

ANEXO A

A.1. ENSAYO DE TRACCION

A.1.1. Pruebas de laboratorio.

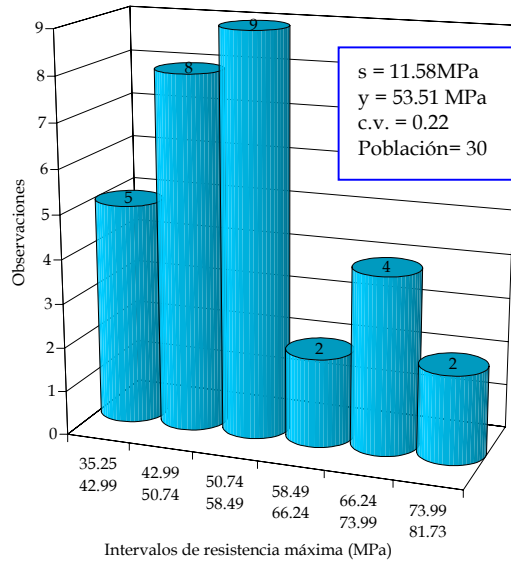
El ensayo es una prueba estática, en que la aplicación de las cargas se hace lentamente, la velocidad aproximada es 0.01 mm/seg.

Los ensayos de tracción se realizaron en el laboratorio de recursos forestales de la Universidad Nacional, en la sede Medellín, utilizando probetas ahusadas como la que se muestra en la figura 1; se ensayaron 30 probetas con dichas características y además se midieron las propiedades de la sección de cada guadua de donde se extrajo la probeta. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla N° 63.

Probeta	Diametro (mm)	Espesor (mm)	Area de ensayo (mm ²)	Carga (kN)	σ max (MPa)
1	112.00	14.10	282.00	11.12	39.44
2	114.00	13.60	272.00	12.25	45.04
3	110.00	13.70	274.00	11.52	42.03
4	106.00	13.40	268.00	16.46	61.43
5	126.00	14.40	288.00	14.21	49.34
6	137.00	12.80	256.00	13.74	53.69
7	119.00	11.80	236.00	12.25	51.91
8	127.00	11.80	236.00	11.42	48.38
9	120.00	11.60	232.00	9.19	39.60
10	126.00	12.90	258.00	17.69	68.56
11	126.00	13.70	274.00	12.59	45.96
12	127.00	12.20	244.00	19.94	81.73
13	122.00	13.10	262.00	12.99	49.56
14	119.00	12.00	240.00	12.94	53.90
15	125.00	13.00	260.00	17.93	68.98
16	135.00	12.50	250.00	15.58	62.33
17	107.00	11.60	232.00	8.97	38.65
18	120.00	12.80	256.00	19.06	74.46
19	110.00	11.50	230.00	11.71	50.92
20	125.00	12.40	248.00	12.79	51.57
21	130.00	12.00	240.00	12.94	53.90
22	130.00	11.30	226.00	14.99	66.35
23	126.00	12.20	244.00	13.18	54.02
24	131.00	12.20	244.00	10.54	43.18
25	120.00	11.70	234.00	13.52	57.79
26	102.00	14.90	298.00	21.27	71.36
27	120.00	12.40	248.00	10.98	44.26
28	110.00	11.40	228.00	8.04	35.25
29	128.00	13.00	260.00	14.60	56.16
30	116.00	12.60	252.00	11.47	45.50

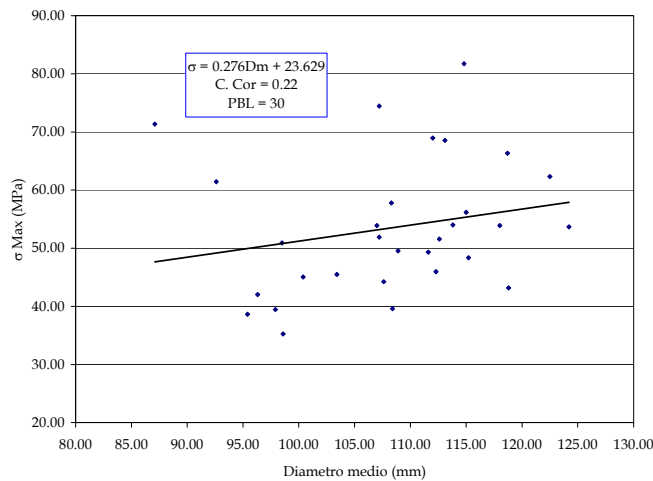
TABLA N° 63. Ensayos de tracción convenio AIS-FOREC

Los resultados de la Tabla N° 63 se muestran en la distribución de la Gráfica N° 23, donde se observa que la tendencia es normal, los datos se agrupan alrededor de la media, 53.51 MPa, con una desviación estándar de 11.6 MPa. Con base en este histograma se determinará un valor de diseño para tracción.



GRÁFICA N° 23. Histograma de resistencia máxima a la tracción.

En la gráfica 2 se observa que la relación entre el diámetro medio y el esfuerzo no es un buen parámetro para el diseño, la dispersión de los puntos es muy alta y se obtuvo un coeficiente de correlación muy bajo, incluso para materiales naturales.



GRÁFICA N° 24. Diámetro medio vs Esfuerzo máximo de tracción.

A.1.2. Valor de diseño por esfuerzos admisibles a tracción.

Utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor)¹, ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número $0.05 \cdot n$, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 30.

$$\diamond \text{ Límite de exclusión} = 0.05 \cdot 30 = 1.5 = 1$$

El esfuerzo último corresponde al valor más bajo registrado en los ensayos. $\sigma_u = 35.25$ MPa.

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad; en el caso de la tracción se utilizan dos:

- \diamond FS = Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad. FS = 1.2
- \diamond FDC = Factor de duración de carga. FDC = 1.11

$$\phi = \frac{1}{FS * FDC}$$

$$\sigma_{adm} = \phi * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 * 35.25 = 26.4 \text{MPa}$$

Este valor de esfuerzo admisible a tracción paralela, es aplicable solo a latas de guadua, para el caso en el que se tengan elementos de guadua rolliza sometidos a tracción el análisis se debe concentrar en la unión.

¹ MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO, Junta del acuerdo de Cartagena, Lima, Perú, 1984.

A.2. ENSAYO DE COMPRESION PARALELA A LA FIBRA

A.2.1. Ensayos de compresión de columnas.

A continuación se presenta gráficamente el comportamiento de columnas de guadua a compresión, frente a algunas variables importantes, con base en datos obtenidos de algunas investigaciones anteriores y los obtenidos en los ensayos del convenio AIS-FOREC, en las cantidades indicadas en el Tabla N° 64.

