



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRÍA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS**

**TEMA:
“VALIDACIÓN ANALÍTICA DE RESULTADOS EXPERIMENTALES DE VIBRACIÓN
AMBIENTAL DE CASAS REALIZADAS CON FARDOS DE PAJA Y MOCHETAS DE
MADERA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:
GARCÍA PEÑALOZA, MARCOS ANDRÉS**

DIRECTOR : ING. CAIZA SANCHÉZ, PABLO ENRIQUE Ph.D

SANGOLQUÍ - 2022





- 1 • ANTECEDENTES
- 2 • PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 3 • OBJETIVO GENERAL
• OBJETIVOS ESPECÍFICOS
• JUSTIFICACIÓN
- 4 • MARCO TEÓRICO
- 5 • PROCESO DE ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS
- 6 • DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS
- 7 • MODELAMIENTO COMPUTACIONAL Y ANÁLISIS MODAL
- 8 • VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN
- 9 • CONCLUSIONES
• RECOMENDACIONES

Agricultura en la población rural del Ecuador

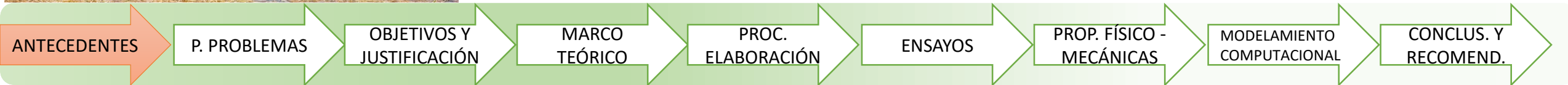


Región Andina

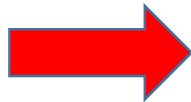
- 9140 Y 8980Ha de trigo
- Fardos de paja

Biomaterial

- 4 tn de fardos de paja
- 100 viviendas



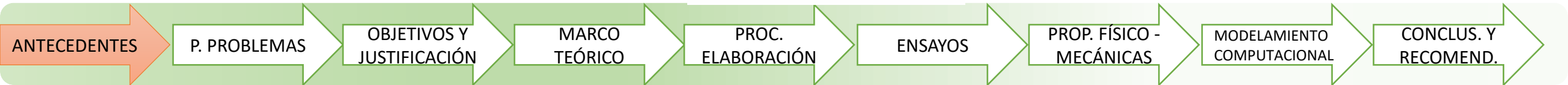
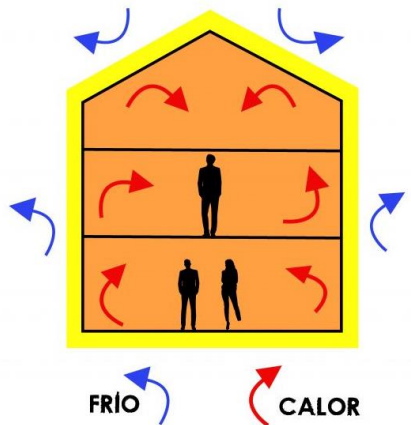
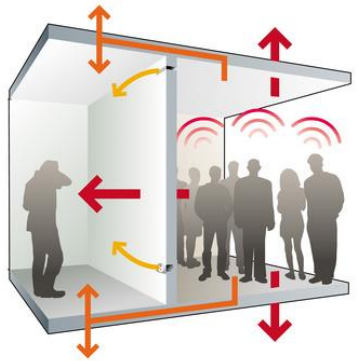
Materiales convencionales como la madera, barro, arcilla, cal y cemento



Estructuras Sostenibles



Menor impacto ambiental
Menor costo energético



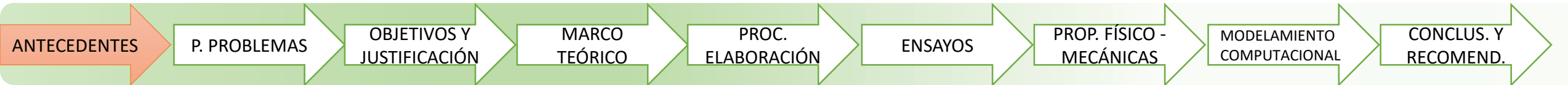


Construcciones antiguas en Francia, Canadá, Inglaterra, Austria y Dinamarca



Sistema resistente: Mochetas y vigas

Sistema aislante: Fardos de paja





Caracterización de materiales





Cambio climático progresivo



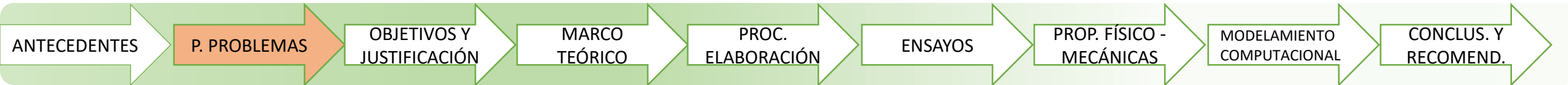
Industria de la construcción contaminante y no renovable



Falta de uso de biomateriales



Sistemas Constructivos propios Residuos Agrícolas



OBJETIVO GENERAL

- Validar analíticamente los resultados experimentales de vibración ambiental de una vivienda elaborada con paredes de fardos de paja y estructura en base a mochetas de madera, mediante caracterización de paneles OSB y modelos computacionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

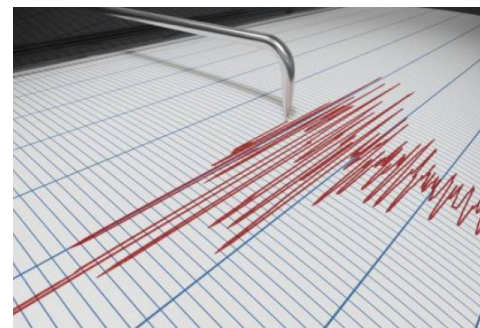
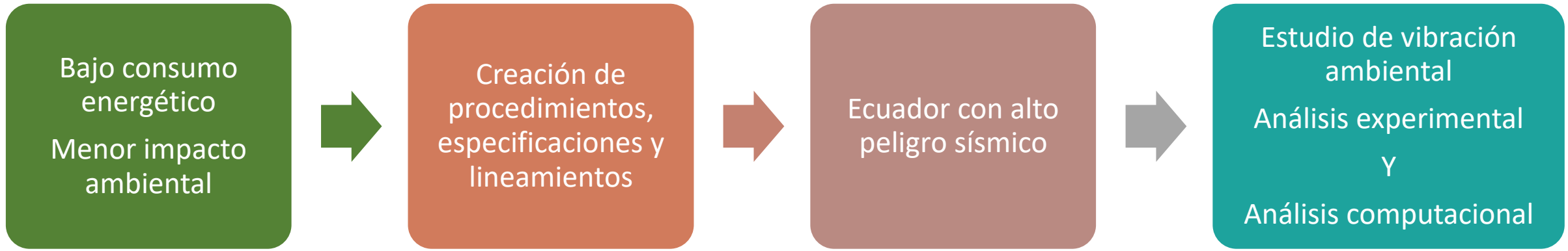
- Determinar los métodos y ensayos adecuados para caracterización de paneles OSB.
- Realizar pruebas físico mecánicas de caracterización de paneles OSB a utilizar, mediante ensayos de laboratorio, aplicando la normativa seleccionada.
- Caracterizar la forma de pandeo de paneles OSB de 9.5 mm de espesor mediante modelamiento analítico

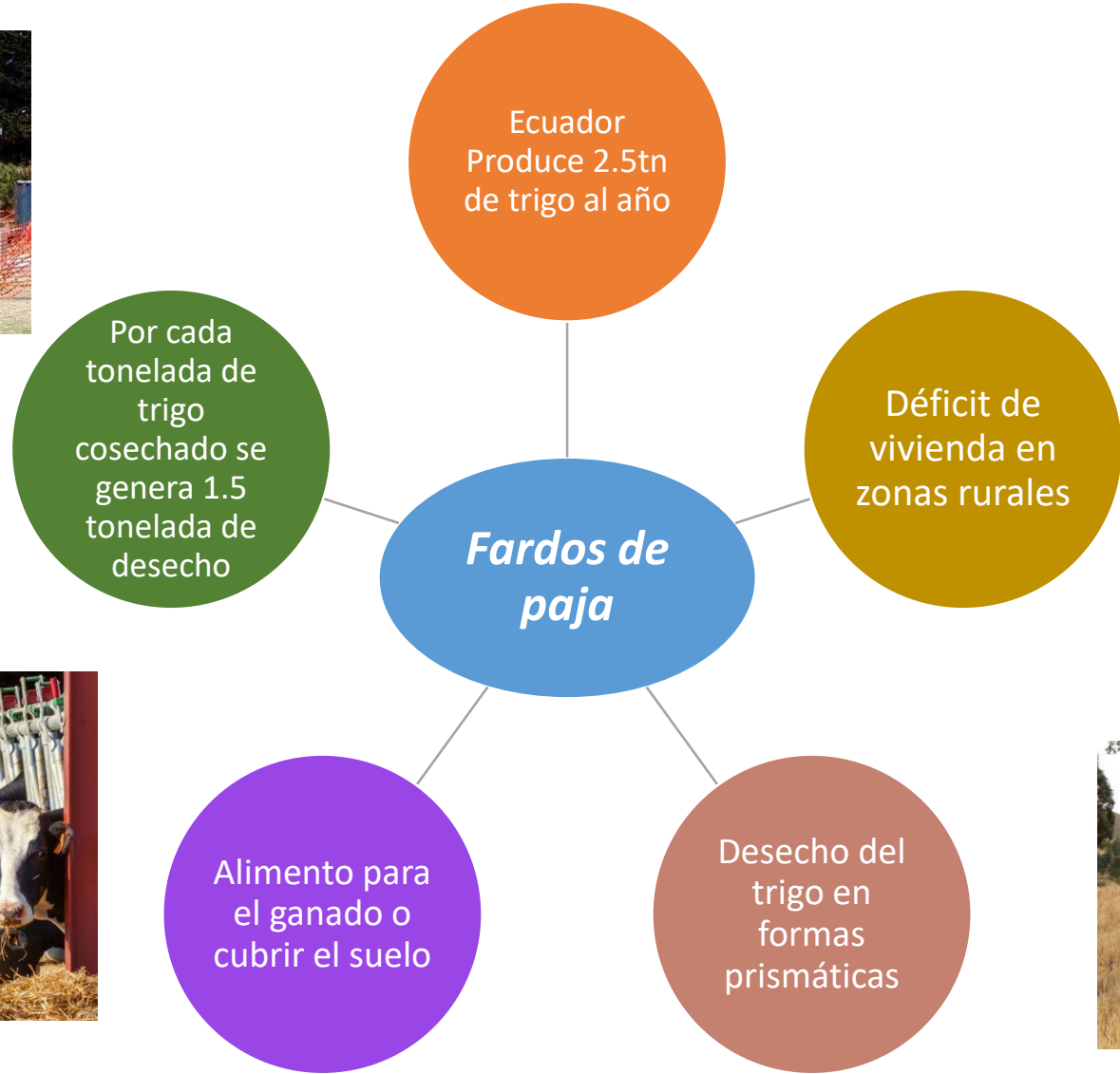
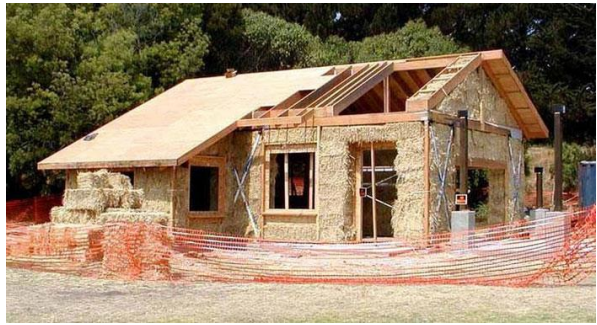


