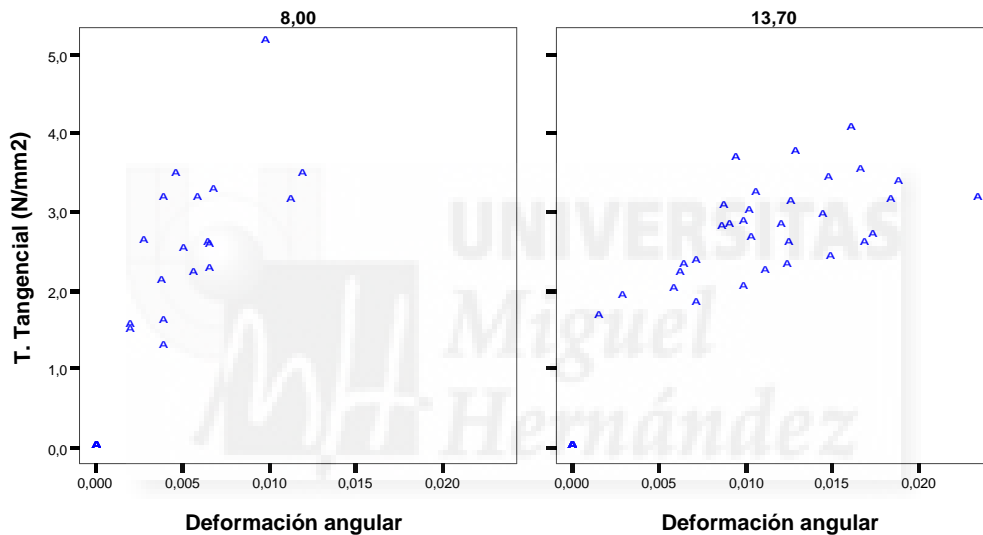


Fig. 4.88. Diagrama de dispersión de datos de tensión cortante en función de la humedad de las probetas.

Para el análisis estadístico del ensayo solo consideraremos hasta la tensión máxima y calcularemos los valores medios de carga y desplazamiento instantáneo, sobre los puntos pertenecientes a las curvas de todas las muestras útiles en cada ensayo, distinguiendo entre ellas el contenido de humedad. En la figura 4.89 se muestran los diagramas de esfuerzo deformación de los ensayos válidos hasta la tensión máxima que consideramos tensión de rotura.

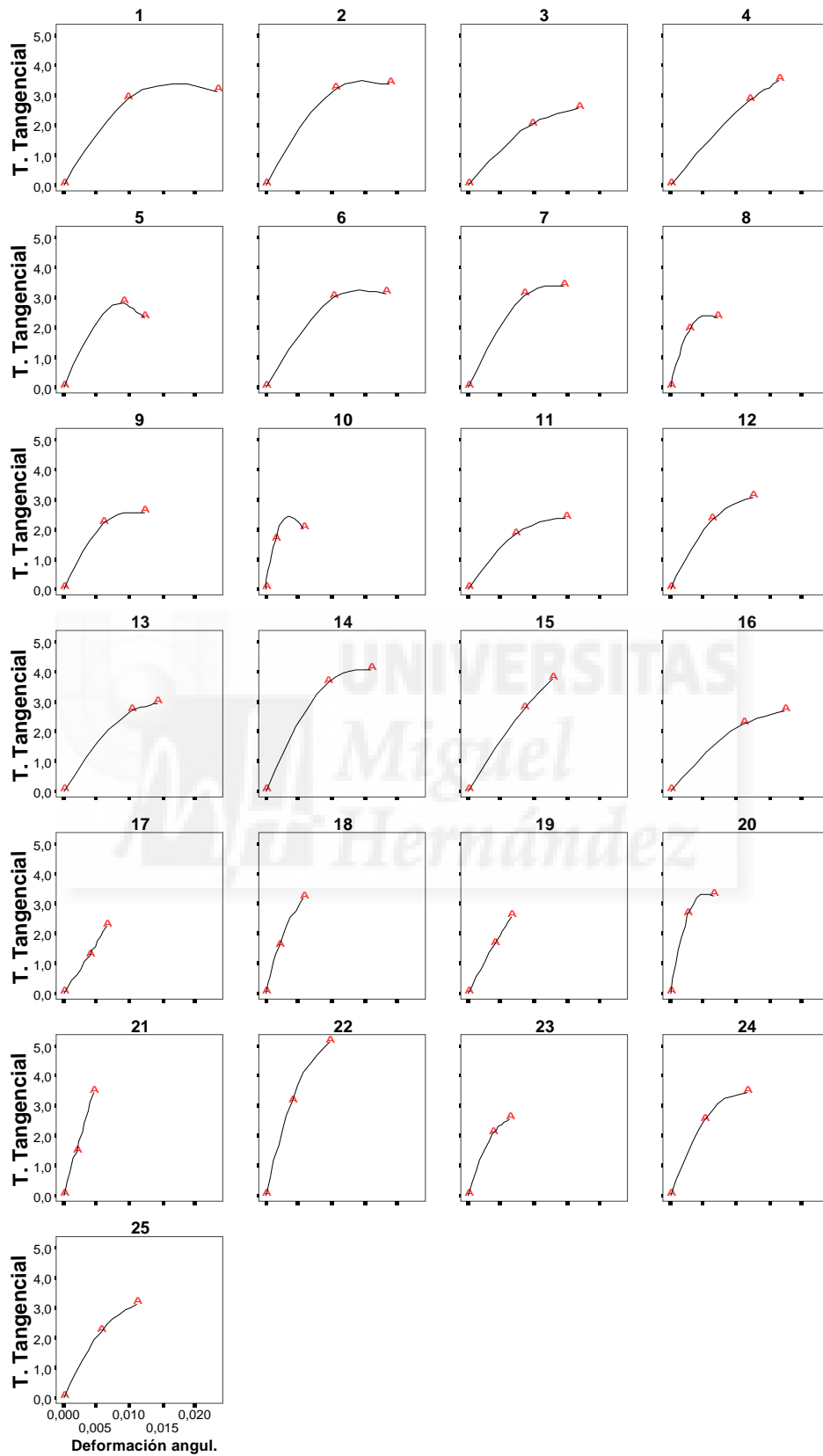


Fig. 4.89. Curvas tensión tangencial – deformación angular de los ensayos válidos.

Realizado el análisis de la varianza en función de la humedad, mediante el programa estadístico SPSS, se obtuvo que existía correlación entre variables.

Tabla 4.33. Análisis de la varianza.

Prueba de homogeneidad de varianzas: HUMEDAD 8%.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TENSION CORT.	0,510	8	27	0,838
DEFOR. ANGUL.	0,691	8	27	0,696

Prueba de homogeneidad de varianzas: HUMEDAD 13,7

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DEFOR. ANG.	0,371	15	48	0,980
TENSION CORT.	0,269	15	48	0,996

ANOVA: 8% HUMEDAD.

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TENSION CORTAN.	Inter-grupos	(Combinados)	4,639	8	0,580	0,297	0,961
		Término lineal	1,268	1	1,268	0,649	0,428
		Desviación	3,371	7	0,482	0,246	0,969
	Intra-grupos		52,755	27	1,954		
	Total		57,393	35			
DEFOR. ANGUL.	Inter-grupos	(Combinados)	0,000	8	0,000	0,353	0,936
		Término lineal	0,000	1	0,000	1,692	0,204
		Desviación	0,000	7	0,000	0,162	0,991
	Intra-grupos		0,001	27	0,000		
	Total		0,001	35			

ANOVA: 13,7% HUMEDAD

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DEFORM. ANGULA	Inter-grupos	(Combinados)	0,000	15	0,000	0,288	0,995
		Término lineal	0,000	1	0,000	0,646	0,426
		Desviación	0,000	14	0,000	0,263	0,996
	Intra-grupos		0,005	48	0,000		
	Total		0,006	63			
TENSION CORTAN.	Inter-grupos	(Combinados)	8,926	15	0,595	0,325	0,990
		Término lineal	0,035	1	0,035	0,019	0,890
		Desviación	8,891	14	0,635	0,347	0,983
	Intra-grupos		87,851	48	1,830		
	Total		96,777	63			

Utilizando para las comparaciones múltiples entre las repeticiones de los ensayos el método de Tukey y de Scheffé, se obtuvo que no existían diferencias significativas para un error del 5% entre las pruebas como se indica en la figura 4.90.

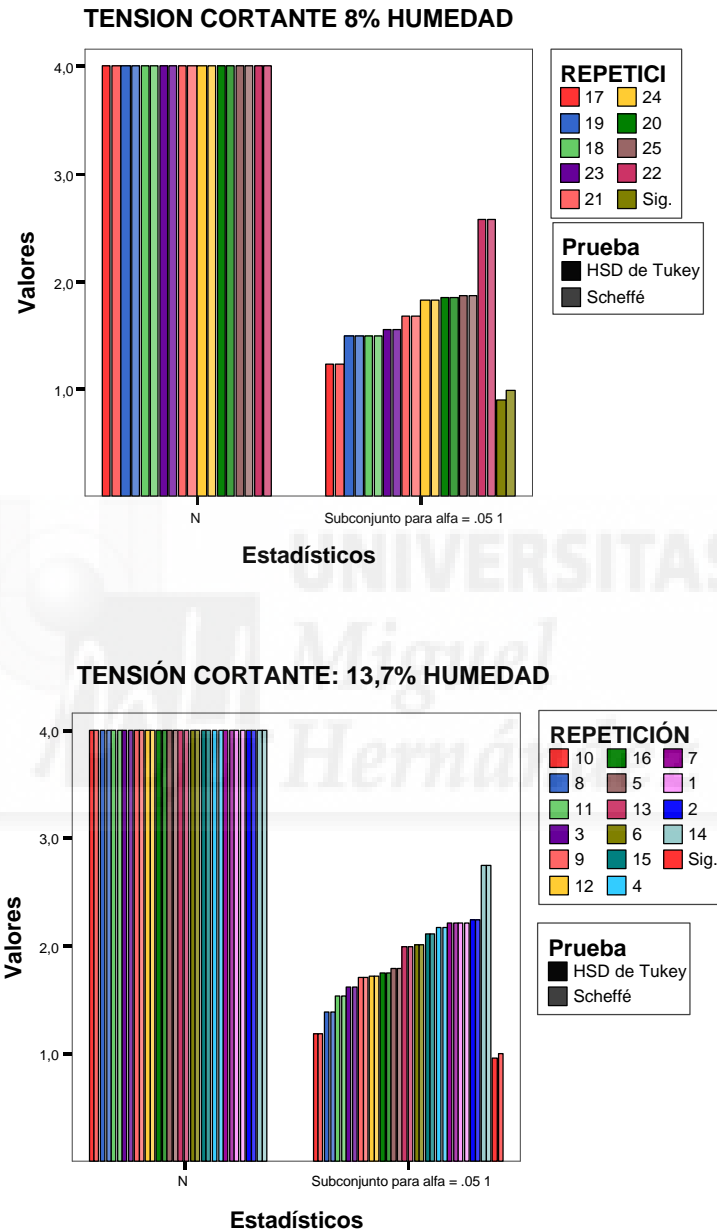


Fig. 4.90. Comparaciones múltiples entre los ensayos a cortante.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo, utilizando el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante el test Chi-cuadrado, obtenemos que el ensayo es significativo, como indica la tabla 4.34.

Tabla 4.34. Estadísticos de contraste.

HUMEDAD 8%

	DEFOR. ANG.	TENSIÓN CORT.
Chi-cuadrado ^(a)	48,000	48,000
gl	27	27
Sig. asintót.	0,08	0,08

a 28 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

HUMEDAD 13,7 %

	DEFOR. ANG.	TENSIÓN CORT.
Chi-cuadrado ^(a,b)	168,750	165,500
gl	48	47
Sig. asintót.	0,05	0,05

a 49 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

b 48 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

En la zona de comportamiento elástico proporcional se ha obtenido una distribución normal y la recta de regresión para distinta humedad, con intervalo de predicción de la media del 95 %.

Humedad 8 % $R^2 = 0,94$.

Humedad 13,7 % $R^2 = 0,91$.

En la figura 4.91 se observa el diagrama tensión tangencial o tensión cortante de la caña común hasta la zona elástica proporcional, en relación a la deformación angular unitaria, obteniendo la recta de regresión que nos indica el módulo de cizalladura "G", que es la relación entre la tensión cortante y la desviación angular unitaria en la zona elástica proporcional.

$$G = \frac{\tau_p}{\delta_p} \quad (4.50)$$

Siendo: τ_p , tensión cortante en la zona elástica proporcional (N/mm²).

δ_p , desviación angular unitaria en la zona elástica proporcional.

G, módulo de elasticidad de cizalladura (N/mm²).

Tabla 4.35. Resultados tensión cortante de la caña común (*Arundo donax* L.).

Humedad muestra %		Módulo de cizalladura G (N/mm ²)	Tensión proporcional τ_p (N/mm ²)	Deformación proporcional unitaria γ_p	Tensión a rotura τ_R (N/mm ²)	Deformación rotura unitaria γ_R
8	Media	420	2,701	0,0064	2,882	0,00783
	Desv. típ.		0,4097	0,00259	0,381	0,00291
	Error tip. med		0,16727	0,00055	0,190	0,00062
13,7	Media	272	2,716	0,0098	3,140	0,01188
	Desv. típ.		0,4727	0,00657	0,4816	0,00974
	Error tip. med		0,1220	0,00101	0,170	0,00081
11,4	Media	350	2,702	0,0077	3,054	0,00977

La figura 4.92 representa la curva media de tensión cortante-deformación angular unitaria en función de la humedad de la caña común, obtenida en los ensayos que nos indica el funcionamiento de este material a esfuerzos cortantes.

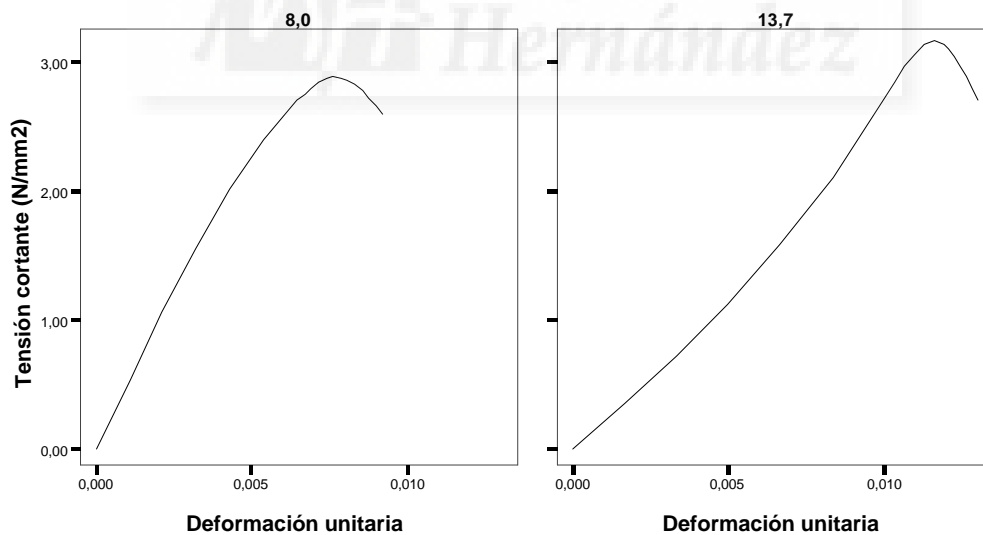


Fig. 4.92. Curvas tensión cortante-deformación angular unitaria de la caña común

4.3.2.- ENSAYOS DE ESFUERZO DEFORMACIÓN DE MORTEROS DE HORMIGÓN.

4.3.2.1.- COMPRESIÓN DE MORTEROS DE HORMIGÓN - CAÑA.

Estas pruebas se realizaron para comprobar los efectos mecánicos que produce la caña en contacto con otros materiales, por lo que se realizaron ensayos con morteros de hormigón y morteros de hormigón con cañas para proceder a la comparación mecánica.