FUENTE DE DATOS	LONGITUD DE COLUMNA (m) :		L ≈ 0.12 (H/D =1)	0.5	1	2	3	TOTAL
	Desconocida							
Martin, Mateus ²	238				42	44	41	365
Gómez, Rubio ³				61				61
Conv.AIS-FOREC			30					30
TOTAL =								456

TABLA N° 64. Bases de datos ensayos de compresión.

Hay que tener en cuenta que el trabajo de laboratorio en general es aproximado, depende de lecturas de instrumentos, lo que involucra el elemento humano inevitablemente en obtención de los datos.

Lamentablemente anteriores investigaciones no están orientadas por una norma que las homologue, de tal suerte que tienen enfoques y variables diferentes, lo cual hace más complejo el aprovechamiento de esta información.

La propuesta de normas internacionales para ensayos de bambú "INBAR STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO", especifican para el ensayo de compresión una altura de la probeta entre 1 y 2 veces el diámetro, precisamente para que el ensayo resulte evaluando las propiedades del material, sin que sea afectado por efectos secundarios como el pandeo; como se cuenta con diámetros entre 0.07 y 0.13 m, los 0.12m están cumpliendo la norma.

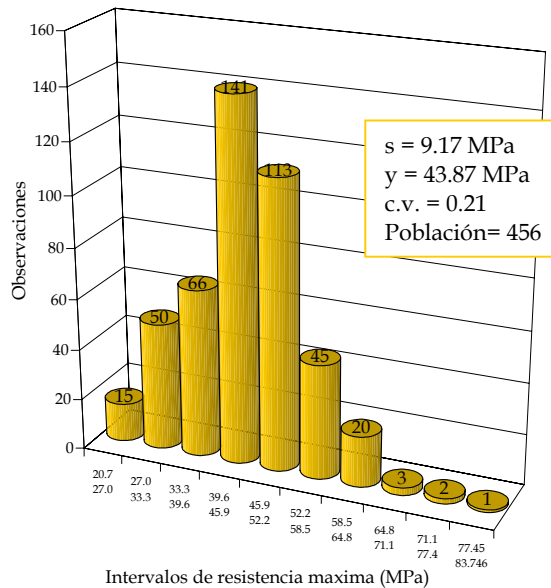
² MARTIN, Jose V. y MATEUS, Lelio R. Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua de castilla. Bogotá : Tesis de grado Universidad Nacional De Colombia Facultad de Ingeniería departamento de Ingeniería Agrícola, 1981.

³ GOMEZ, Carlos. y RUBIO, Fabio. Esfuerzos de trabajo para elementos estructurales de guadua (bambusa guadua). Bogotá . Tesis de grado Universidad Pontificia Javeriana Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil, 1990.

Probeta	Altura (mm)	D (mm)	e (mm)	Dm (mm)	λ	Inercia (mm ⁴)	P max (kN)	Área (mm ²)	σ Max (MPa)
F1	118.9	116.6	9.4	107.2	3.1	4566844.6	144.8	3179.2	45.5
F2	115.8	118.8	9.5	109.3	3.0	4882885.2	131.5	3269.2	40.2
F3	117.7	118.8	9.7	109.1	3.1	4965439.2	138.5	3339.2	41.5
F4	131.0	131.9	16.2	115.8	3.2	9835476.6	224.5	5872.8	38.2
F5	130.6	132.1	12.2	119.9	3.1	8250957.4	177.3	4594.8	38.6
F6	129.5	132.8	16.5	116.3	3.1	10178422.3	262.7	6019.7	43.6
F7	135.9	135.4	18.7	116.7	3.3	11667015.9	235.2	6858.7	34.3
F8	119.0	120.7	9.5	111.2	3.0	5132225.3	136.3	3318.7	41.1
F9	127.5	130.6	12.0	118.6	3.0	7837545.3	205.4	4458.5	46.1
F10	118.0	119.1	9.5	109.7	3.0	4913059.3	147.0	3269.1	45.0
F11	119.6	124.8	10.8	114.0	3.0	6291964.6	139.4	3872.7	36.0
F12	117.3	116.0	8.7	107.3	3.1	4234120.6	125.5	2944.8	42.6
F13	123.5	123.2	10.0	113.2	3.1	5683024.1	119.0	3549.4	33.5
F14	115.9	118.4	9.5	108.9	3.0	4803667.4	131.5	3237.8	40.6
F15	118.7	118.6	9.2	109.4	3.1	4730148.5	130.0	3159.0	41.2
F16	120.5	124.5	10.6	113.8	3.0	6167001.3	149.8	3806.4	39.3
F17	122.0	123.4	10.1	113.3	3.0	5779265.3	142.6	3602.0	39.6
F18	131.0	131.9	16.2	115.8	3.2	9835476.6	208.8	5872.8	35.6
F19	114.2	116.2	9.6	106.6	3.0	4556586.3	187.0	3209.8	58.3
F20	106.4	107.0	8.9	98.1	3.1	3293490.2	167.3	2736.6	61.1
F21	112.3	111.9	9.1	102.8	3.1	3864496.3	184.3	2924.2	63.0
F22	118.0	115.2	9.6	105.6	3.2	4432242.0	180.9	3180.9	56.9
F23	112.4	111.0	9.7	101.2	3.1	3961073.1	181.6	3092.6	58.7
F24	110.4	113.5	9.5	104.0	3.0	4203673.5	184.8	3110.6	59.4
F25	114.1	112.5	9.6	102.8	3.1	4112097.3	191.8	3111.6	61.6
F26	104.5	107.1	9.8	97.3	3.0	3533319.7	183.0	2984.2	61.3
F27	105.0	106.9	9.1	97.9	3.0	3334957.1	190.9	2786.1	68.5
F28	104.3	104.0	9.2	94.8	3.1	3076415.5	142.0	2736.5	51.9
F29	104.9	104.5	8.8	95.6	3.1	3032040.1	140.5	2652.7	53.0
F30	119.2	123.3	11.2	112.1	3.0	6184812.6	214.5	3934.4	54.5

TABLA N° 65. Ensayos de compresión convenio AIS-FOREC

La gráfica 25 muestra la distribución de las resistencias máximas a compresión. El comportamiento de las columnas esta condicionado por la longitud de las mismas, por lo que, para hacer esta distribución se trató de dejar a un lado el problema del pandeo, las columnas largas e intermedias fueron convertidas en cortas y sus resistencias máximas a compresión convertidas en resistencias máximas para columnas equivalentes de longitud 0.12 metros.