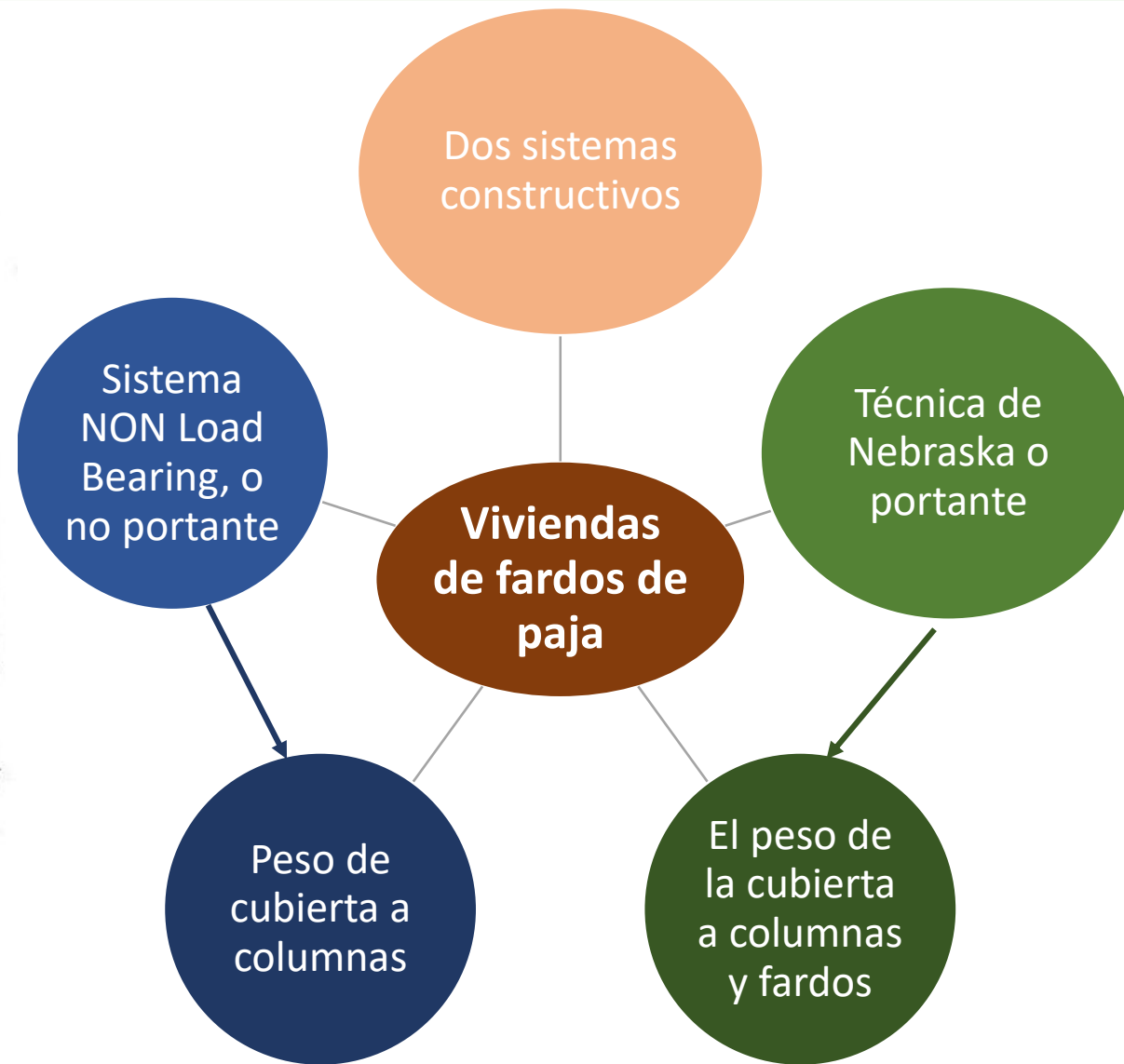
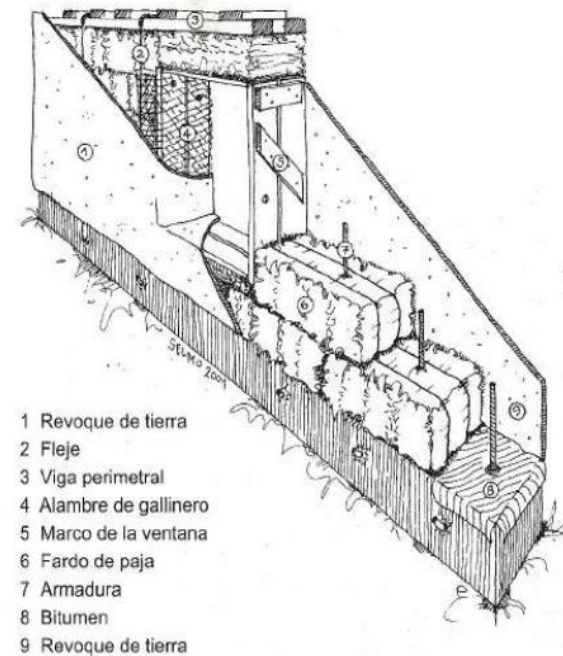
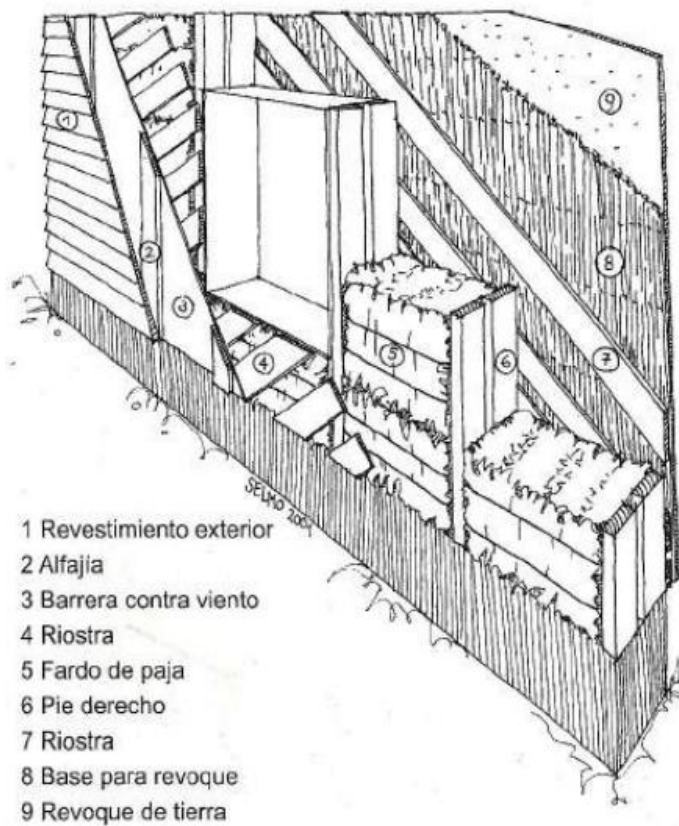
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un modelo computacional para la vivienda realizada a base de fardos de paja y moquetas de madera (alfajías de madera y paneles OSB).
- Determinar la influencia de los paneles OSB en el comportamiento y dinámica de la estructura de fardos de paja.
- Determinar los modos de vibración, periodo y frecuencia de la estructura en análisis, mediante el uso de modelos computacionales.
- Comparar los resultados determinados con la modelación computacional con los resultados obtenidos experimentalmente.









Tableros de Virutas Orientadas (OSB)



Virutas de madera



Madera de bosques de álamo y pino amarillo



Pegadas con adhesivos (Fenol Formaldehido y MDI)



Resistentes y fáciles de trabajar



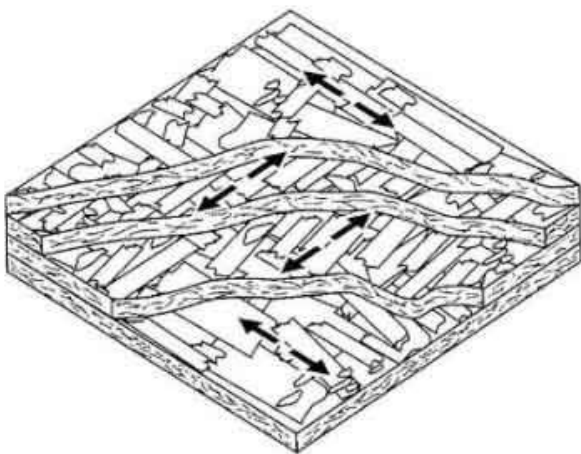
En capas direccionadas y prensadas



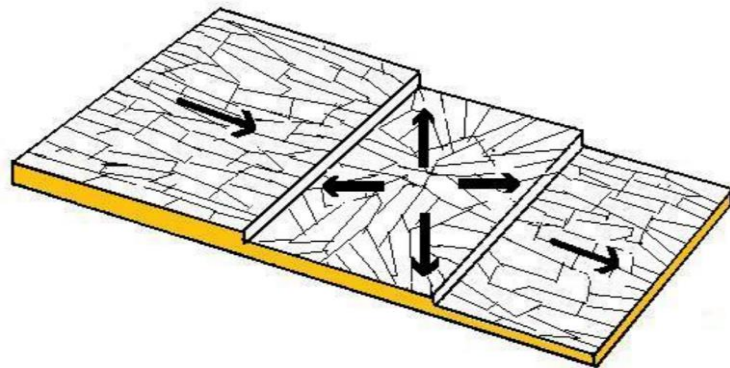
Bajo impacto ambiental



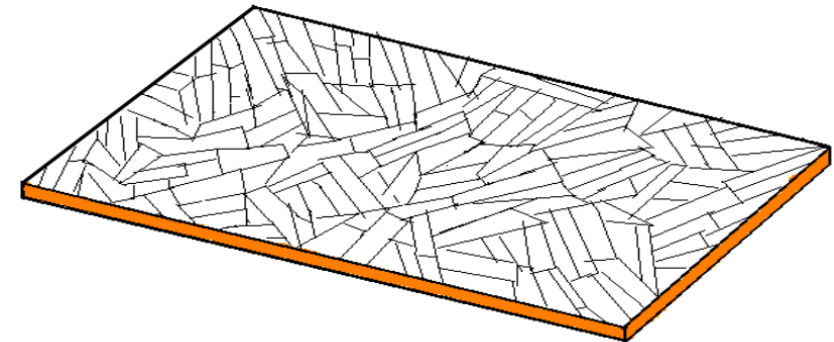
Uso en techumbres, pisos y muros



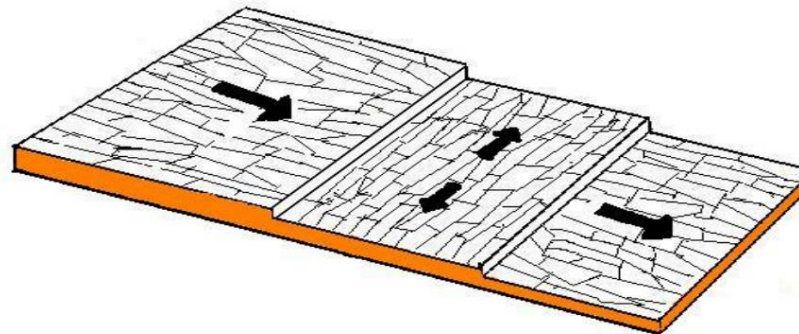
Clasificación de Tableros OSB



Grado O-2
Caras alineadas y centro orientado



Grado O-1
Caras alineadas y centro al azar



Grado R-1
Virutas al azar



Muros de paneles OSB

Luciana Pacific S.A.
 America Latina

LP-OSB
 Para vivienda

PRODUCTO	ESPESOR	FORMATO	PESO	Unidad x Pallet
OSB APA Plus/Guard/Protec	9,5 mm	1,22 x 2,44 mt	21,1 kg	84
	11,1 mm	1,22 x 2,44 mt	24,1 kg	72
	15,1 mm	1,22 x 2,44 mt	32,7 kg	53
	18,3 mm	1,22 x 2,44 mt	38,9 kg	45
OSB APA largo	11,1 mm	1,22 x 4,88 mt	45,9 kg	36
TOP NOTCH (piso)	15,0 mm	1,22 x 2,44 mt	31,8 kg	53
	18,0 mm	1,22 x 2,44 mt	38 kg	45

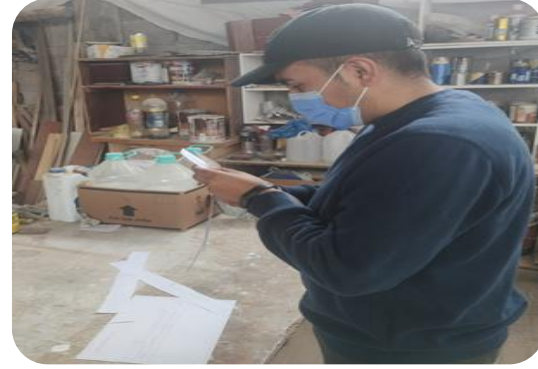


Ventajas

- Vivienda y comercial
- Ahorro en material y mano de obra
- Adherencia de revestimiento
- Sistema rígido tipo diafragma
- Resistencia térmica y control acústico
- Mejor comportamiento