Las pruebas a compresión de morteros de hormigón con caña común se realizaron mediante ensayos de rotura a compresión en dirección paralela y perpendicular a las fibras de la caña común (*Arundo donax* L.), utilizando la máquina de ensayos a compresión que cumple las características indicadas en las normas.

Para medir los cambios de longitud se han utilizado extensómetros con un error de $\pm 5 \times 10^{-6}$.

A.- ENSAYOS A COMPRESIÓN PARALELA EN LA DIRECCIÓN DE HORMIGONADO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON CAÑAS.

La caña común (*Arundo donax* L.) no está en ninguna edificación de las visitadas, sometida a compresión paralela en su unión con otros materiales, aún así se realiza este ensayo, para comprobar si presenta algún tipo de mejora de las propiedades mecánicas de los materiales a los que se une, o que presenta problemas esta disposición.

Se realizaron 7 ensayos o repeticiones con probetas cilíndricas de hormigón con cañas hasta carga de rotura, donde solo en tres de ellas se midieron la carga y la deformación instantáneas; y 3 ensayos a deformación y fuerza de rotura en probetas de hormigón.



Fig. 4.93. Probetas de hormigón-caña.

Las probetas de hormigón-caña eran cilíndricas de dimensiones 15 x 30 cm con 6 cañas dispuestas en sentido longitudinal como indica la figura 4.93.

Los ensayos de rotura a compresión paralela se realizaron en probetas de 28 días de edad para que los morteros hubiesen adquirido mayor resistencia, habiéndose conservado las probetas como indican las normas descritas en apartados anteriores.

En la realización de los ensayos se anotaron para cada probeta 60 puntos de esfuerzo deformación. Luego el tamaño de muestra por repetición $N = 60$.

En este trabajo se ha desarrollado el procedimiento de cálculo de los valores medios de carga y desplazamiento instantáneos sobre los puntos pertenecientes a las curvas de las probetas en cada ensayo, de modo que representaremos gráficamente los puntos correspondientes a los comportamientos “promedio” obtenidos lo que nos permitirá realizar comparaciones de distintos ensayos sobre unos mismos ejes, teniendo en cuenta los comportamientos medios sujetos a las desviaciones estadísticas resultado del número de probetas y puntos de muestra de cada probeta.

Las curvas obtenidas típicamente para este material ensayado a velocidades del orden de 1 mm/min es el representado en la figura 4.94. Las líneas se corresponden con el comportamiento de cada una de las probetas durante el ensayo.

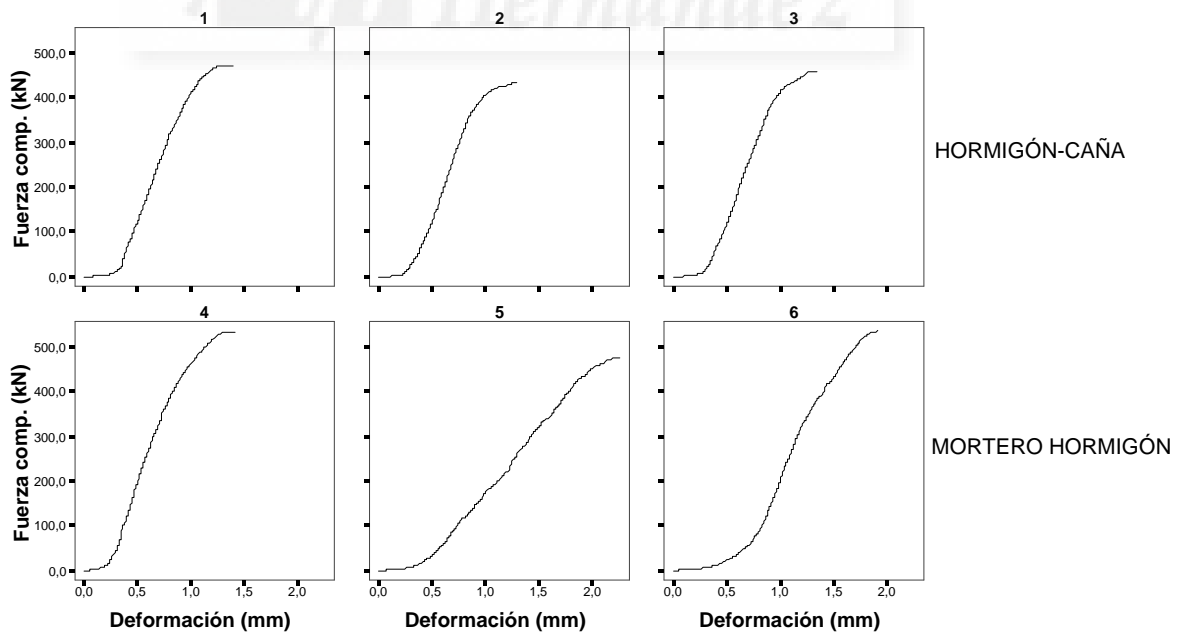


Fig. 4.94. Curvas del ensayo a compresión paralela de probetas cilíndricas.

Estas curvas indican un comportamiento de material frágil al someterlo a esfuerzos de compresión paralela

Considerando en las curvas de esfuerzo-deformación, la fuerza de compresión paralela (kN) y la deformación como variables cuantitativas, el análisis estadístico de los resultados de los ensayos, consistió en analizar el comportamiento de las variables mediante las pruebas de homogeneidad, el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de media, como se indican en la tabla 4.36.

Tabla 4.36. Análisis de la varianza ensayo compresión paralela de morteros de hormigón con cañas.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
FUERZA	0,137	2	177	0,872
DEFORMACIÓN	0,166	2	177	0,847

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
FUERZA	Inter-grupos (Combinados)	23467,260	2	11733,63	0,478	0,621	
		Término lineal	16291,826	1	16291,82	0,663	0,416
		Desviación	7175,434	1	7175,434	0,292	0,590
	Intra-grupos	4347552,5	177	24562,44			
	Total	4371019,7	179				
DEFORMACIÓN	Inter-grupos (Combinados)	0,135	2	0,067	0,627	0,536	
		Término lineal	0,080	1	0,080	0,744	0,389
		Desviación	0,055	1	0,055	0,509	0,476
	Intra-grupos	19,031	177	0,108			
	Total	19,165	179				

Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
FUERZA	Welch	0,461	2	117,933	0,632
	Brown-Forsythe	0,478	2	176,584	0,621
DEFORMACIÓN	Welch	0,597	2	117,884	0,552
	Brown-Forsythe	0,627	2	176,238	0,536

a Distribuidos en F asintóticamente.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica =1) es mayor que 0,05; como indica la figura 4.95 y se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

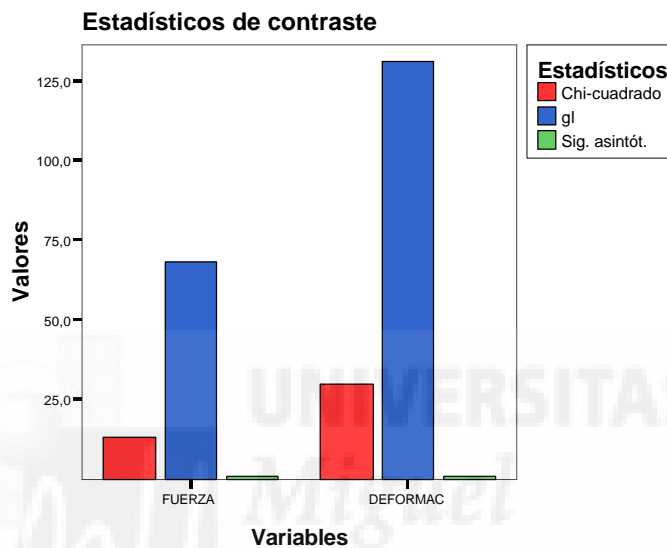


Fig. 4.95. Prueba χ^2 -cuadrado de adecuación de la prueba.

En los diagramas de carga-deformación, se ha obtenido una distribución normal y mediante la correlación de Pearson, se ha hallado la recta de regresión para los distintos materiales , con intervalo de predicción de la media del 95 %.

Hormigón con caña $R^2 = 0,96$.

Mortero de hormigón $R^2 = 0,92$.

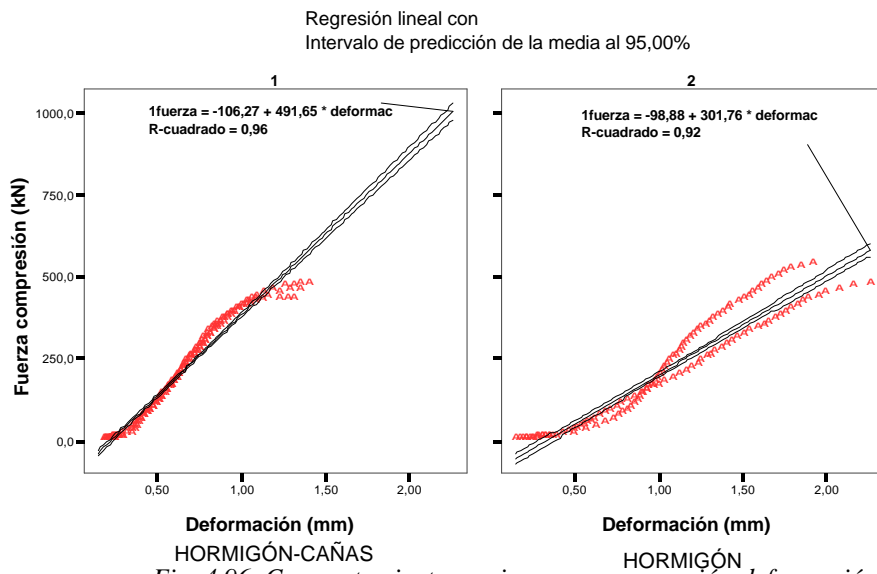


Fig. 4.96. Comportamiento en ejes carga compresión-deformación.

Dentro de los valores medios resaltamos: la fuerza a compresión paralela a rotura, la deformación máxima a rotura, la fuerza y deformación medias y el peso medio de las probetas de hormigón y de las de hormigón con cañas, para poder establecer una comparación entre los distintos materiales como se observa en la tabla 4.37.

Tabla 4.37. Resultados medios de los ensayos a compresión paralela .

MATERIAL		FUERZA MEDIA (kN)	DEFORMA. MEDIA (kN)	FUERZA ROTURA (kN)	DEFORMA ^A MAX. (mm)	PESO MEDIO (g)
HORMIGÓN-CAÑA	Media	195,896	0,60483	455,8333	1,3500	11078,333
	N	180	180	7	7	7
	Desv. típ.	56,2661	0,0327214	19,09407	0,05000	154,62320
	Error típ. de la media	11,6474	0,024389	11,02396	002887	89,27174
HORMIGÓN	Media	211,929	0,84665	515,6667	1,8667	11958,333
	N	197	197	3	3	3
	Desv. típ.	61,1234	0,0538801	33,50124	0,42253	12,58306
	Error típ. de la media	12,1920	0,038388	19,34195	0,24395	7,26483

De los resultados obtenidos se puede afirmar, que las probetas de hormigón con caña común presentan un comportamiento mecánico similar a las de mortero de hormigón, con el inconveniente que las cañas disminuyen las resistencias del hormigón a compresión paralela, pasando de un valor medio de 515 kN a 455 kN, soportando menores deformaciones y mayor rigidez; aunque las probetas de hormigón-caña tienen un peso menor, no es recomendable someter la caña con mortero de hormigón a esfuerzos de compresión paralela, ya que como material aligerante no parece presentar ventajas, aunque para confirmarlo serían necesarias nuevas experiencias donde se fuese combinando con diferentes proporciones de cañas.

En la figura 4.97 se indican las curvas medias obtenidas para los distintos morteros de hormigón y de hormigón-caña.

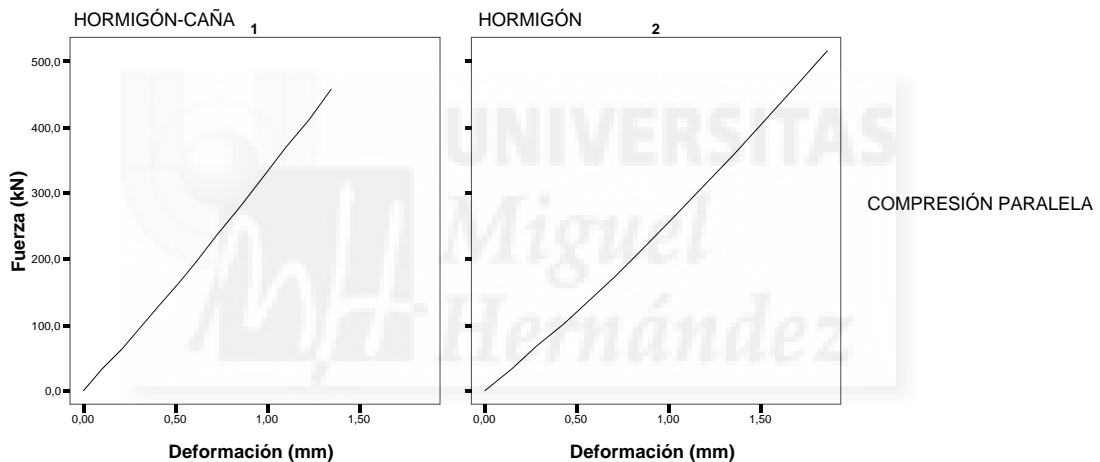


Fig. 4.97. Curvas esfuerzo de compresión paralela-deformación de los morteros de hormigón

B.- ENSAYOS A COMPRESIÓN PERPENDICULAR DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON CAÑAS.

En algunas edificaciones ganaderas se ha observado que los cerramientos realizados con caña y diversos morteros están sometidos a compresión perpendicular, por lo que este ensayo nos indicará el tipo de comportamiento mecánico que se puede esperar de la unión de la caña con otros materiales.

El tamaño de muestra se realizó en función de ensayos previos al no disponer de datos sobre el comportamiento de morteros con caña común, salvo estimaciones.

Cálculo del número de repeticiones necesarias para la obtención de la tensión de rotura o resistencia característica f_{CK} , mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $f_{CK} = 12 \text{ N/mm}^2$.

$$r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 1,6^2}{1,2^2} = 7,11 \approx 8 \quad (4.51)$$

Siendo: r, número de repeticiones de ensayos necesarios.

σ , desviación típica de los datos de la variable tensión.

δ , error que se tolera respecto al valor medio de la variable (10 %).

Se realizaron 10 ensayos o repeticiones con probetas rectangulares de hormigón con 3 cañas dispuestas transversalmente y 2 ensayos con probetas de mortero de hormigón para proceder a la comparación de resultados, midiendo las cargas y deformaciones instantáneas.

Las probetas eran de dimensiones 15 x 10 x 7 cm.

Los ensayos de rotura a compresión perpendicular en probetas de 28 días de edad, habiéndose conservado las probetas como indican las normas descritas en apartados anteriores.

En la realización de los ensayos se anotaron para cada probeta entre 15 y 23 puntos de esfuerzo deformación, según el comportamiento de la muestra. Luego el tamaño de muestra medio de cada repetición "N = 20".

Las curvas obtenidas típicamente para este material ensayado a velocidades del orden de 1 mm/min es el representado en la figura 5.80. Las líneas se corresponden con el comportamiento de cada una de las probetas durante el ensayo.

