3SIME

3er Simposio de Ingeniería de Materiales y Estructuras

26 de Octubre de 2015, Bogotá, Colombia

Caracterización mecánica del bambú guadua laminado

Caori Takeuchi

Universidad Nacional de Colombia

Universidad Militar Nueva Granada

La U acreditada para todos

Grupo de Investigación Estructuras y Sísmica

Estructuras sismo-resistentes y sostenibles

Contenido

- Justificación
- Elaboración del material compuesto Bambú guadua laminada BGLPP
- Caracterización mecánica del BGLPP
- Aplicaciones, elementos estructurales
- Conclusiones y recomendaciones

Justificación

Guadua angustifolia Kunth

- Material natural
- Renovable
- Sostenible
- Flexible
- Resistente en dirección de las fibras
- Protector de rondas y captador de CO_2

Justificación

Sin embargo…..

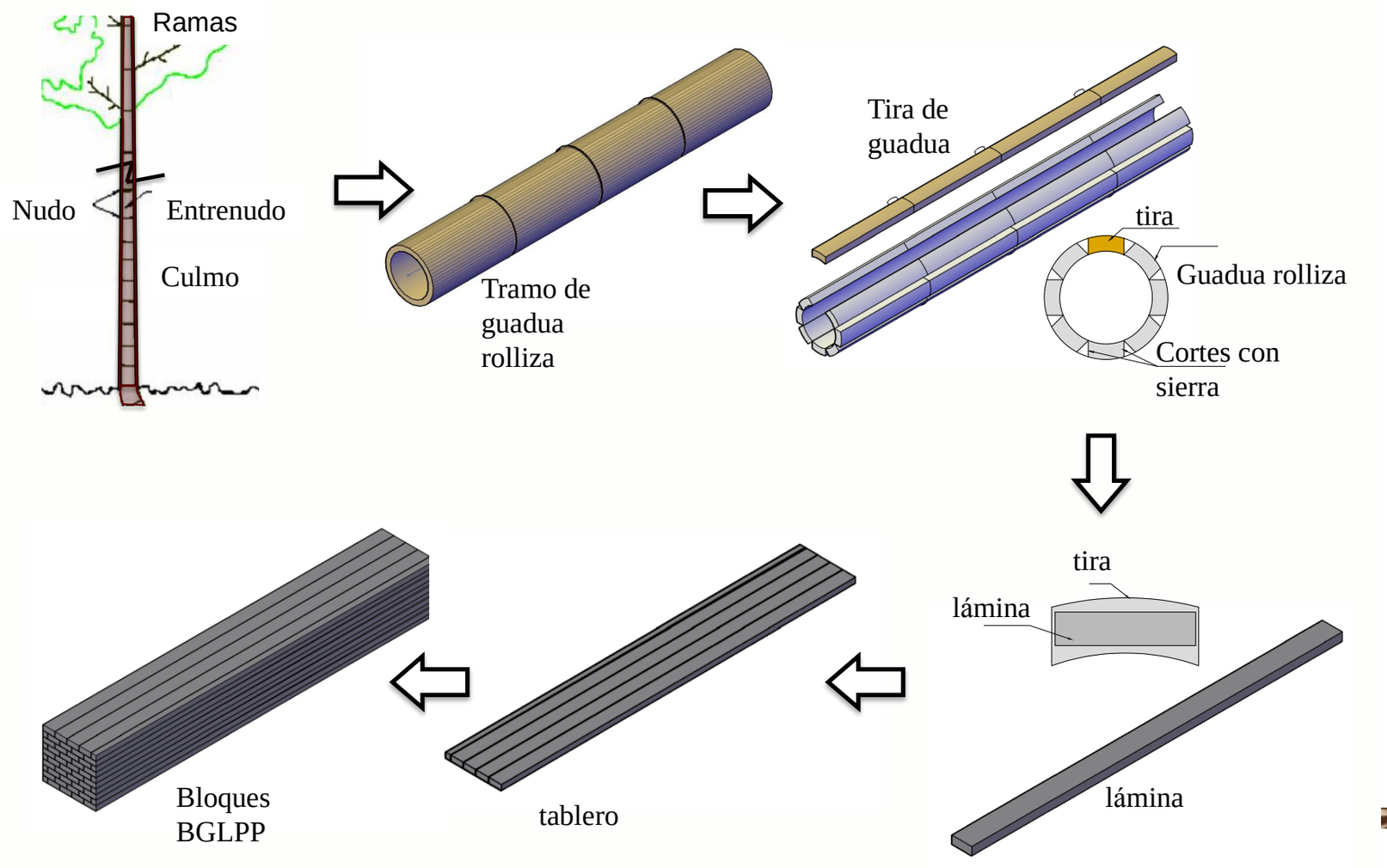
- Sección circular variable
- Distribución aleatoria de tabiques
- Imperfecciones propias
- Propiedades físicas y mecánicas. Valores con alta dispersión

→Proceso de transformación

Bambú guadua laminado pegado prensado

Justificación

Bambú guadua laminado prensado pegado BGLPP?



Justificación

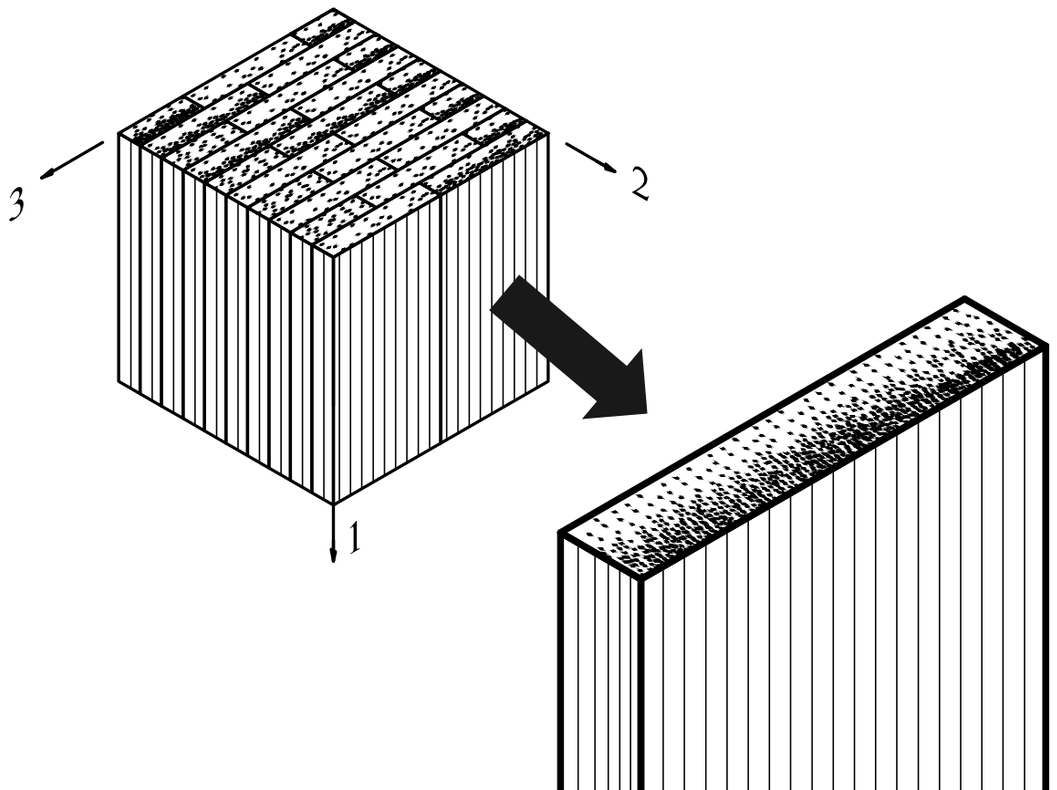
Material BGLPP

- Dispersión menor en valores de resistencia y propiedades elásticas
- Versátil. Sin limitaciones de forma y dimensiones
- Uniones
- Prefabricación

Comportamiento mecánico?

Justificación

El BGLPP es un material ortótropo con propiedades diferentes en las tres direcciones



$$\frac{\nu_{ij}}{\nu_{ji}} = \frac{E_j}{E_i} \qquad (i, j = 1,2,3)$$

Valores de resistencia
Módulos elásticos
Relaciones de Poisson

Justificación

Estudios anteriores para algunas solicitaciones, muestran resultados parciales

(Correal, Echeverry, Ramírez, & Yamín, 2014)

→ otros tipos de ensayos que aseguren estados de esfuerzos particulares.

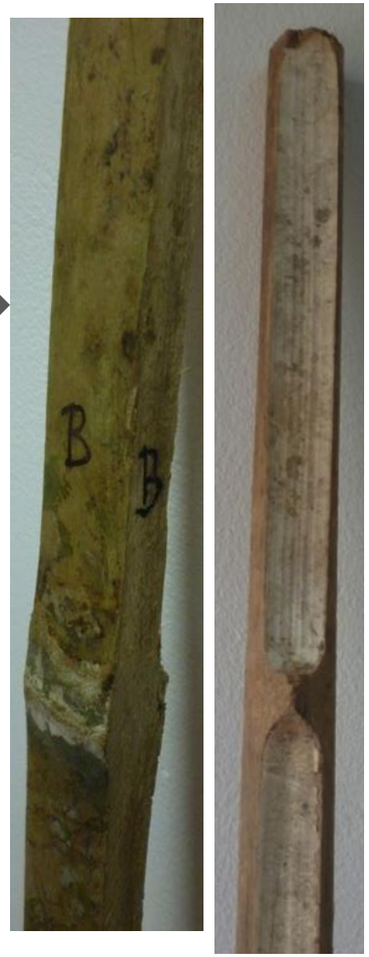
→ Mejorar las condiciones de adherencia entre las partes para mantener el carácter monolítico del material compuesto

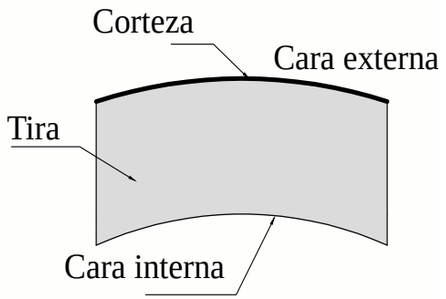
(Cortes, Lozano, Rusinque, & Takeuchi, 2010)

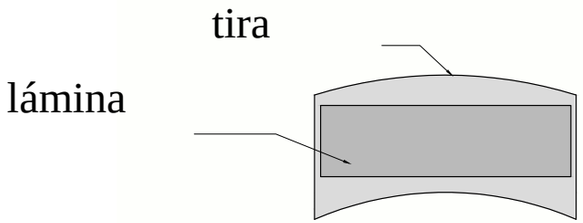
(Cortes y colaboradores, 2010)

Elaboración del material compuesto BGLPP

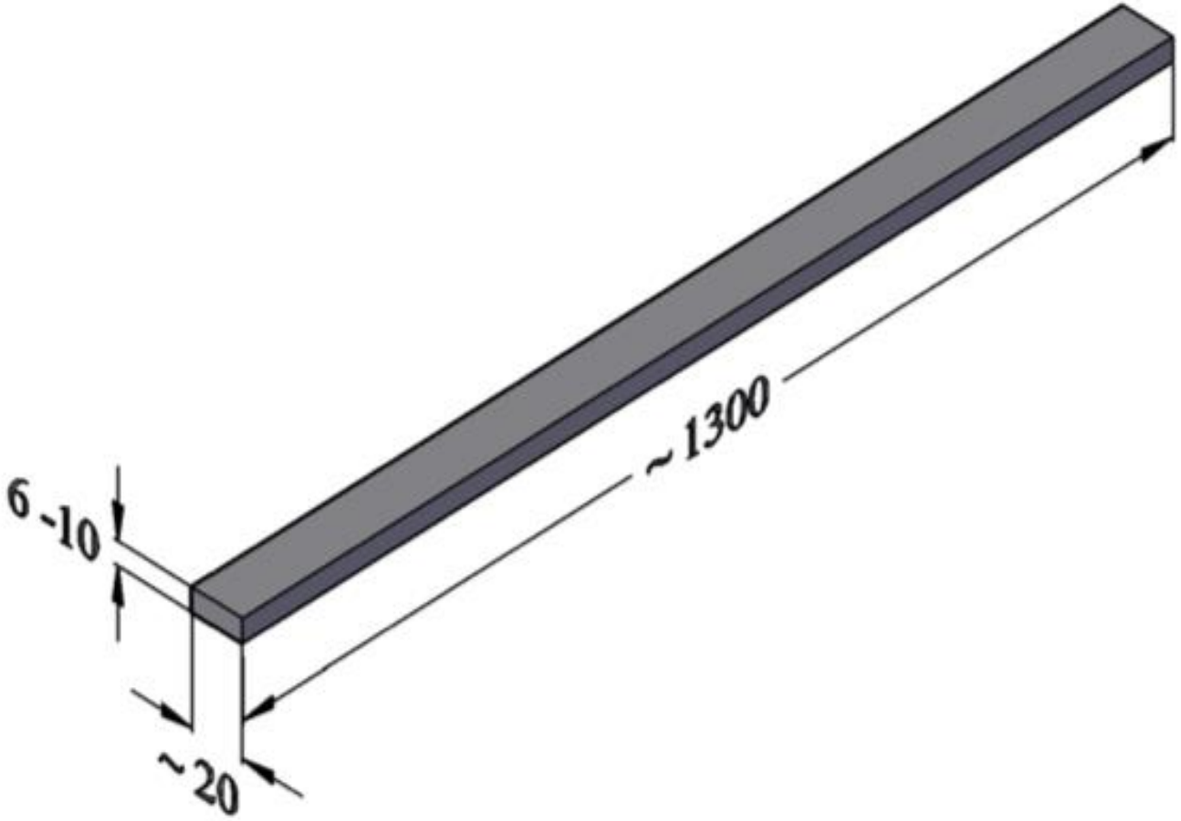
(Ernesto Rodríguez, 2012)



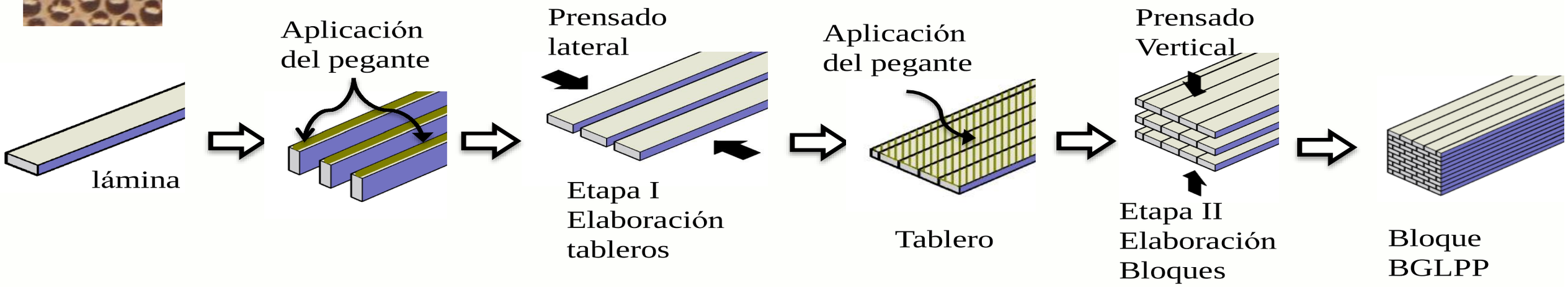




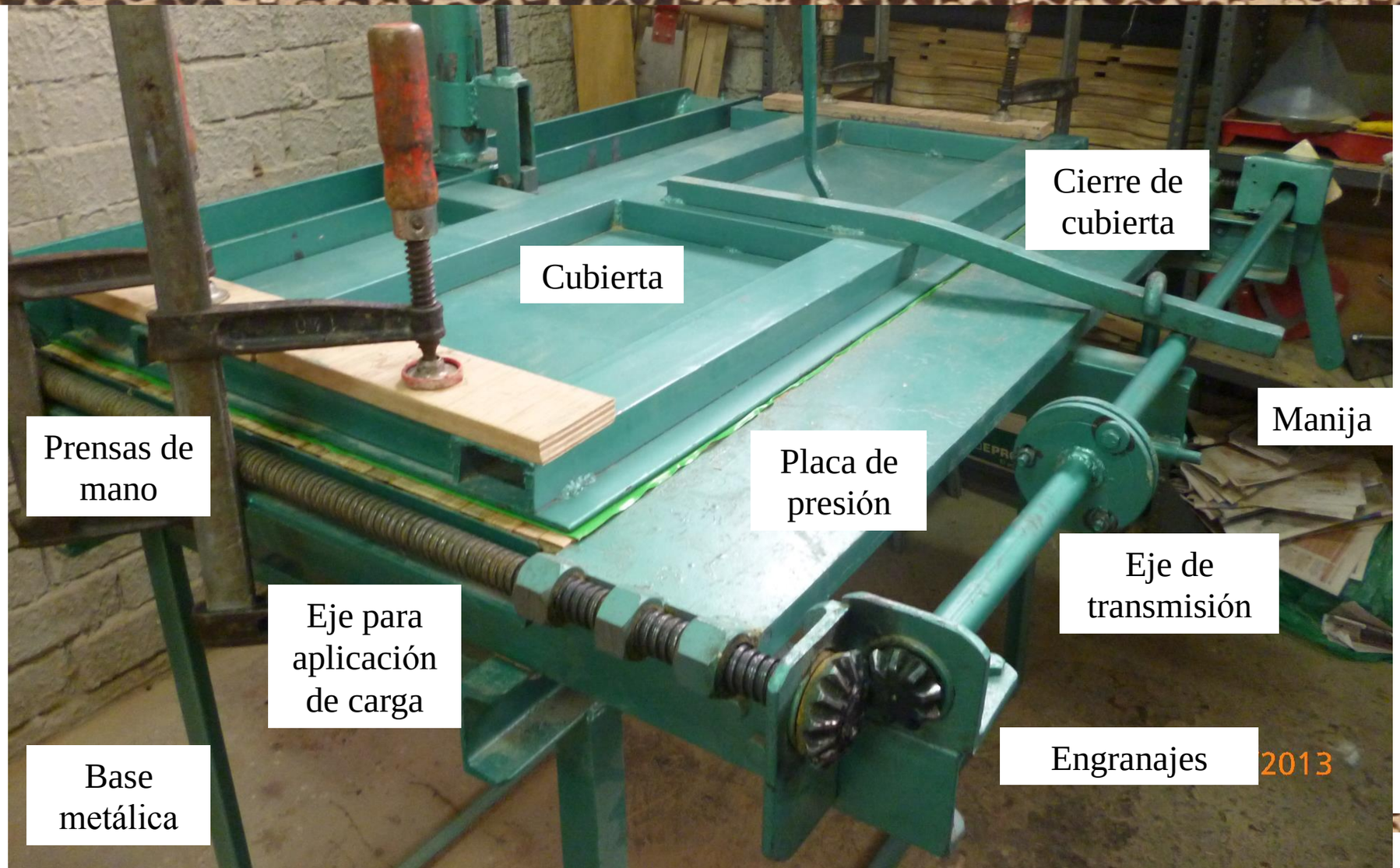
Elaboración del material compuesto BGLPP