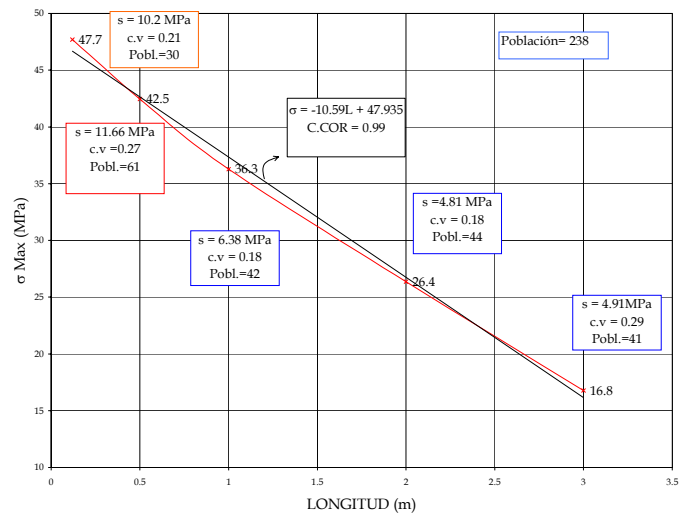
GRÁFICA N° 25. Histograma de resistencias máximas a compresión

Obsérvese que dentro del intervalo central, se localiza el 31% del total de la población y entre los dos más importantes suman el 56% de los ensayos, apenas un 29% está por debajo del intervalo más importante, mientras que por encima está el 40%.

La media de la muestra se localiza en el intervalo con más frecuencia de observaciones, lo que indica que la media es una buena medida de tendencia. La dispersión de los datos es alta, el coeficiente de variación disminuye levemente respecto a los ensayos originales.

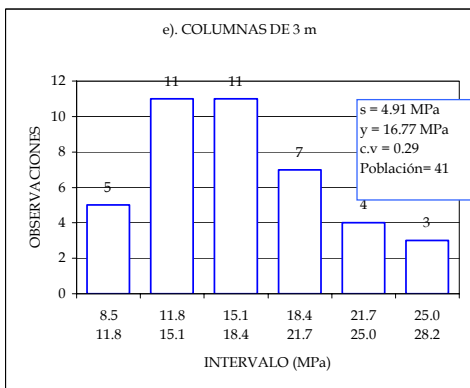
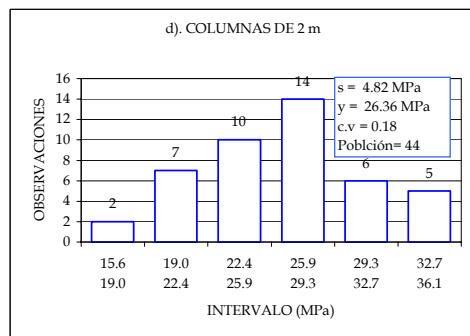
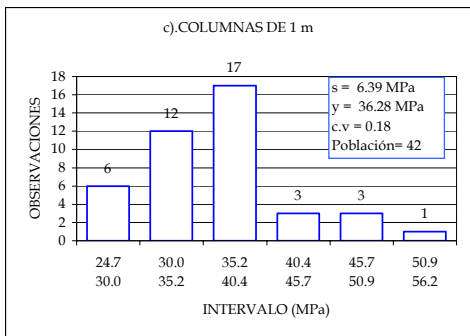
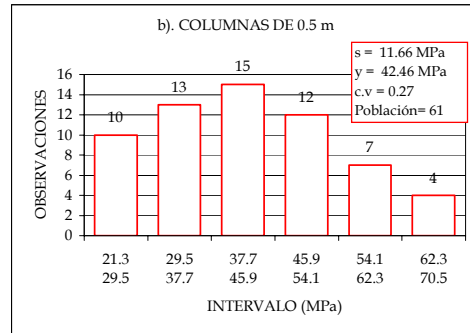
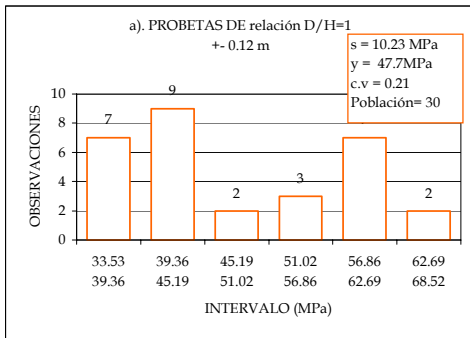
Esta gráfica contiene todos los datos disponibles de probetas a compresión, entre muchas otras variables no especificadas están la especie y la edad que podrían resultar determinantes.

El mencionado procedimiento para lograr los esfuerzos máximos aproximados equivalentes a columnas de 0.12 m, se explica mejor con la Gráfica N° 26, en la que se muestra los promedios de las resistencias máximas a compresión para cada longitud ensayada. Claramente se muestra el comportamiento decreciente con el aumento de la longitud; los promedios presentan una tendencia lineal muy acertada; la línea curva que une los puntos muestra las pequeñas diferencias con la regresión lineal. La utilización de los promedios para hacer esta aproximación está sustentada en que para cada longitud resultó ser una buena medida de la tendencia central, como se muestra en las distribuciones por grupo de longitud (Gráfica N° 27).



GRÁFICA N° 26. Longitud Vs Resistencia máxima promedio a compresión

Podría dársele mayor sofisticación a este arreglo, haciendo la conversión no a través de una línea recta sino a través de la curva de esbeltez que mejor describa el comportamiento; los valores resultarían equivalentes, sabiendo que habría que hacer una aproximación adicional porque las curvas de esbeltez muestran el esfuerzo crítico (o límite de estabilidad) y los ensayos que se tienen son de esfuerzo máximo.



s : desviación estándar

y : media aritmética

c.v : coeficiente de variación

D/H: diámetro / altura

GRÁFICA N° 27. Distribuciones de resistencias máximas a compresión para varias longitudes.