Paneles OSB

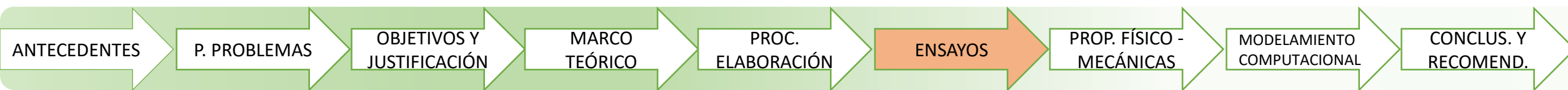


Normativa Utilizada

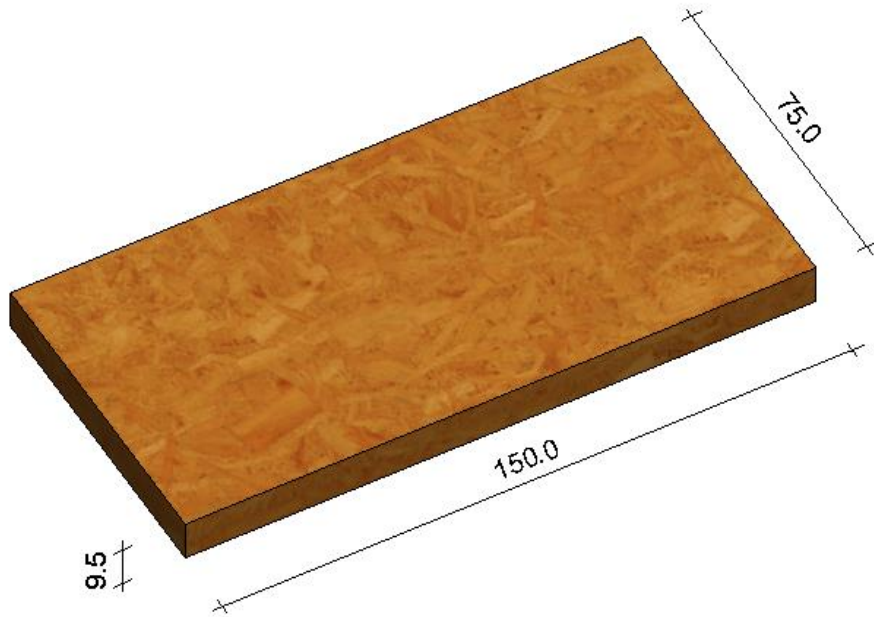
Normativa	Nombre
ASTM D4442	Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials
ASTM D2395	Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials
ASTM D3043	Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure
ASTM D3500	Standard Test Methods for Structural Panels in Tension
ASTM D3501	Standard Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression
ASTM D2719	Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-Thickness



100 especímenes

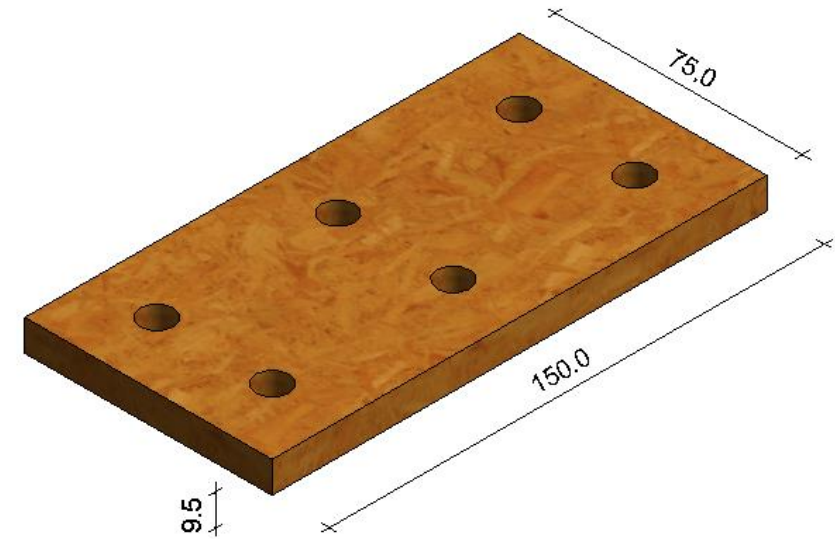


MUESTRAS PARA ENSAYOS

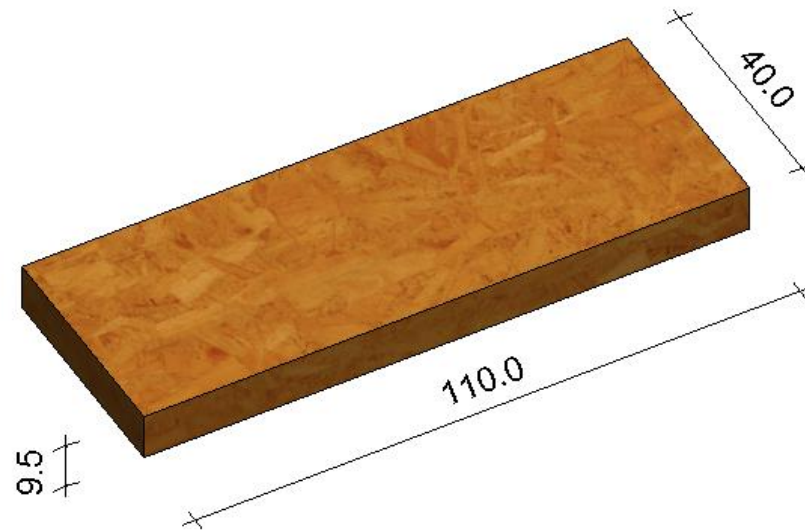


Probeta para densidad Especifica

Probeta para Contenido de Humedad

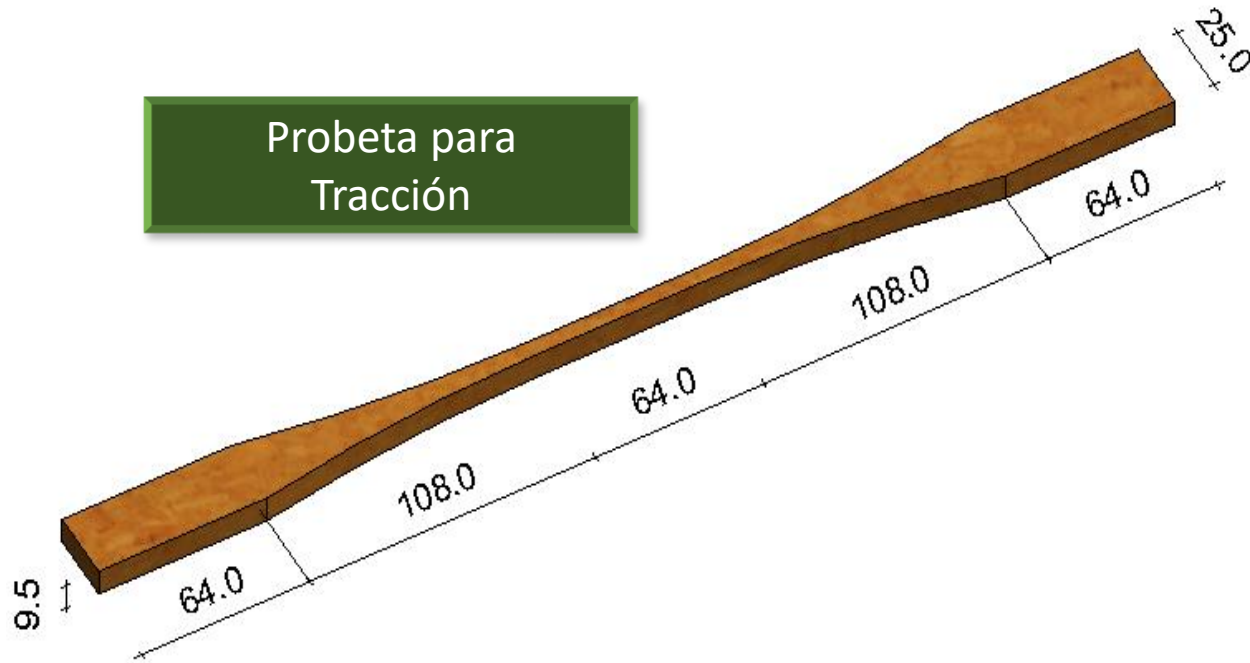


Probeta para Corte

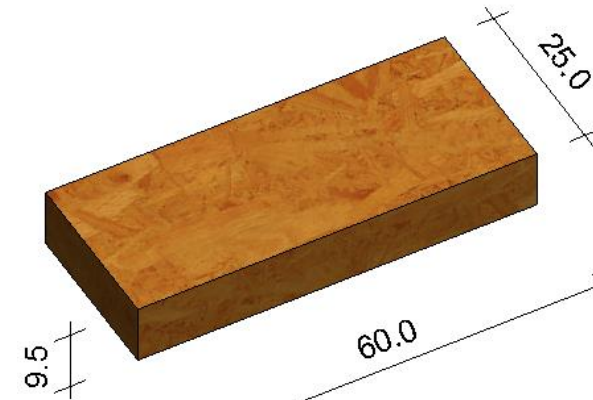


MUESTRAS PARA ENSAYOS

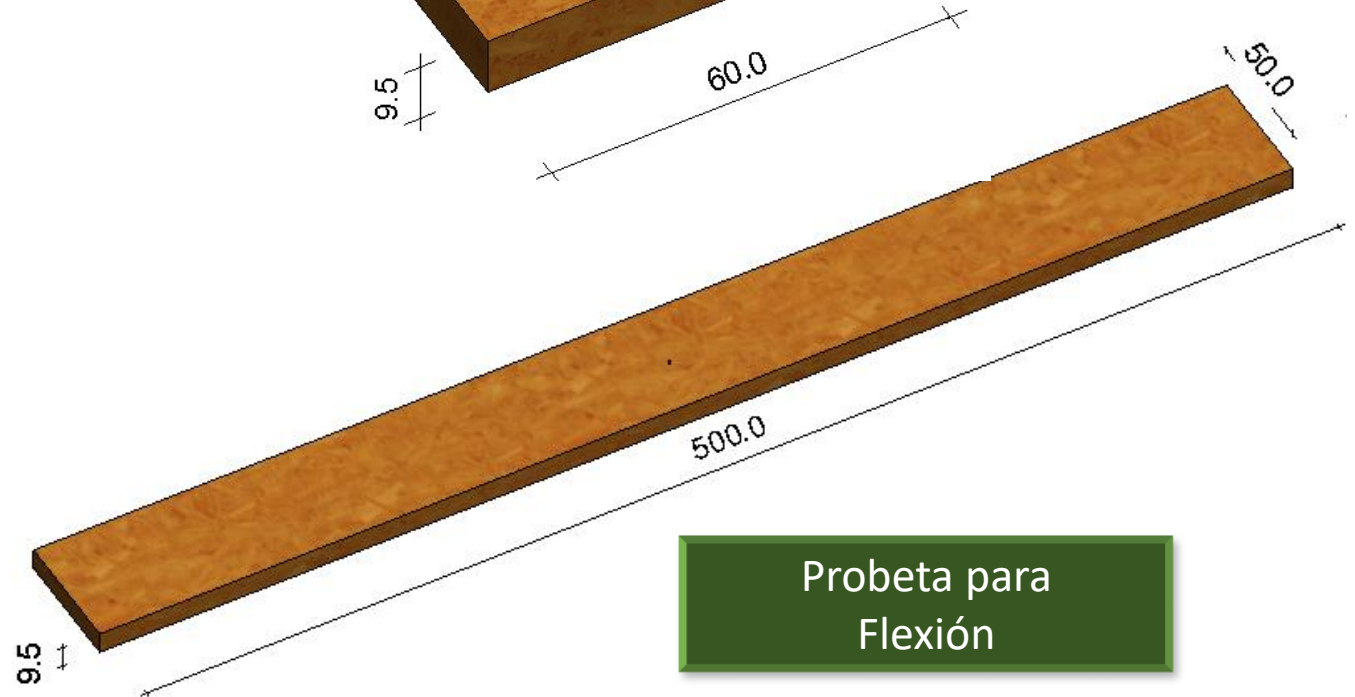
Probeta para
Tracción



Probeta para
Compresión



Probeta para
Flexión



ASTM D4442

Contenido de humedad

Horno a temperatura de
 $103 \pm 2^\circ\text{C}$



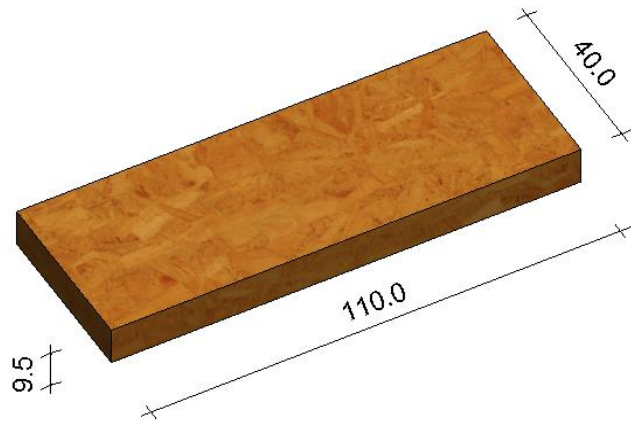
Tiempo de acondicionamiento:
De tal duración que el espécimen habrá alcanzado peso constante ($\pm 1\%$)