Elaboración del material compuesto BGLPP



Elaboración del material compuesto BGLPP

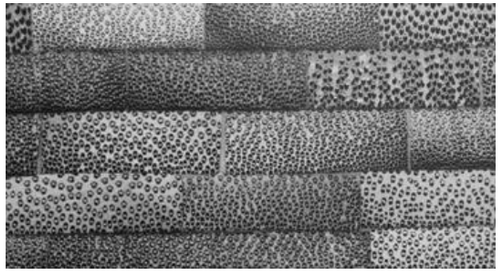


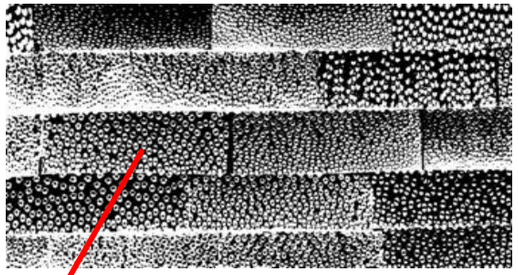
Material compuesto BGLPP

Determinación del porcentaje de fibras

Sección 1
5 x 5 cm²

Sección 2
6 x 3 cm²



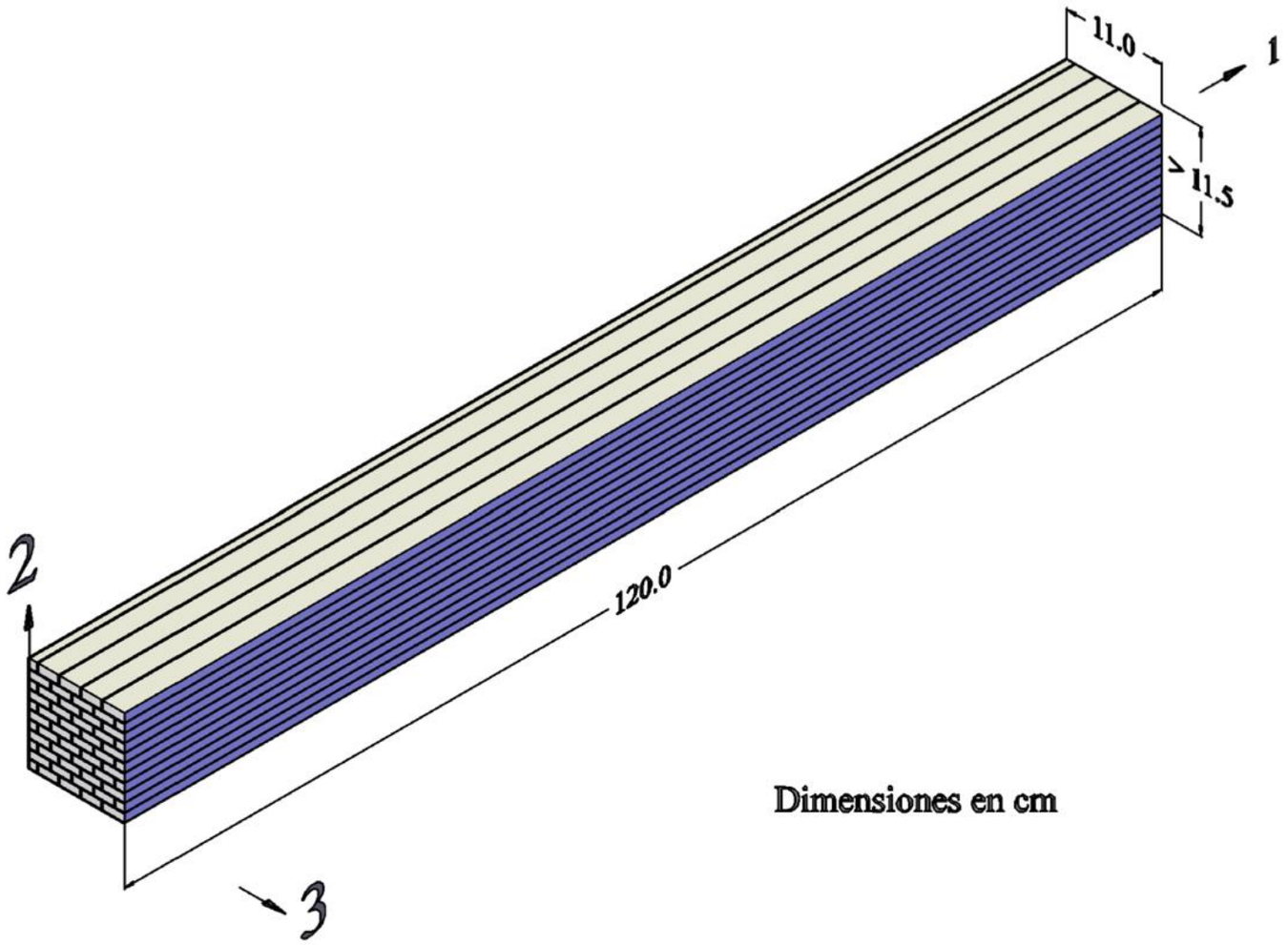


Probetas BGLPP	n	% Fibras		
		Promedio	S	CV
Sección 1	10	43.2	2.6	6.1%
Sección 2	10	45.1	3.3	7.3%

Láminas	n	% Fibras		
		Promedio	S	CV
Grupo 1	24	42.3	12.2	28.8%
Grupo 2	19	48.1	14.0	29.1%

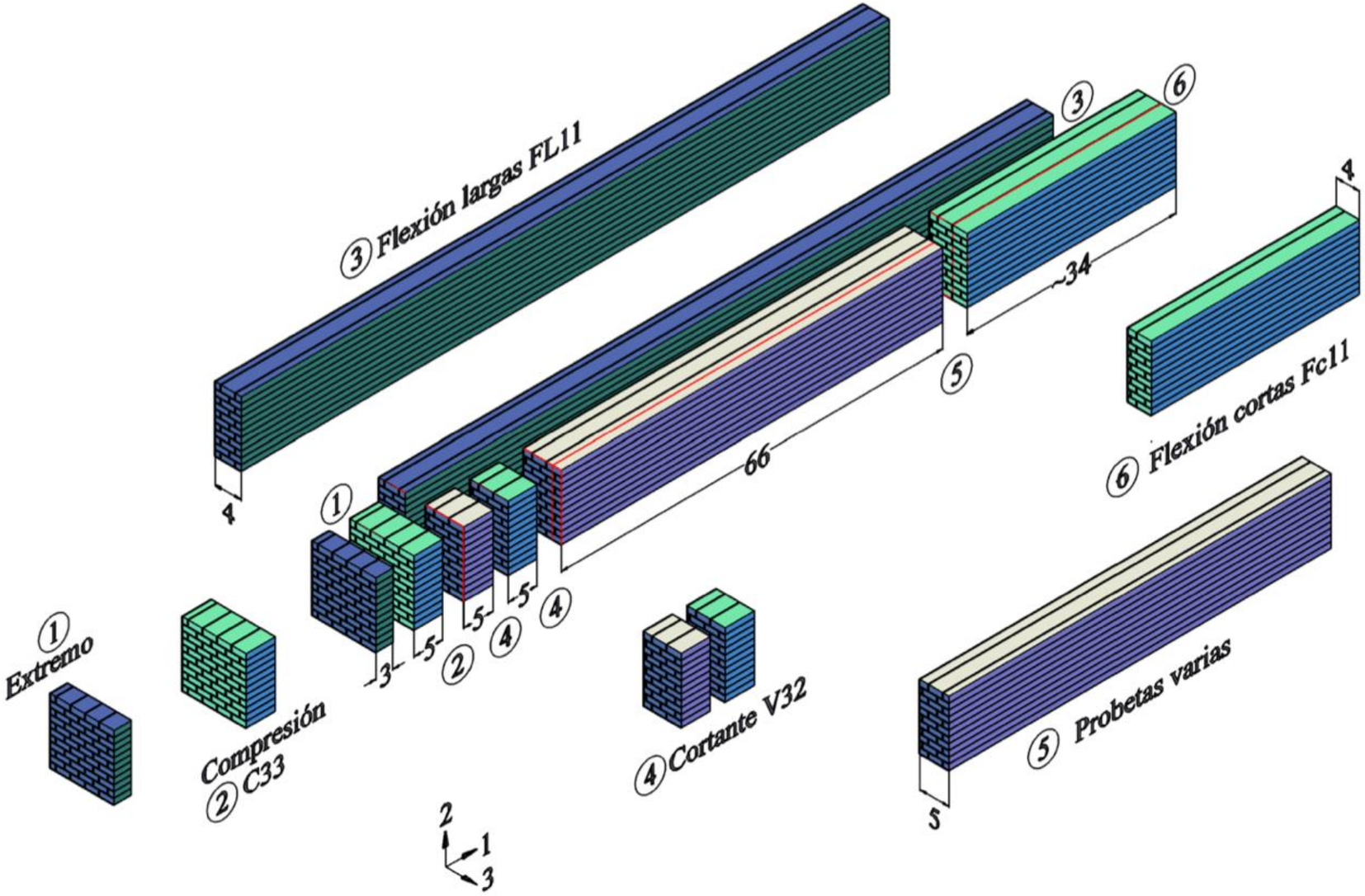
Caracterización mecánica del BGLPP
Nomenclatura