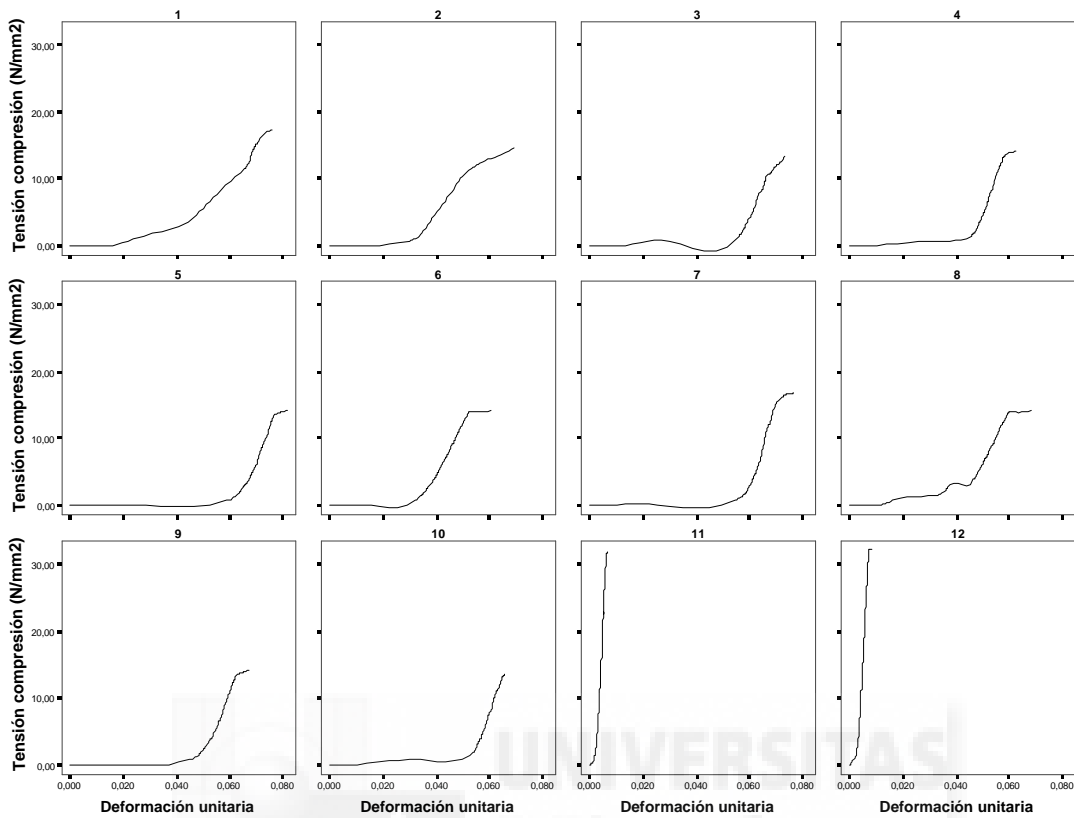


Fig. 4.98. Curvas tensión a compresión-deformación unitaria de las probetas de hormigón-caña y mortero de hormigón.

El procedimiento de cálculo de los valores medios de carga y desplazamiento instantáneos sobre los puntos pertenecientes a las curvas de las probetas en cada ensayo, los representamos gráficamente y corresponden a los puntos de comportamientos “promedio” obtenidos lo que nos permitirá realizar comparaciones de distintos ensayos sobre unos mismos ejes, teniendo en cuenta los comportamientos medios sujetos a las desviaciones estadísticas resultado del número de probetas y puntos de muestra de cada probeta.

El análisis estadístico de los ensayos consistió en analizar el comportamiento de las variables mediante las pruebas de homogeneidad, el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de media, como se indican en la tabla 4.38.

Tabla 4.38. Análisis de los ensayos a compresión perpendicular hormigón-caña.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TENSION COMPRESIÓN	0,841	9	175	0,579
DEFORMACIÓN UNITARIA	1,298	9	175	0,241

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TENSION COMPR. PERPEND.	Inter-grupos	58,904	9	6,545	0,261	0,984
	Intra-grupos	4394,543	175	25,112		
	Total	4453,447	184			
DEFORMAC UNITARIA	Inter-grupos	0,006	9	0,001	1,743	0,083
	Intra-grupos	0,072	175	0,000		
	Total	0,078	184			

Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
TENSION COMPRES.	Welch	0,268	9	64,979	0,981
	Brown-Forsythe	0,250	9	134,674	0,986
DEFORMAC UNIT.	Welch	1,747	9	64,455	0,096
	Brown-Forsythe	1,621	9	123,624	0,116

a Distribuidos en F asintóticamente.

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias, se comprobó que existe correlación entre variables y que no hay diferencias significativas para un error del 5 % entre los ensayos.

Utilizando para las comparaciones múltiples entre los ensayos realizados, debido a que los tamaños de muestra no son iguales, los métodos de Tukey, Duncan y Scheffé como indica la figura 4.99, se han obtenido los datos representativos de la curva tensión-deformación para los esfuerzos a compresión perpendicular de las probetas de hormigón-cañas, indicando que están relacionados.

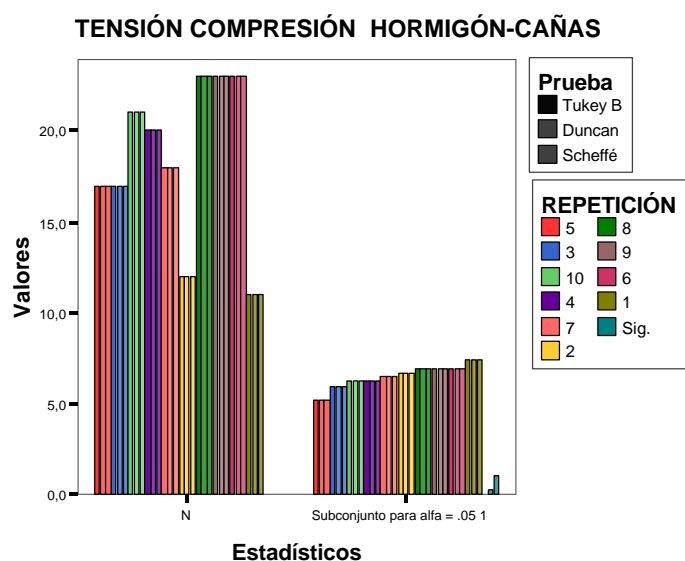


Fig. 4.99. Prueba de comparaciones múltiples de los ensayos a compresión perpendicular.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 i-cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica $\geq 0,111$) es mayor que 0,05, como indica la tabla 4.39, se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

Tabla 4.39. Prueba χ^2 i-cuadrado de los ensayos a compresión perpendicular.

Estadísticos de contraste

	DEFORMACIÓN UNIT	TENSIÓN COMPRESIÓN
Chi-cuadrado ^(a,b)	102,533	37,389
gl	131	28
Sig. asintót.	0,969	0,111

a 132 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

b 0 casillas (,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 5,8.

La tabla 4.40 resume los valores medios obtenidos en el ensayo a compresión perpendicular de los morteros de hormigón y hormigón-cañas, junto con las desviaciones estándar. Se obtiene la tensión y la deformación media, f_{cm} y ϵ_m , y la

deformación y la tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura (Tensión característica), ϵ_R y f_{ck} .

Tabla 4.40. Valores medios obtenidos en el ensayo a compresión perpendicular del mortero de hormigón y del mortero de hormigón con cañas.

MATERIAL		TENSIÓN ROTURA f_{ck} (N/mm ²)	TENSIÓN MEDIA f_{cm} (N/mm ²)	DEFORMACIÓN MEDIA ϵ_m	DEFORM. MAX. ϵ_R
HORMIGÓN	Media	32,0143	15,2758	0,00409	0,0340
	N	2	49	49	2
	Desv. típ.	0,18530	1,18262	0,001990	0,01890
	Máximo	32,15	32,15	0,007	
	Mínimo	31,88	0,00	0,000	
	Error típ. de la media	0,13103	1,59752	0,000284	0,00394
HORMIGÓN-CAÑAS	Media	14,2852	8,6147	0,05775	0,0700
	N	10	137	137	10
	Desv. típ.	0,91695	0,92731	0,009249	0,00665
	Máximo	16,15	16,15	0,076	
	Mínimo	13,08	0,0	0,036	
	Error típ. de la media	0,28997	0,33553	0,000790	0,00210

En la figura 4.100 se indica el diagrama medio de tensión a compresión perpendicular de las probetas de hormigón-cañas respecto a la deformación unitaria.

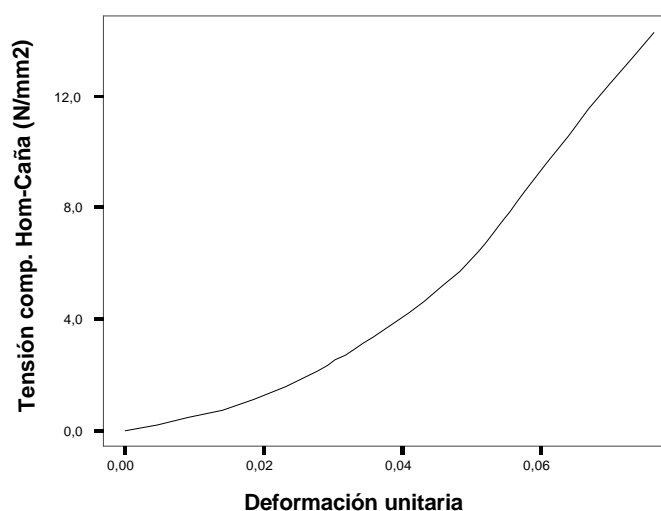


Fig. 4.100. Diagrama tensión de compresión perpendicular de morteros de hormigón-caña respecto a la deformación unitaria

Los diagramas medios de la figura 4.101 son muy indicativos de la influencia de la caña común sobre las propiedades mecánicas del mortero de hormigón, donde se observa que la caña añadida al hormigón, aumenta la elasticidad del material y se reducen las resistencias hasta el 50%. Produce en el hormigón mayor flexibilidad y ligereza al disminuir un 30 % el peso de las probetas.

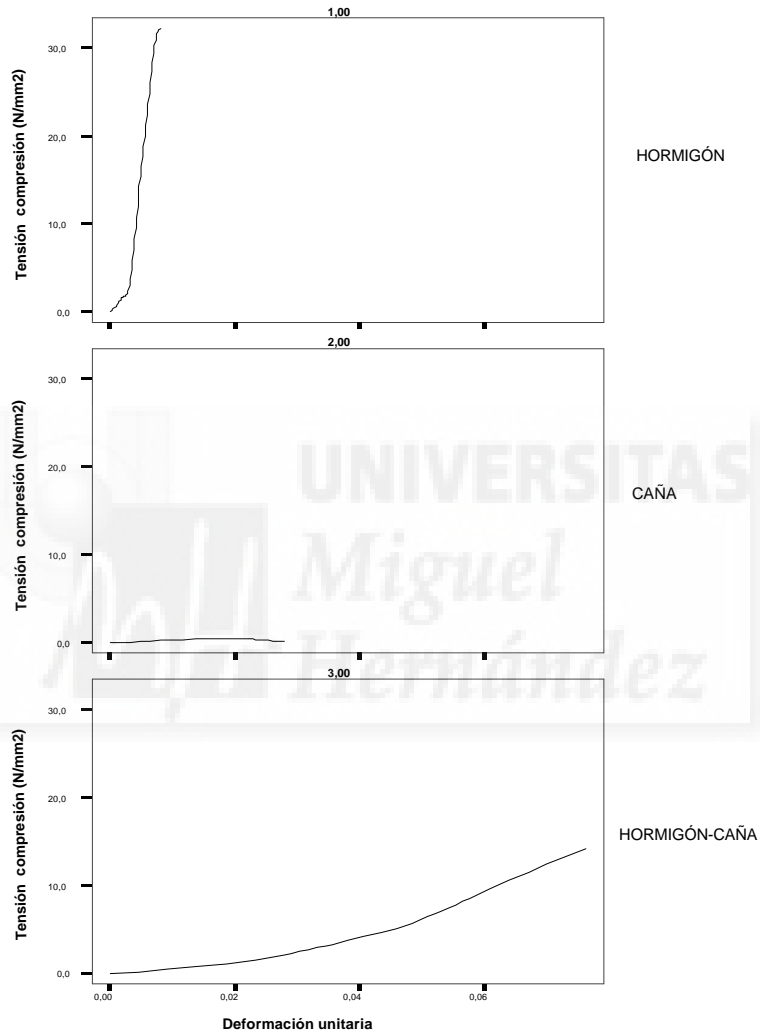


Fig. 4.101. Diagramas de tensión a compresión perpendicular deformación unitaria de distintos materiales

4.3.2.2.- FLEXOTRACCIÓN DE MORTEROS DE HORMIGÓN CON CAÑAS.

Este ensayo es el de mayor importancia para evaluar el comportamiento de la caña común en las edificaciones, ya que la caña común utilizada en los cerramientos va entre dos capas de mortero, a veces de gran espesor.

Para evaluar la posible acción de la caña común en la fase de construcción de una edificación y posteriormente en la vida del edificio, se realizaron los ensayos de rotura a flexotracción a los 7 días con los morteros de hormigón frescos, y a los 28 días de edad, con los morteros de hormigón endurecidos al 90%.

Las probetas eran de dimensiones 40 x 10 x 7 cm.



Fig.4.102. Probetas para ensayos a flexotracción.

A.- ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN CON PROBETAS DE 7 DÍAS DE EDAD.

El tamaño de muestra para los ensayos a flexión, se determinó en función de ensayos previos al no disponer de datos sobre el comportamiento de morteros con caña común.

Se calculó el número de repeticiones necesarias para la obtención de la tensión de rotura o resistencia característica f_{CK} , mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $f_{CK} = 4 \text{ N/mm}^2$.

$$r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,7^2}{0,4^2} = 12,25 \approx 13 \quad (4.52)$$

Siendo: r, número de repeticiones de ensayos necesarios.

σ , desviación típica de los datos de la variable tensión.

δ , error que se tolera respecto al valor medio de la variable (10 %).

Se realizaron 18 ensayos o repeticiones con probetas rectangulares de hormigón con 3 cañas dispuestas transversalmente y 4 ensayos con probetas de mortero de hormigón para proceder a la comparación de resultados, midiendo las cargas y deformaciones instantáneas a los 7 días del hormigonado.

En la realización de los ensayos se anotaron para cada probeta 7 u 8 puntos de esfuerzo deformación, según el comportamiento de la muestra. Luego el tamaño de muestra medio de cada repetición $N = 7$.

El procedimiento de cálculo de los valores medios de carga y desplazamiento instantáneos sobre los puntos pertenecientes a las curvas de las probetas en cada ensayo, los representamos gráficamente y corresponden a los puntos de comportamientos “promedio” obtenidos lo que nos permitirá realizar comparaciones de distintos ensayos sobre unos mismos ejes, teniendo en cuenta los comportamientos medios sujetos a las desviaciones estadísticas resultado del número de probetas y puntos de muestra de cada probeta.



Fig. 4.103. Ensayos a flexotracción con probetas de mortero de hormigón y probetas de hormigón-cañas.

Las curvas obtenidas para las probetas de hormigón-cañas y morteros de hormigón ensayado a velocidades del orden de 1 mm/min, es el representado en la figura 4.104. Las líneas se corresponden con el comportamiento de cada una de las probetas durante el ensayo.