Las Gráficas N° 28 a 33, muestran variables relacionadas directamente con la sección efectiva a compresión, lo que hace que presenten un comportamiento muy similar:

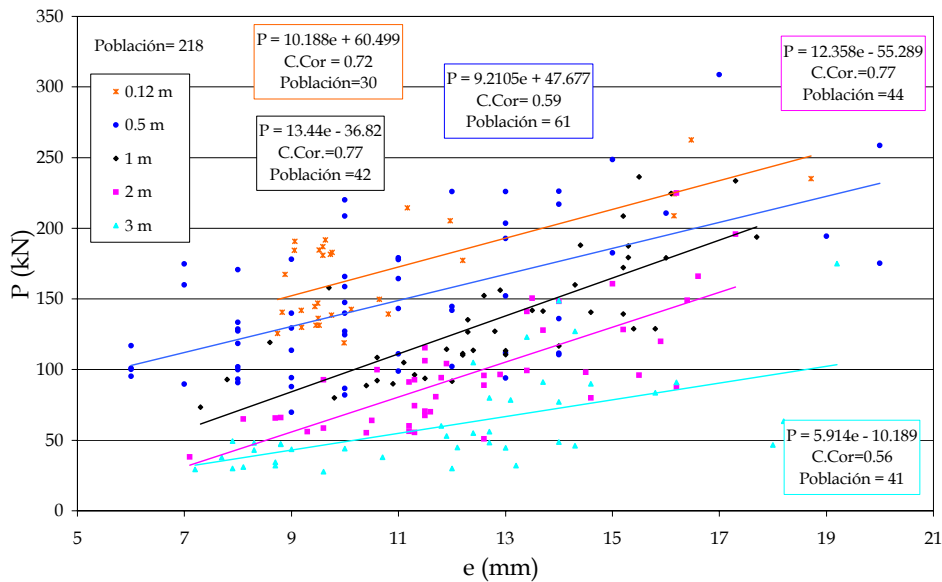
Para estas gráficas se optó por la utilización de Carga (P) en lugar de esfuerzo (σ), por tratarse de variables determinadas por la sección de la probeta, con esto se independizaron las variables de la abscisa y la ordenada.

La representación gráfica del esfuerzo unitario, no es apropiada para el caso del estudio de la guadua, pues la sección no está hecha de material uniforme, sino que es menos denso hacia el interior, por lo que el aumento de espesor y diámetro, no garantiza aumento de material denso, pero si es obligatoriamente un incremento de sección; este incremento disminuye el esfuerzo unitario y resultan gráficas mostrando

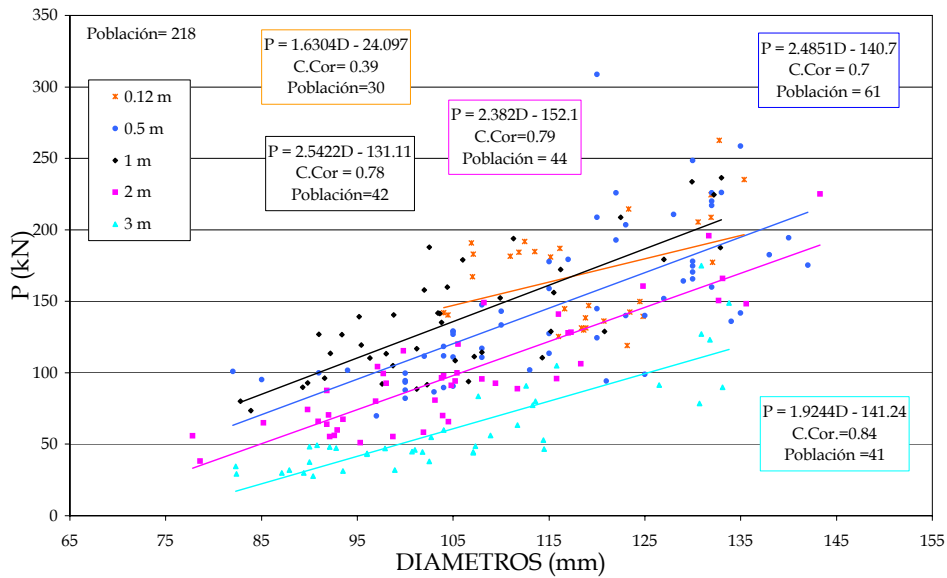
disminución de resistencia con aumento de sección, cosa que no es posible que ocurra, salvo en casos aislados que no representan la generalidad.

Se muestran en cada gráfica, cinco rectas con pendiente positiva, que corresponden a cada uno de los grupos de longitudes y presentan coeficientes de correlación aceptables. El aumento de la variable en las abscisas, aumenta también la capacidad de carga para todas las longitudes.

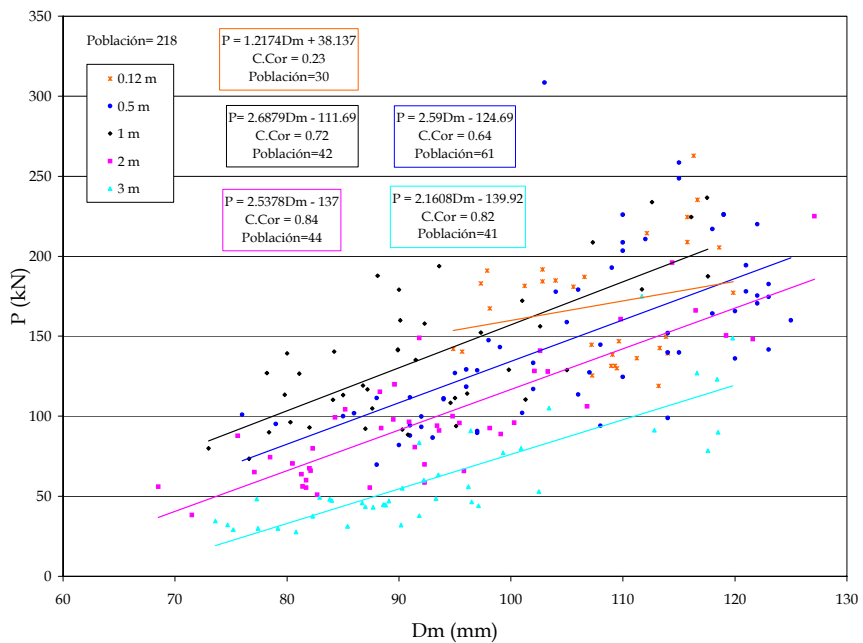
En las cinco gráficas se observa que las columnas de 1, 2 y 3 m, conservan este mismo orden en cuanto a la capacidad de carga, determinado por la vulnerabilidad que implica el aumento de la longitud y era de esperarse que estén por encima en su orden las de menor longitud; sin embargo, como se aprecia en 29, 30, 32, 33, la línea de 0.5 m se encuentra por debajo de la de 1 m; se aprecia también que en las gráficas 29, 30, 33; las de 0.12 m cortan a las de 1 m y se localizan por debajo en un tramo al menos.