COMPRESIÓN
TENSIÓN
CORTE
FLEXIÓN



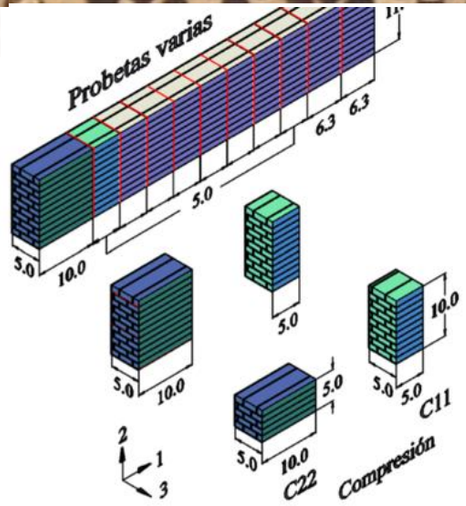
Caracterización mecánica del BGLPP

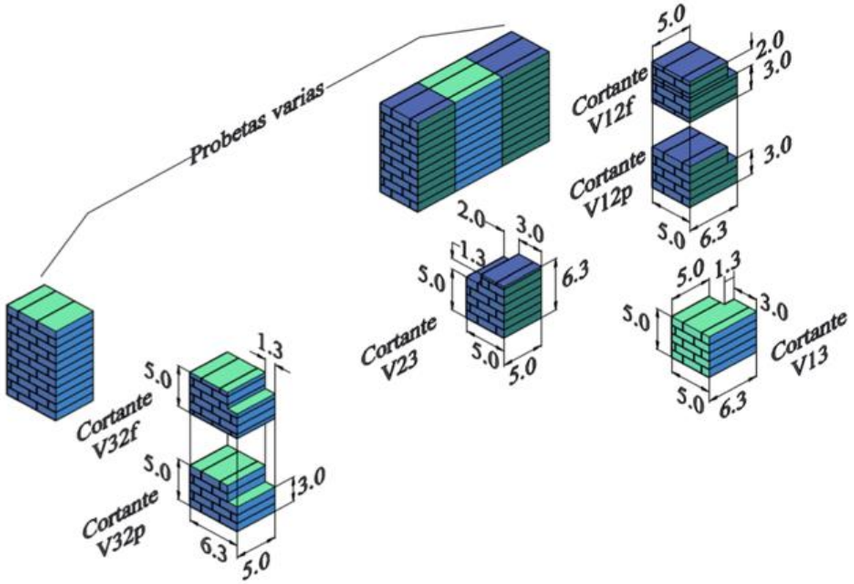
Elaboración de probetas

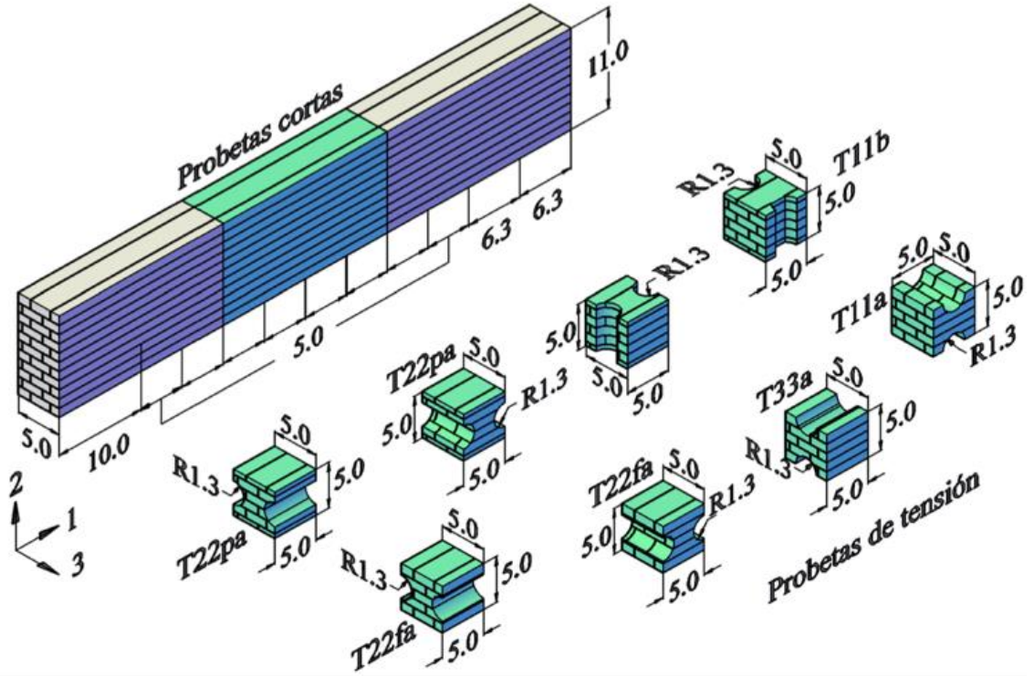


Caracterización mecánica del BGLPP

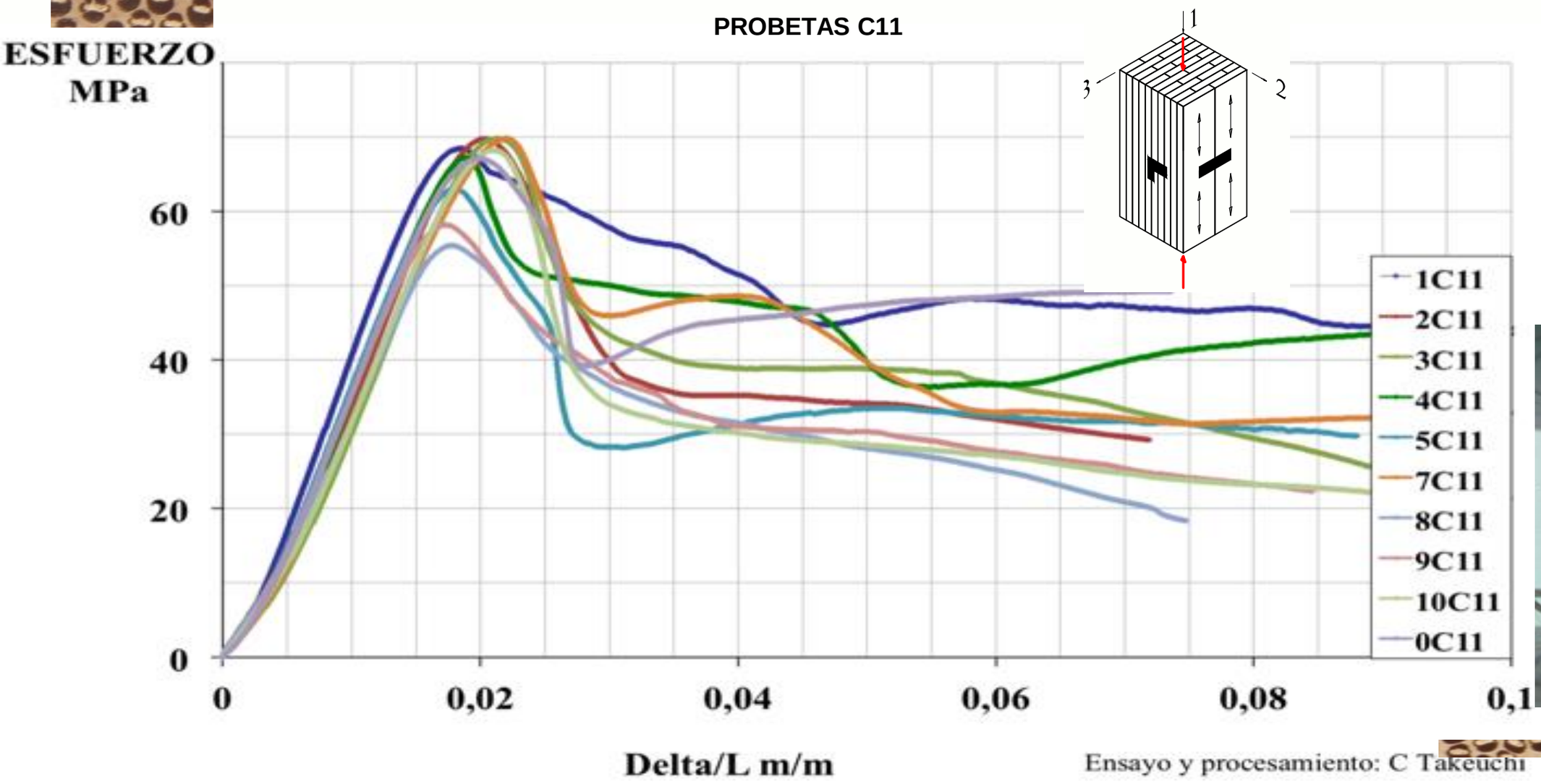
Elaboración de probetas







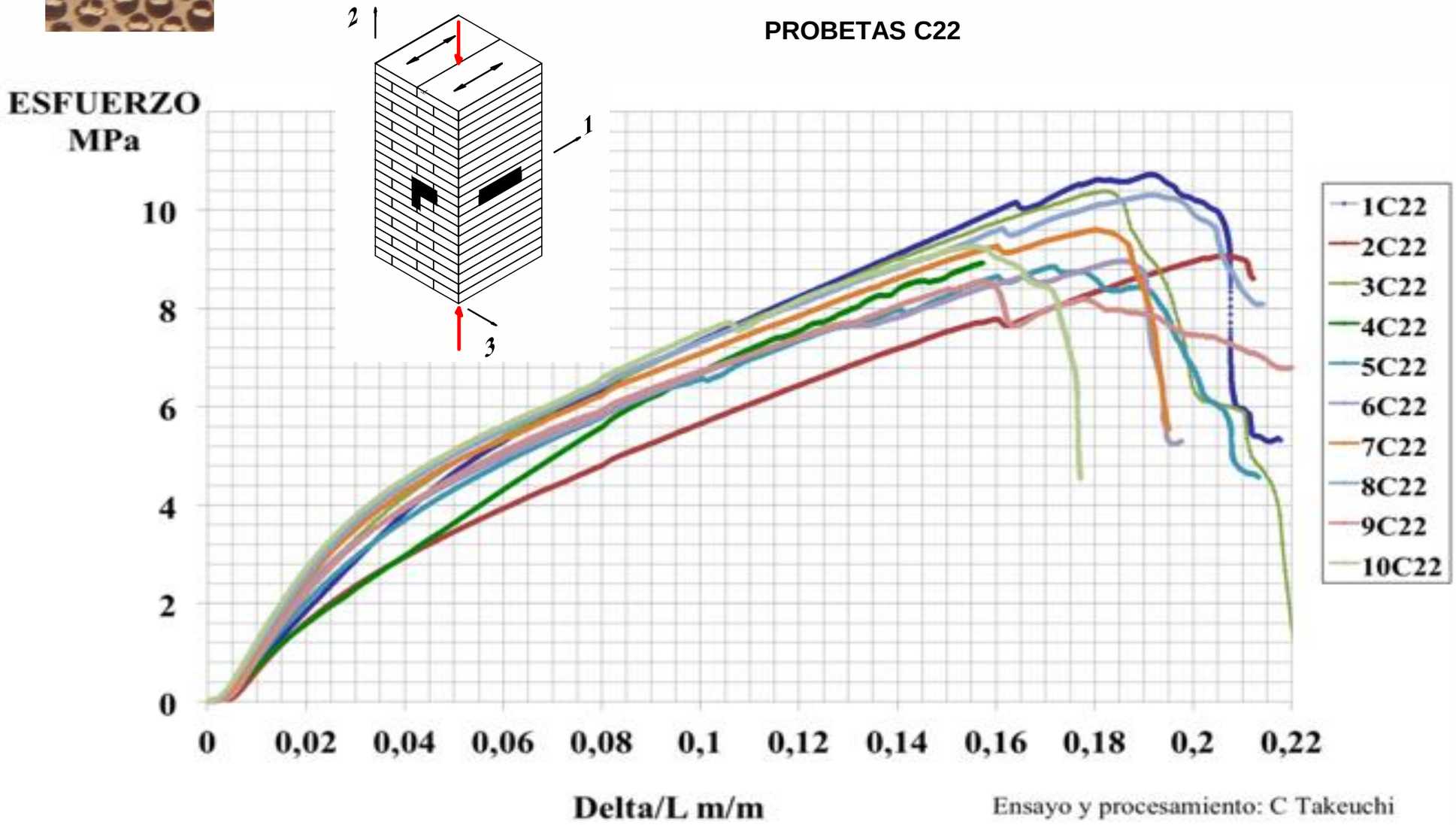
Caracterización mecánica del BGLPP
Compresión paralela a la fibra



Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

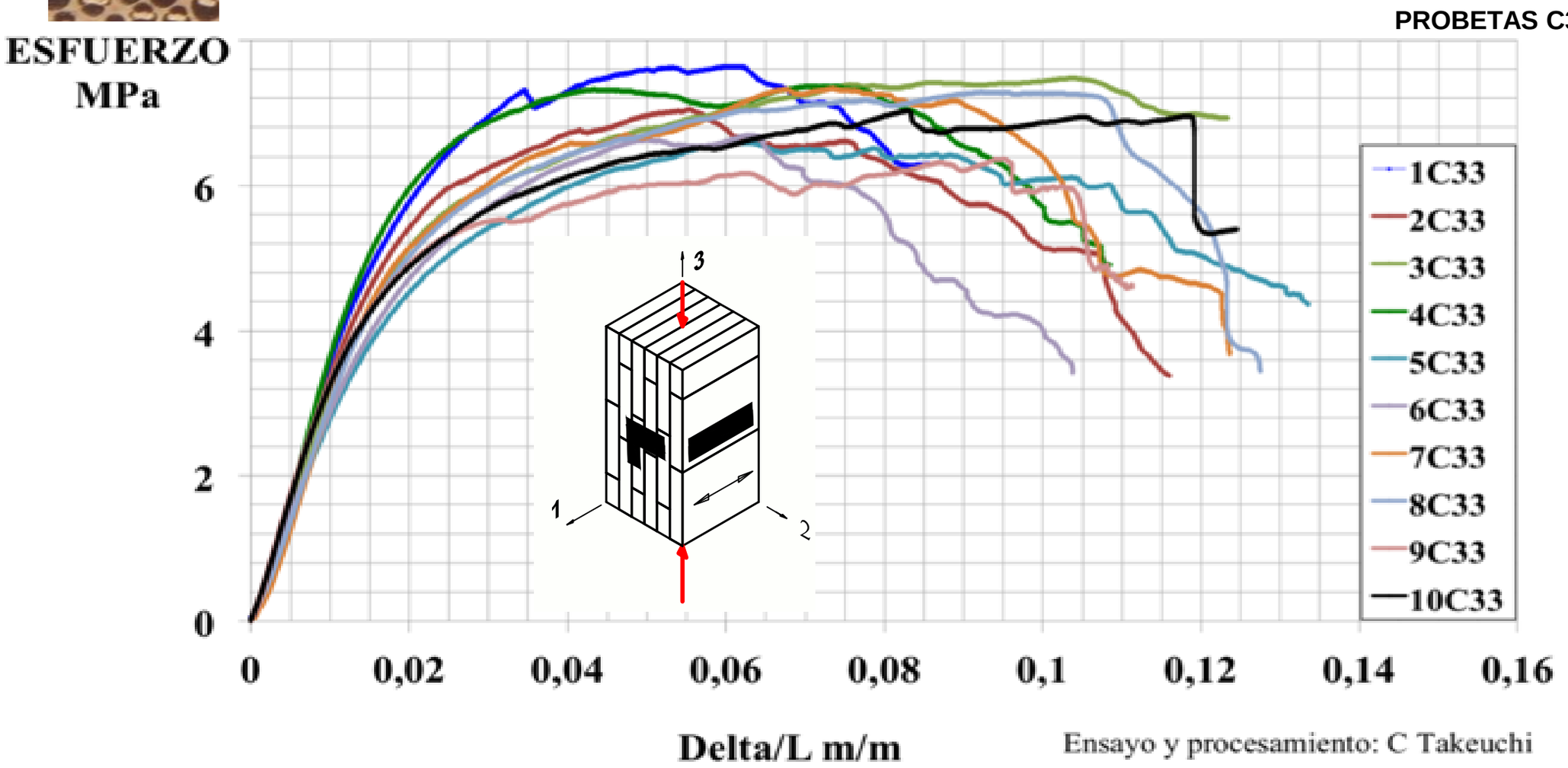
Caracterización mecánica del BGLPP

Compresión perpendicular a la fibra



Caracterización mecánica del BGLPP

Compresión perpendicular a la fibra



Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Caracterización mecánica del BGLPP

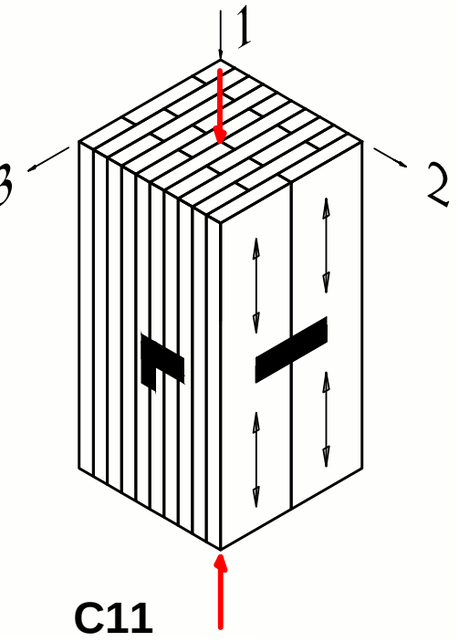
Compresión

Resistencia y esfuerzo máximo

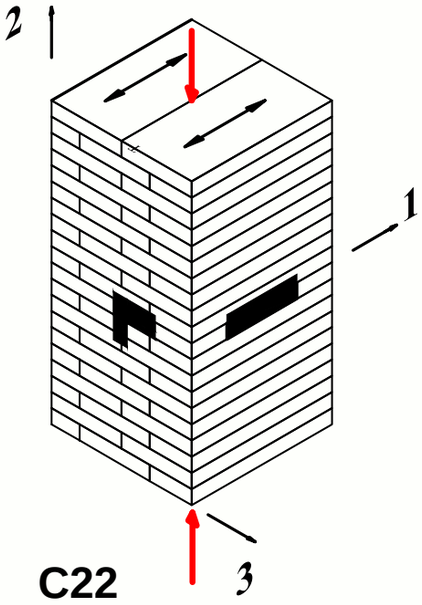
	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
F_{c1}	10	65.7	5.4	8.2
F_{c2}	9	9.3	0.8	8.2
σ_{c3}	10	7.1	0.4	5.8

Módulo de elasticidad

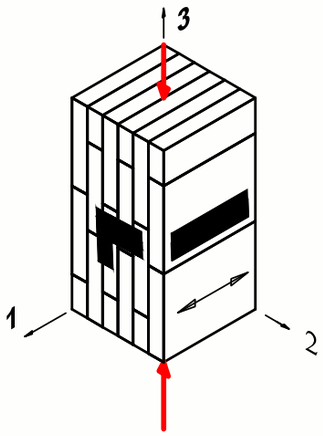
	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
E_1	3	30044	6559	21.8
E_2	3	265	34	13.0
E_3	3	634	124	19.6



C11



C22



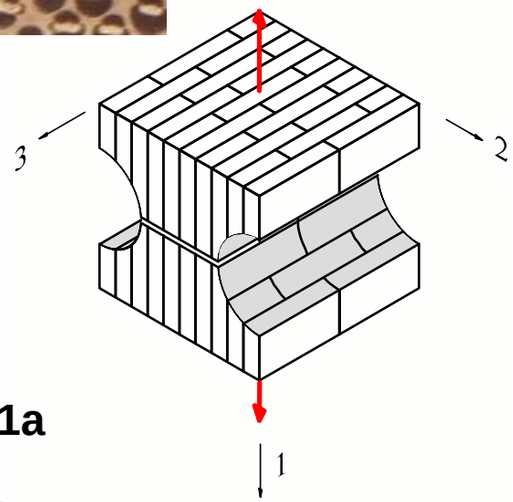
C33

Relaciones de Poisson

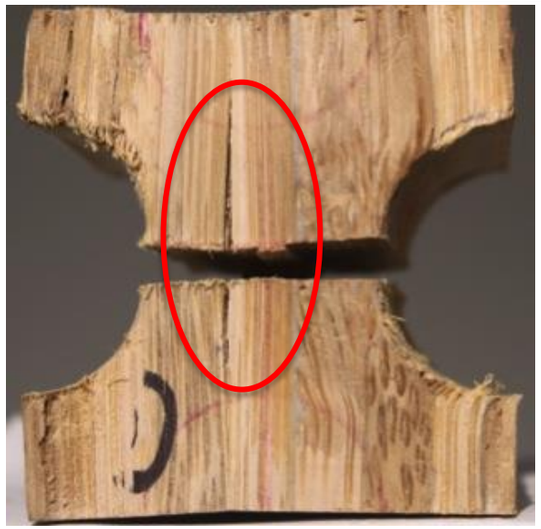
	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
ν_{21}	3	0.81	0.18	22.3
ν_{31}	3	1.18	0.35	29.4
ν_{32}	3	0.074	0.0046	6.2
ν_{12}	3	0.018	0.016	89.3
ν_{23}	3	0.24	0.053	22.2
ν_{13}	3	0.021	0.011	51.3

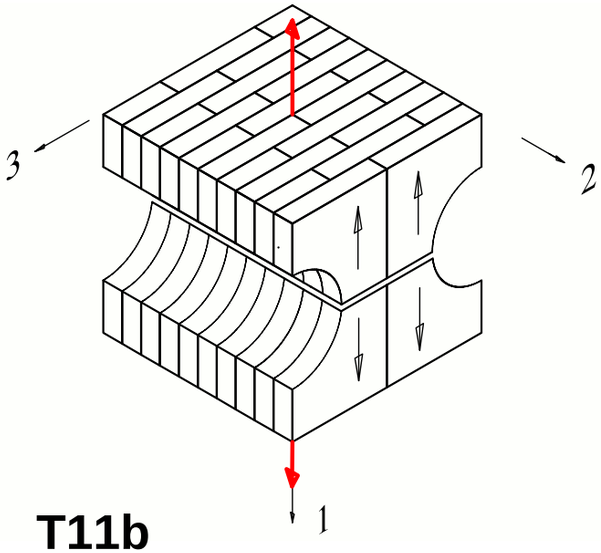
Caracterización mecánica del BGLPP

Tensión paralela a la fibra

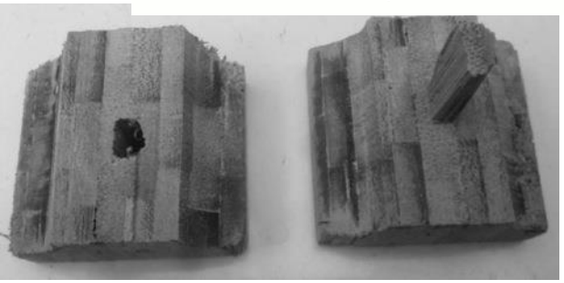


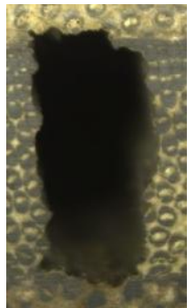
T11a





T11b

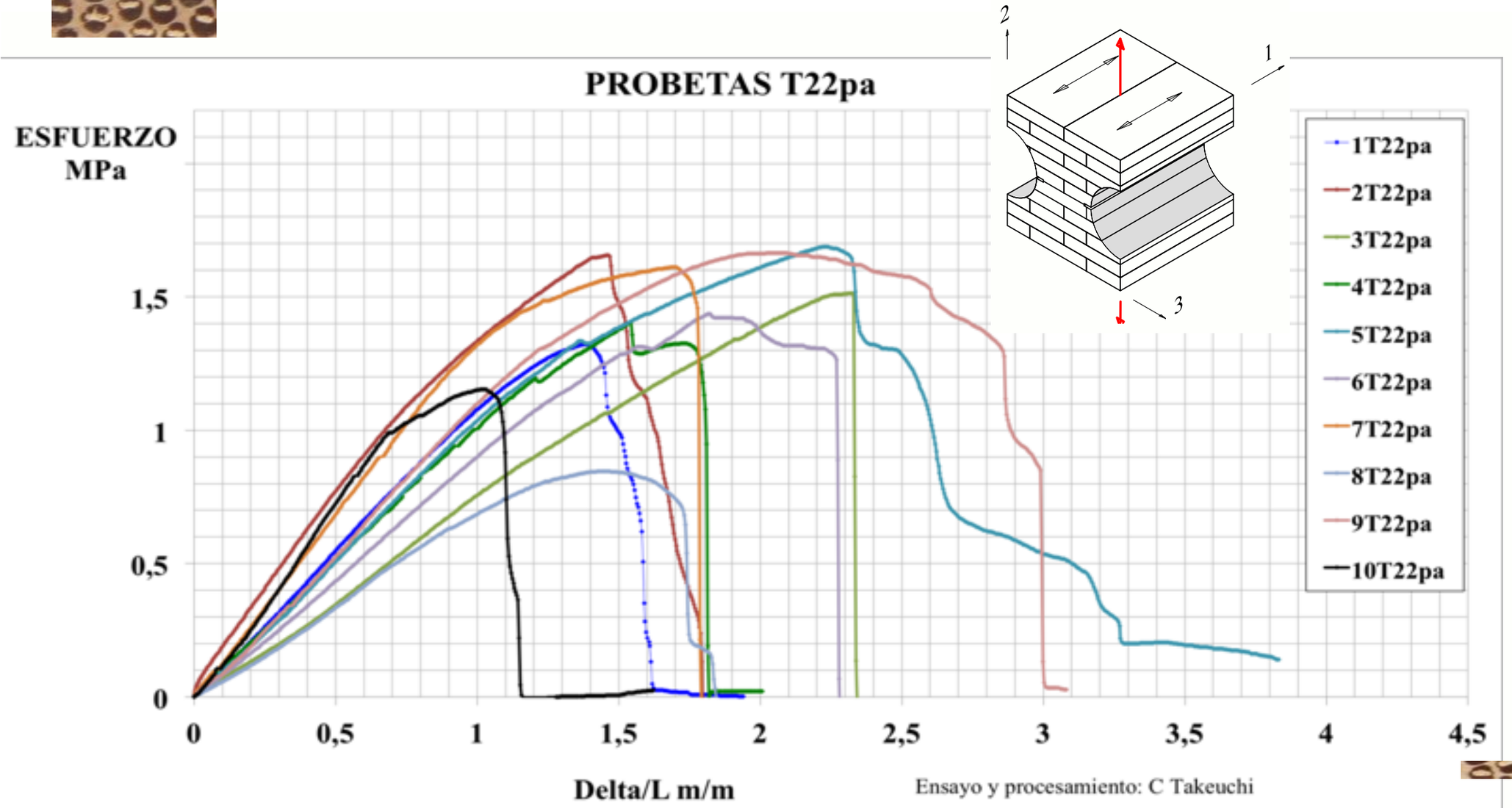




	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
τ_{real}	8	2,9	0,53	18.1
$\tau_{teórico}$	8	3,3	0,39	11.5