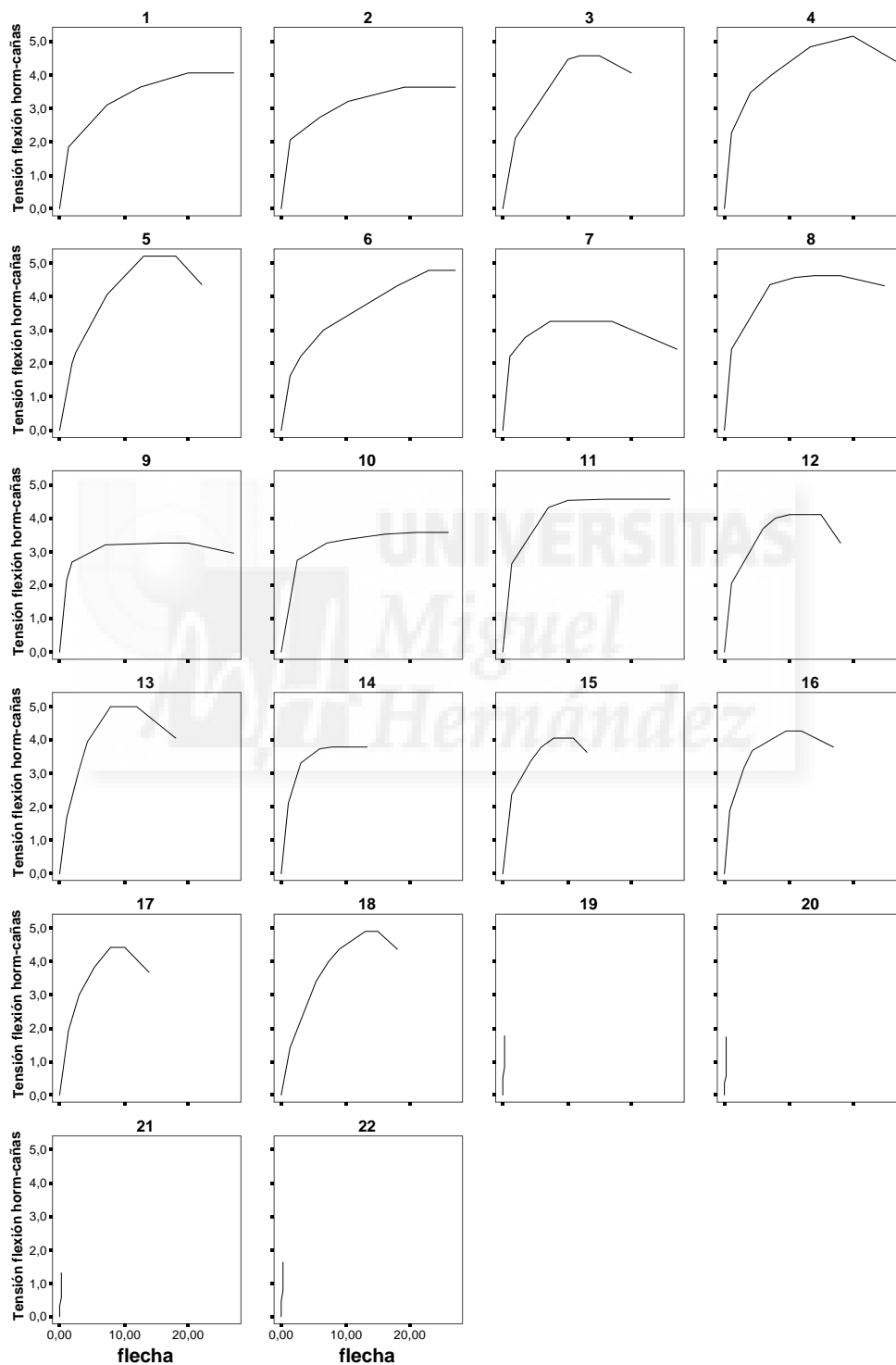


Fig.4.104. Curvas características de los ensayos de flexotracción de morteros de 7 días de edad.

El análisis estadístico de los ensayos consistió en analizar el comportamiento de las variables mediante las pruebas de homogeneidad, el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de media, como se indican en la tabla 4.41.

Tabla 4.41. Análisis estadístico del ensayo a flexotracción de morteros de 7 días.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TENSION FLEXION	0,438	17	110	0,973
FLECHA	1,874	17	110	0,028

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TENSION FLEXIÓN	Inter-grupos	13,400	17	0,788	0,310	0,996
	Intra-grupos	279,917	110	2,545		
	Total	293,317	127			
FLECHA	Inter-grupos	636,550	17	37,444	0,527	0,934
	Intra-grupos	7813,978	110	71,036		
	Total	8450,529	127			

Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
TENSION	Welch	0,292	17	40,883	0,996
	Brown-Forsythe	0,311	17	102,981	0,996
FLECHA	Welch	0,534	17	40,789	0,919
	Brown-Forsythe	0,522	17	88,126	0,935

a Distribuidos en F asintóticamente.

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias, se comprobó que existe correlación entre variables y que no hay diferencias significativas para un error del 5 % entre los ensayos.

Utilizando los métodos de Tukey, Duncan y Scheffé para las comparaciones múltiples entre los ensayos realizados, como indica la figura 4.105, se han obtenido los datos representativos de la curva tensión a flexión-flecha de los ensayos de las probetas de hormigón-cañas, indicando que están relacionados.

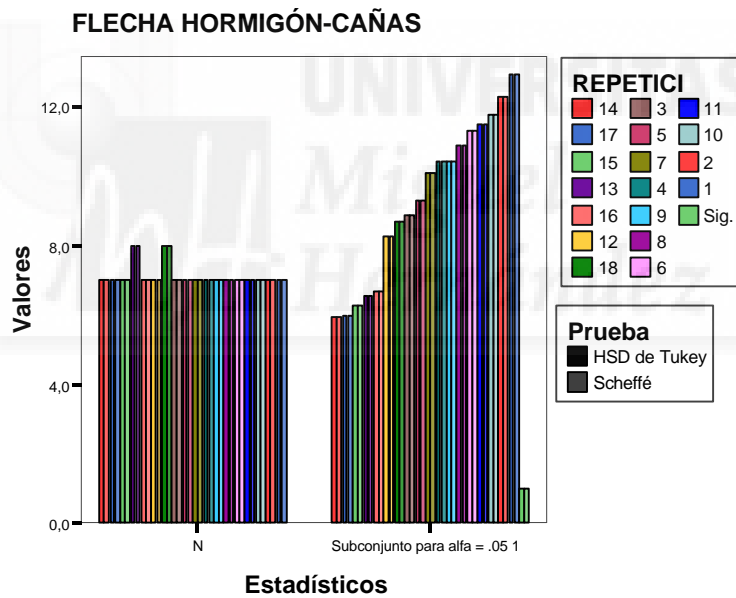
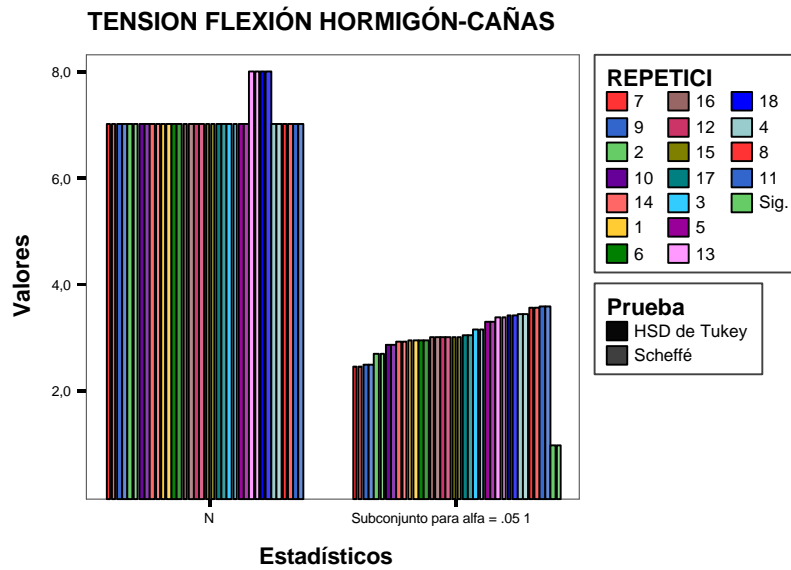


Fig. 4.105. Comparaciones múltiples de los ensayos de morteros de 7 días de edad a flexotracción.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica $\geq 0,296$) es mayor que 0,05,

como indica la tabla 4.42, se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

Tabla 4.42. Pruebas χ^2 -cuadrado ensayos de morteros a flexotracción.

	TENSIÓN FLEXIÓN	FLECHA
Chi-cuadrado(a,b)	11,658	31,479
gl	59	28
Sig. asintót.	1,000	0,296

a 60 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,2.

b 29 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 2,5.

La tabla 4.43 resume los valores medios obtenidos en el ensayo a flexotracción de los morteros de hormigón y hormigón-cañas a los 7 días de edad, junto con las desviaciones estándar y los de la caña común obtenidos previamente. Se obtiene la tensión o resistencia característica y la flecha media, f_{cm} y f_m , y la deformación y la tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura, ϵ_R y f_{CK} .

Tabla 4.43. Valores medios obtenidos en los ensayos a flexotracción de morteros de hormigón con cañas, mortero de hormigón y caña común.

MATERIAL		FLECHA MEDIA (mm)	TENSIÓN MEDIA (N/mm ²)	TENSIÓN ROTURA (mm)	FLECHA ROTUR (N/mm ²)
1.- HORMIG.-CAÑA	Media	10,6442	3,5283	4,2969	16,9722
	N	112	112	18	18
	Desv. típ.	7,86390	1,03556	0,51229	4,37396
	Error típ. de la media	0,74307	0,09785	0,14432	1,03095
2.- HORMIGÓN	Media	0,2000	0,7884	1,6685	0,40
	N	20	20	4	4
	Desv. típ.	0,14510	0,59661	0,12793	0,00
	Error típ. de la media	0,03244	0,13341	0,06396	0,00
3.- CAÑA COMÚN	Media	8,0000	24,9267	33,2950	9,0000
	N	12	12	2	2
	Desv. típ.	0,60844	2,60908	4,37699	1,41421
	Error típ. de la media	0,61902	1,63993	3,09500	1,00

Estos datos medios se pueden observar en la figura 4.106 que muestran los diagramas de tensión flecha para los distintos materiales, y se observa que los morteros de hormigón de 7 días aumentan su flexibilidad y resistencia a rotura, produciéndose al igual que en los ensayos a compresión perpendicular de morteros con caña un “cierta suma” de las propiedades de los dos materiales.

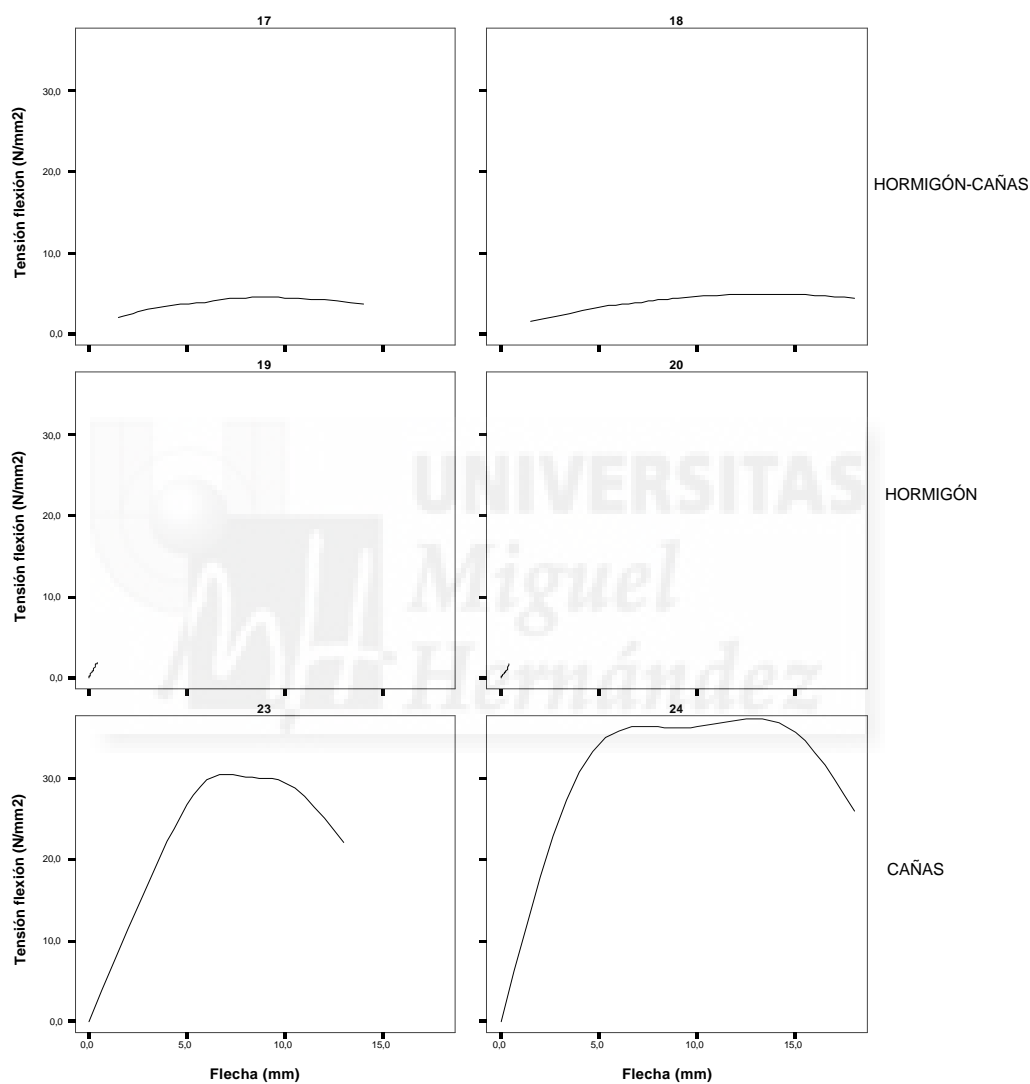


Fig. 4.106. Diagramas de tensión a flexión-flecha de distintos materiales. Hormigón-cañas, mortero de hormigón y cañas con 8 y 13,7% de humedad (hormigones de 7 días)

B.- ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN CON PROBETAS DE MORTEROS DE HORMIGÓN DE 28 DÍAS DE EDAD.

Cálculo del número de repeticiones necesarias para la obtención de la tensión característica f_{CK} a flexotracción, mediante la ecuación simplificada de Cochran y Cox, para que el experimento tenga una probabilidad del 95 % de ser significativo :

Valor medio de la variable $f_{CK} = 4,29 \text{ N/mm}^2$.

$$r = \frac{4 \cdot \sigma^2}{\delta^2} = \frac{4 \cdot 0,51^2}{0,429^2} = 5,65 \approx 6 \quad (4.53)$$

Siendo: r, número de repeticiones de ensayos necesarios.

σ , desviación típica de los datos de la variable tensión.

δ , error que se tolera respecto al valor medio de la variable (10 %).

Se realizaron 6 ensayos o repeticiones con probetas rectangulares de hormigón con 3 cañas dispuestas transversalmente y 3 ensayos con probetas de mortero de hormigón para proceder a la comparación de resultados, midiendo las cargas y deformaciones instantáneas a los 28 días de edad del hormigón.

En la realización de los ensayos se anotaron para cada probeta una media de 65 puntos de esfuerzo deformación, según el comportamiento de la muestra. Luego el tamaño de muestra medio de cada repetición $N = 65$.

Las curvas obtenidas para las probetas de hormigón-cañas y morteros de hormigón ensayado a velocidades del orden de 1 mm/min, es el representado en la figura 4.107. Las líneas se corresponden con el comportamiento de tres de las probetas durante el ensayo.

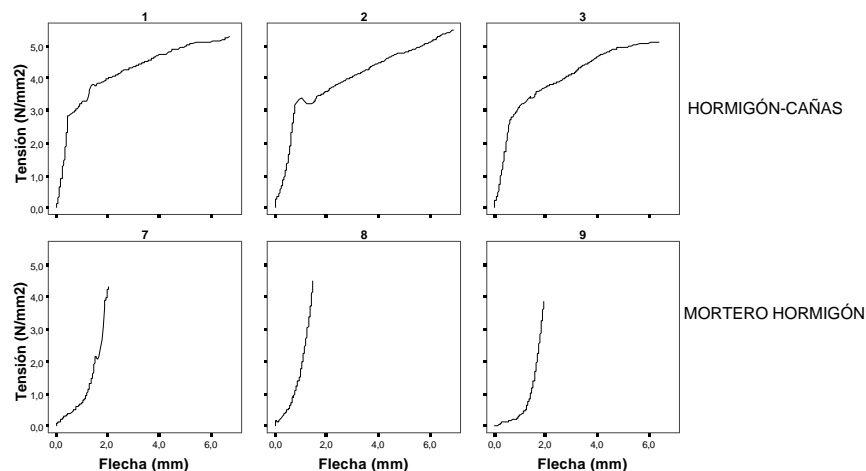


Fig.4.107. Curvas características de los ensayos de los morteros a flexión a los 28 días.

El análisis estadístico de los ensayos consistió en analizar el comportamiento de las variables tensión a flexión y flecha mediante las pruebas de homogeneidad, el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de media, como se indican en la tabla 4.44.