Densidad:

$$d = \frac{w}{v}$$

Contenido de humedad:

$$MC = \frac{W_i - W_f}{W_f} * 100$$



15 especímenes



ASTM D2395

Horno a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$



Densidad Específica

Tiempo de acondicionamiento:

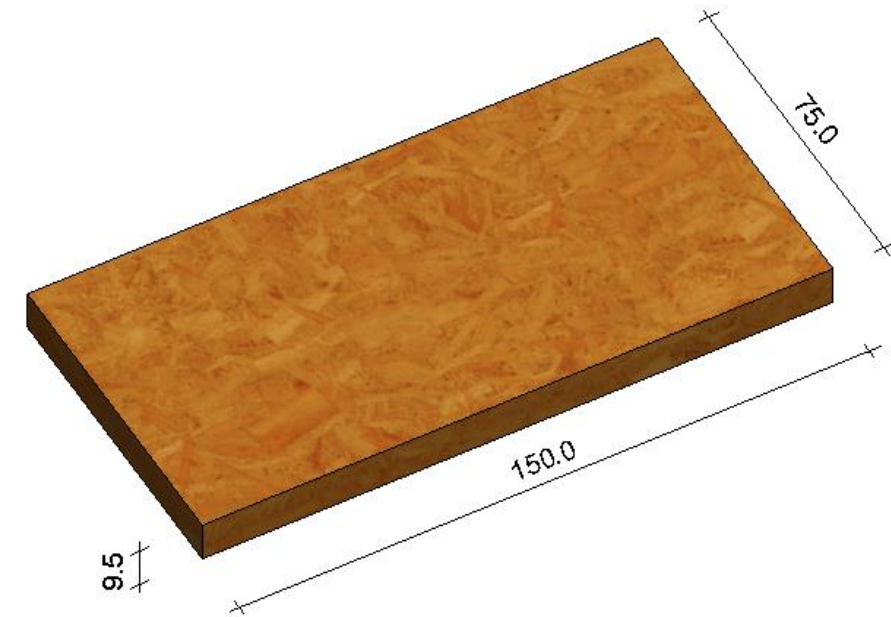
De tal duración que el espécimen habrá alcanzado peso constante ($\pm 1\%$)

Densidad:

$$\gamma = \frac{W_f}{L * w * e}$$



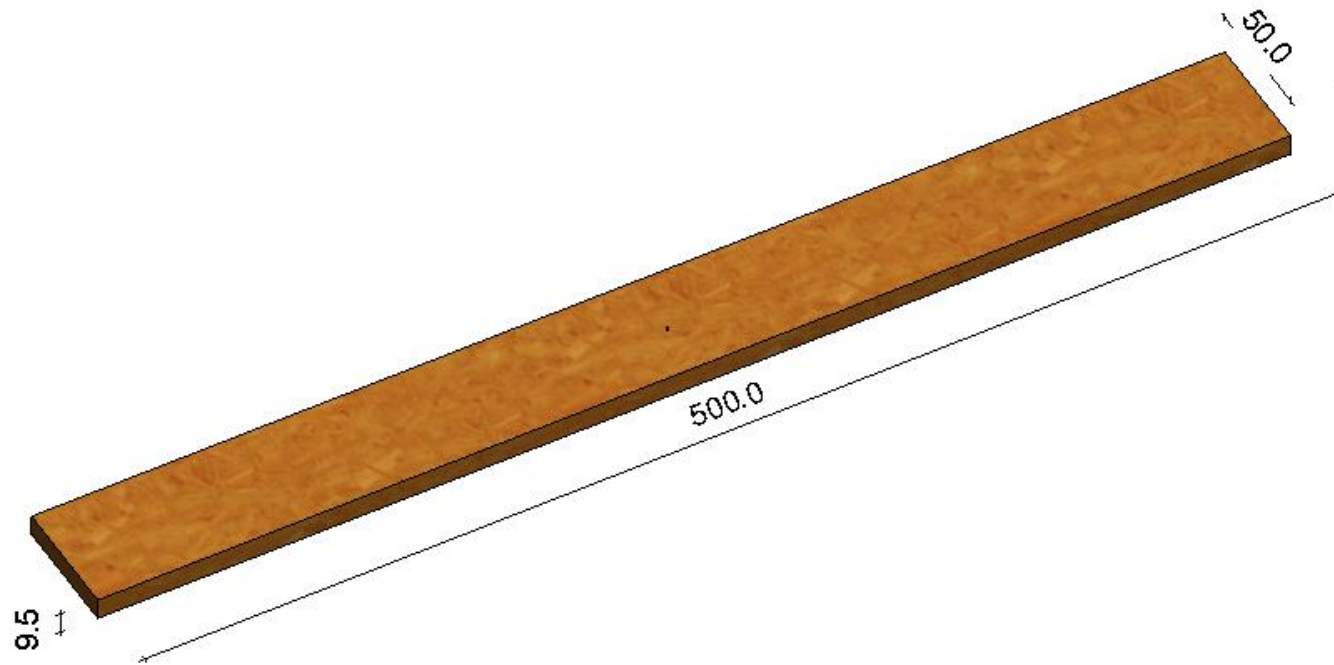
11 especímenes



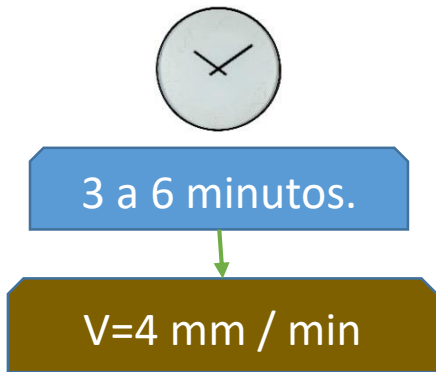


ASTM D3043

Ensayo de flexión



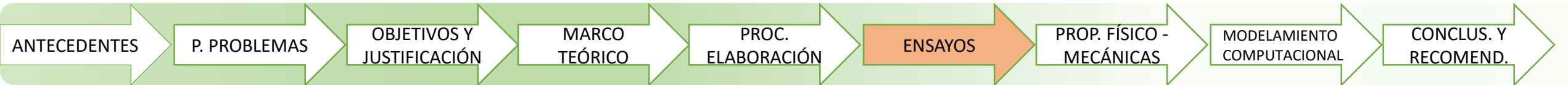
14 especímenes



Datos a encontrar



- Módulo de ruptura
- Módulo de elasticidad



ASTM D3043

Ensayo de flexión

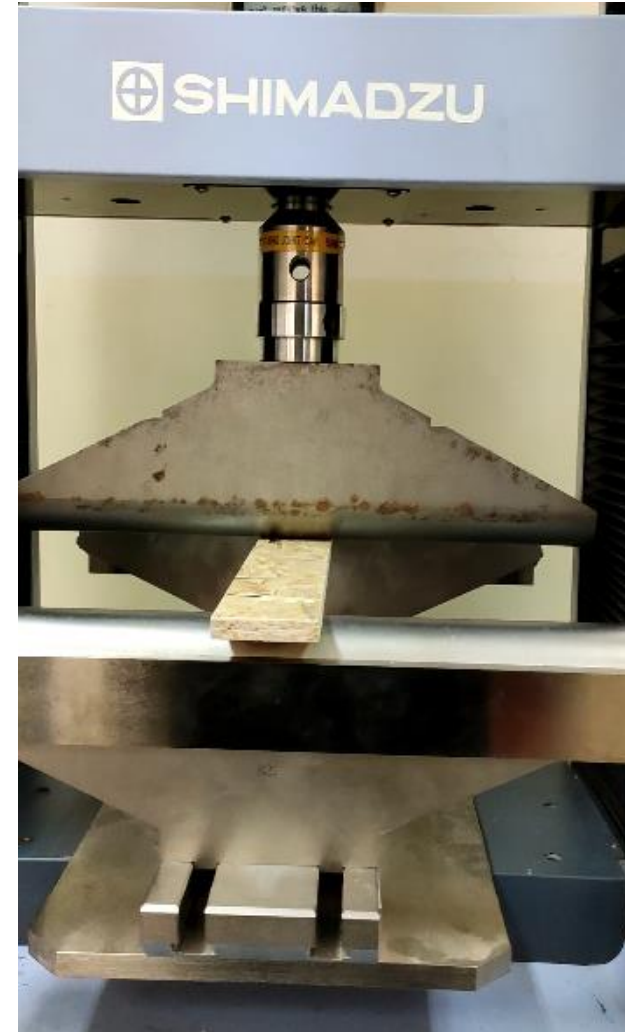


Módulo de ruptura:

$$S_b = \frac{3 * P * L}{2 * w * e}$$

Módulo de elasticidad

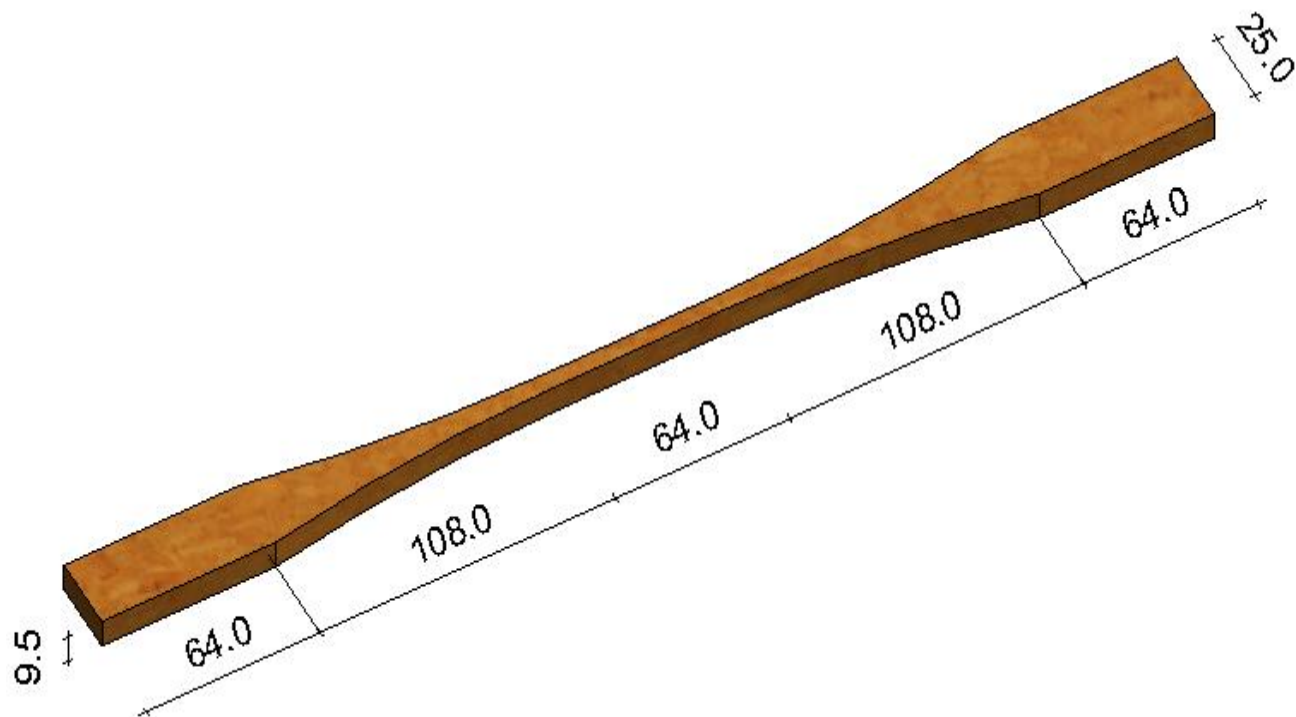
$$EI = L^3 / 48 * P / \Delta$$





ASTM D3500

Ensayo de tracción



3 a 6 minutos.

$V=0,5 \text{ mm / min}$

Datos a encontrar



- Resistencia última a tracción

13 especímenes





ASTM D3500

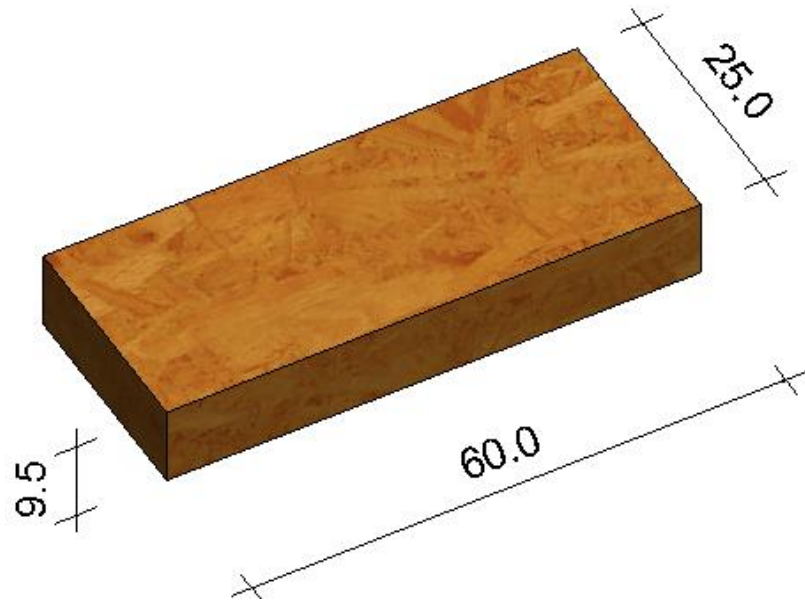
Ensayo de tracción





ASTM D3501

Ensayo de compresión



3 a 6 minutos.