Caracterización mecánica del BGLPP

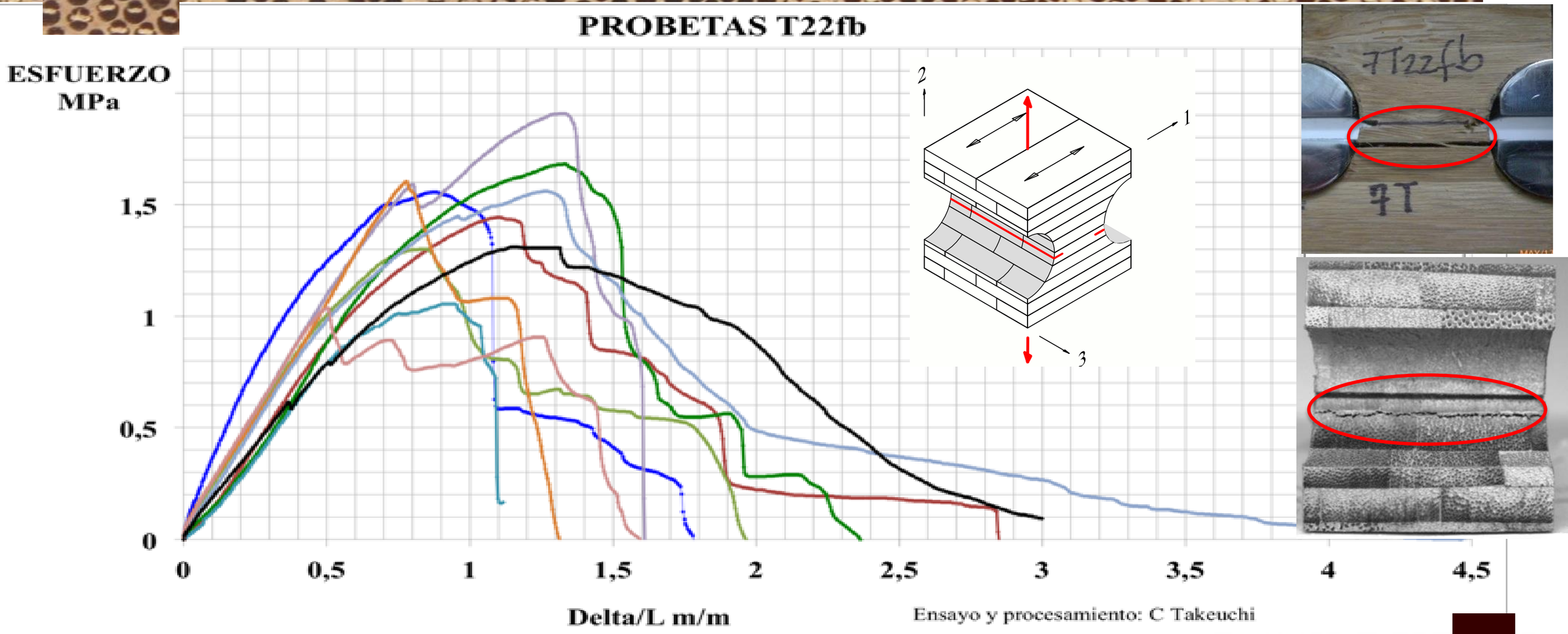
Tensión perpendicular a la fibra perpendicular al plano de los tableros



Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Caracterización mecánica del BGLPP

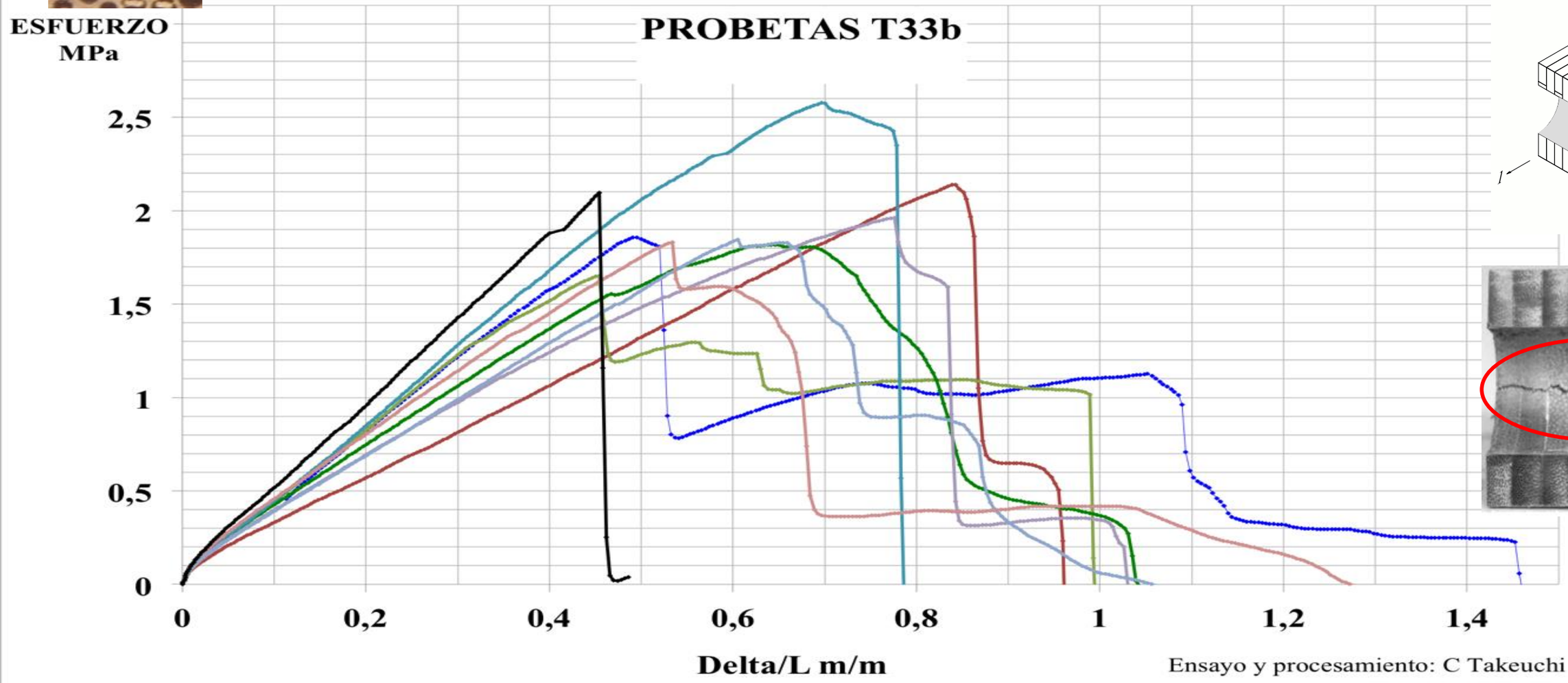
Tensión perpendicular a la fibra perpendicular al plano de los tableros

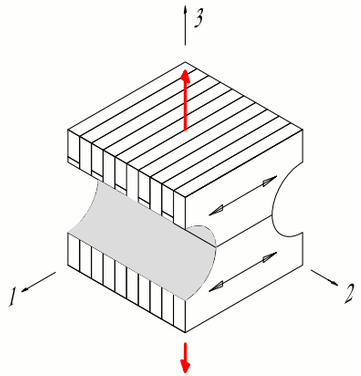


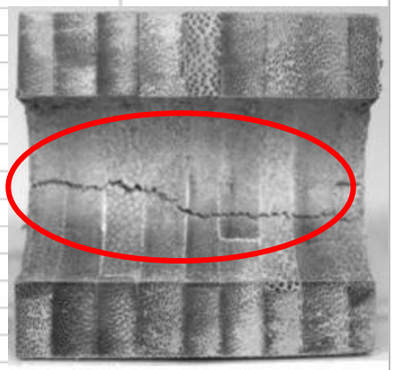
Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Caracterización mecánica del BGLPP

Tensión perpendicular a la fibra paralela al plano de los tableros



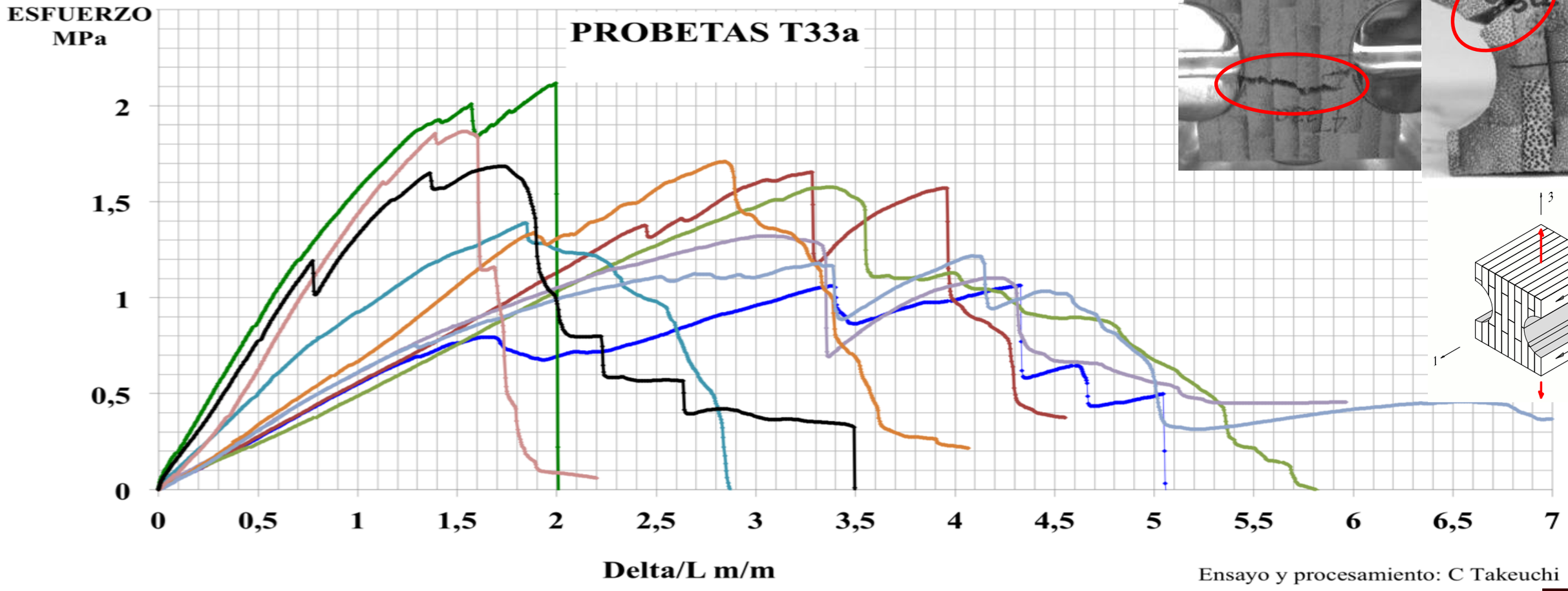


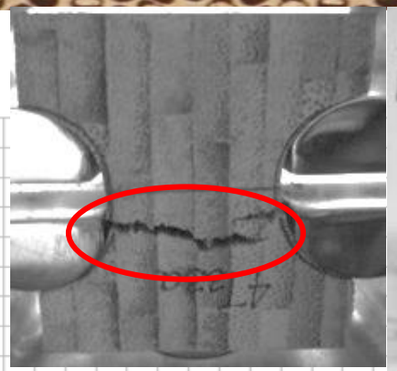


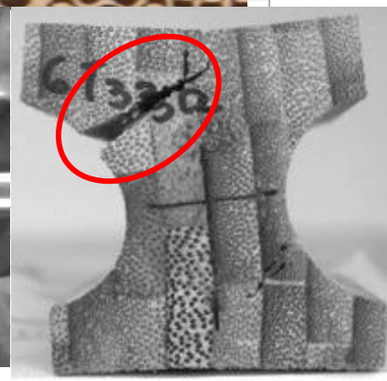
Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

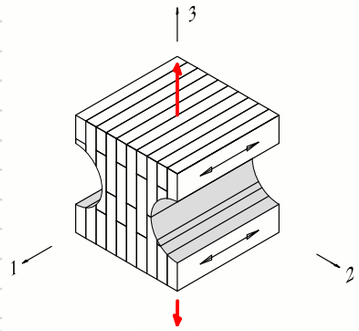
Caracterización mecánica del BGLPP

Tensión perpendicular a la fibra paralela al plano de los tableros





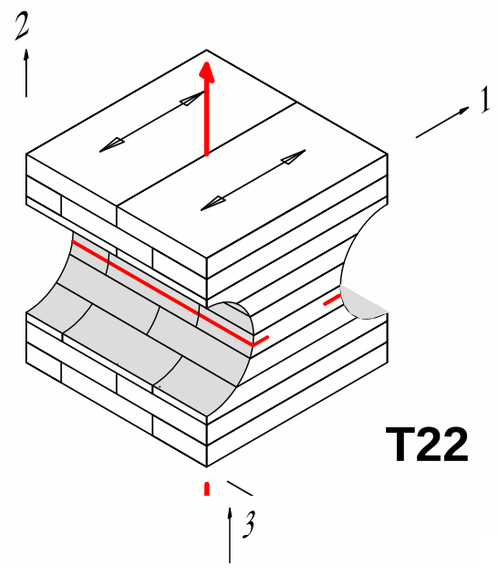




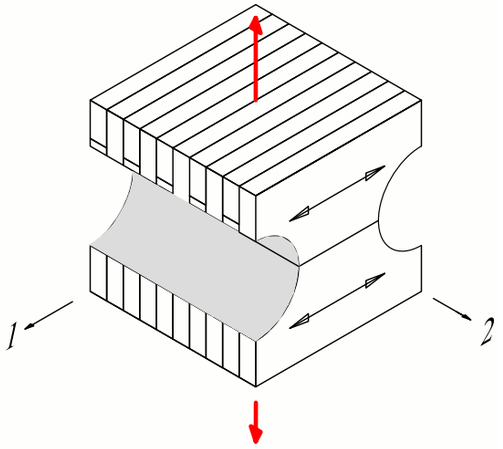
Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Caracterización mecánica del BGLPP

Tensión perpendicular a la fibra paralela al plano de los tableros



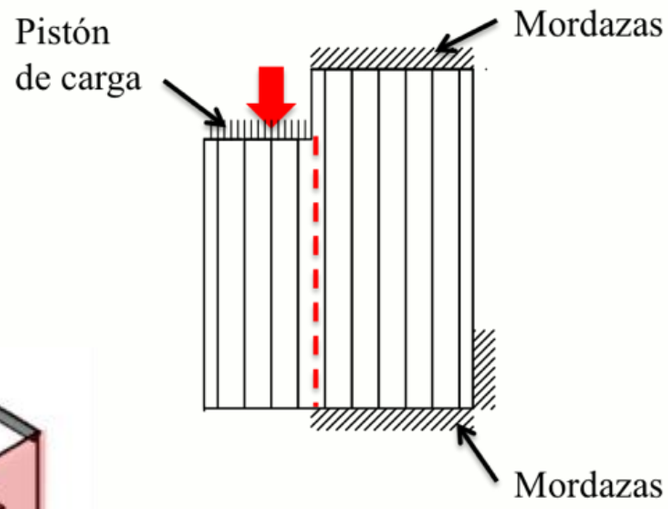
T22

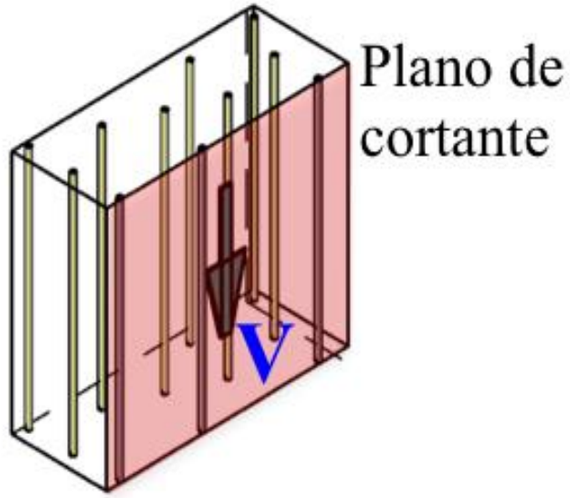


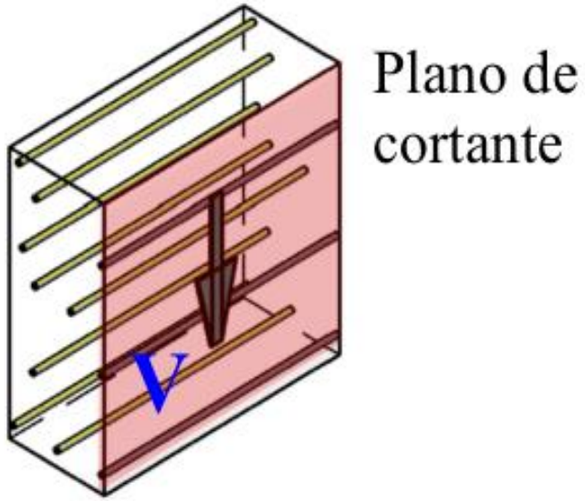
T33

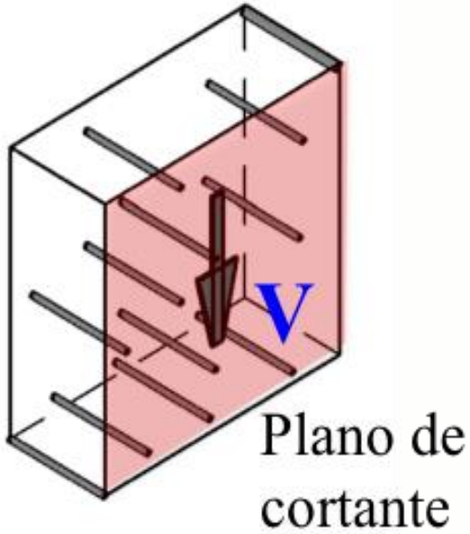
	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
F_{t2}	37	1,39	0,27	19,4
F_{t3}	12	1,89	0,16	8,4