Tabla 4.44. Análisis estadístico del ensayo a flexotracción de morteros a los 28 días.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TENSIÓN FLEXIÓN	,023	5	208	0,978
FLECHA	1,394	5	208	0,250

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
TENSIÓN FLEXIÓN	Inter-grupos	(Combinados)	6,214	5	3,107	1,094	0,337	
		Término lineal	1,524	4	1,524	0,537	0,465	
			Ponderado	1,470	4	1,470	0,518	0,473
			Desviación	4,744	4	4,744	1,670	0,198
	Intra-grupos		590,709	208	2,840			
	Total		596,923	210				
FLECHA	Inter-grupos	(Combinados)	0,169	5	0,084	0,023	0,977	
		Término lineal	0,142	4	0,142	0,039	0,844	
			Ponderado	0,141	4	0,141	0,039	0,845
			Desviación	0,028	4	0,028	0,008	0,931
	Intra-grupos		761,614	208	3,662			
	Total		761,783	210				

Pruebas robustas de igualdad de las medias

		Estadístico ^(a)	gl1	gl2	Sig.
TENSIÓN FLEXIÓN	Welch	1,080	2	132,926	0,342
	Brown-Forsythe	1,098	2	199,806	0,336
FLECHA	Welch	0,025	2	135,620	0,975
	Brown-Forsythe	0,024	2	206,077	0,977

a Distribuidos en F asintóticamente.

Realizado el análisis de la varianza y las pruebas robustas de igualdad de medias, se comprobó que existe correlación entre variables y que no hay diferencias significativas para un error del 5 % entre los ensayos.

Comparando los ensayos realizados mediante las comparaciones múltiples utilizando los métodos de Tukey y Scheffé, como indica la figura 4.108, se han obtenido

los datos representativos de la curva tensión a flexión-flecha de los ensayos a flexión de las probetas de hormigón-cañas, indicando que están relacionados.

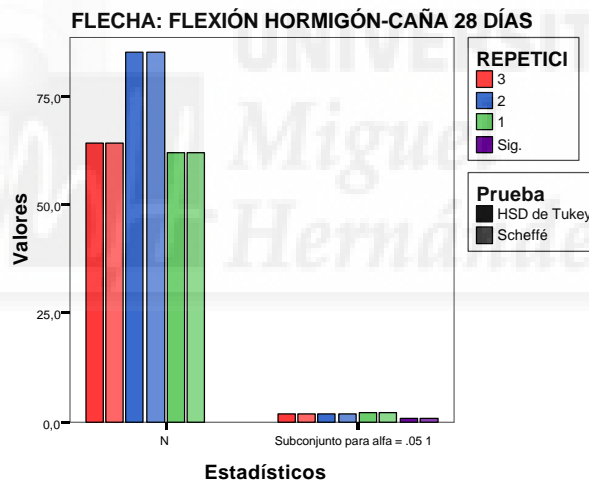
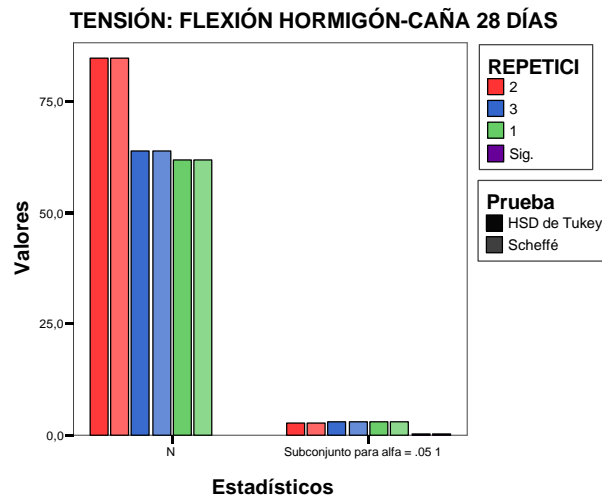


Fig. 4.108. Comparaciones múltiples de los ensayos a flexotracción de morteros de cañas de 28 días.

Para comprobar la adecuación de los datos al modelo y conocer si la muestra es representativa de la población estudiada, se ha utilizado el análisis de residuos para detectar la falta de normalidad mediante la prueba χ^2 -cuadrado, obteniendo que el p-valor asociado al estadístico de contraste (sig. asintótica $\geq 1,00$) es mayor que 0,05, como indica la tabla 4.45, se puede aceptar que los datos obtenidos en los ensayos son representativos de la población.

Tabla 4.45. Pruebas χ^2 -cuadrado de ensayos a flexión de morteros con cañas

Estadísticos de contraste

	FLECHA	TENSIÓN FLEXIÓN
Chi-cuadrado ^(a,b)	39,754	40,801
gl	156	137
Sig. asintót.	1,000	1,000

a 157 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,3.

b 138 casillas (100,0%) tienen frecuencias esperadas menores que 5. La frecuencia de casilla esperada mínima es 1,5.

La tabla 4.46 resume los valores medios obtenidos en el ensayo a flexotracción de los morteros de hormigón y hormigón-cañas de 28 días, junto con las desviaciones estándar. Se obtiene la resistencia característica y la flecha media, f_{CKm} y f_m , la deformación y la tensión máxima que tomaremos como tensión a rotura, f_{CK} y f_R y la deformación y resistencia a primera fisura, f_{CKF} y f_F que en un sistema elástico será la que realmente se toma como rotura.

Tabla 4.46. Valores medios de los ensayos de morteros de 28 días a flexotracción

MATERIAL		FLECHA FISURA (mm)	RESIST. FISURA (N/mm ²)	FLECHA ROTURA (mm)	RESIST. ROTURA (N/mm ²)	FLECHA MEDIA (mm)	RESIST. MEDIA (N/mm ²)
1. HORMIGÓN -CAÑAS	Media	1,400	3,43669	6,6800	5,3018	1,91512	2,85159
	N	6	6	6	6	211	211
	Desv. típ.	0,100	0,186247	0,26230	0,18683	0,904609	1,685969
	Error típ. media	0,0577	0,107530	0,15144	0,10787	0,131119	0,116067
2. HORMIGÓN	Media	1,810	4,21302	1,8100	4,2130	1,07816	1,58380
	N	3	3	3	3	182	182
	Desv. típ.	0,2971	0,335561	0,29715	0,33556	0,552556	1,256261
	Error típ. media	0,1715	0,193736	0,17156	0,19374	0,040958	0,093120

De los valores medios indicados en la tabla observamos que la caña común mejora las propiedades del hormigón a flexión, pues aunque fisura con menores tensiones estaría dentro de la seguridad pues no colapsaría la estructura hasta tensiones mayores, ya que la caña aumenta la zona de fortalecimiento plástica, en cambio sin la caña común el hormigón una vez que fisura colapsa.

Otra característica es que el hormigón con cañas tiene un peso 5,5 % menor que el mortero de hormigón.

En la figura 4.109 se indica el comportamiento mecánico medio de los morteros de hormigón con cañas y sin ellas, y comprobamos que la caña común no solo le sirve a otros materiales como encofrado, sino que además hace las veces de armadura a tracción .

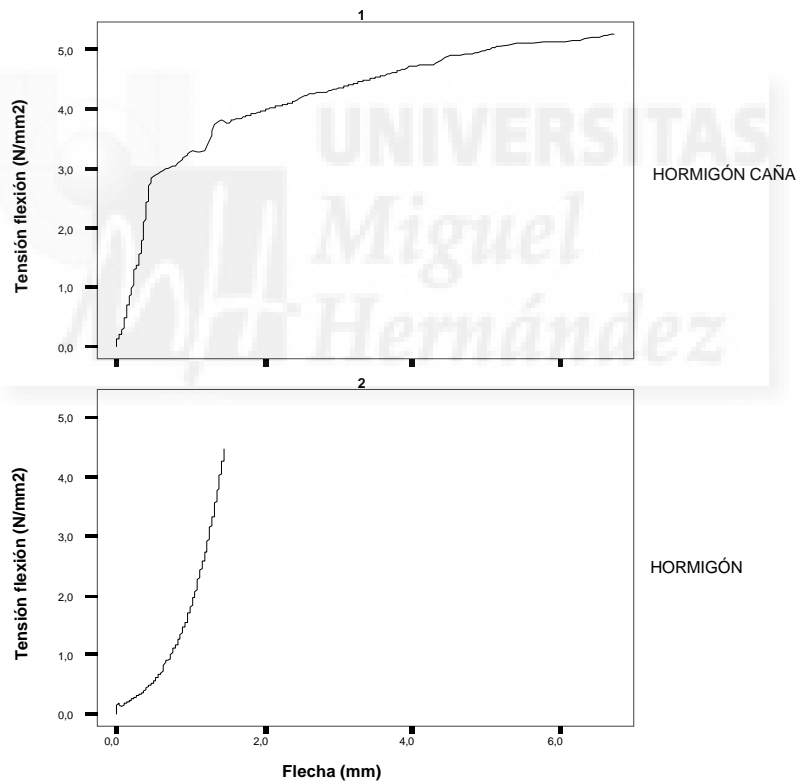


Fig. 4.109. Diagramas medios de tensión a flexión-flecha de los morteros de hormigón.

4.3.2.3.- TENACIDAD DE LOS MORTEROS DE HORMIGÓN CON CAÑAS.

La tenacidad mide la capacidad de absorción de energía de un material. Las cañas dentro de los morteros de hormigón pueden ser consideradas como fibras de refuerzo del hormigón, y mediante el índice de tenacidad podemos caracterizar las propiedades de la caña común (*Arundo donax* L.) como tipo de fibra en un material compuesto.

De los ensayos a flexión de las probetas de hormigón con caña obtenemos la curva carga-flecha como indica la figura 4.110 y los valores medios de los ensayos que se indican en la tabla 4.47.

Tabla 4.47. Resumen de los valores medios del ensayo a flexión de las probetas de hormigón-caña.

MATERIAL		FLECHA MAX (mm)	CARGA ROTURA (kN)	CARGA FISURA (kN)	FLECHA FISURA (mm)
HORMIGÓN - CAÑAS	Media	6,6800	7,4667	4,2000	1,4933
	N	6	6	6	6
	Desv. típ.	0,26230	0,26312	0,36056	0,61849
	Error típ.media	0,15144	0,15191	0,20817	0,35709
	Máximo	6,92	7,75	5,30	2,08

La tenacidad, es por lo tanto, una propiedad del material compuesto y su valor depende no sólo de la dosificación y del tipo de fibras sino también de las características de la matriz.

La tenacidad, T , es la energía que es necesaria comunicar a la probeta en el ensayo de flexión para que ésta alcance una flecha igual a $1/150$ de la distancia entre ejes de apoyos. Viene representada por el área del diagrama bajo la curva de carga-flecha.

Índice de tenacidad: Área del diagrama bajo la curva carga-flecha hasta $15,5$ veces F_f , dividida por el área del diagrama de la zona proporcional hasta primera fisura.

En la figura 4.110 es la curva media de carga-deformación obtenida para los ensayos a flexión, para dicho diagrama medio obtendremos los valores medios de tenacidad e índice de tenacidad.

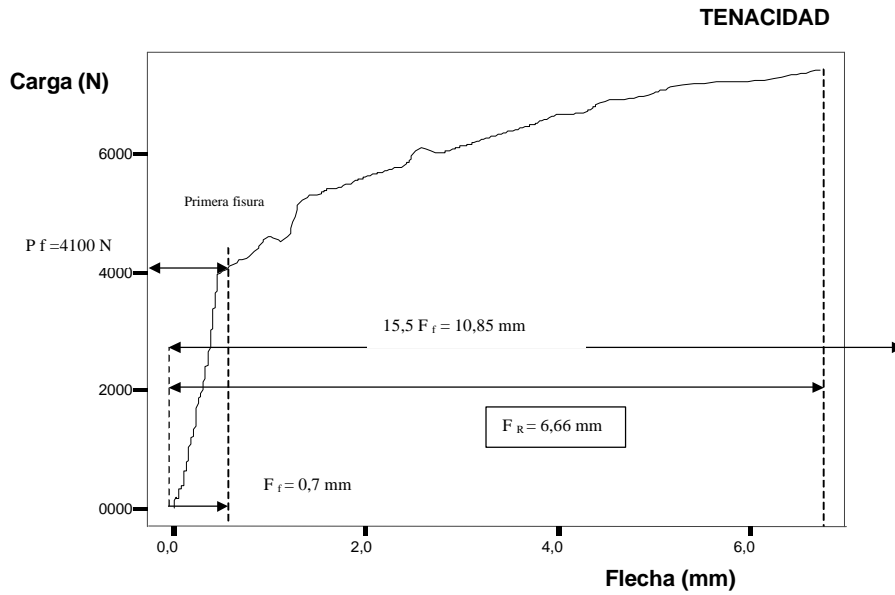


Fig. 4.110. Curva carga-flecha media de los ensayos a flexión.

Flecha de la zona proporcional de primera fisura corregida F_f .

$$F_f = 0,7 \text{ mm}$$

$F_f \cdot 15,5 = 10,85 \text{ mm}$, como es mayor que la flecha de rotura solo tomaremos el área del diagrama de curva-flecha hasta la flecha media de rotura (F_R).

Cálculo de la tenacidad:

$$T = (F_R - F_f) \cdot \frac{(P + P_f)}{2} + \frac{F_f \cdot P_f}{2} = 35.705 \text{ N} \quad (4.52)$$

Cálculo del índice de tenacidad:

$$I_{30} = \frac{(F_R - F_f) \cdot \frac{(P + P_f)}{2} + \frac{F_f \cdot P_f}{2}}{\frac{F_f \cdot P_f}{2}} = \frac{(6,66 - 0,7) \cdot \frac{(7400 + 4100)}{2}}{\frac{0,7 \cdot 4100}{2}} + 1 = 24,88 \quad (4.53)$$

Luego el índice de tenacidad $I_{30} = 24,88 \approx 30$

Este índice de tenacidad es muy alto, nos indica que el hormigón-caña está muy cerca de ser un sistema elastoplástico ideal. Este valor señala que el material compuesto

hormigón-caña absorbe gran cantidad de energía, por lo que funcionará bien ante posibles perturbaciones dinámicas.

De los datos obtenidos podemos decir que la caña común (*Arundo donax* L.) aumenta la tenacidad de los materiales con los que se une, y puede ser una explicación del buen funcionamiento desde el pasado de las estructuras con caña común frente a sismo.

4.3.2.4.- ADHERENCIA DE LA CAÑA COMÚN.

Se define adherencia, como la unión física (o físico-química) de dos partículas, cualidad de unión, como si de un aglutinante se tratara. La adherencia entre dos materiales de construcción cumple fundamentalmente el objetivo de transmitir tensiones de un material a otro, trabajando ambos a la vez.

El fenómeno de adherencia está originado por dos tipos de causas, unas de naturaleza física y otras de naturaleza mecánica. Las primeras provocan la adhesión de los materiales a través de fuerzas capilares y moleculares desarrolladas en la interfaz y las de naturaleza mecánica están constituidas por la resistencia al deslizamiento debida a la penetración de un material en el otro. En resumen el mecanismo de adherencia puede asignarse a dos causas: adhesión y rozamiento.

La caña común tiene una superficie lisa por lo que para aumentar el rozamiento con otros materiales, se emplea en las construcciones tradicionales sin pelar, o sea sin eliminar los restos de hojas, de esta forma las corrugaduras de las hojas aumentan el rozamiento.

En los ensayos realizados a flexión de morteros de hormigón con cañas, se ha observado que existe adherencia entre los dos materiales, como indican las curvas carga-flecha. En las probetas de hormigón-caña la carga de fisura media obtenida es de 4,2 kN, antes de la fisura del hormigón en la curva carga-flecha se observa un tramo de igual carga y mayor deformación, esto puede ser debido a que en esa zona soportan la carga las fibras superiores a compresión del hormigón; posteriormente a la fisuración aumenta la carga resistente y la deformación hasta un valor máximo, a partir de ese valor máximo se observa claramente que la caña desliza en el hormigón, y disminuye la carga resistente, siendo solo la caña la que soporta los esfuerzos. Luego la fuerza de adherencia de la caña común debe ser mayor que 4,2 kN y menor que 7,46 kN, pero esta teoría deberá ser comprobada posteriormente mediante ensayos específicos



Fig.4.111. Restos de probetas de hormigón-cañas que se han sometido a flexión.