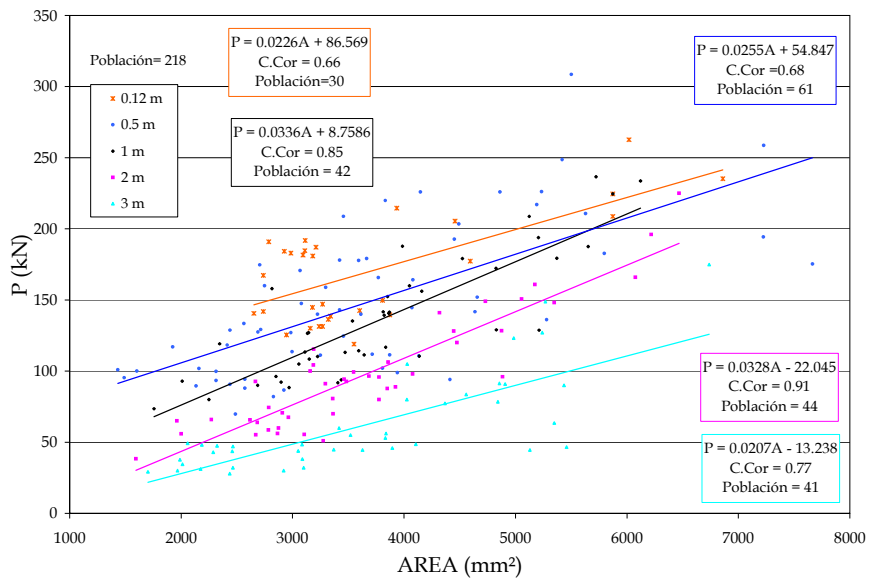
GRÁFICA N° 28. Esesor Vs Carga máxima de compresión



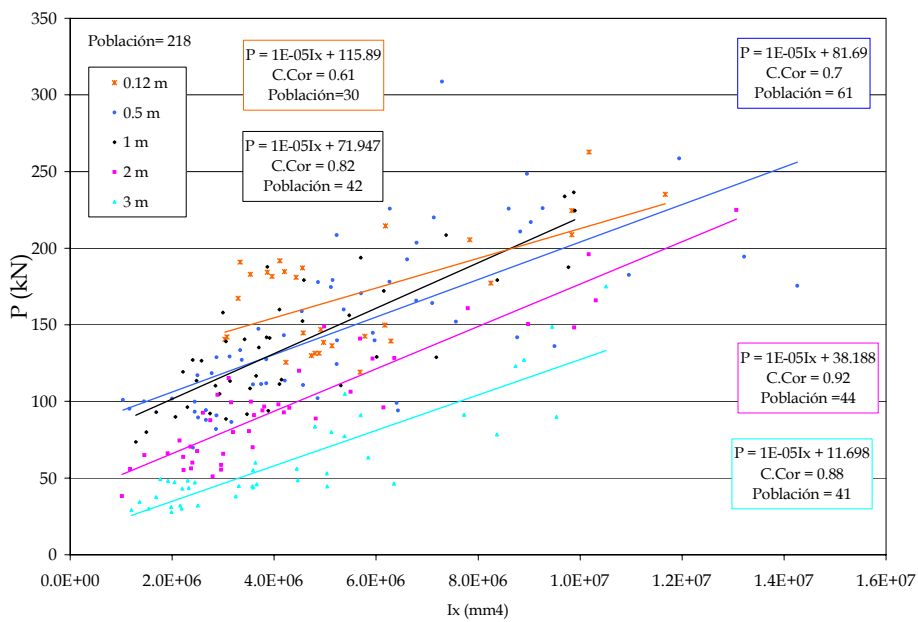
GRÁFICA N° 29. Diámetro exterior Vs Carga máxima de compresión



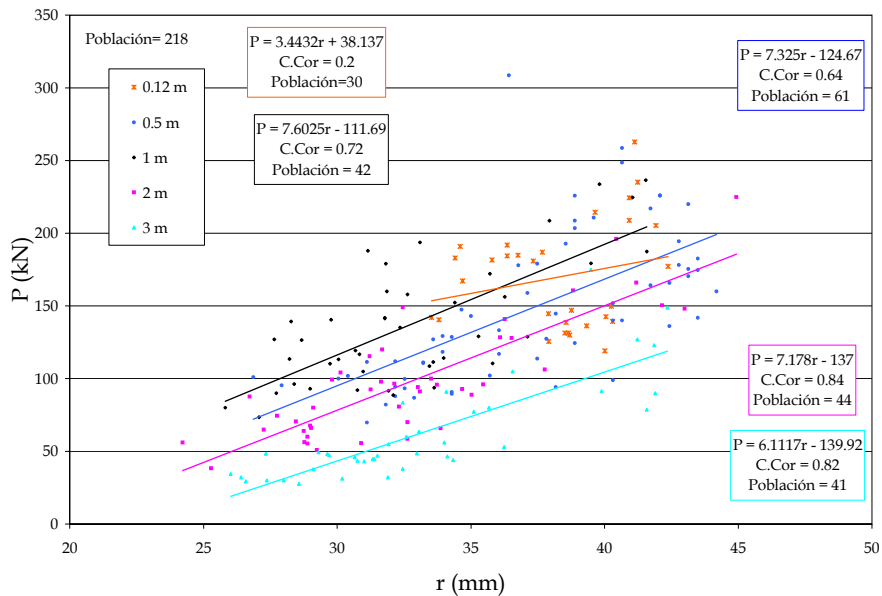
GRÁFICA N° 30. Diámetro medio Vs Carga máxima de compresión



GRÁFICA N° 31. Área Vs Carga máxima de compresión



GRÁFICA N° 32. Momento de Inercia Vs Carga máxima de compresión



GRÁFICA N° 33. Radio de giro Vs Carga máxima de compresión

Lo anterior podría suponer que entre las columnas cortas (incluso hasta las de 1 m), el hecho de que no se panden, ocasiona que las líneas estén por valores muy cercanos, tanto que pueden incluso transponerse con un mínimo de variación en la obtención de los datos*. Las columnas largas (2 y 3 m) se alejan totalmente del grupo de pequeñas y conservan en todas las gráficas su respectivo orden.