Caracterización mecánica del BGLPP
Cortante









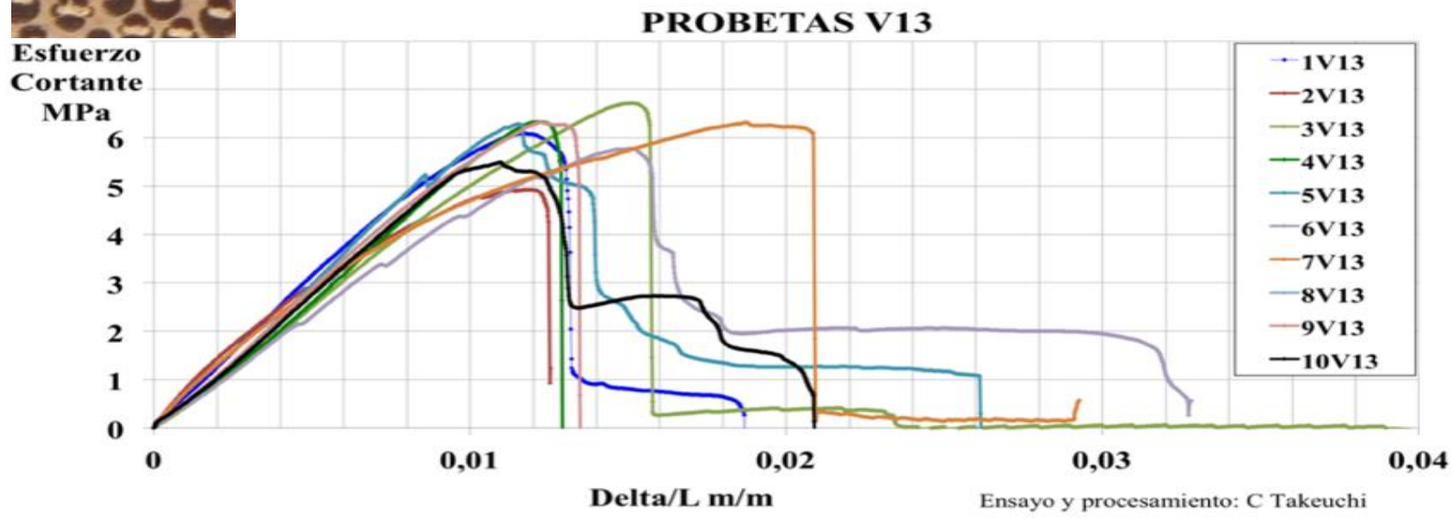
Paralelo a la carga
Paralelo a los tableros

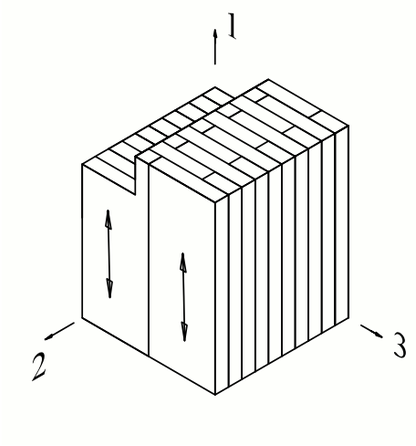
Perpendicular a carga
Paralelo a los tableros

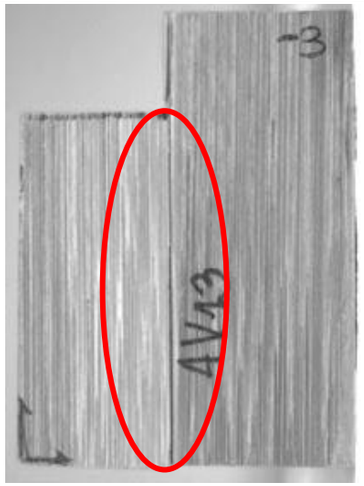
Perpendicular a carga
Perpendicular a tableros

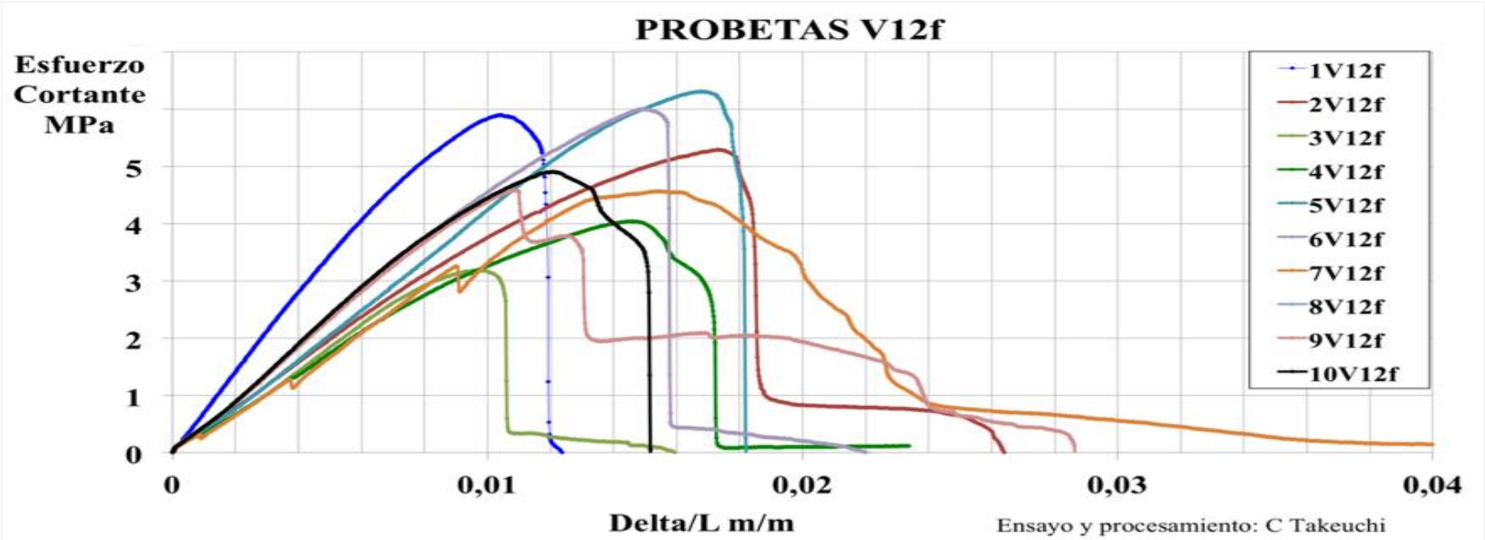
Caracterización mecánica del BGLPP

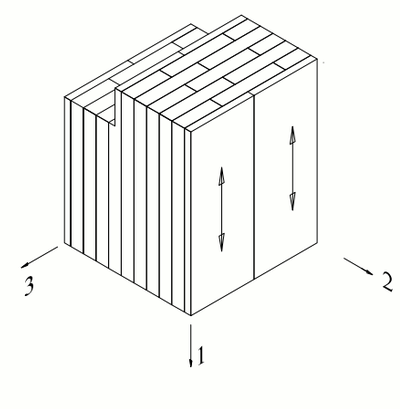
Cortante paralelo a la fibra





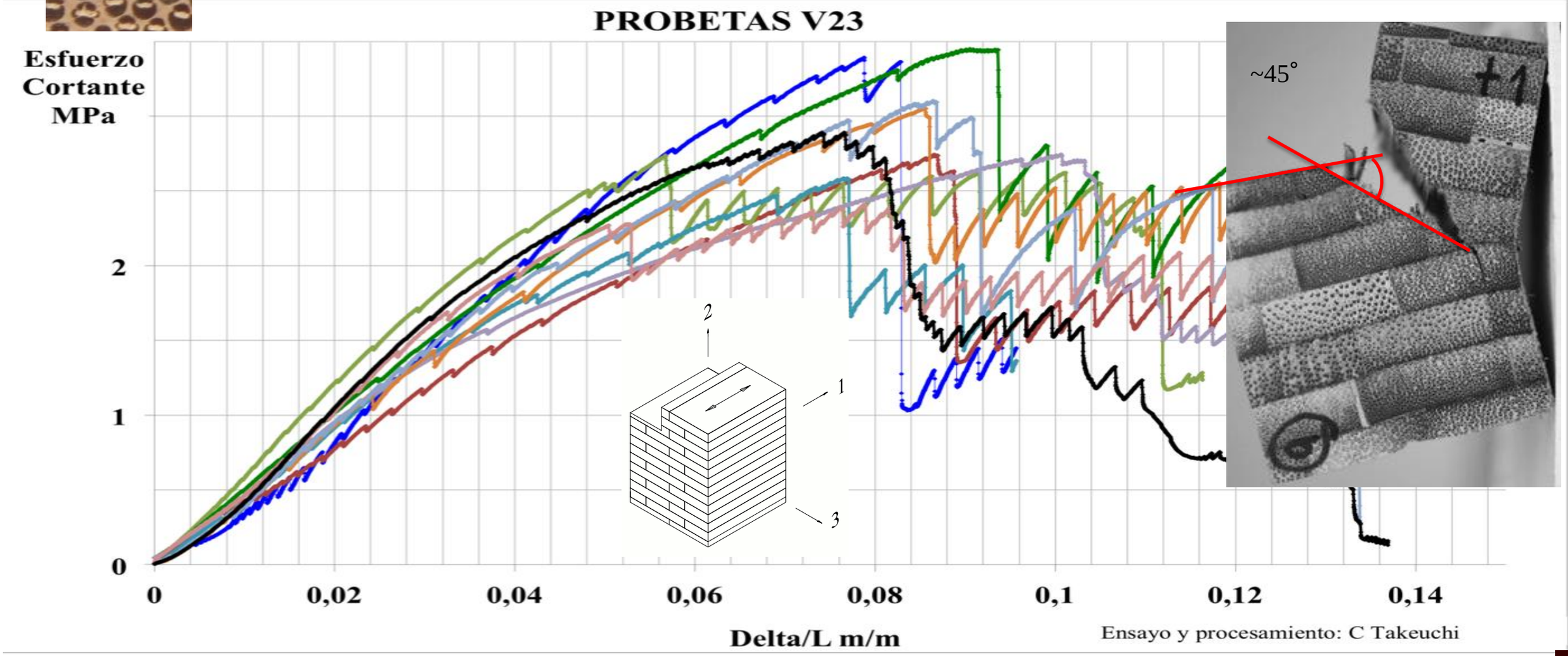






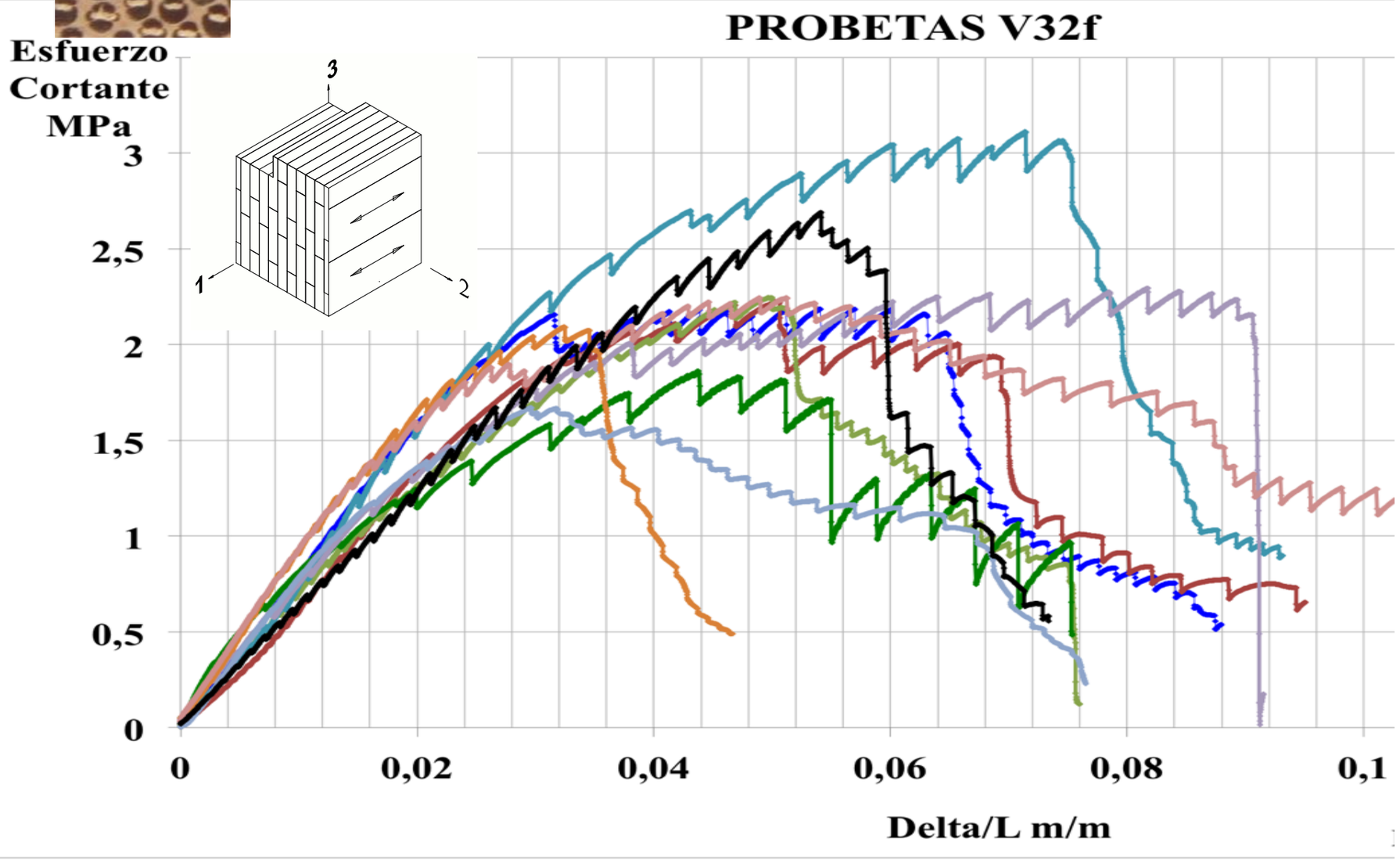
Caracterización mecánica del BGLPP

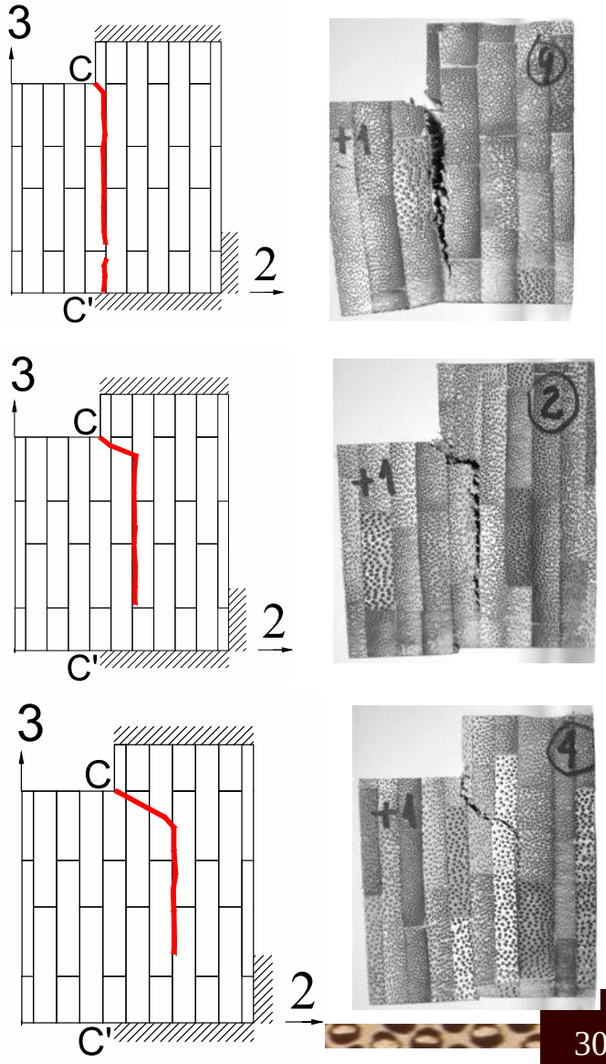
Cortante perpendicular a la fibra



Caracterización mecánica del BGLPP

Cortante perpendicular a la fibra





Caracterización mecánica del BGLPP

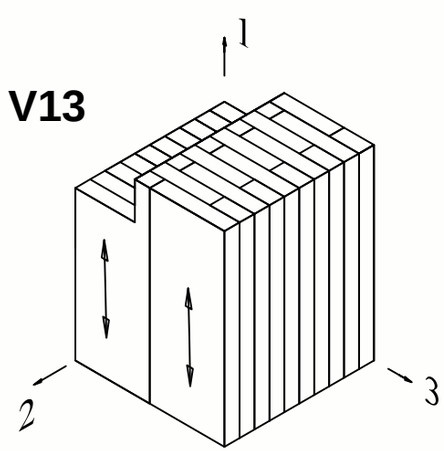
Cortante0

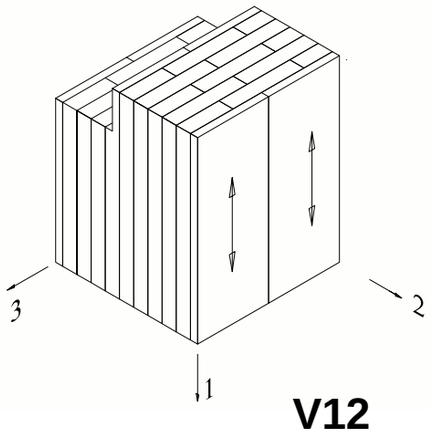
Cortante paralelo a la fibra

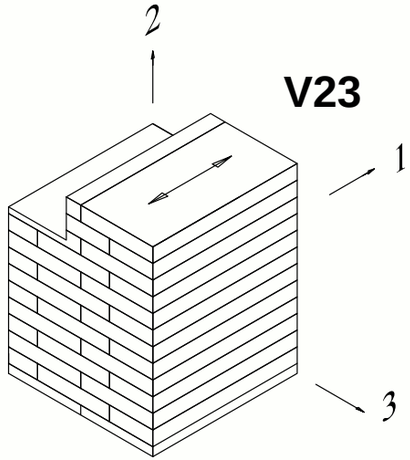
		Promedio MPa	S MPa	CV %
F_{v13}	8	6,17	0,38	6.1
F_{v12}	16	5,10	0,76	14.9
F_{v1}	24	5,45	0,83	15.2