También se realizaron pruebas para comprobar la adherencia de la caña común con materiales usados tradicionalmente, se construyeron dos probetas cilíndricas de morteros de hidróxido de cal rodeados de caña común y dos probetas de mortero de hidróxido de cal para evaluar su relación con la caña; todas las probetas eran cilindros de dimensiones 15 x30 cm, como se puede observar en la figura 4.112.



Fig.4.112. Probeta de caña con mortero de cal.

Las probetas se sometieron a ensayos de compresión paralela a la dirección longitudinal. En el ensayo se comprobó que el comportamiento de las probetas que contenían caña y las que no, soportaron la misma carga a rotura, las cañas de las probetas pandearon a una carga de 7,7 kN como se puede observar en la figura 4.113.

La única diferencia observada fue que una vez terminado el ensayo, las probetas con cañas recuperaban la forma inicial, estando totalmente fisurado el mortero de cal y colapsaban.

Esto parece indicar que existe la misma adherencia de la caña común con el mortero de cal que con el hormigón, aunque no se puede afirmar, ya que la superficie de caña en contacto con el mortero de cal era solo del 25 % y con el mortero de hormigón el 100%.

La caña común tiene una superficie lisa y fina por lo que el rozamiento es nulo salvo por los restos de hojas, luego parece que tiene alguna adhesión con otros materiales

Estos ensayos no son determinantes para medir la adherencia, por lo que sería necesario realizar pruebas específicas que la midieran (ensayo de arrancamiento, ensayos de adherencia por flexión, etc.) para obtener conclusiones.



Fig. 4.113. Ensayo a compresión de una probeta de mortero de cal y cañas.

4.4.- DISCUSIÓN.

Durante el desarrollo de este apartado se han presentado los datos obtenidos y se ha intentado resaltar el trabajo experimental realizado, a la vez que se exponían tendencias, se proponían explicaciones y relaciones con la estructura de la caña común, y se adelantaban conclusiones específicas en cada aspecto analizado.

La figura 4.114 resume las curvas medias obtenidas de esfuerzo-deformación en cada uno de los ensayos mecánicos con caña común, referidas a los mismos ejes y para humedades del 8 y 13,7%, con una probabilidad del 95%.

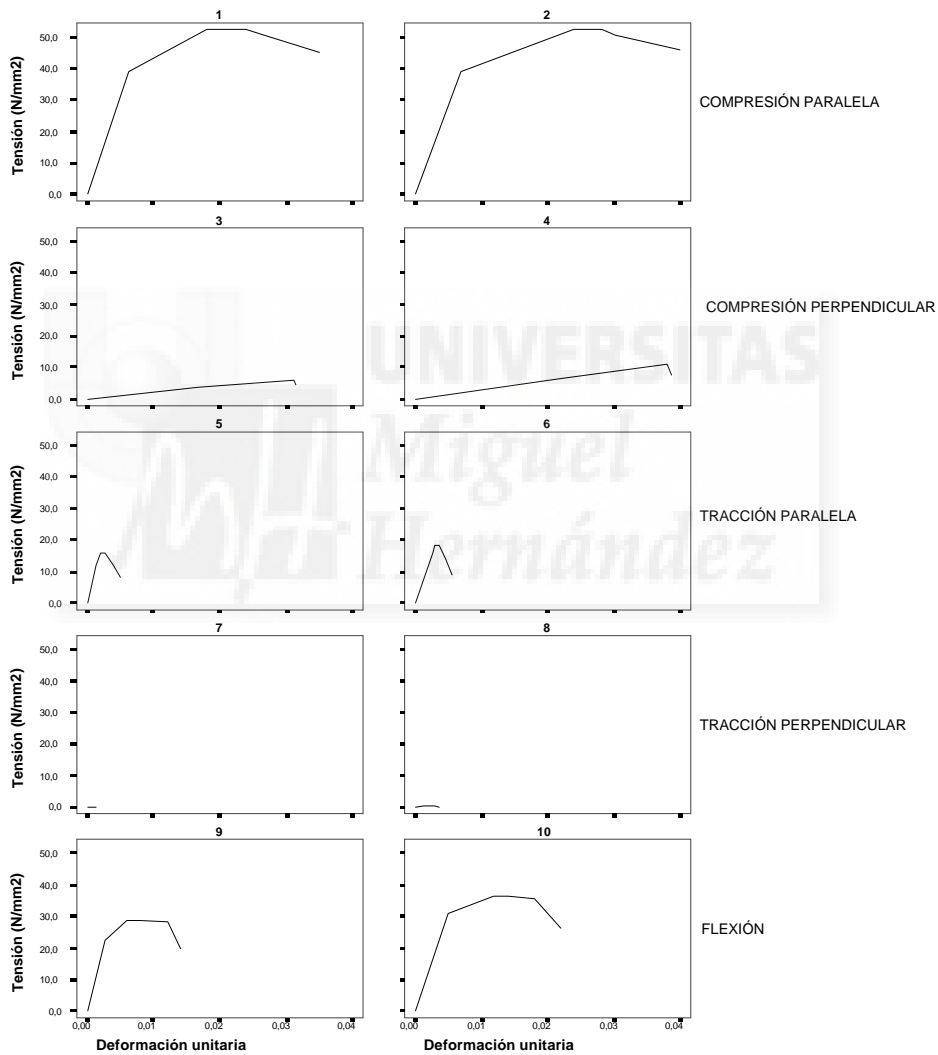


Fig. 4.114. Curvas medias de esfuerzo deformación de la caña común

Dichas curvas constituyen el resumen de las características mecánicas de la caña común, presentadas en los mismos ejes tensión-deformación unitaria y relacionar entre los distintos esfuerzos las tensiones y deformaciones.

Una vez presentados los datos medios obtenidos de las propiedades mecánicas de la caña común, para poder catalogar qué tipo de material resistente es, comparamos sus propiedades mecánicas con las de la madera de construcción, como se indican en la tabla 4.48.

Tabla 4.50. Datos límite de resistencia de la madera de construcción y de la caña común.

	<i>Madera 12 % HR</i>	<i>Caña 11,4 % HR</i>
Flexión (N/mm ²)	30	34,27
Tracción paralela (N/mm ²)	18	17,4
Tracción perpendicular (N/mm ²)	0,6	0,3
Compresión paralela (N/mm ²)	23	52,8
Compresión perpendicular (N/mm ²)	8,0	8,65
Cortante (N/mm ²)	3,0	3,054

PROPIEDADES DE RIGIDEZ.

	<i>Madera 12 % HR</i>	<i>Caña común 11,4 % HR</i>
Módulo de elasticidad paralelo medio "E" (kN/mm ²)	10	7
Módulo de elasticidad perpendicular medio "E" (kN/mm ²)	0,64	0,327
Módulo cortante medio "G" (kN/mm ²)	0,3	0,35
Módulo de Poisson ν	-	9

Madera. Fuente EN 338.

Caña. Fuente propia.

Los datos del comportamiento mecánico de la caña se han obtenido sin considerar sus nudos, estos le dará mayor consistencia y resistencia mecánica, sobre todo en la dirección perpendicular a las fibras, siendo ésta una hipótesis que habrá que comprobar.

La caña común en relación a las propiedades típicas de la madera, presenta unos resultados sensiblemente superiores en resistencia a rotura a flexión y compresión, y

admite mayores deformaciones y tensiones máximas en términos absolutos, frente a unos valores en torno al 3% en deformación; lo que nos indica que es un buen material resistente. A esfuerzos de tracción y cortante la caña tiene peor comportamiento que la madera, pero estos materiales nunca se someten a este tipo de esfuerzo..

En cuanto a los efectos que produce la caña común unida a otros materiales, en los ensayos con morteros de hormigón, mejora los efectos a flexión, como puede observarse en la figura 4.115. De los datos obtenidos la caña favorece la flexibilidad de otros materiales rígidos y los hace más ligeros.

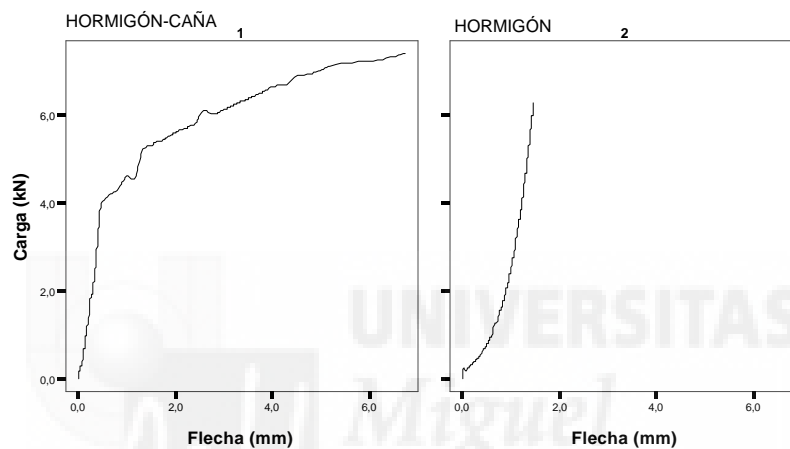


Fig. 4.115. Curvas medias de esfuerzo a flexión-flecha de morteros de hormigón.

En las edificaciones construidas se han observados disposiciones estructurales, donde la caña común estaba sometida a esfuerzos mayores que los hallados experimentalmente (para la caña sin nudos); esto puede justificarse mediante dos teorías: una que la caña soporta mayores cargas que las indicadas en los ensayos, debido a que trabaja con nudos, y la otra teoría sería que trabaja conjuntamente con el mortero de cal al que está unida. Para poder comprobar dichos supuestos habría que realizar pruebas en estas edificaciones, algo que queda fuera de nuestras posibilidades.

A continuación, proponemos una serie de conclusiones sobre la caña común basadas en la caracterización que se ha realizado, y que se consideran suficientemente significativas para reflejarlas como un informe global de este trabajo.

5. CONCLUSIONES



5.- CONCLUSIONES.

Una vez realizado el estudio podemos decir como conclusiones finales:

- a) La caña común siendo un material vegetal no seleccionado, ha presentado unas propiedades mecánicas muy homogéneas en todos los ensayos.
- b) Se diferencian claramente las propiedades en sentido longitudinal y transversal, afectando la humedad sobre todo en el sentido transversal.
- c) Es muy higroscópica, y al aumentar su contenido de humedad se produce un incremento de las propiedades mecánicas, lo que supone una mejora de sus prestaciones en zonas húmedas.
- d) Sus características físicas y mecánicas son similares a las de la madera, e incluso mejores que en algunos tipos de ellas.
- e) De las propiedades medias de la caña común obtenidas mediante análisis físicos y mecánicos expuestos en el apartado anterior, se puede decir, que tiene buenas características como material de construcción.

Ventajas de la construcción con caña:

- Resiste la putrefacción como se ha podido comprobar en las edificaciones visitadas y conserva las propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.
- Crece rápidamente y se puede conseguir una buena cosecha cada 2 años.
- Tiene aplicaciones importantes y bien probadas en las edificaciones tradicionales.
- Se cosecha fácilmente y no requiere ninguna tecnología.
- Es barata de producir, fácil de manipular y la producción es el 100% local.
- Mejora las propiedades de los materiales rígidos con los que se une.

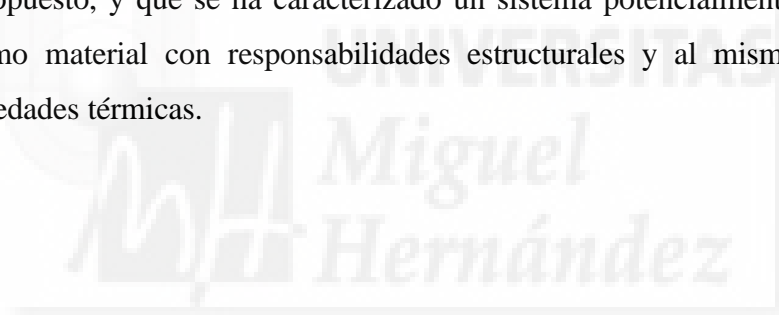
Desventajas:

- Su forma ovalada puede tener empalmes difíciles.
- Tiene cierta tendencia a fisurar cuando se clava, aunque no extrema.
- Sus secciones están limitadas al diámetro y espesor de la caña.
- Tiene fama de tener avidez de agua, pero si se comprueba su poder depurativo de aguas residuales, podría ser una buena solución su doble utilización

- f) Respecto a la conservación del patrimonio construido con caña común, al caracterizarla mecánicamente, se aportan datos técnicos útiles para acometer proyectos de rehabilitación.
- g) La construcción con caña común es inviable en los países desarrollados, pero puede ser un excelente material de construcción en países en vías de desarrollo.
- h) Las características físicas y mecánicas de la caña observadas en los ensayos con hormigón, podrían utilizarse para obtener otros productos prefabricados para su utilización en la construcción.

Sabemos que cualquier trabajo de investigación siempre puede ser mejorado, está siempre abierto a nuevas reflexiones y puede ser objeto de mayores profundizaciones. En este sentido, aspectos como los mecanismos de fractura y adherencia en el material pueden ser analizados con mayor detalle utilizando instrumentos con mayor precisión.

Finalmente, creemos que se han cubierto de un modo razonable los objetivos que se habían propuesto, y que se ha caracterizado un sistema potencialmente útil para ser utilizado como material con responsabilidades estructurales y al mismo tiempo con buenas propiedades térmicas.



6. BIBLIOGRAFIA



6.- BIBLIOGRAFÍA.

1. Abissy, M. and Mandi, L. (1999). The use of rooted aquatic plants for urban wastewater treatment: Case of *Arundo donax*. *Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science*, 12(2), 285-315.
2. L'Académie des sciences" de Francia (1838) el *Arundo donax* L. Comptes rendus des séances
3. AENOR. (1998) Recopilación de normas UNE. Ensayos de hormigón y mortero. Tomo 10. Ed. AENOR. Madrid.
4. Agopyan, V. (1991). Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: uso de fibras vegetais. São Paulo, 204p. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Brasil.
5. Agopyan V. and John, V.M. (1992). Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials. *Building Research and Information*. 20(4), 233-5, 19.
6. Aguiar, F., Moreira, I. and Ferreira, T. (1996). Percepção da vegetação aquática infestante pelas entidades gestoras dos recursos hídricos; [Percepción de la vegetación acuática infestadas por las entidades gestoras de los recursos hídricos]. [Perception of aquatic weed problems by managers of water resources]. *Revista de Ciências Agrárias (Brasil)*. Out.-Dez., 19(4), 35-56.
7. Ahmedna M., Johns M.M., Clarke S.J., Marshall W.E. and Rao R.M. (1997). Potential of agricultural by - product – based activated carbons for use in raw sugar decolourisation. *J. Sci. Food Agric*. 75, 117-124.
8. Anónimo. (1942) La canne de Provence, matiere premiere pour l'industrie de la cellulose. *La Papeterie*. 64(10), 294-301.
9. Anónimo. (1912) Experiments with new materials for the manufacture of paper. Spanish reed (*Arundo donax*) from the Transvall. *Bull. Imp. Inst.* 10, 374.
10. Artley, J. (1940) How to Make Double Reeds for Oboe, English Horn, and Bassoon.
11. Atchison, J.E. (1949) Present and potential use of straw and other agricultural residues in the pulp and paper industry of Western Europe. Pulp and Paper Forest Products Branch, ECA.