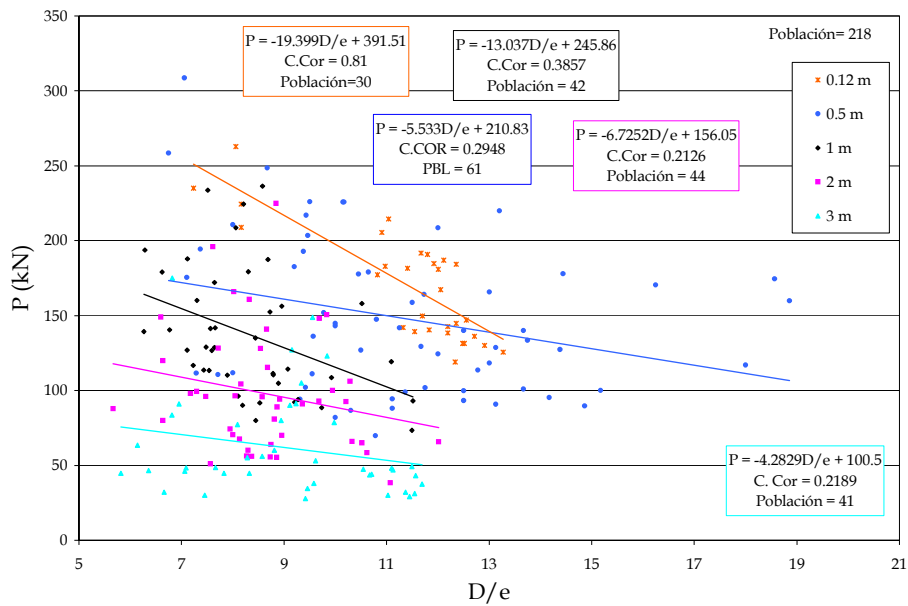
Se puede verificar esta sospecha con las curvas de la secante que describen el comportamiento real para esfuerzo crítico (es extrapolable a esfuerzo máximo), que se muestran en la Gráfica N° 25. nótese que son casi planas en su primer tramo que incluye las columnas de 1 metro cuya relación de esbeltez está en promedio por 31; es de ahí en adelante cuando el aumento de la esbeltez empieza a afectar la resistencia.

Se ha considerado la relación de dos medidas directas de la sección de la guadua, diámetro y espesor, tratando de dar idea de la capacidad de carga, con indicadores de fácil medición e interpretación (que no se consideran directamente en teoría de resistencia de materiales para caracterizar las secciones en tubo; sencillamente no se particulariza y se tratan con radio de giro que es aplicable a cualquier sección)

Esta relación puede ser un indicador más confiable de la capacidad de la guadua por involucrar las dos dimensiones que definen por completo la sección y se deben manejar en conjunto; sería sin duda un error tratar de hacerlo con solo una de éstas, por lo tanto las Gráficas N° 28 y 29, son ilustrativas, pero no prácticas; el resto de gráficas (30 hasta 33) involucran la sección completa.

* Puede tratarse de una pequeña variación inducida por la procedencia de los datos, tener en cuenta que las columnas cortas fueron ensayadas en tres laboratorios distintos en diferentes épocas.

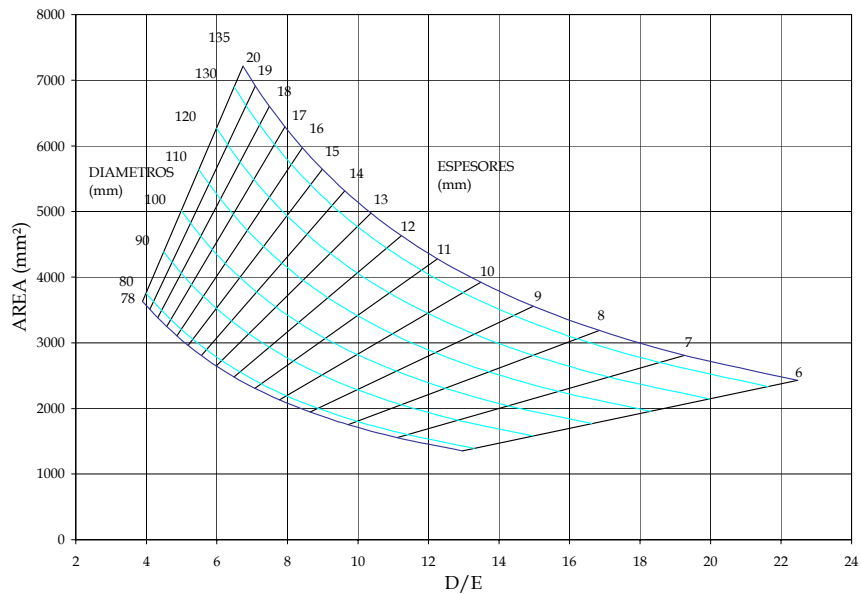
En la Gráfica N° 34 se muestran cinco tendencias lineales descendentes correspondientes a cada grupo de longitudes, indicando que la capacidad de carga disminuye cuando aumenta la relación D/E, pero los coeficientes de correlación son muy bajos, y las pendientes de las líneas no presentan tendencia alguna. La Gráfica N° 34 no puede utilizarse directamente para estimar capacidad de carga en la práctica, es solamente ilustrativa de la incidencia de tales dimensiones en los ensayos de laboratorio.



GRÁFICA N° 34. Relación Diámetro/espesor Vs Carga máxima de compresión

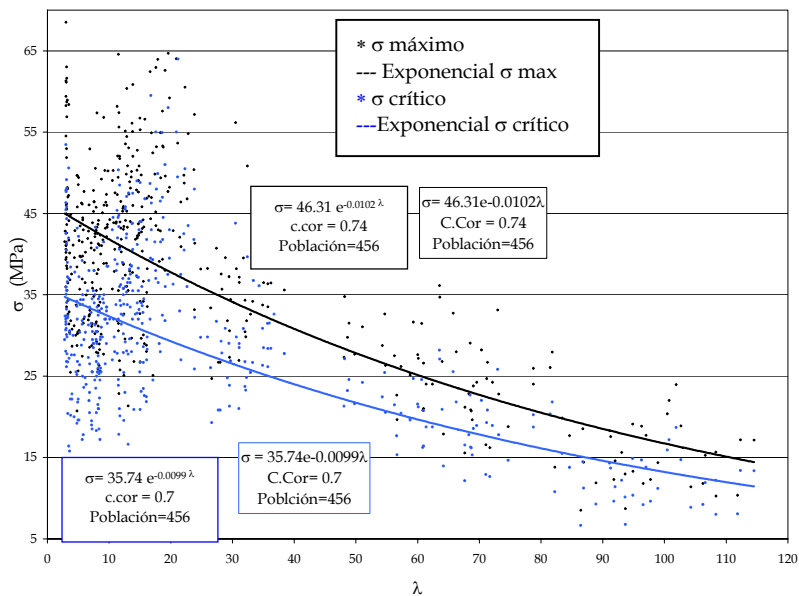
Hay que tener cuidado en la interpretación de esta relación, pues aunque parece muy útil, resulta confusa; un valor determinado de relación D/E por si solo NO proporciona información de la sección, pues para un mismo valor podrían haber muchas combinaciones al igual que áreas de secciones que cumplan con esa relación; esto se ilustra en la Gráfica N° 35. De la misma forma habrá varias cargas máximas para una misma relación D/E.