$V=0.2 \text{ mm / min}$

Datos a encontrar



- Fuerza última a compresión
- Módulo de Elasticidad

16 especímenes

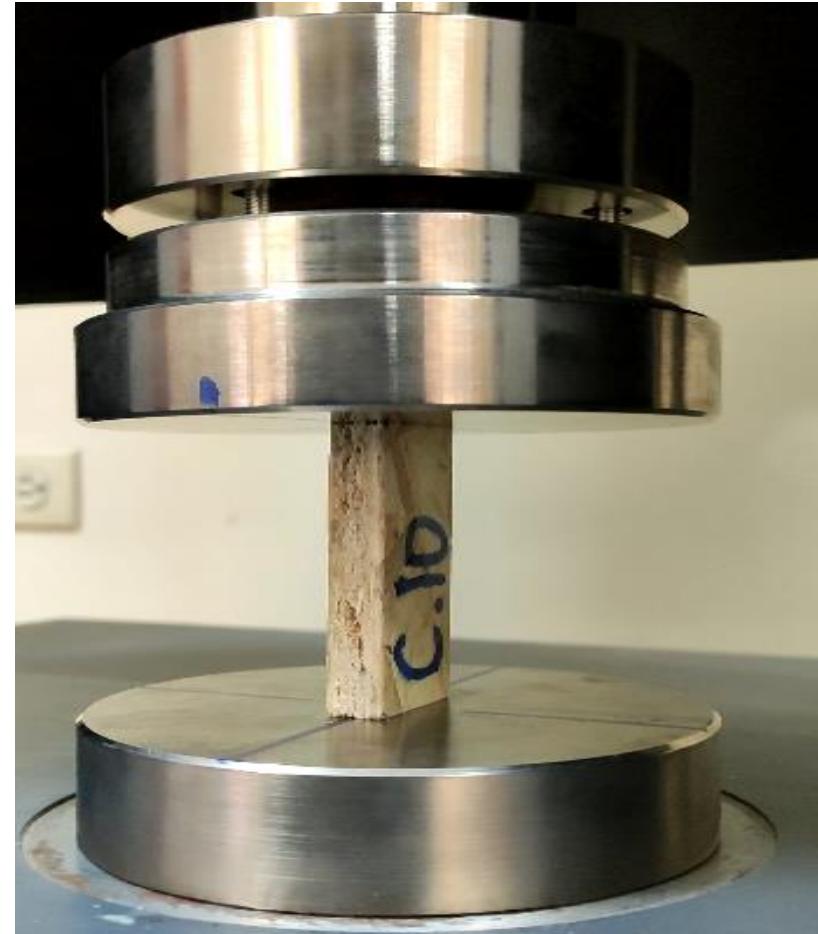
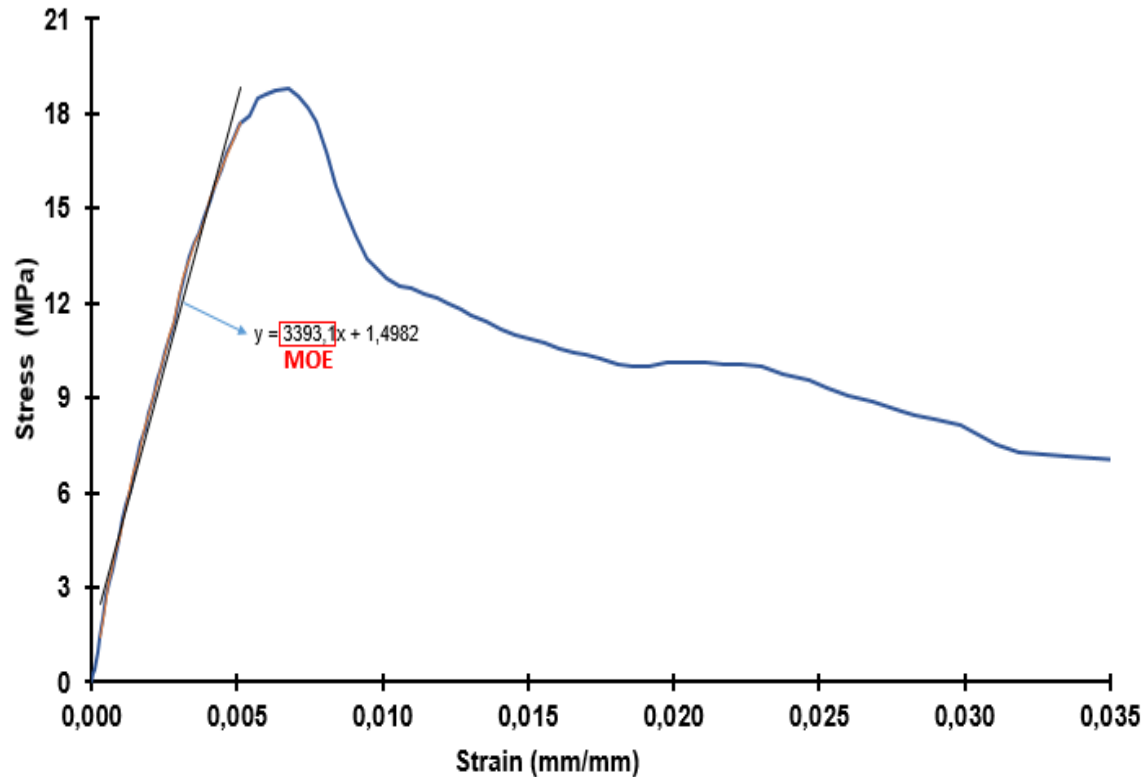


ASTM D3501

Ensayo de compresión

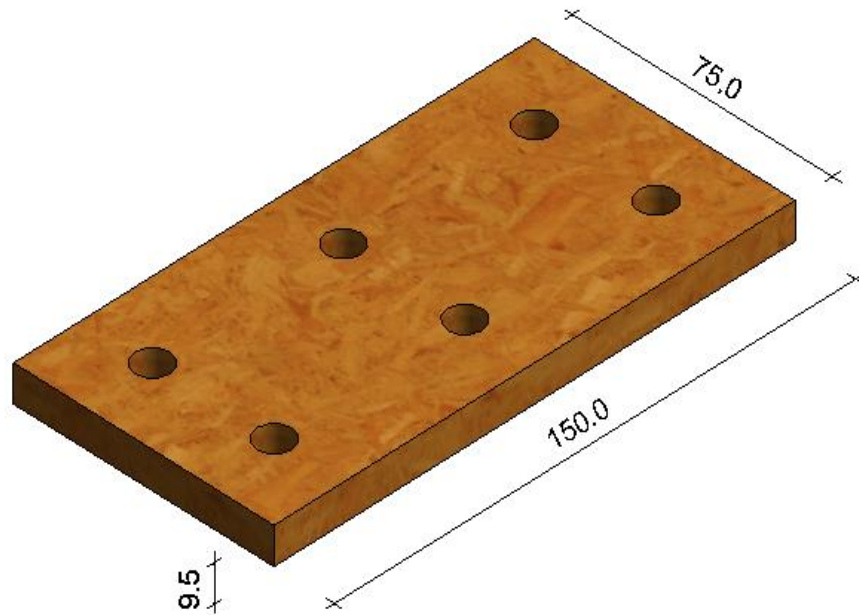
$$MOE = \frac{\sigma_c}{\epsilon}$$

Stress vs Strain

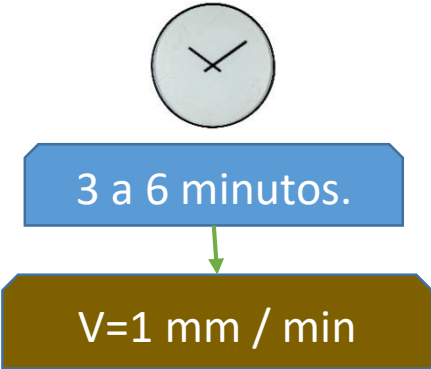


ASTM D2719

Ensayo de corte



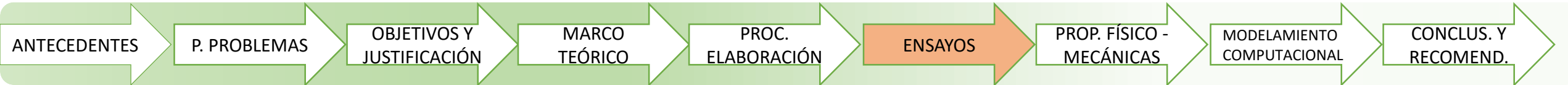
15 especímenes



Datos a encontrar



- Máximo esfuerzo cortante
- Módulo de rigidez a corte



ASTM D2719

Ensayo de corte

Máximo esfuerzo a cortante :

$$T = \frac{P}{L * e}$$

Módulo de rigidez a corte:

$$G = 0.5 * \frac{P}{\Delta} * \frac{l}{L * t}$$



Densidad y contenido de humedad

Contenido de
humedad

Promedio:
MC=10.27%

Muestra	Peso húmedo Wi (g)	Peso seco al horno Wf (g)	Contenido de humedad MC (%)
MC1	28.99	26.21	10.61
MC2	28.3	25.64	10.37
MC3	25.12	22.81	10.13
MC4	32.1	29.05	10.50
MC5	29.54	26.93	9.69
MC6	31.38	28.54	9.95
MC7	28.81	26.12	10.30
MC8	28.13	25.61	9.84
MC9	29.57	26.85	10.13
MC10	27.65	25.05	10.38
MC11	30.08	27.24	10.43
MC12	27.67	25.07	10.37
MC13	28.53	25.88	10.24
MC14	29.46	26.66	10.50
MC15	28.21	25.51	10.58
Promedio	28.90	26.21	10.27
Desv. Estándar	1.65	1.49	0.27
CoV	0.06	0.06	0.03



Densidad y contenido de humedad

Muestra	Peso húmedo Wi (g)	Peso seco al horno Wf (g)	Contenido de humedad MC (%)	Densidad seca al horno d	Peso específico γ (kg/m ³)
D1	73.32	66.27	10.64	0.55	606.43
D2	71.48	64.74	10.41	0.53	583.40
D3	68.84	62.52	10.11	0.53	580.48
D4	74.38	67.33	10.47	0.55	607.21
D5	71.30	65.02	9.66	0.55	605.21
D6	73.66	66.97	9.99	0.56	612.04
D7	68.55	62.12	10.35	0.51	560.19
D8	71.97	65.51	9.86	0.54	593.48
D9	74.63	67.77	10.12	0.56	617.32
D10	69.90	63.34	10.36	0.52	575.42
D11	78.24	70.82	10.48	0.57	628.76
Promedio	72.39	65.67	10.22	0.54	597.27
Desv. Estándar	2.85	2.55	0.30	0.02	20.49
CoV	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03