12. Autores varios (1999). Guía de l'edificació sostenible. Instituto Cerdá, Barcelona. Ministerio de Fomento.
13. Bahrton A. (1998). Preparation of activated carbons from a fast growing tree species, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia.
14. Baines, A.C. (1957). *Woodwind Instruments and Their History*; with a Foreword by Sir Adrian Boult. Faber & Faber.
15. Bargagli, R., Baldi, F. and Leonzio, C. (1985). Trace metal assessment in sediment, molluscs and reed leaves in the Bay of Follonica (Italy). *Marine environmental research*, 16(4), 281-300.
16. Basso, M., Cerrella, E. and Cukierman, A. (2001). Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados mediante carbones activados obtenidos de un precursor renovable. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 5(1-2), 09-03.
17. Bhat, R.V. and Virmani, K.C. (1951). Indigenous Cellulosic Raw Materials for the Production of Pulp, Paper and Board. Part I. Pulps for writing and printing papers from *Arundo donax* L. Indian Forest Leaflet No. 123.
18. Bhosys, W. (1949). The reed problem. *Woodwind Magazine*. 1(2), 4, 8. 1948 (3): 5,
19. Blanco, J., Bonelli, P.R., Cerrella, E.G. and Cukierman, A.L. (2000). Phosphoric acid activation of agricultural residues and bagasse from sugar cane: influence of the experimental conditions on adsorption characteristics of activated carbons. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39, 4166-4172.
20. Bell, G. P. (1993). Biology and growth habits of giant reed (*Arundo donax*). *Arundo donax*, 1-6.
21. Bell, G. P. (1997). Ecology and management of *Arundo donax* and approaches to riparian habitat restoration in southern California. 103-113
22. Bhanwra, R. K. (1988). Embryology in relation to systematics of Gramineae. *Annals of Botany*. 62(3), 215-233.
23. Bhat, R.V. and Virmani, K.C. (1951) Indigenous Cellulosic Raw Materials for the Production of Pulp, Paper and Board. Part I. Pulps for writing and printing papers from *Arundo donax* L. *Indian Forest Leaflet* No. 123.

-
24. Boose, A., and Holt, J. (1999). Environmental effects on asexual reproduction. *Weed Res*, 39, 117-127.
 25. Brandes, D. (1991). Soziologie und Ökologie von *Oxalis pes-caprae* L. im Mittelmeergebiet unter besonderer Berücksichtigung von Malta. *Phytocoenologia*. 285-306.
 26. Brix, H., and Orr, P. T. (1992). Internal pressurization and convective gas flow in some emergent freshwater macrophytes. *Limnology and Oceanography*. 37(7), 1420-1433.
 27. Carse, A. (1939). *Musical wind instruments*. Courier Corporation.
 28. Celis D'Amico, F. (2000). Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>
 29. Clardy. (1993). Boll weevil antifeedants from *Arundo donax*. *Phytochemistry* 34, 1277-1279.
 30. Cooney, D.O. (1.999). Adsorption Design for Wastewater Treatment, CRS Press LLC, USA.
 31. Costas, M., Michael, Y. and Zacariou-Dodou, M. (1999). Experimental use higher for decontaminating effluents in Cyprus plants: Preliminary results and future prospects the State General Laboratory, Str. De 44 Kimonos; Cy-1451, Nicosia, Chipre.
 32. Cornu, C. (1945). *L'arundo donax* (canne de Provence ou roseau a quenquille). *Petie Casablancais* 31(1221): 3, 4; (1222): 4.
 33. Chandhuri, R.K. and Ghosal, S. (1970). Triterpines and sterols from the leaves of *Arundo donax*. *Phytochemistry*. 9, 1895-1896.
 34. Dadhwal, S. (1998). The operation of some species of the plant in the limestone *Forester Indian*. 124 (3), 261-263.
 35. Dalianis, C. D., Sooter, C. A., and Christou, M. G. (1994, October). Growth, biomass productivity and energy potential of giant reed (*Arundo donax*) and elephant grass (*Miscanthus sinensis giganteus*). In *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Proceedings of the 8th European Biomass Conference, Vienna, Austria*, pp. 3-5.

36. Di Felippo, J. (1955) Twenty-five years of Argentine industrial experience in the pulping of straw and canes. In *Pulp and Paper Prospects in Latin America*. United Nations. FAO. New York.
37. Dudley, T.L. (2000). *Arundo donax L. Invasive plants of California's wildlands*, 53-58.
38. Duque, J.A. (1983). *Arundo donax L. Manual unprecedented energy crops*.
39. Dupont, G. and Escourrou, R. (1925) Les Roseaux, matiere premiere pour la fabrication des pates a papier. *Chim. & Indus. (Paris)* 45: 207-220.
40. Eby, W.M. (1925). *Reed Knowledge*.
41. Echarri, V. (2001). Invariantes formales de la arquitectura tradicional de la Vega Baja del Segura. Diputación de Alicante.
42. Eizaguirre, M., Albajes, R. (1990). Una nota sobre la presencia en Cataluña (España) de un límite parásito del sistema al Thompsoni Herting, parasitoid de Lydella de la mosca del tachinid de los perforadores del maíz. *Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales*. 5(2), 345-348.
43. EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera.
 - ENV 1995-1-1. Reglas generales y reglas para edificación.
 - ENV 1995-1-2. Proyecto de estructuras sometidas a fuego.
 - EN 338: 1995. Madera estructural. Clases resistentes.
 - EN 408: Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
 - BS 5268: Part 2 (1996) Guía para el cálculo, por tensiones admisibles, de los materiales y de los elaborados.
44. Faix, O., Meier, D. and Beinhoff, O. (1989). Analysis of lignocelluloses and lignins from *Arundo donax L.* and *Miscanthus sinensis Anders.*, and hydroliquefaction of *Miscanthus*. *Biomass*. 18(2), 109-126.
45. Ferrán, M. (2001). *SPSS para Windows. Análisis estadístico*. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid.
46. Fornell, T.C. (1990). Widespread adventive plants in Catalonia. In *Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin* (pp. 85-104). Springer Netherlands.

47. Fratteggi-Bianchi, R. (1963). Possibilities of using the leaves of the common cane (*A. donax*) in animal feeding]. *Riv. Zootec.*, Milano 36(6), 343-353.
48. García, J. (1971). *Cultivos herbáceos*. Ed. Agrociencia. Zaragoza.
49. Ghosal, S., Chandhuri, R.K., Cutta, S.K. and Bhattachaupa S.K. (1972). Occurrence of curarimimetic indoles in the flowers of *Arundo donax*. *Planta Med.* 21, 22-28.
50. Gillespie, W.F., Goss, J.J., Dyer, J.K., Ratliff, F.C., and Reed, A.E. (1946) *Arundo donax* cane. Paper presented at annual meeting, T.A.P.P.I., New York City.
51. Gregg S. J., Sing K. S. W. (1982). *Adsorption Surface Area and Porosity*, Academic Press Inc., London.
52. Guillén, J. (1999). *El habla de Orihuela*. Ed. Caja Rural Central. Orihuela. Alicante.
53. Hacıyev, V.C., Mailov, A. I., Atamov, V.V. and Ponomarenko, L.I. (1991). Stock Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud and Arundo donax L. *Azerbaijan. J. Rastitelny Resursi, Leningrad.* 3, 42-46.
54. Hagemann, C.G. (1891) Production of pulp and textile fiber. *Jour. Soc. Chem. Ind.* 11, 1026.
55. Heschel, W. and Klose, E. (1995). On the suitability of agricultural by-products for the manufacture of granular activated carbon. *Fuel.* 74(12), 1786-1791.
56. Hewitt, C. N., Monson, R. K. and Fall, R. (1990). Isoprene emissions from the grass *Arundo donax* L. are not linked to photorespiration. *Plant Science.* 66(2), 139-144.
57. Holman, D. (2002). Combining efforts waged area of invasive reeds. *American City and County.* 117, 3, 16.
58. Hoshovsky, M. (1998) *Arundo donax*. Element Stewardship Abstract. The Nature Conservancy, San Francisco, CA, 10 pp.
59. Inoue, A., Shoji, A., and Yashiro, K. (1998). Saxophonist's cane reed cheilitis. *Contact dermatitis.* 39(1), 37-37.
60. Iverson, M.E. (1994). The impact of *Arundo donax* on water resources. In: Jackson, N.E., P. Frandsen, S. Douthit (ed.) November 1993. *Arundo donax* workshop proceeding, pp19-25. Ontario, CA.

61. Izard, J.L (1983). *Arquitectura Bioclimática* .Ed. Gustavo Gili. México
62. Jackson, G. C. and Nunez, J. R. (1964). Identification of silica present in the giant-reed (*Arundo donax* L.). *J. Agric. Univ. Puerto Rico*. 48, 60-2.
63. Jackson, N.E. (1994). Control of *Arundo donax* L.: techniques and pilot projet. In: Jackson, N.E., P. Frandsen, S. Douthit (ed.) November 1993. *Arundo donax* Workshop Proceeding, pp 27-33.Ontario,CA.
64. Jane, W.N. and Chiang, S.H.T. (1991). Morphology and development of bulliform cells in *Arundo formosana* Hack. *Taiwania*. 36, 85-97.
65. Jane, W. N. (1992). The Ultrastructure of the Embryo Sac before Fertilization in *Arundo Formosana* Hack. *Taiwania*. 37(2), 85-103.
66. Jayme, G. y Harders-Steinhauser, M. (1942) Mikroskopische Untersuchungen an *Arundo donax* L. und daraus hergestellten Zellstoffen. *Papier-Fabrikant*. 40, 89-90, 97.
67. Jayme, G., Hindenburg, K.G. and Harders-Steinhauser, M. (1948). Eignungsvergleich verschiedener Einjahrespflanzen als Rohstoff für Papiersulfatzellstoffe. *Das Papier*. 2, 45-56.
68. Jeronimidis, G. and Vicent, J.F.V. (1984). In *Connective Tissue Matrix*. (Hukins, D. W. L. ed.). Pp. 187-210. London: Macmillan.
69. Jeronimidis, G. and Vincent, J.F.V. (1984) Composite materials. In *Connective Tissue Matrix*, ed. D.W.L. Hukins, 187-209. Verlag Chemie, Weinheim.
70. Jeronimidis, G. and Vincent, J F.V. (Eds.). (1997). *Plant Biomechanics 1997*. University of Reading.
71. Jodice, R., Vecchiet, M., Schenone, G. and Parrini, F. (1994). Giant reed multiplication and cultivation experiences. In *The Eighth Conference on Biomass, Vienna*.
72. Juzgado Privativo de Aguas de Orihuela Alicante (1625) Ordenanzas.
73. Khuzhaev, B. U., Aripova, S. F. and Shakirov, R.S. (1994). Arundine—A new dimeric alkaloid from the roots of *Arundo donax*. *Chemistry of Natural Compounds*. 30(5), 635-636.
74. Khuzhaev, B. U., Aripova, S. F. and Shakirov, R.S. (1994). Dynamics of the accumulation of the alkaloids of *Arundo donax*. *Chemistry of Natural Compounds*, 30(5), 637-638.

-
75. Khuzhaev, B.U., Aripova, S. F. and Shakirov, R.S. (1994). Arundine—A new dimeric alkaloid of *Arundo donax*. roots. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. (5), 685-686.
76. Khuzhaev, B U. and Aripova, S.F. (1998). Alkaloids of *Arundo donax*. *Chemistry of natural compounds*, 34(1), 108-109.
77. Khuzhaev, B.U., Aripova, S.F. and Abdullaev, U.A. (1995). Donaxanin de los alkaloids de *Arundo donax* como Alkaloids nuevo del pyrolidine de *Arundo donax*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. 5, 728-730.
78. Khuzhaev, V.U., Abdullaev, Y.A. and Aripova, S.F. (1996). Alkaloids del Masa-mass-Spectrometry del 5 de *Arundo donax* de los alcaloides de *Arundo donax*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. 2, 217-220.
79. Khuzhaev, V.U., Aripova, S.F. and Abdullaev, U.A., (1996). Alkaloids de la estructura del 6. de *Arundo donax* de Donine. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. 2, 221-224.
80. Kocevar, F., and Javornik-kosler, S. (1956) Pfahlrofrzellstoff, gewonnen aus *Arundo donax* nach dem Sulfatverfahren mit saurer Vorhydrolyse, als Rohstoff fur Chemie-fasern. *Das Papier* 10, 1-4.
81. Köhler, L. and Spatz, H. C. (2002). Micromechanics of plant tissues beyond the linear-elastic range. *Planta*. 215(1), 33-40.
82. Köhler, L. (2000): Biomechanische Eigenschaften und ihr Einfluß auf das mechanische Verhalten von *Aristolochia macrophylla* und *Aristolochia brasiliensis*. BIONA report 14, 148-152
83. Köhler, L. (2000). Biphasic mechanical behaviour of plant tissues. *Materials Science and Engineering: C*. 11(1), 51-56.
84. Kolesik, P., Mills, A. and Sedgley, M. (1998). Anatomical characteristics affecting the musical performance of clarinet reeds made from *arundo donax* l. (gramineae). *Annals of Botany*. 81(1), 151-155.
85. Kotzin, E. (1948). The reed problem. *Woodwind Magazine* 1(1), 4.
86. Lajusticia, E. (1953). Materias Celulósicas Nacionales. VIII. Ensayos ennoblecimiento: caña común, subproductos. *Anal. Fis. y Quim.* (Madrid) Ser. B 49: 853-858.

87. Lawton, C. E., Jeronimidis, G., Pretlove, A. J. and Barnett, J. R. (1996). Anatomical factors affecting the quality of oboe reeds made from *Arundo donax* L. Donaldson, L. A., Singh, A. P., Butterfield, B. G., Whitehouse, L. J ed (s). *Recent advances in wood anatomy*. NZ Forest Research Institute Ltd, 308-315.
88. Lichtenwanger, W. (1940). Instruments of the Clarinet Type Before the Modern Clarinet. M.S. Thesis, University of Michigan, School of Music.
89. Linder C.C. and Gallagher J.L. (1998), Tissue culture and regeneration of the giant reed, *Arundo donax* L., *American Journal of Botany*, 85, 89.
90. Lopez Silgo, L. (1998). Proyecto básico y de ejecución. Restauración del Palacio Episcopal. Orihuela. Alicante.
91. Luna Ercilla, C.A. (1952) La caña común. *Chacra*. 22(257), 44-45.
92. Mavrogianopoulos, G., Vogli, V. and Kyritsis, S. (2002). Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). *Bioresource technology*. 82(2), 103-107.
93. MacGillivray, J. A. (1957). Woodwind and other orchestral instruments in Russia today. *The Galpin Society Journal*, 3-9.
94. Madinaveitia, J. (1937). Alkaloids from *Arundo Donax* L. *Nature*. 139, 27-27.
95. Marinotti, F. (1941) L'utilizzazione della canna gentile "*Arundo donax*" per la produzione autarchica di cellulosa nobile per raion. *La Chimica*. 8, 349-355.
96. Martínez, A. (1998) Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Universidad autónoma de Chapingo. Ed. Trillas. Méjico.
97. Matzk, W. (1998). The convenience of the shank of the *Arundo* (*donax* L. *Arundo*) as matter prima for the industry of the paper. Wyss Ltd. manufacturing program. Escher 40-45
98. Mergo, L., Morgana, B., Sardo, V. and Logia, F. (1998). Experiences with the giant reeds and grasses perennial C4 in Sicily, biomass for energy and industry. International Conference Würzberg. Germany.
99. Miles, D. H., Tunsuwan, K., Chittawong, V., Kokpol, U., Choudhary, M. I., and Clardy, J. (1993). Boll weevil antifeedants from *Arundo donax*. *Phytochemistry*. 34(5), 1277-1279.
100. Miles, D. H., Tunsuwan, K., Chittawong, V., Hedin, P.A., Kokpol, U., Ni, C.Z. and Clardy, J. (1993). Agrochemical activity and isolation of N-(4'-

- bromophenyl)-2, 2-diphenylacetanilide from the Thai plant *Arundo donax*. *Journal of natural products*. 56(9), 1590-1593.
101. Miles, D. H., Tunsuwan, K., Chittawong, V., Kokpol, U., Choudhary, M. I. and Clardy, J. (1993). Boll weevil antifeedants from *Arundo donax*. *Phytochemistry*. 34(5), 1277-1279.
102. Mochizuki, K., Takikawa, H., & Mori, K. (2000). Synthesis of 2, 2, 4, 4-Tetramethyl-N, N'-bis (2, 6-dimethylphenyl) cyclobutane-1, 3-diimine, a Unique Compound from *Arundo donax*, and Its Analogues to Test Their Antifeedant Activity Against the Boll Weevil, *Anthonomus grandis*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*. 64(3), 647-651.
103. Molfino, J.F. (1946) La caña de Castilla; cultivo interesante y productivo. *Chacra*. 17, 60-61.
104. Monsanto. (1989). Label for Rodeo® aquatic herbicide. Monsanto Company, St. Louis, MO.
105. Monti, A. and Venturi, G. (1999). Comune del canna del della de Riposta (*donax L. Arundo*) azotata del concimazione del alla. *Agripolis*
106. Morgana, B., and Sardo, V. (1994, October). Giant reeds and C4 grasses as a source of biomass. In *Biomass for energy, environment, agriculture and industry: Proceedings of the 8th European Biomass Conference, Vienna, Austria* (pp. 700-706).
107. Niklas, K. and Hanns-Christof Spatz (1999): Methods for calculating factors of safety for plant stems. *J. Exp. Biol.* 202, 3273-3280.
108. Neto, C.P., Seca, A., Nunes, A.M., Coimbra, M. A., Domingues, F., Evtuguin, D. and Cavaleiro, J.A.S. (1997). Variations in chemical composition and structure of macromolecular components in different morphological regions and maturity stages of *Arundo donax*. *Industrial Crops and Products*. 6(1), 51-58.
108. Normas Básicas de la Edificación. Ministerio de Fomento.
109. Norma ISO/DIS 527 (1993). Plastics-Determination of Tensile Properties.
110. Norma ISO 1184 (1983). Plastics-Determination of Tensile Properties of Films.
111. Norma. ASTM D638 (1984). Tensile Properties of Plastics.
112. Norma ASTM D882 (1983). Tensile properties of Thin Plastic Sheeting.