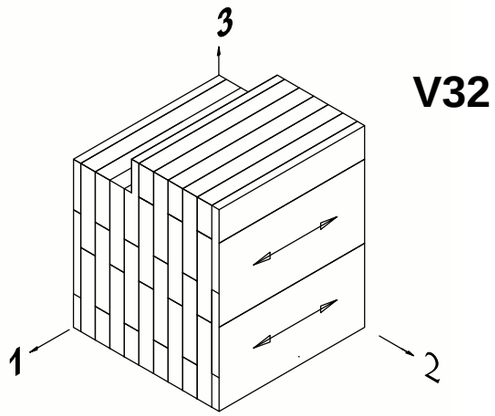
Cortante perpendicular a la fibra

		Promedio MPa	S MPa	CV %
$\tau_{max\,23}$	10	2,94	0,31	10,4
$\tau_{max\,32}$	20	2,27	0,50	22,1
$F_{v\,pe32}$	5	2,30	0,59	25,7



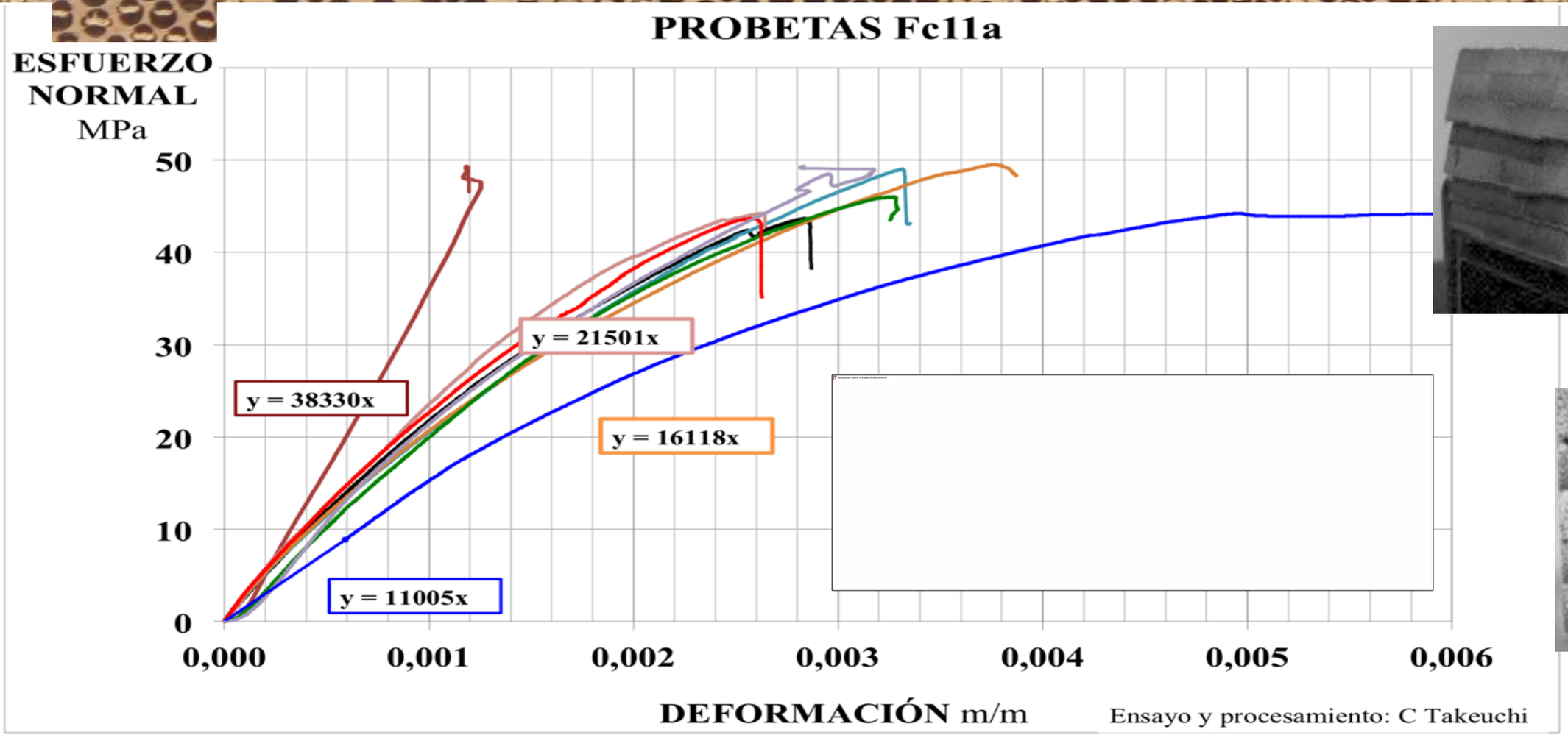


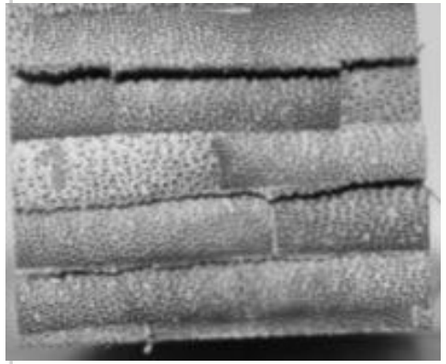




Caracterización mecánica del BGLPP

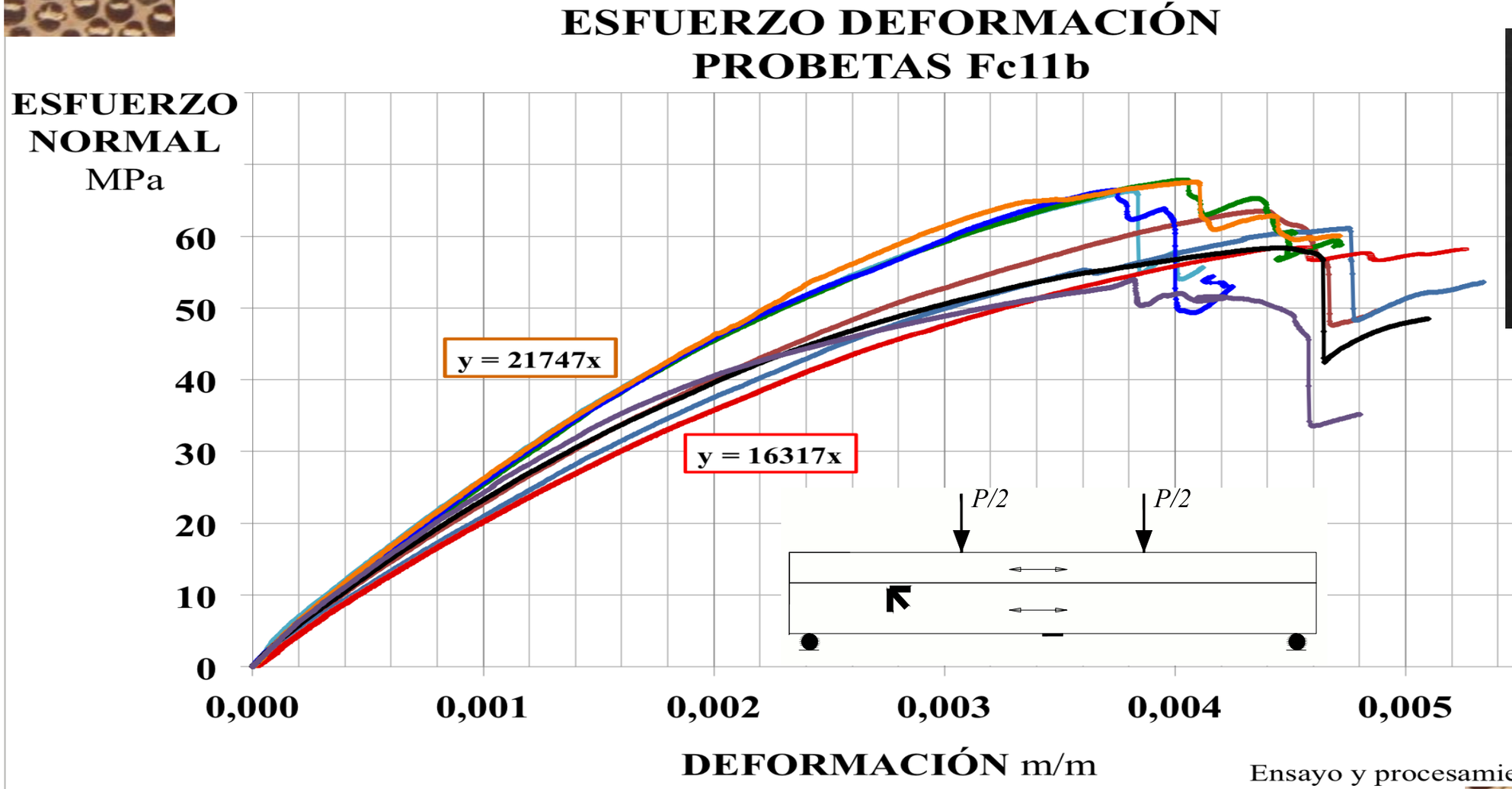
Flexión – Vigas cortas

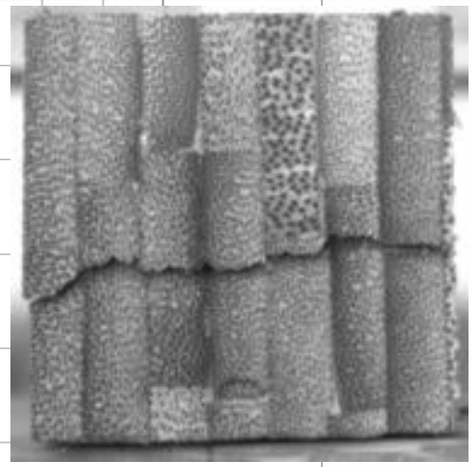




Caracterización mecánica del BGLPP

Flexión – Vigas cortas

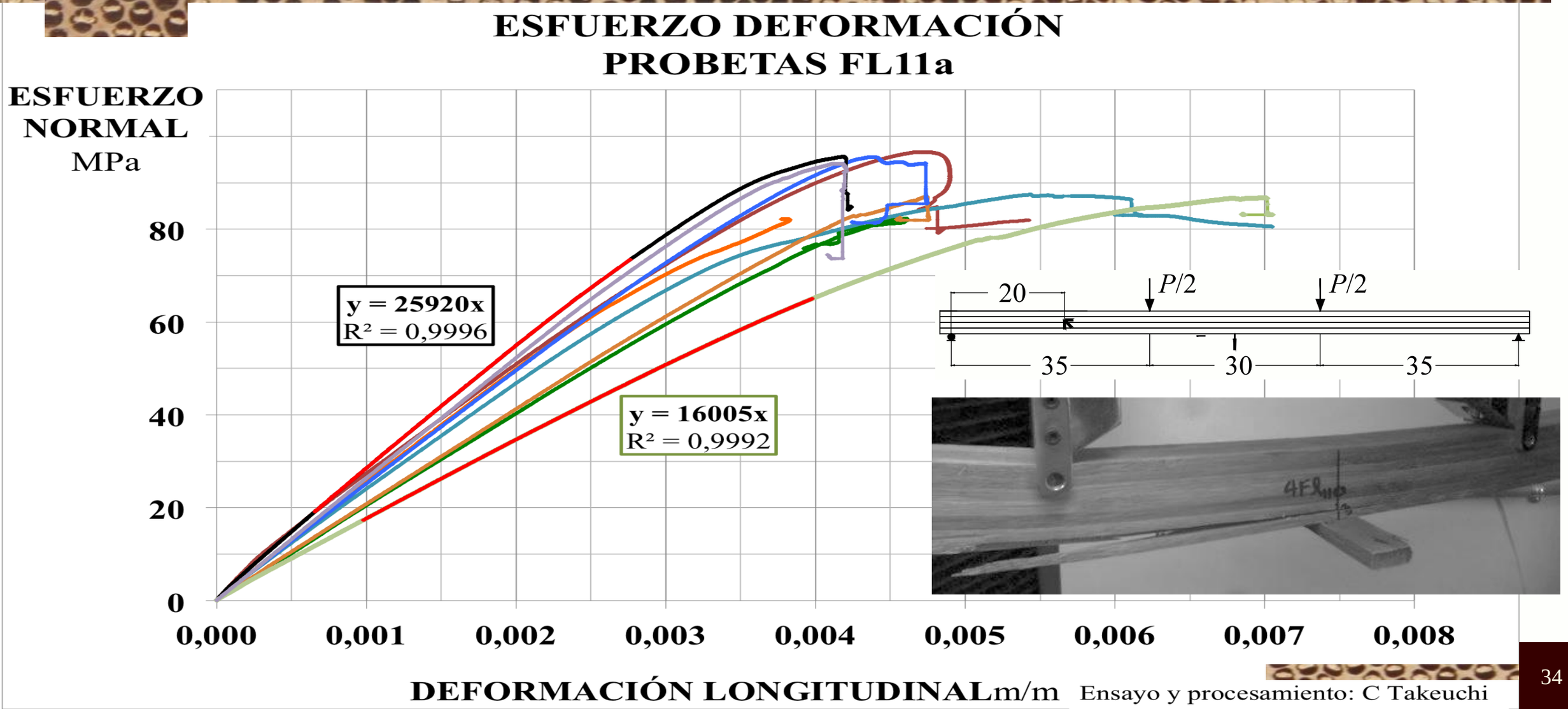




Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Caracterización mecánica del BGLPP

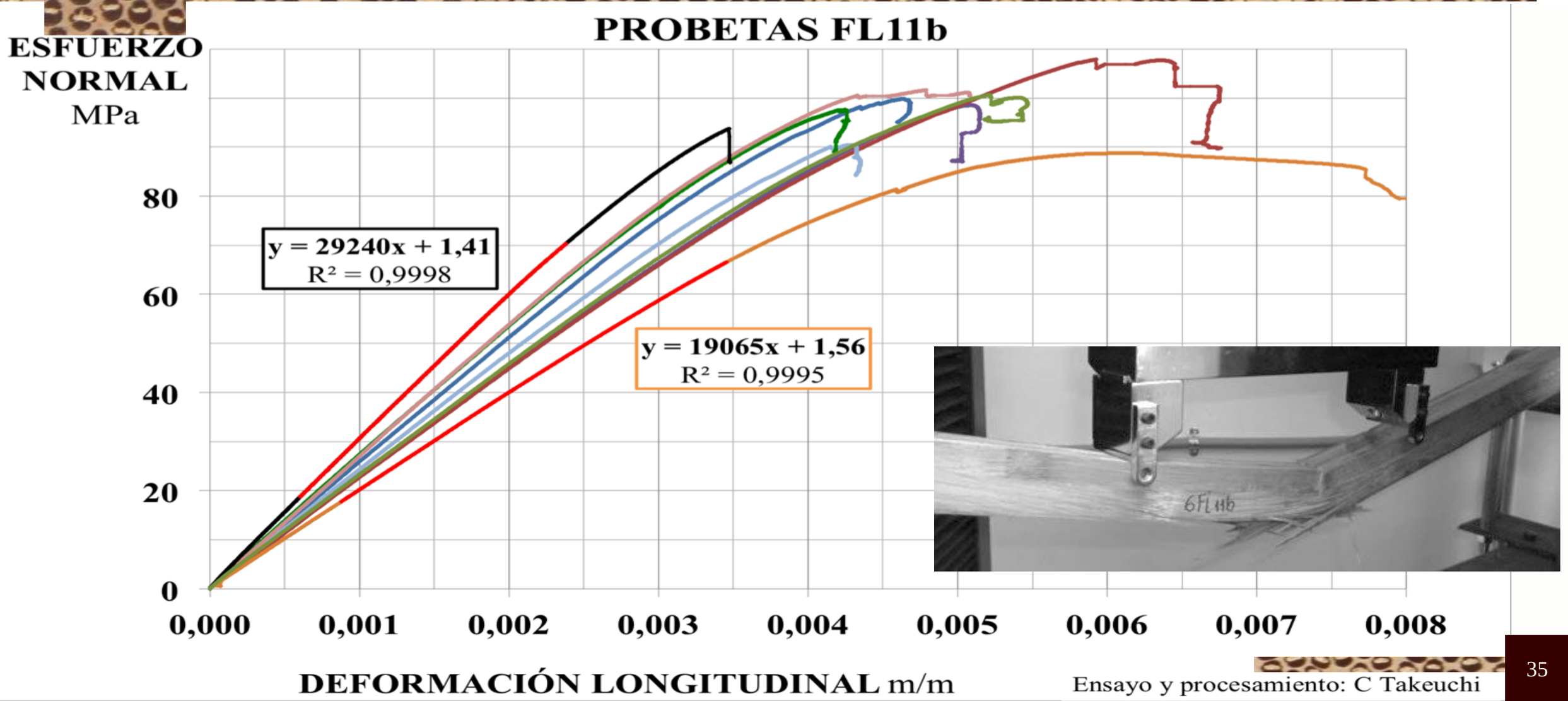
Flexión – Vigas largas



Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Caracterización mecánica del BGLPP