Densidad específica

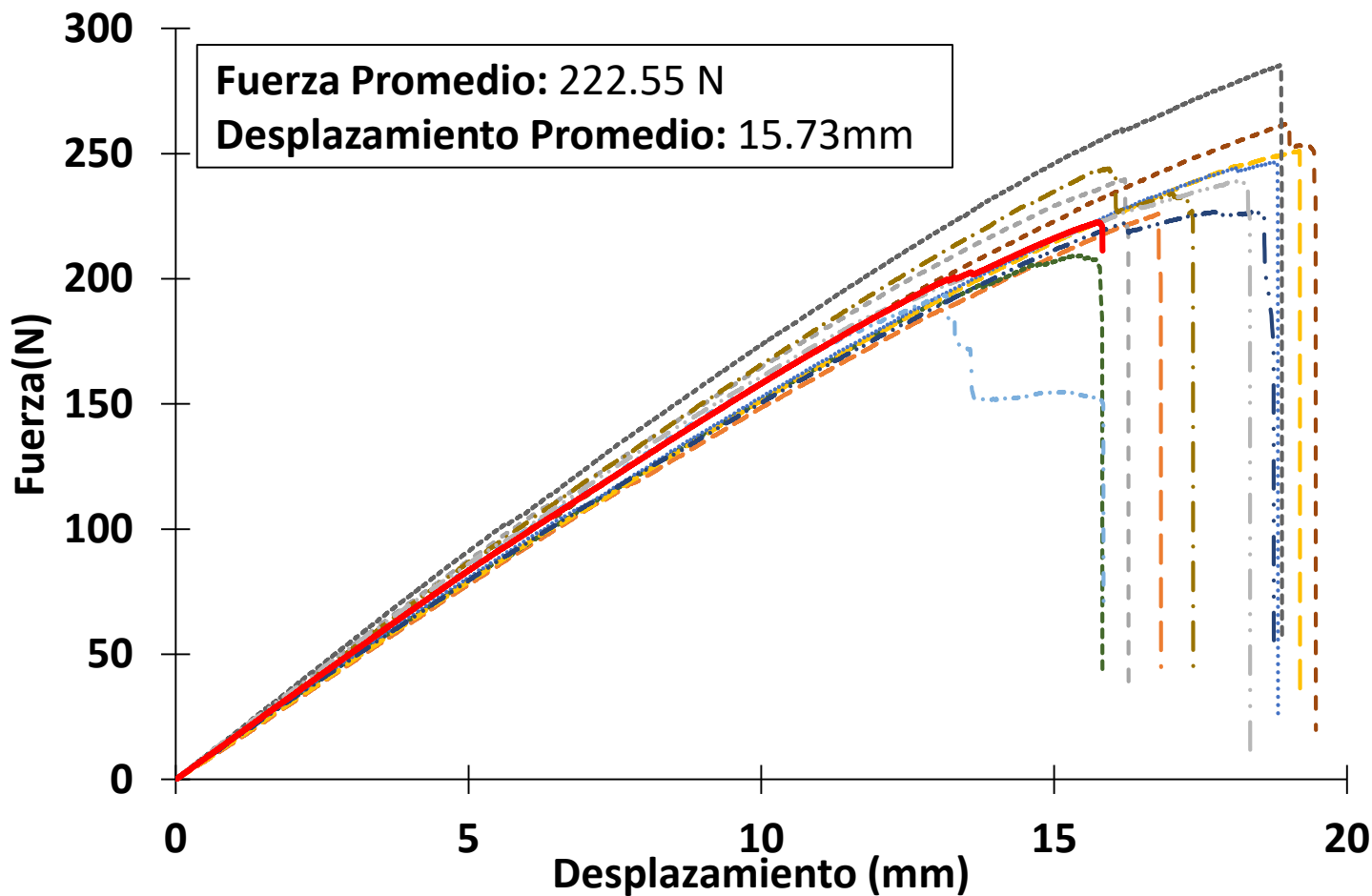
Promedio:
 $\gamma=597.27\text{kg/m}^3$



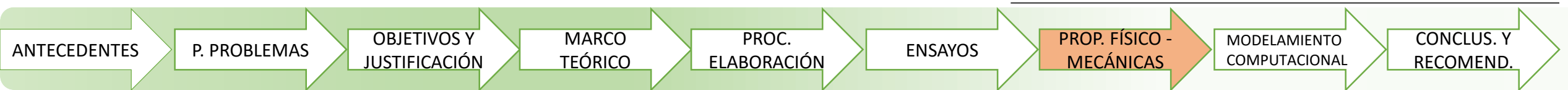
Flexión

Módulo de ruptura

Promedio:
Sb=289.66 MPa



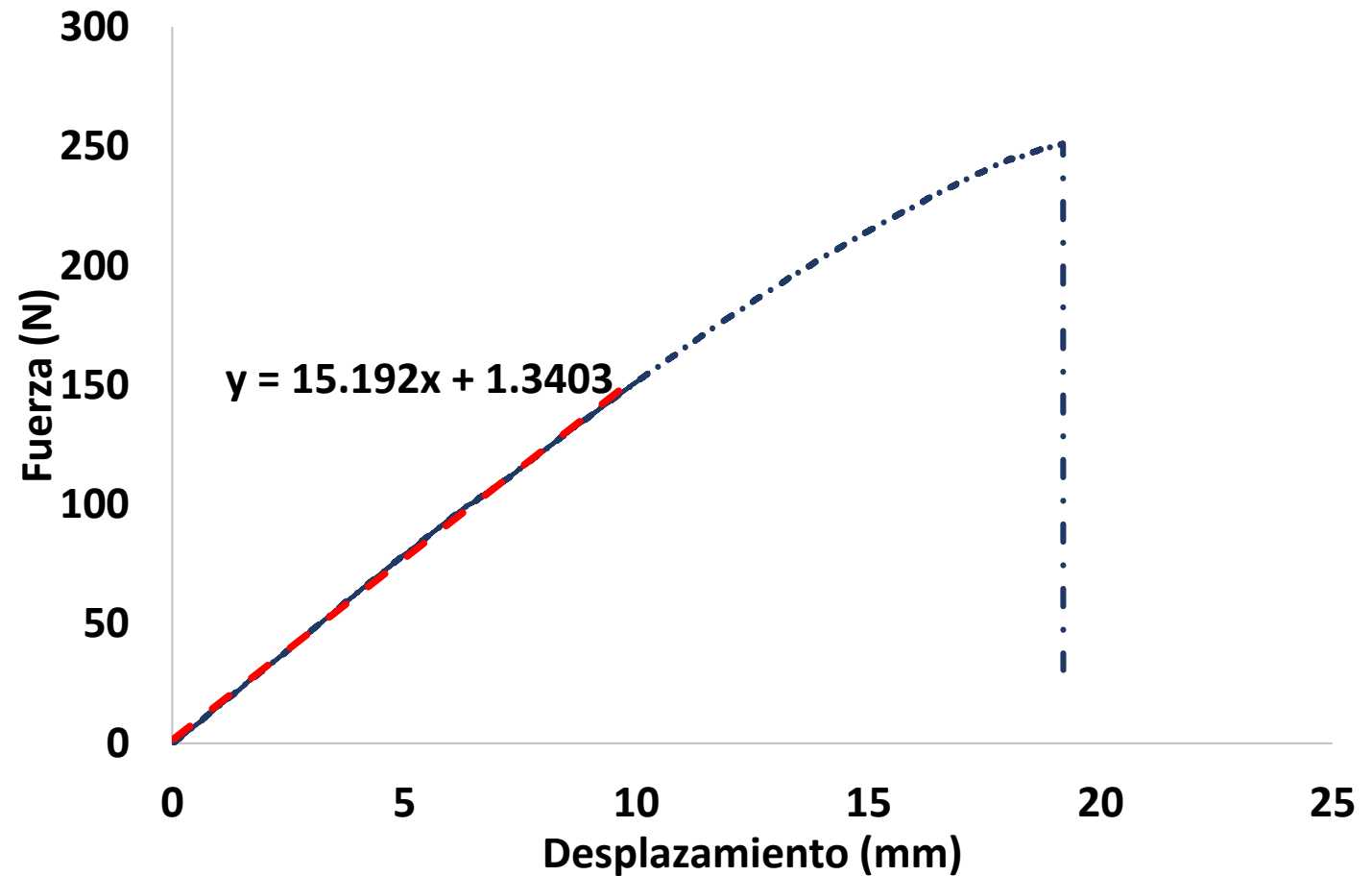
Muestra	Fuerza N	W mm	e mm	Sb Mpa
F1	187.79	50.66	9.76	227.89
F2	226.10	50.58	9.69	276.79
F3	239.79	50.62	9.94	285.93
F4	209.66	50.79	9.92	249.67
F5	251.17	50.31	9.66	310.08
F6	246.68	50.60	9.64	303.43
F7	248.55	50.66	9.58	307.28
F8	209.90	50.22	9.79	256.15
F9	193.41	50.27	9.77	236.28
F10	262.17	50.48	9.73	320.25
F11	285.39	50.36	9.84	345.55
F12	244.11	50.68	9.82	294.30
F13	226.78	50.73	10.05	266.88
F14	306.22	50.34	9.74	374.73
Promedio	238.41	50.52	9.78	289.66
Desv. Estándar	33.11	0.19	0.13	41.44
CoV	0.14	0.00	0.01	0.14



Flexión

Módulo de elasticidad

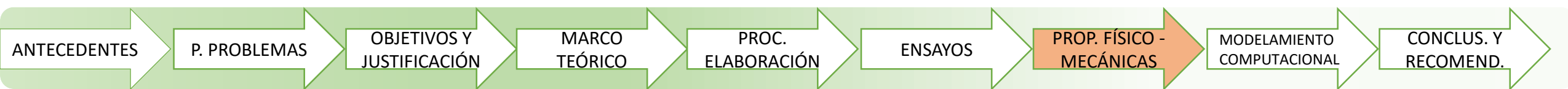
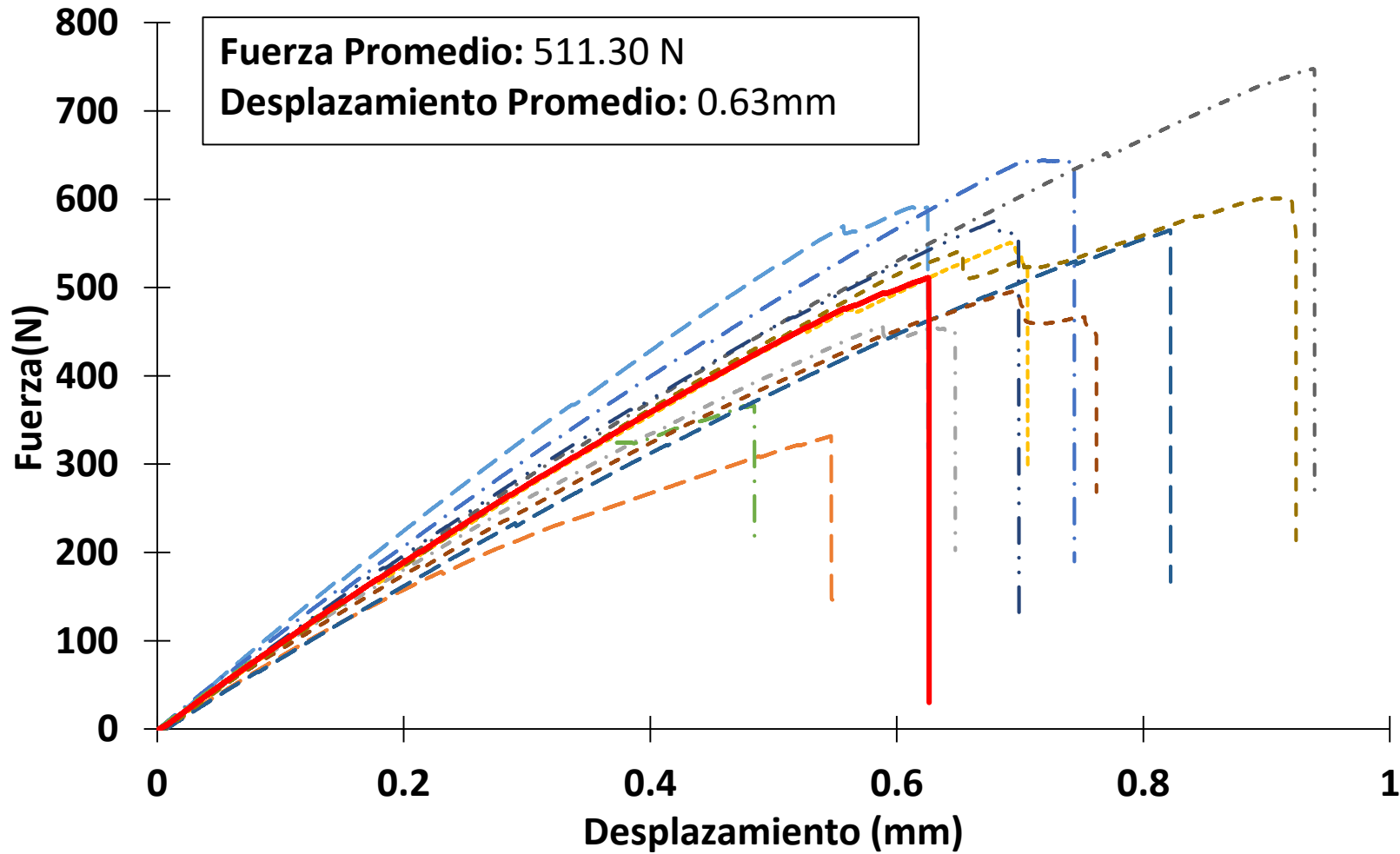
Promedio:
MOEF=3746.76 MPa



Muestra	P/Δ (N/mm)	Inercia I (mm ⁴)	MOEF (MPa)
F1	14.41	3924.94	4894.51
F2	14.98	3835.03	5208.48
F3	16.47	4142.86	5300.69
F4	15.14	4131.73	4884.80
F5	15.19	3779.24	5359.81
F6	15.28	3777.46	5392.68
F7	15.52	3711.76	5576.50
F8	15.27	3926.84	5183.81
F9	16.37	3906.71	5586.28
F10	15.75	3875.04	5420.67
F11	17.36	3998.43	5789.27
F12	16.66	3999.35	5555.23
F13	15.11	4291.23	4695.78
F14	16.78	3876.22	5770.22
Promedio	15.74	3941.21	5329.91
Desv. Estandar	0.85	160.13	330.74
CoV	0.05	0.04	0.06