113. Obataya, E. y Norimoto, M.. (1.995). Características acústicas del bastón (*Arundo-donax* L) usado para las cañas del análisis de los instrumentos de Woodwind de características vibratorias por un modelo viscoelástico. *Mokuzai Gakkaishi*, 41 (5), 449-453.
114. Obataya, E. and Norimoto, M. (1995). Acoustic properties of cane (*Arundo-donax* L) used for reeds of woodwind instruments 1. The relationships between vibrational properties and moisture contents of cane. *Mokuzai gakkaishi*, 41(3), 289-292.
115. Obataya, E., and Norimoto, M. (1995). Acoustic properties of cane (*Arundo-donax* L) used for reeds of woodwind instruments 2. Analysis of vibrational properties by a viscoelastic model. *Mokuzai Gakkaishi*, 41(5), 449-453.
116. Obataya, E., Norimoto, M. and Gril, J. (1998). The effects of adsorbed water on dynamic mechanical properties of wood. *Polymer*, 39(14), 3059-3064.
117. Obataya, E., and Norimoto, M. (1999). Mechanical relaxation processes due to sugars in cane (*Arundo donax* L.). *Journal of wood science*, 45(5), 378-383.
118. Obataya, E., Umezawa, T., Nakatsubo, F. and Norimoto, M. (1999). The effects of water soluble extractives on the acoustic properties of reed (*Arundo donax* L.). *Holzforschung*, 53(1), 63-67.
119. Oliver, J.G. (1939) *Arundo donax* used in Italy for production of pulp for viscose rayon. *Ind. Fibers Rev.* 4: 33.
120. Ollendorf, A.L., Mulholland, S.C. and Rapp, G. (1988). Phytolith analysis as a means of plant identification: *Arundo donax* and *Phragmites communis*. *Annals of Botany*. 61(2), 209-214.
121. Omori. G. (1996) Eradicating the giant reed (*Arundo donax*) in riparian areas of Marine Corps Base, Camp Pendleton, California. Unpublished report to Environmental Security, California and The Nature Conservancy. *Agr Chemical & Supply, Inc, Oceanside, CA*, 7 pp.
122. Onofry, A. (1940). *La canna comune (Arundo donax L.)*. Cremonese, XVIII.
123. Ordenanzas del Juzgado Privativo de Aguas de Orihuela” (Alicante) (1625)
124. Orechhoff, A. and Norkima, S. (1935). Uber die Alkaloide von *Arundo donax* L. *Ger. Deut. Chem. Ges.* 68, 436-437.

-
125. Ormea, G.B. (1975). "La teoría y la práctica en la construcción". Oepli. Ed. Científico-Médica. Barcelona.
126. Ovchinnikov, Y.B. (1985). Arundo donax reaction to the soil water-salt regime. *Rastitel'Nye Resursy*. 21(2), 206-210.
127. Pareek, A. (1994). Preliminary notes ethnobotanical plants aquatic habitat of Rajasthan. *Journal of Research Phytological*. 7(1), 73-76.
128. Patterson, J.P. (1954). Bassoon Reed Variables: A Basis for Reed Selection. M.S. Thesis, University of Texas.
129. Peleato, M., and Azofra, J.J. (1947.) Materias Celulósicas Nacionales. III. Cañas y juncos. *Anal. Fis y Quim*. 43, 795-800.
130. Perdue, R. E. (1958). Arundo donax—source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany*. 12(4), 368-404.
131. Prenda, J. and Granado L. C. (1996). La influencia relativa de la disponibilidad riparian de la estructura y de los pescados del habitat en actividad sprainting del lutra de la nutria en una captación mediterránea pequeña. *Conservación Biológica*. 76(1), 9-15.
132. Razvigorova, M., Budinova, T., Petrov, N. and Minkova, V. (1998). Purification of water by activated carbons from apricot stones, lignites and anthracite. *Wat. Res*. 32(7), 2135-2139.
133. Raitt, W. (1913) Report on the investigation of savanna grasses as material for the production of paper pulp. *Ind. For. Rec*. 5(3), 74-116.
134. Rejmánek, M., Robinson, G.R., and Rejmánková, E. (1989). Weed-crop competition: experimental designs and models for data analysis. *Weed Science*, 276-284.
135. Rendall, F.G. (1954). *The clarinet*. Williams & Norgate.
136. Renvoize, S. A. (1981). The sub-family Arundinoideae and its position in relation to a general classification of the Gramineae. *Kew Bulletin*, 85-102.
137. Rossa, B., Tueffers, A., Naidoo, G. and von Willert, DJ. (1998). Arundo donax L. (Poaceae): a C3 species with unusually high photosynthetic capacity. *Acta de Botánica*. 111(3), 216-221.

138. Ruel, K., and Joseleau, J. P. (1984). Use of enzyme-gold complexes for the ultrastructural localization of hemicelluloses in the plant cell wall. *Histochemistry*. 81(6), 573-580.
139. Sánchez Soria, F. (2000). Los “ismos” en la arquitectura del Bajo Segura. *Alquibla*. 6., 321-334.
140. Sastre, E. (1971) California cultivation of Arundo donax. Thesis M.B.A. Oboe in operation. California Institute of the Arts. EEUU.
141. Scurlock, J. Dayton, D.C. and Hames, B. (2000). Bamboo: An overlooked biomass resource? *Biomass and bioenergy*. 19(4), 229-244.
142. Seca, A. M., Cavaleiro, J. A., Domingues, F. M., Silvestre, A. J., Evtuguin, D. and Neto, C. P. (2000). Structural characterization of the lignin from the nodes and internodes of Arundo donax reed. *Journal of agricultural and food chemistry*. 48(3), 817-824.
143. Seco, A., Gabaldon, C., Marzal, P. and Aucejo, A. (1999). Effect of pH, cation concentration and sorbent concentration on cadmium and copper removal by a granular activated carbon. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 74(9), 911-18.
144. Shamel, A.D. (1917). Origin of the striped cane. *Journal Heredity*. 8, 471-472.
145. Sharma, K. P., Kushwaha, S. P. S. and Gopal, B. (1998). A comparative study of stand structure and standing crops of two wetland species, Arundo donax and Phragmites karka, and primary production in Arundo donax with observations on the effect of clipping. *Tropical ecology*, 39(1), 3-14.
146. Singh, C., Kumar, V. and Pacholi, R. K. (1997). Growth performance of Arundo donax (reed grass) under difficult site conditions of Doon Valley for erosion control. *Indian Forester*. 123(1), 73-76.
147. Smith, T. (1997). Tryptamines and compounds related in plants. *Phytochemistry*. 16, 171-175.
148. Spafford, W. J. (1941). The bamboo reed (Arundo donax) in south Australian agriculture. *The Journal of the Department of Agriculture of South Australia*. 45, 77-83.
149. Spratt, J. (1956) How to Make Your Own Clarinet Reeds. Stamford, Connecticut.

-
150. Spatz, H.C., Beismann, H., Brüchert, F., Emanns, A. and Speck, T. (1997). Biomechanics of the giant reed *Arundo donax*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 352(1349), 1-10.
151. Spatz, H., Emanns, A. and Speck, T. (1997). Elastic, viscoelastic and plastic properties of *Equisetum hyemale*. In *Plant Biomechanics Conference Proceedings I*. 17-22.
152. Spatz, H., Köhler, L. and Speck, T. (1998). Biomechanics and functional anatomy of hollow-stemmed sphenopsids. I. *Equisetum giganteum* (Equisetaceae). *American Journal of Botany*. 85(3), 305-305.
153. Spatz, H., Rowe, N., Speck, T., and V. Daviero (1998): Biomechanics of hollow stemmed Sphenopsids: II. To have or not to have secondary xylem. *Rev. Paleobot. Palynol.* 102, 63-77
154. Spatz, H. and Speck, T. (1998): Mechanische Stabilität bei hohlen Pflanzenachsen, oder warum knicken *Halme nicht ab*. *BIONA*. 12, 83-90
155. Spatz, H., Köhler, L. and K. Niklas (1999): Mechanical behaviour of plant tissues: Composite materials or structures. *J. of Exp. Biol.* 202, 3269-3272
156. Spatz, H. and Brüchert, F. (2000): Basic Biomechanics of Self-Supporting Plants: Wind loads and gravitational loads on a Norway spruce tree. *Forest Ecology and Management*. 135, 33-44
157. Spatz, H. and Speck, T. (2000): Plant Biomechanics 2000: Proceedings of the 3rd Plant Biomechanics Conference Freiburg-Badenweiler, Thieme Verlag, Stuttgart
158. Spatz, H. (2000): Greenhill's formula for the critical Euler buckling length revisited. In: Proceedings of the 3rd Plant Biomechanics Conference. (H.-CH. Spatz and T. Speck, eds.), Thieme Verlag, Stuttgart, 30-37
159. Spatz, H. (2001): Sicherheitsfaktoren in der Biomechanik von Bäumen. *Jahrbuch der Baumpflege 2001*, Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig, 164-170
160. Spatz, H.-CH. (2001): Sicherheitsfaktoren in der Biomechanik von Bäumen (Kurzfassung). *Landschaftsarchitektur* 31, Heft 2, 29-32
161. Speck, O., Speck, T. and Spatz, H. (1998): Viscoelastizität und Plastizität - oder wie vermeiden Pflanzen destruktive Oszillationen. Eine Biomechanisch-

- funktionsanatomische Analyse des Rhizoms von *Arundo donax*. BIONA report 12, 91-106
162. Speck, T., Speck, O., Emanns, A. and Spatz, H. (1998). Biomechanics and functional anatomy of hollow stemmed sphenopsids: III. *Equisetum hyemale*. *Botanica Acta*. 111(5). 366-376
163. Speck, O. and Fässler, V. (2000): Schwingungsdämpfung bei pflanzlichen Achsen-Schwingungsanalysen von *Arundo donax* und *Carex pendula*. BIONA report 14, 31-38
164. Speck, O., Speck, T. and Spatz, H. (2000): *Arundo donax* as a damped harmonic oscillator. BIONA report 14, 143-147
165. Speck, T. and Spatz, H. (2001): Transkription oder Translation: Pflanzen als Ideengeber für neue Materialien und technische Leichtbaustrukturen. In: BIONIK - Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur. (A. v. Gleich, Hrsg.) B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 2. Auflage
166. Speck, T., Speck, O. and Spatz, H. (2001): Pflanzen als "Ideengeber" für die Technik. BIONA report 15, 187-202
167. Stein, E. D., Tabatabai, F. and Ambrose, R. F. (2000). PROFILE: Wetland Mitigation Banking: A Framework for Crediting and Debiting. *Environmental Management*, 26(3), 233-250.
168. Szabó, P., Várhegyi, G., Till, F. and Faix, O. (1996). Thermogravimetric/mass spectrometric characterization of two energy crops, *Arundo donax* and *Miscanthus sinensis*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 36(2), 179-190.
169. Tidwell, B. (1995). Restauración nativa del hábitat: control de *donax* de *Arundo*. Monsanto.
170. Toles C.A., Marshall W.E. and Johns M.M. (1999). Surface functional groups on acid-activated nutshells carbons. *Carbon* 37. 1207-1214.
171. Tomeo, M., Herrero, L. y Astor, M.I. (1954) Materias celulósicas secundarias. Aprovechamiento de caña de maíz, caña común y retama. X. Cong. *Intern. Indus. Agrig.* 4, 3223-3230.
172. Tolerancia, M.H. and Saleh, M. (1996), Efecto Hepato-Protector de Daturaolone aislado de la solanácea *Arundo*, *Pharmazie*, 51(8), 593-595.

-
173. Toles, C.A., Marshall, W.E., Johns, M.M., Wartelle, L.H. and McAloon, A. (2000). Acid activated carbons from almond shells: physical, chemical and adsorptive properties and estimated cost of production. *Bioresource Technology*. 71, 87-92.
174. USDA Forest Service. 1993. Eradication of *Arundo donax*, San Francisquito and Soledad Canyons. Environmental Assessment. USDA Forest Service, Angeles National Forest, CA.
175. Valsáin, F. (2000). Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos. Actas del seminario del CENEAM (Centro Nacional de Estudios Ambientales).
176. Van der Merwe, C.G., Schoonbee, H.J. and Pretorius, J. (1990). Observations on concentrations of the heavy metals zinc, manganese, nickel and iron in the water, in the sediments and in two aquatic macrophytes, *Typha capensis* (Rohrb.) N. E. Br. and *Arundo donax* L., of a stream affected by goldmine and industrial effluents. *Water S. A.* 16(2), 119-124.
177. Vanin, S.I. (1939). On the anatomical structure and physicommechanical properties of the stem of *Arundo donax* L. (in Russian). *Priroda Akad. Nauk S.S.S.R.* 1939 (8), 67-69
178. Veselack, M. (1973) *Arundo donax*: the source of natural Reed wind instruments. Thesis. Muncie. Indiana: EEUU.
179. Veselack, M. S. and J. J. Nisbet. (1981). The distribution and uses of *Arundo donax*. *Proc. Indiana Acad. Sci.* 90:92.
180. Villar, J.B. (1972). Orihuela en el mundo antiguo. Historia de Orihuela. Ed. Patronato García Rogel. Orihuela. Alicante.
181. Wassel, M. and Ammar, N.N. (1984). Aislamiento de los alcaloides y de la evaluación de la actividad diurética del *donax de Arundo*. *Fitoterapia*. 55(6), 357-358.
182. Williams, A. (1949). The reed problem. *Woodwind Magazine*. 1(4), 5, 6.
183. Wynd, F.L., Steinbauer, G.P. and Diaz, N. R. (1948). *Arundo donax* as a forage grass in sandy soils. *Lloydia*. 11(3), 181-184.
184. Yañez, G (1998) Arquitectura solar, aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural. Ministerio de Fomento. Madrid.

185. Young, T. (1939) *The Making of Musical Instruments* by t. campbell young.
186. Zhalolov, I., Khuzhaev, V. U., Tashkhodzhaev, B., Levkovich, M. G., Aripova, S. F. and Abdullaev, N. D., (1998), "*Arundo donax* alkaloids - VII. Spectroscopic and X-ray diffraction study of arundinin, new dimer alkaloid of above-the-ground part of *Arundo donax*," *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. 6, 790-795.
187. Zhalolov, I., Khuzhaev, V.U., Levkovich, M.G. and Aripova, S.F. (2000). Alkaloids of *Arundo donax*. VIII. 3-alkylindole derivatives in A-donax, *Chemistry of Natural Compounds*, 36 (5), 528-530.
188. Zhizhaev, V. U. and Aripova, S. F. (1998). *Arundo donax* alkaloids, *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. 1, 134-135.
189. Zuñiga, G.E., Argandona, V.H., Niemeyer, H.M. and Corcuera. L.J. (1983). Hydroxamic content in wild and cultivated Gramineae. *Phytochemistry*. 22(12), 2665-2668.