En la Gráfica N° 35, en la que las líneas exteriores son una envolvente de áreas para dimensiones usuales en guaduas nativas, se muestra además: D/E en las abscisas y en las ordenadas el área A que, por intermedio de las relaciones planteadas en la Gráfica N° 32, podrían dar una aproximación de la carga máxima para una sección de guadua.



GRÁFICA N° 35. Relación Diámetro/espesor Vs Area

La Gráfica N° 36 Esbeltez Vs Esfuerzos a compresión, muestra los datos de todas las columnas ensayadas; se observa una tendencia exponencial (*línea azul*) decreciente a medida que aumenta la esbeltez, con un coeficiente de correlación aceptable; la ecuación de la línea de tendencia es la que se indica en la gráfica.



GRÁFICA N° 36. Relación de esbeltez Vs Esfuerzos a compresión

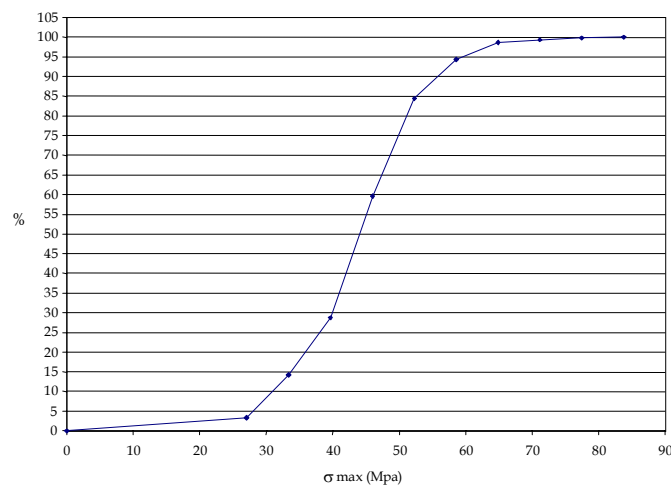
Longitud (m)	Probetas	σ promedio (MPa)	Desviación estandar (MPa)	C.V
0.12	30	47.7	10.23	0.21
0.5	61	42.46	11.66	0.27
1.0	42	36.28	6.39	0.18
2.0	44	26.36	4.82	0.18
3.0	41	16.77	4.91	0.29

TABLA N° 66. Resumen de resultados a compresión

A.2.2. Valor de diseño por esfuerzos admisibles a compresión.

El esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% en la distribución de la gráfica 3 (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor)⁴.

De la Gráfica N° 37 se obtiene el valor del esfuerzo último para 5%, percentil correspondiente a una resistencia de 28 MPa. Se optó por utilizar este criterio por tratarse de una población considerable.



GRÁFICA N° 37. Frecuencias acumuladas de esfuerzos últimos a compresión

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad; en el caso de la compresión se utilizan dos:

⁴ MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO, Junta del acuerdo de Cartagena, Lima, Perú, 1984.

FS =Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad.

FDC = Factor de duración de carga.

$$FS = 1.6$$

$$FDC = 1.25$$

$$\phi = \frac{1}{FS * FDC}$$

$$\sigma_{adm} = \phi * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = 0.5 * 28 = 14MPa$$

A.3. CORTE PARALELO A LA FIBRA

A.3.1. Pruebas de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio que se detallan a continuación, se realizaron con el objeto de determinar la resistencia máxima de la guadua al esfuerzo cortante y con base en la propuesta de normativa para ensayos de bambues, INBAR STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO.

El ensayo para esfuerzo cortante se realizó para fracciones de tallo de longitud igual al diámetro exterior; la mitad de las probetas se ensayaron con nudo, comprimiéndolas entre unas pletinas de forma triangular, de manera que se inducen 4 planos de corte, como se muestra en la Figura N° 59.

Los ensayos de corte se efectuaron en el laboratorio de recursos forestales de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

En total se ensayaron 30 probetas, en las que la carga se aplicó con una velocidad de 0.01mm/s. Los resultados de este ensayo se pueden ver en la tabla 4.