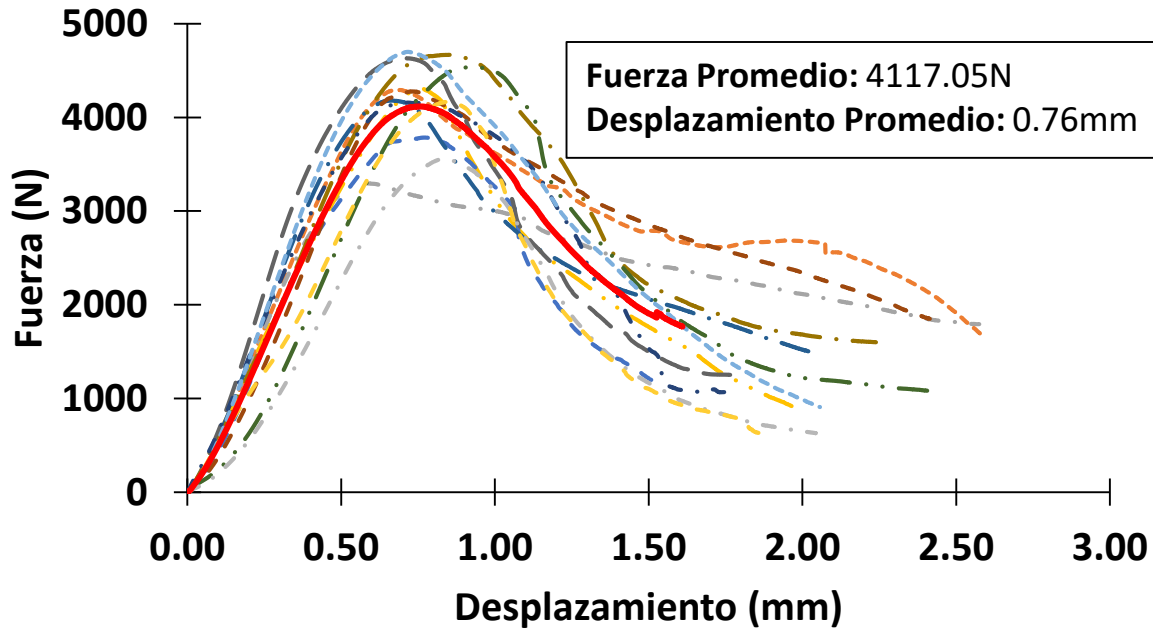


Tracción

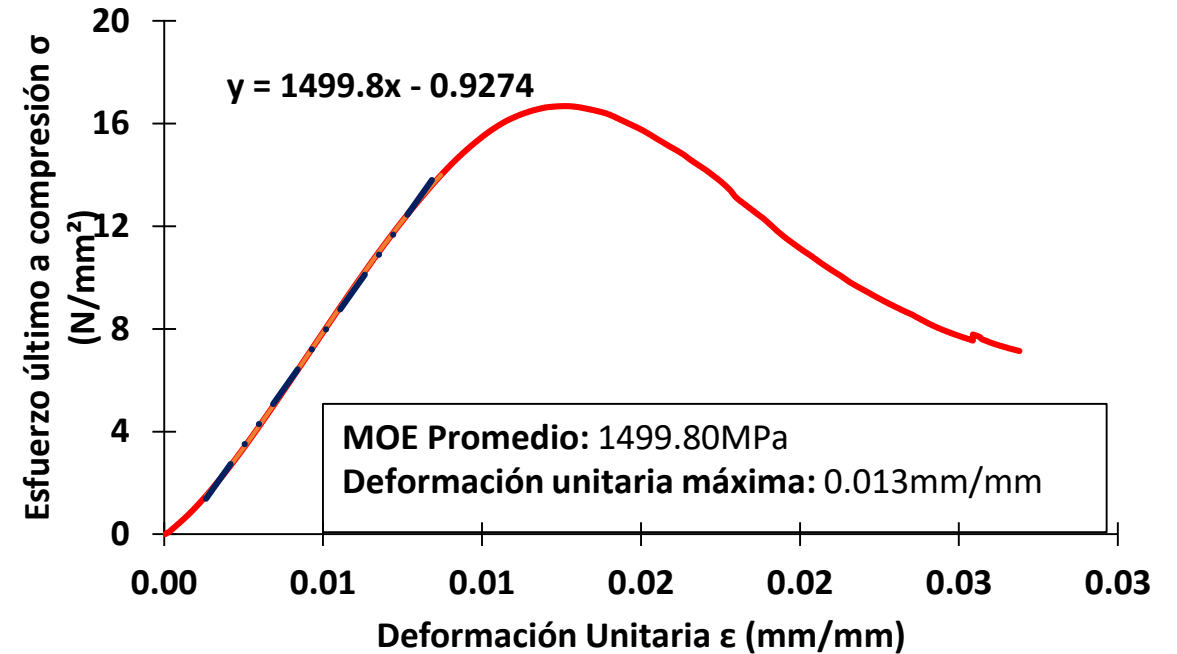


Compresión

Curva Fuerza-Desplazamiento



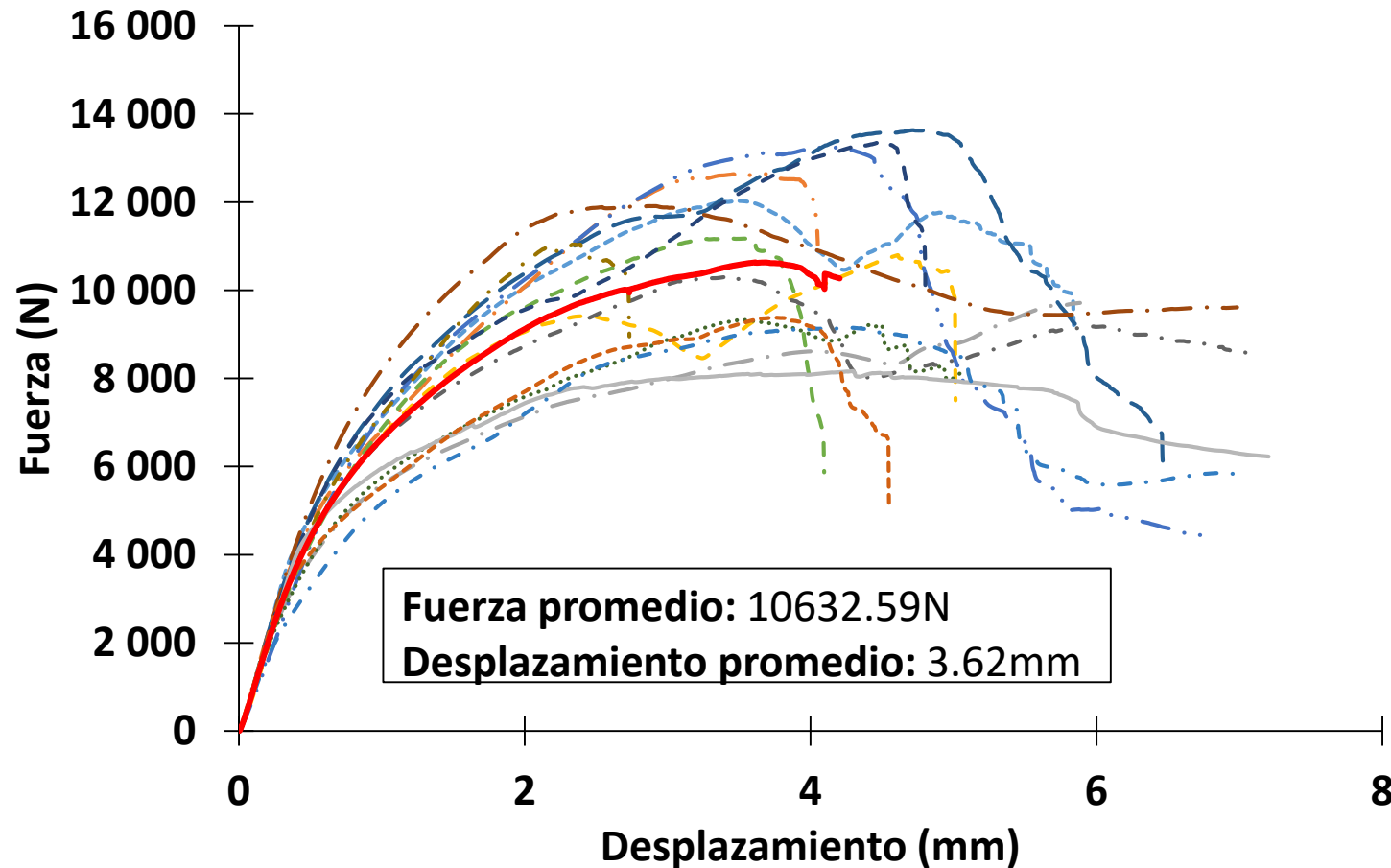
Curva esfuerzo-Deformación



Corte

Módulo de rigidez a corte

Promedio:
 $G=286.66 \text{ N/mm}^2$



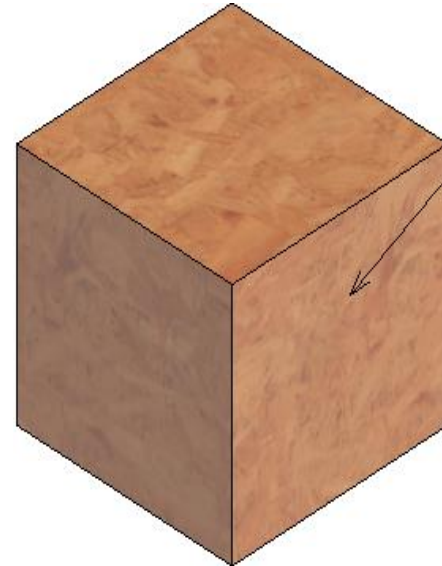
Muestra	L mm	w mm	e mm	P/Δ N/mm	G N/mm ²
S1	150.81	100.5	9.73	6888.20	235.88
S2	150.74	100.58	9.69	8320.70	286.48
S3	150.21	100.47	9.46	5631.90	199.10
S4	150.68	100.85	9.65	9379.70	325.28
S5	150.57	99.98	9.48	9835.10	344.44
S6	150.60	100.61	9.59	9386.40	326.94
S7	150.55	100.23	9.70	7479.50	256.68
S8	150.49	100.84	9.51	7914.90	278.84
S9	150.78	99.89	9.76	8294.30	281.50
S10	150.72	100.87	9.61	8121.70	282.80
S11	150.55	100.52	9.60	8737.50	303.85
S12	150.54	100.98	9.57	8719.00	305.57
S13	150.63	100.89	9.64	7549.20	262.26
S14	150.76	100.55	9.66	9154.80	316.04
S15	150.35	100.21	9.51	8394.80	294.18
Promedio	150.60	100.53	9.61	8253.85	286.66
Desv. Estándar	0.16	0.33	0.09	1079.24	37.67
CoV	0.00	0.00	0.01	0.13	0.13



Modelamiento
computacional

Análisis de
elementos finitos

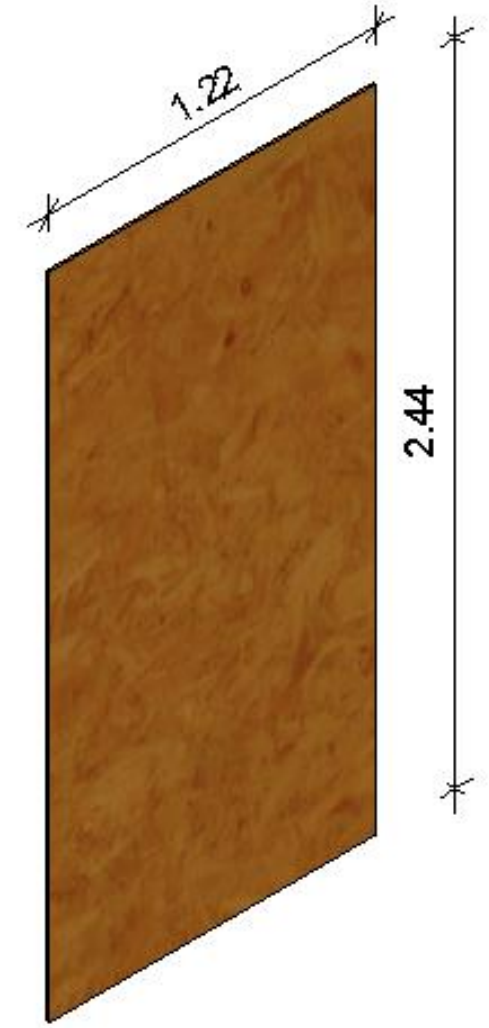
Modelación de
elemento finitos



Material: OSB
Peso específico: 600kg/m^3
 $E=15290\text{ kg/cm}^2$
 $U=0.3$

**Valores determinado
mediante ensayos**

- Condiciones de borde
- Condiciones geométricas
- Condiciones de cargas
- Propiedades físico mecánicas
- Método de progresión de esfuerzos