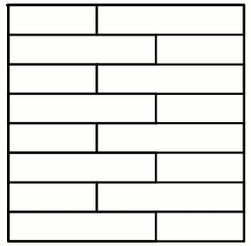
Flexión – Vigas largas



Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

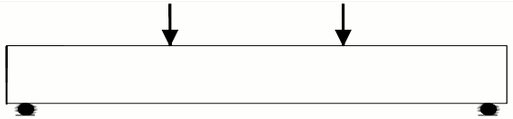
Caracterización mecánica del BGLPP

Flexión



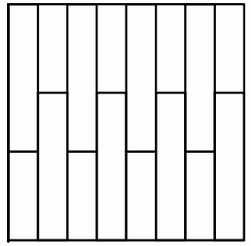
Esfuerzo máximo cortante

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
$\tau_{max\ a}$	10	6,2	0,4	5,8
$\tau_{max\ b}$	8	8,2	0,5	5,9



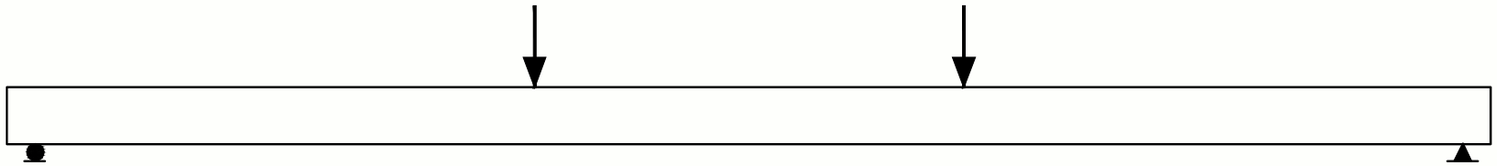
Módulos de elasticidad

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
G_a	2	307	5	1,6
G_b	3	541	17	3,1
E_{1a}	7	18473	1725	9,3
E_{1b}	10	19588	2011	10,3



Esfuerzo rotura

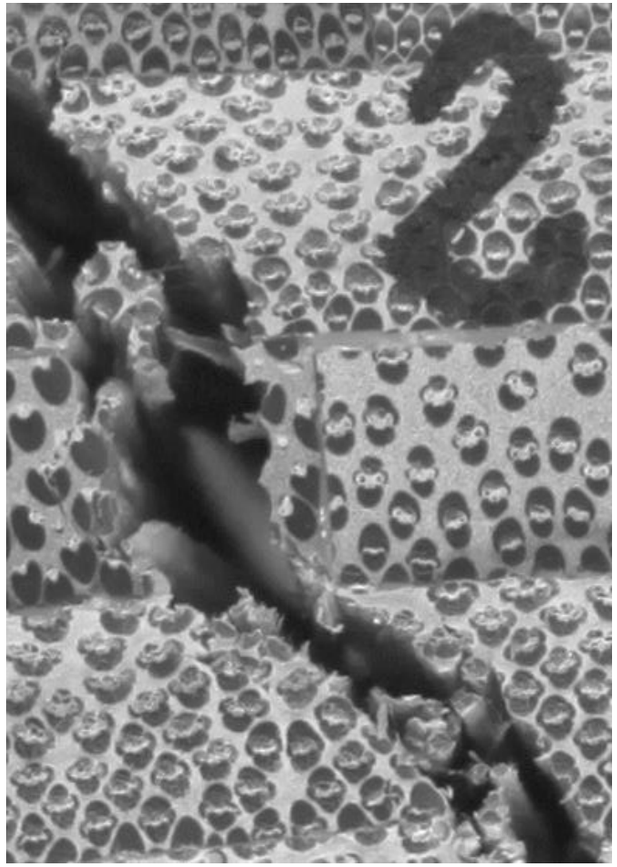
	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
F_{ra}	10	89,7	5,8	6,5
F_{rb}	10	98,5	6,2	6,3

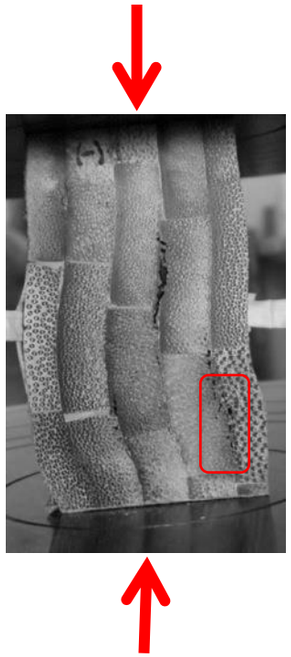


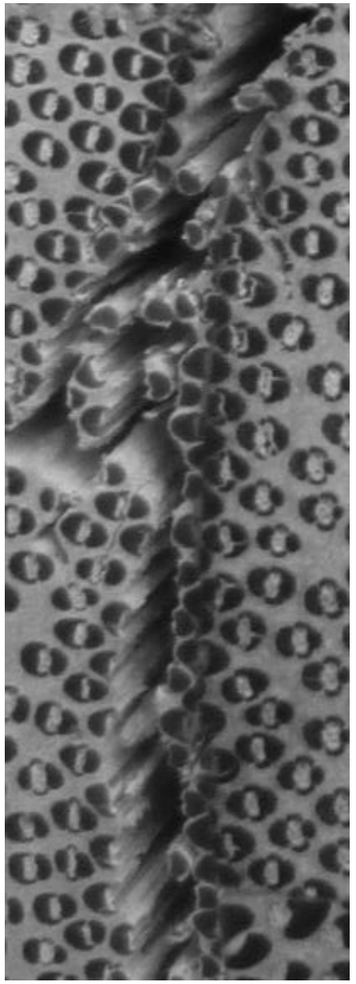
Módulos de elasticidad

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
G_a	3	397	8	2,1
G_b	3	737	332	45,0
E_{1a}	9	23050	2337	10,1
E_{1b}	9	23674	3170	13,4
$E_{1a\Delta}$	6	17159	1059	6,2
$E_{1b\Delta}$	6	18498	1016	5,5