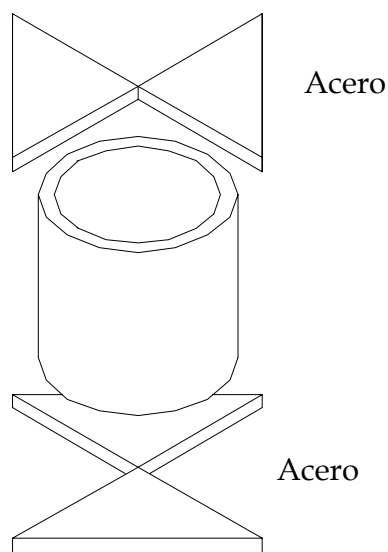


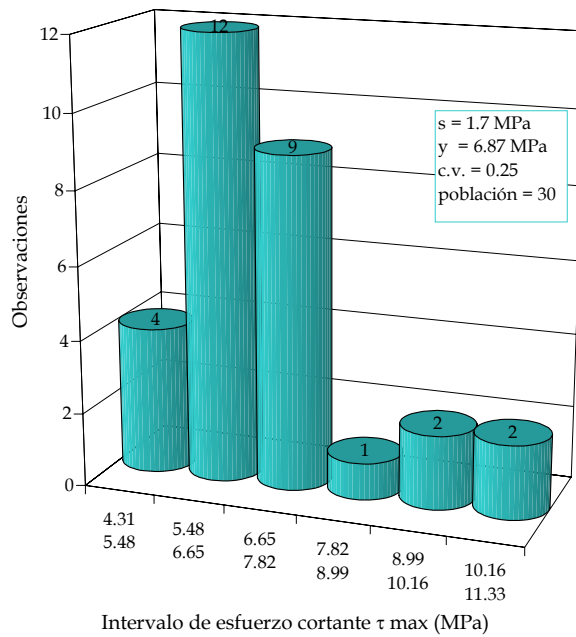
FIGURA N° 59. Ensayo de corte

Probeta	Altura (mm)	Espesor (mm)	Area de corte (mm ²)	Carga (kN)	τ max (MPa)
1	131.3	12.1	6354.92	43.74	6.88
2	108.2	9.6	4154.88	29.04	6.99
3	134.9	12.9	6960.84	46.55	6.69
4	121	10.2	4936.8	31.61	6.40
5	115.6	9.1	4207.84	18.13	4.31
6	113.8	9	4096.8	19.11	4.66
7	133.7	14.9	7968.52	53.66	6.73
8	135.3	12.2	6602.64	41.16	6.23
9	133.5	13.9	7422.6	40.67	5.48
10	131.7	12.1	6374.28	32.10	5.04
11	131.5	12.1	6364.6	42.27	6.64
12	139	11.7	6505.2	42.51	6.54
13	123.8	9.9	4902.48	29.65	6.05
14	114.5	9.2	4213.6	27.18	6.45
15	136.6	13.7	7485.68	35.04	4.68
16	107.4	10	4296	28.18	6.56
17	128.5	11	5654	34.92	6.18
18	124.9	11.2	5595.52	31.85	5.69
19	115.5	10.8	4989.6	38.96	7.81
20	101.7	10.2	4149.36	40.92	9.86
21	111.5	9.7	4326.2	49.00	11.33
22	116.2	11.4	5298.72	59.42	11.21
23	106.2	11.4	4842.72	38.22	7.89
24	132	15.2	8025.6	51.45	6.41
25	106	10.2	4324.8	41.78	9.66
26	131.9	11.5	6067.4	40.67	6.70
27	111.9	9.9	4431.24	29.53	6.66
28	132.8	11.7	6215.04	44.59	7.17
29	118.8	10.1	4799.52	34.67	7.22
30	105.8	10.3	4358.96	26.46	6.07

TABLA N° 67. Ensayos de corte convenio AIS-FOREC

En la gráfica 38 se muestra la distribución de las resistencias al corte de las 30 probetas. El comportamiento es dominado por dos intervalos donde se concentran el 70% del total de las muestras.

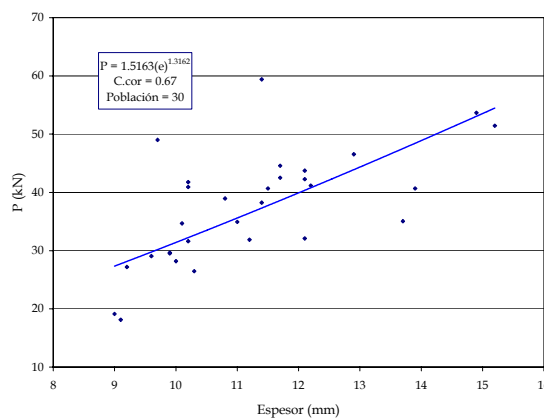
La media es 6.87 MPa y se localiza en el segundo intervalo más importante. La desviación estándar fue de 1.7 MPa que resulta pequeña comparada con los ensayos de tracción, compresión y flexión, lo que muestra una homogeneidad en la resistencia al corte de la guadua. El coeficiente de variación dio 0.25 que por tratarse de un material natural es aceptable.



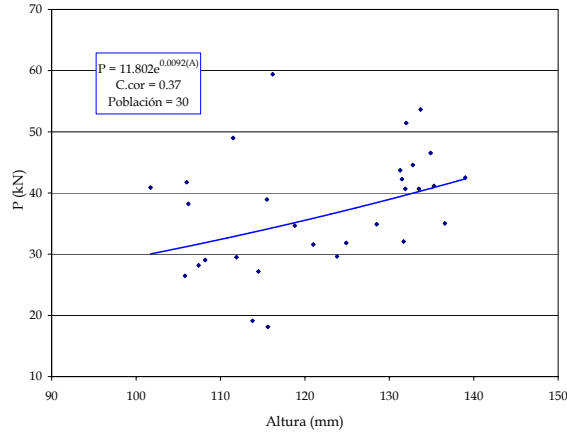
GRÁFICA N° 38. Histograma de resistencias máximas al corte

Para poder comprender mejor el comportamiento de elementos de guadua sometidos a esfuerzo cortante se muestran gráficamente los valores de la Tabla N° 67. Para cada gráfica se buscó la curva que mejor se ajustara.

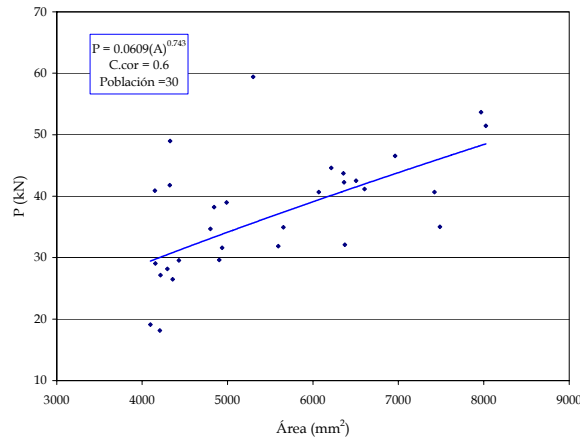
Las Gráficas N° 39, 40 y 41 Confirman la lógica del comportamiento, pues entre más grande el área sometida a corte, mayor será la capacidad de carga, pero de las tres gráficas solo la 39 tuvo una curva con coeficiente de correlación aceptable, debido tal vez a que las variaciones en los espesores son muy pequeñas, lo que permite una mejor agrupación de los datos.



GRÁFICA N° 39. Espesor vs Carga máxima de cortante



GRÁFICA N° 40. Altura vs Carga máxima de cortante



GRÁFICA N° 41. Área vs Carga máxima de cortante

A.3.2. Valor de diseño por esfuerzos admisibles a esfuerzo cortante.

Utilizando el mismo criterio que para el valor de diseño a tracción, en el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor)⁵, ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número $0.05 \cdot n$, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 30.

$$\text{Limite de exclusión} = 0.05 \cdot 30 = 1.5 = 1$$

Es decir, el esfuerzo último corresponde al valor más bajo registrado en los ensayos.

⁵ MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO, Junta del acuerdo de Cartagena, Lima, Perú, 1984.

$$\sigma_u = 4.31 \text{ MPa}$$

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad. En el caso del esfuerzo cortante se utiliza:

FS =Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad.

$$FS = 4 *$$

* incluye factor por concentración de esfuerzos = 2

$$\phi = \frac{1}{FS}$$

$$\sigma_{adm} = \phi * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = 0.25 * 4.31 = 1.1 \text{ MPa}$$