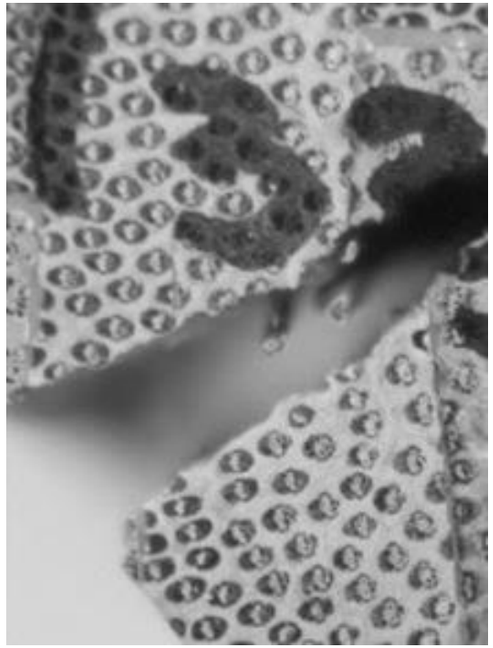
Compresión perpendicular a la fibra

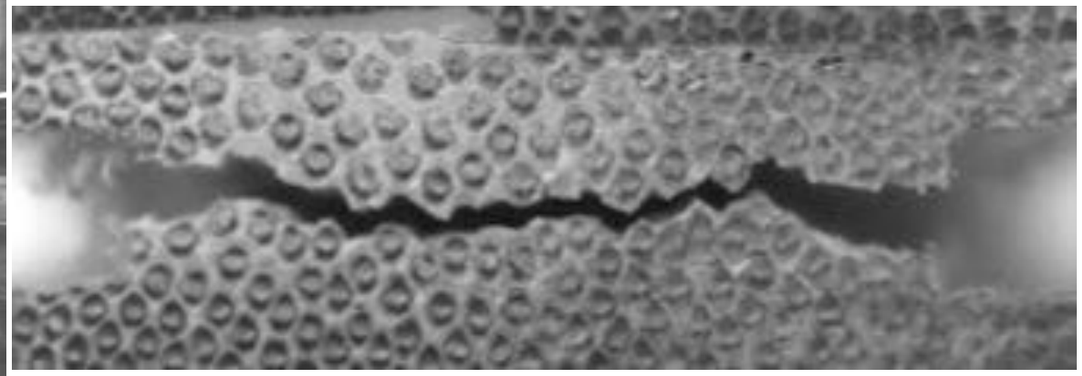


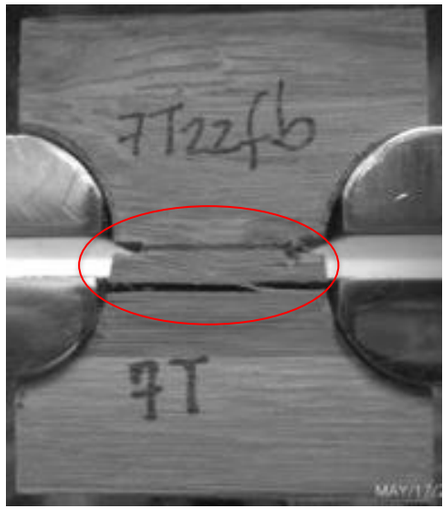


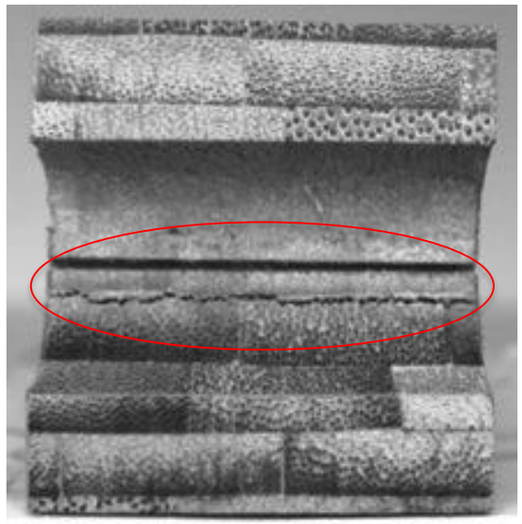


Tensión perpendicular a la fibra

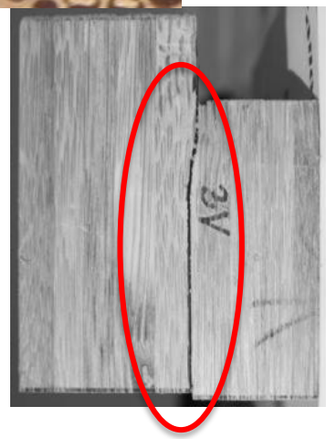


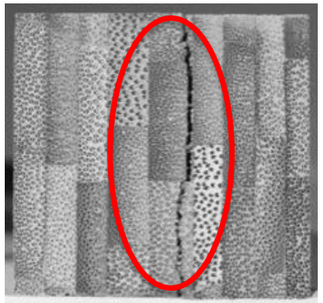




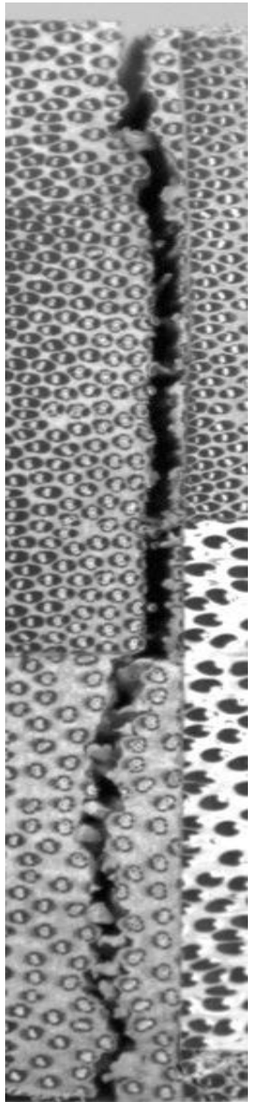


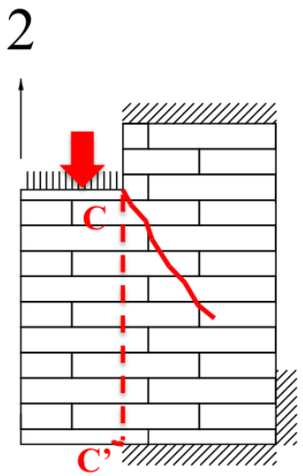
Cortante

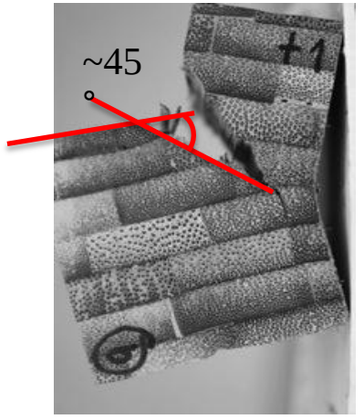


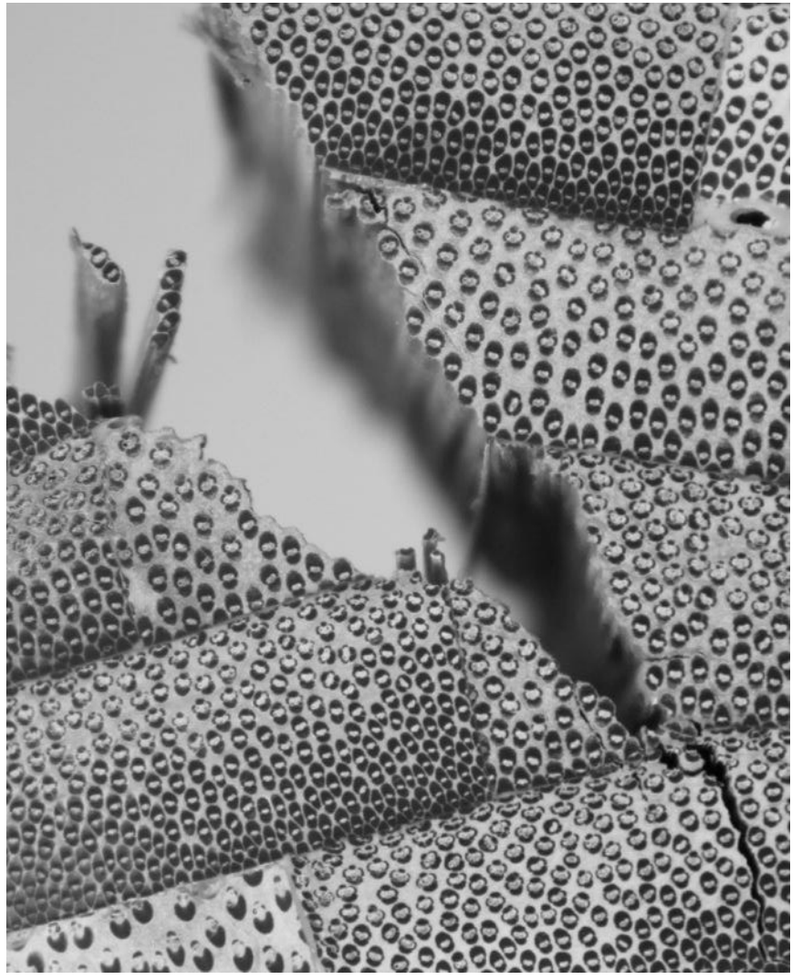


Paralela a la fibra



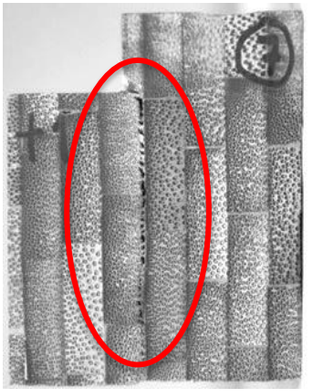


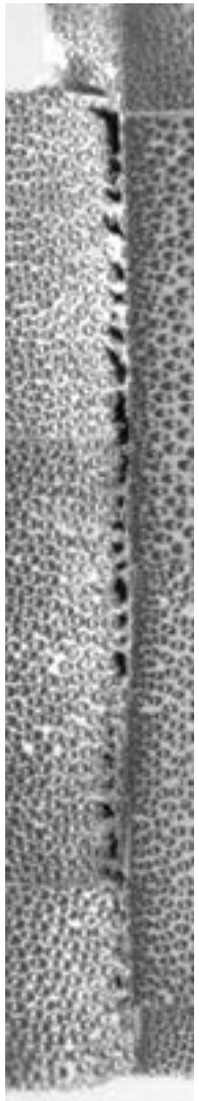




Perpendicular a la fibra

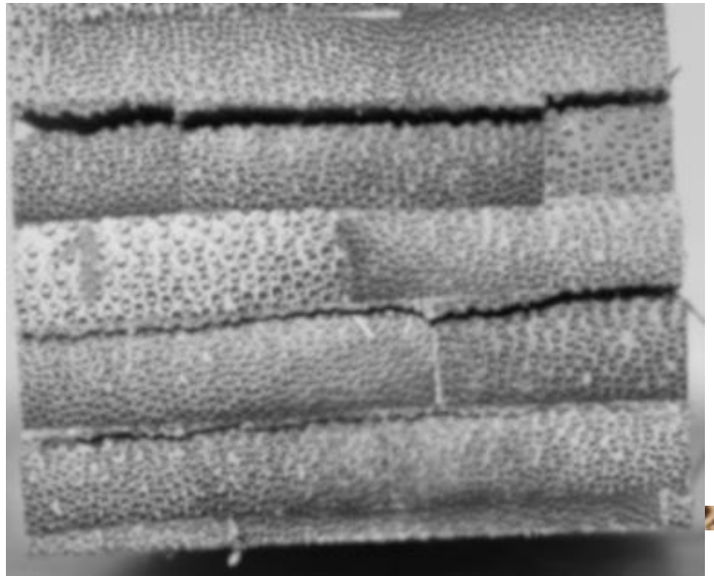
Cortante



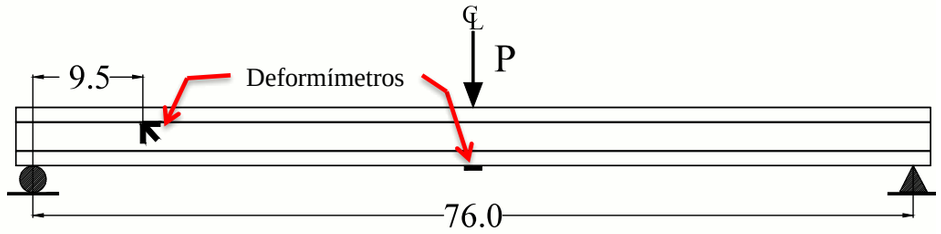


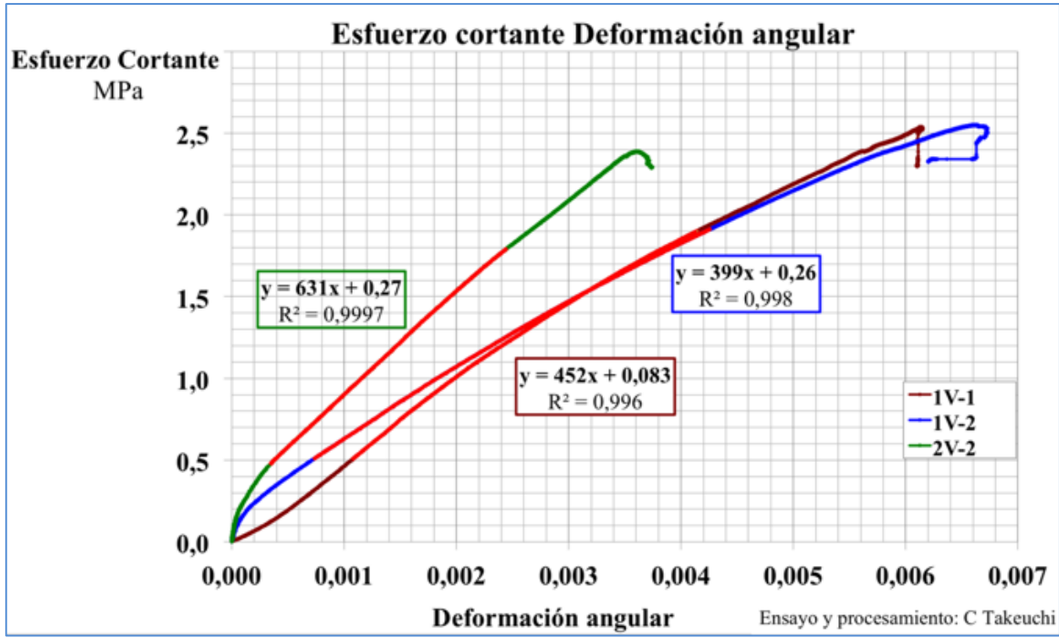
Cortante
Perpendicular a la fibra

Cortante
Paralelo a la fibra



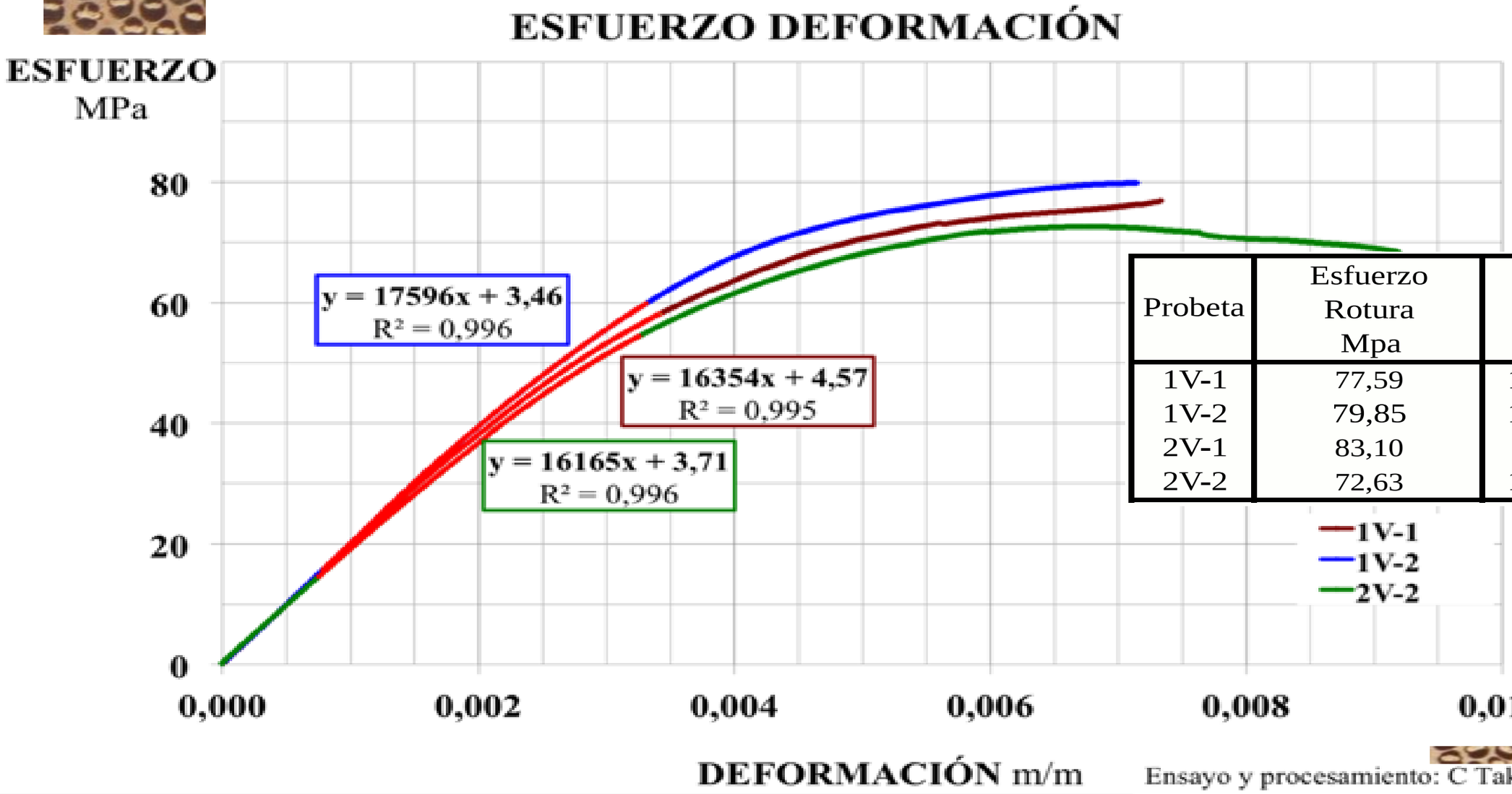
Aplicaciones, elementos estructurales
Vigas





Probeta	*Tmax* Mpa	G Mpa	Coef Correlación
1V-1	2,54	452	0,9956
1V-2	2,55	399	0,9976
2V-1	2,73		
2V-2	2,39	631	0,9963

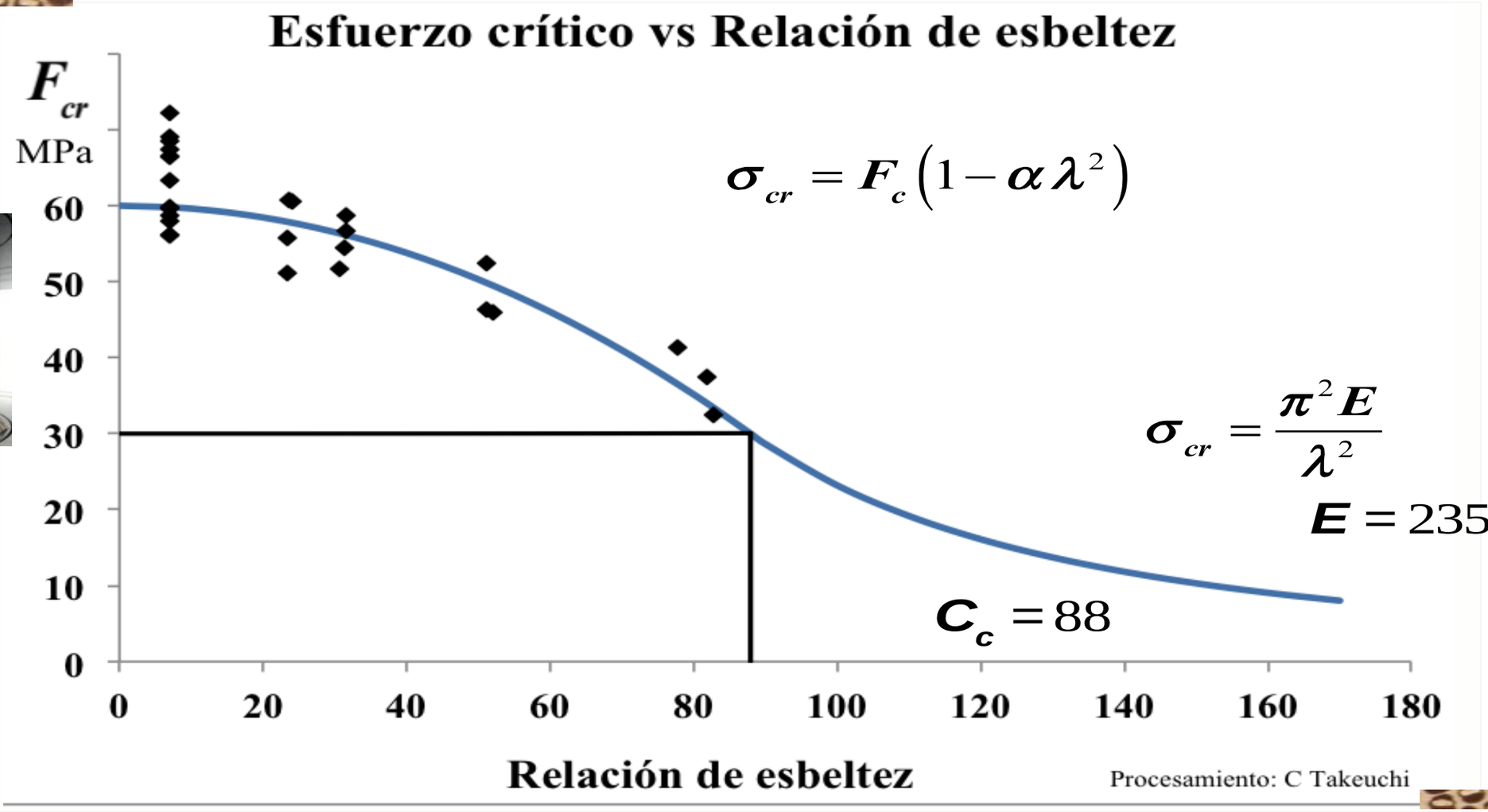
Aplicaciones, elementos estructurales
Vigas



Probeta	Esfuerzo Rotura Mpa	E_1 Mpa	Coef Correlación
1V-1	77,59	16354	0,9947
1V-2	79,85	17596	0,9964
2V-1	83,10		
2V-2	72,63	16165	0,9963

Ensayo y procesamiento: C Takeuchi

Aplicaciones, elementos estructurales
Columnas



CONCLUSIONES

- El BGLPP es un material compuesto manufacturado, a partir de un conjunto de láminas de bambú guadua. Cada lámina es a su vez un compuesto natural (fibras largas unidireccionales y una matriz tejido parenquima)

  → Es ortótropo y tiene mayor rigidez y resistencia en la dirección paralela a la fibra.

- Los ensayos a probetas de BGLPP ante diferentes solicitaciones no mostraron fisuras, deslizamientos o despegues entre láminas.

  →El adhesivo para unir las láminas y el proceso de fabricación del material garantizaron la adherencia total entre ellas.

CONCLUSIONES

- En general, la dispersión de la respuesta mecánica de los ensayos en probetas de BGLPP es menor que la encontrada en ensayos de los materiales que la constituyen, es decir, en láminas aisladas de guadua o en la guadua rolliza.

Se encontraron menores CV de la densidad, del % fibras, de los valores de resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión.

→ La transformación realizada a la guadua para convertirla en BGLPP homogeniza sus características físicas y mecánicas permitiendo una mayor confiabilidad estructural.

CONCLUSIONES

- La densidad promedio del BGLPP es de 0.8g/cm^3 con un coeficiente de variación de 4.5%.
- El porcentaje de fibras varió entre el 43% y el 45% con coeficientes de variación entre el 6 y 7%.
- El material BGLPP exhibe sustancialmente una mayor rigidez en la dirección paralela a las fibras con respecto a las direcciones perpendiculares a ellas. Esto justifica que los coeficientes de Poisson en ensayos bajo carga paralela a la fibra sean mayores a 0.5

Conclusiones
Valores de resistencia

Los valores de resistencia del BGLPP determinados fueron:

Compresión paralela a la fibra	F_{c1}	10	65.7	5.4	8.2
Compresión perpendicular a la fibra	F_{c2}	9	9.3	0.8	8.2
Tensión perpendicular a la fibra	F_{t2}	37	1,39	0,27	19,4
	F_{t3}	12	1,89	0,16	8,4

Esfuerzo cortante paralelo a la fibra	F_{v13}	8	6,17	0,38	6.1
	F_{v12}	16	5,10	0,76	14.9
Esfuerzo cortante perpendicular a la fibra	$F_{v\,pe}$	5	2,30	0,59	25,8

Esfuerzo rotura	F_{ra}	10	89,7	5,8	6,5
	F_{rb}	10	98,5	6,2	6,3
Esfuerzo cortante paralelo a la fibra Probetas flexión	F_{va}	10	6,2	0,4	5,8
	F_{vb}	8	8,2	0,5	5,9

Conclusiones

Módulos elásticos y relaciones de Poisson

Los módulos elásticos y las relaciones Poisson encontrados fueron:

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
E_1	3	30044	6559	21.8
E_2	3	265	34	13.0
E_3	3	634	124	19.6

Relaciones de Poisson

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
ν_{21}	3	0.81	0.18	22.3
ν_{31}	3	1.18	0.35	29.4
ν_{32}	3	0.074	0.0046	6.2
ν_{12}	3	0.018	0.016	89.3
ν_{23}	3	0.24	0.053	22.2
ν_{13}	3	0.021	0.011	51.3

Módulos de elasticidad probetas flexión corta

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
G_a	2	307	5	1,6
G_b	3	541	17	3,1
E_{1a}	7	18473	1725	9,3
E_{1b}	10	19588	2011	10,3

Módulos de elasticidad probetas flexión larga

	n	Promedio MPa	S MPa	CV %
G_a	3	397	8	2,1
G_b	3	737	332	45,0
E_{1a}	9	23050	2337	10,1
E_{1b}	9	23674	3170	13,4

CONCLUSIONES

- La geometría de las probetas de tensión paralela a la fibra con entallas en el ancho y el espesor, permite identificar el esfuerzo cortante alcanzado antes del deslizamiento de las fibras con respecto al tejido parénquima

- La resistencia de tensión perpendicular a la fibra es mayor cuando el plano de los tableros es paralelo a la dirección de la carga (la superficie de fisura atraviesa zonas de alta y baja densidad de fibras en lugar de pasar por zonas de baja densidad de fibras)

CONCLUSIONES

- La respuesta estructural del BGLPP a cortante paralelo a la fibra muestra un comportamiento frágil del material compuesto, en el cual, la matriz aporta su capacidad a cortante sin la participación de las fibras.
- El material BGLPP tiene un comportamiento post pico cohesivo ante solicitaciones de cortante perpendicular a la fibra.
- Cuando el plano de los tableros es perpendicular a la fuerza cortante, se presentan fisuras diagonales. Los esfuerzos principales en tensión alcanzan la resistencia de la matriz

CONCLUSIONES

- Los valores de resistencia y módulos elásticos son mayores en probetas solicitadas a flexión cuando los esfuerzos normales son perpendiculares al plano de los tableros que cuando son paralelos.

  En el primer caso los esfuerzos normales son resistidos por zonas alternas de baja y alta densidad de fibras y en el segundo por zonas uniformes de baja concentración de fibras.

- La curva de esfuerzo crítico vs relación de esbeltez propuesta con los resultados de los ensayos de probetas de compresión (resistencia) y flexión (módulo elástico longitudinal) se ajusta a los resultados experimentales del ensayo de columnas

CONCLUSIONES

- En general, las fisuras se propagan cambiando su trayectoria y evitando cruzar las fibras. Esto se ve reflejado en las pequeñas reducciones de capacidad.

- La configuración de las probetas de BGLPP en el ensayo (función entre otras de la disposición de los tableros), incide en la forma de falla y en su resistencia.

- Los equipos y dispositivos construidos durante el desarrollo del proyecto permiten la obtención de láminas, el prensado de tableros de manera manual y el prensado de bloques de material BGLPP

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar con mayor profundidad el comportamiento a tensión paralela a la fibra del BGLPP implementando ensayos donde se pueda encontrar la resistencia a tensión y la relación de Poisson.

Se recomienda abordar un estudio donde se amplie el número de ensayos con la metodología propuesta para determinar los coeficientes de Poisson a compresión.

Es importante implementar ensayos para determinar el esfuerzo cortante alcanzado antes del deslizamiento de haces de fibras con respecto al tejido parénquima para el estudio de la interface entre estos

RECOMENDACIONES

- Los valores de resistencia y de módulo de elasticidad en dirección perpendicular a las fibras varían dependiendo de la disposición de los tableros sin embargo son significativamente menores a los encontrados para el caso de dirección paralela a las fibras.

  Se recomienda ampliar el número de ensayos para determinar si se puede considerar el BGLPP como un material ortótropo transversalmente isótropo.

- Aun cuando ya se han realizado estudios de delaminación y resistencia al fuego en laminados de guadua es importante abordar el tema para el material BGLPP estudiado.

AGRADECIMIENTOS

Departamento Administrativo de Ciencia, tecnología e innovación COLCIENCIAS

A todas aquellas personas que hicieron posible la realización de la presente investigación

MUCHAS GRACIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