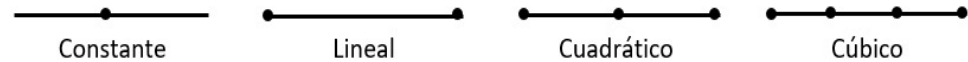


Teoría de FEA

Elección del elemento

TIPOS DE ELEMENTOS

UNIDIMENSIONALES



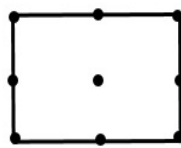
BIDIMENSIONALES



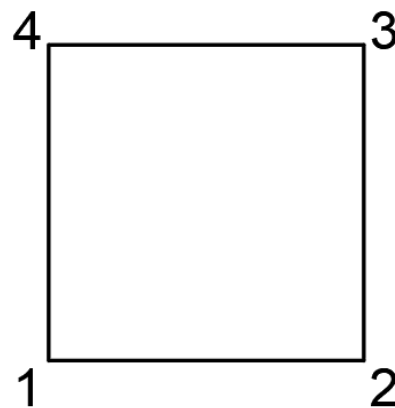
Lineal



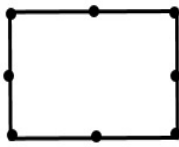
Lineal



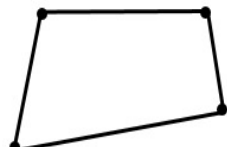
Lagrangiano



Cuadrático



Serendipitos



Lagrangiano

Elemento bidimensional de 4 nodos

TRIDIMENSIONALES



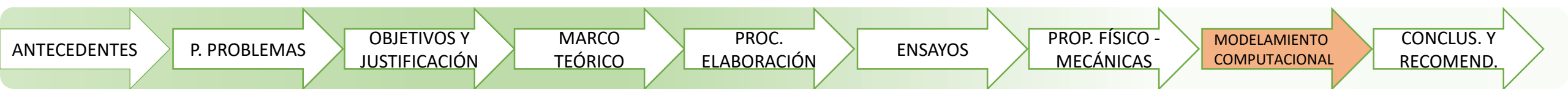
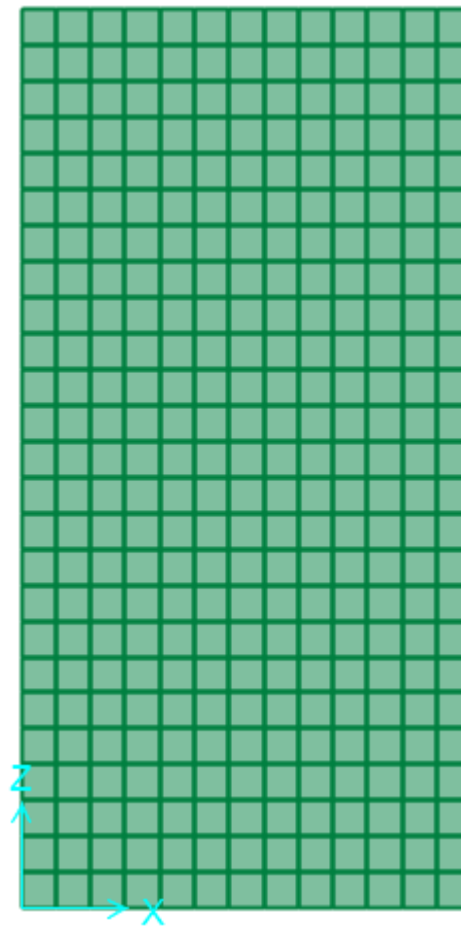
Axisimétrico



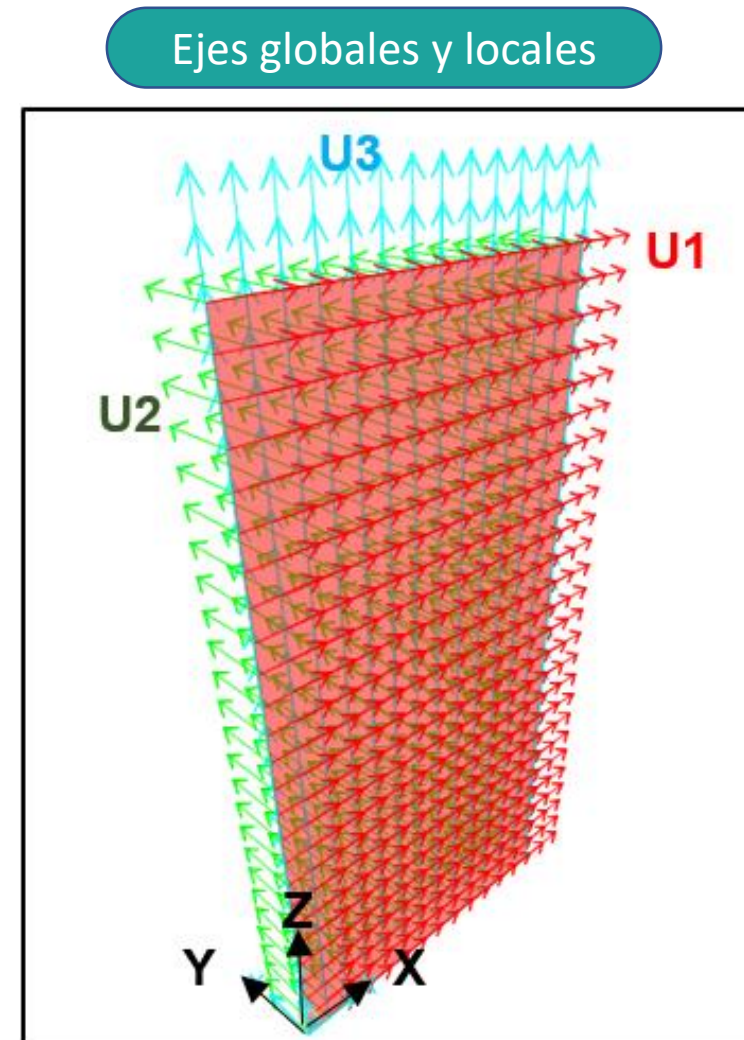
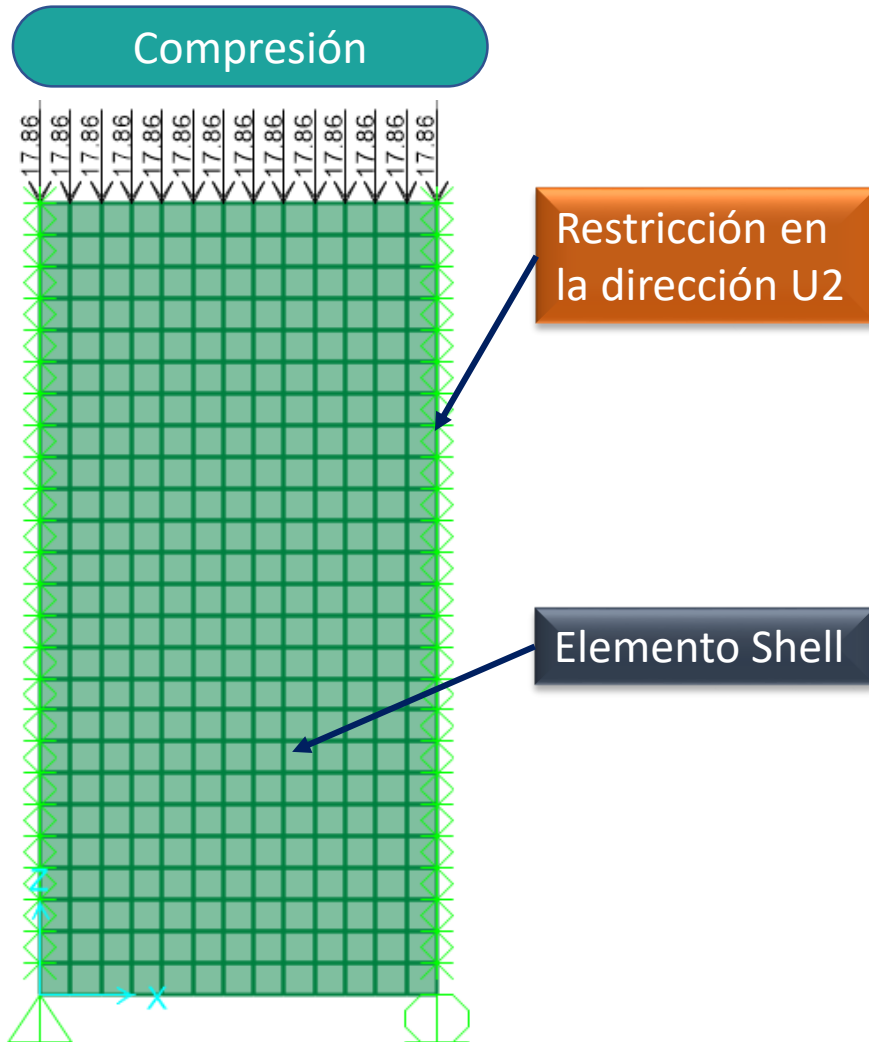
Tetraedro



Hexaedro



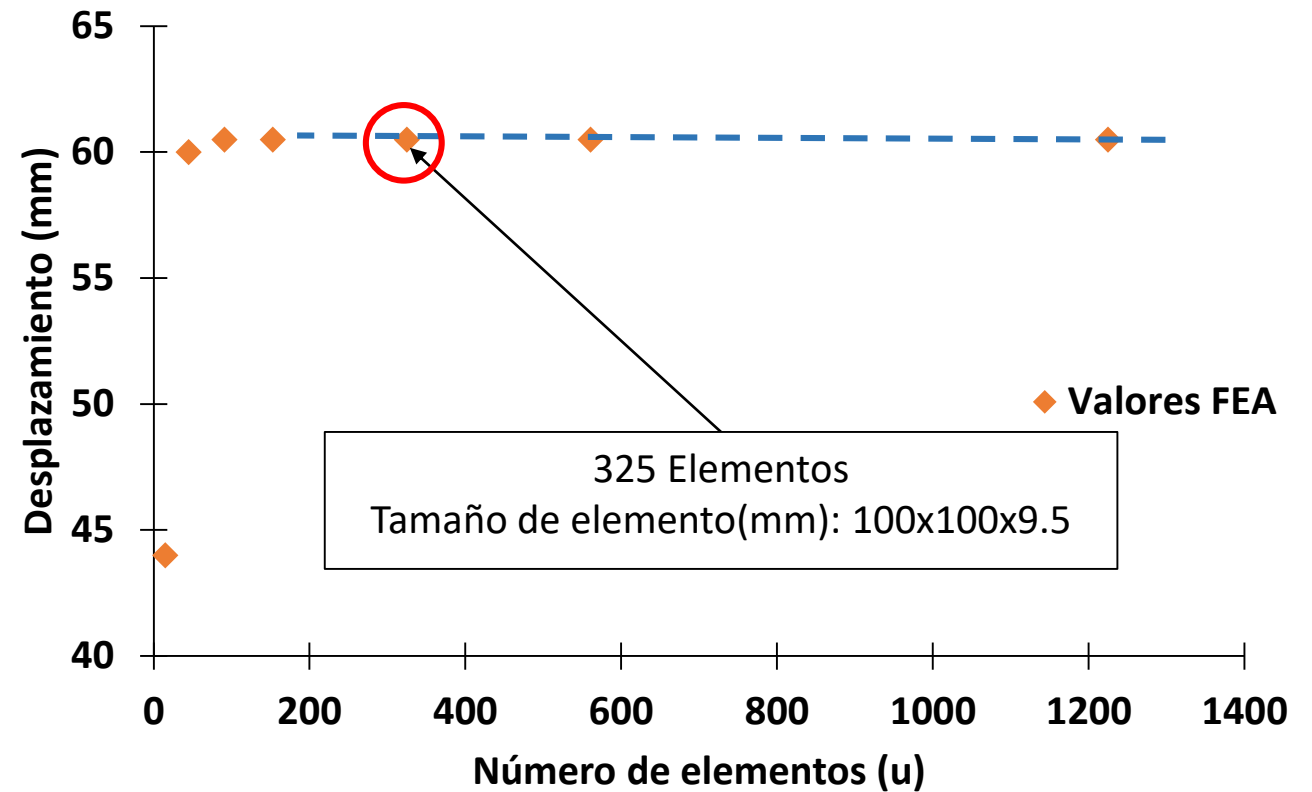
Condiciones de carga



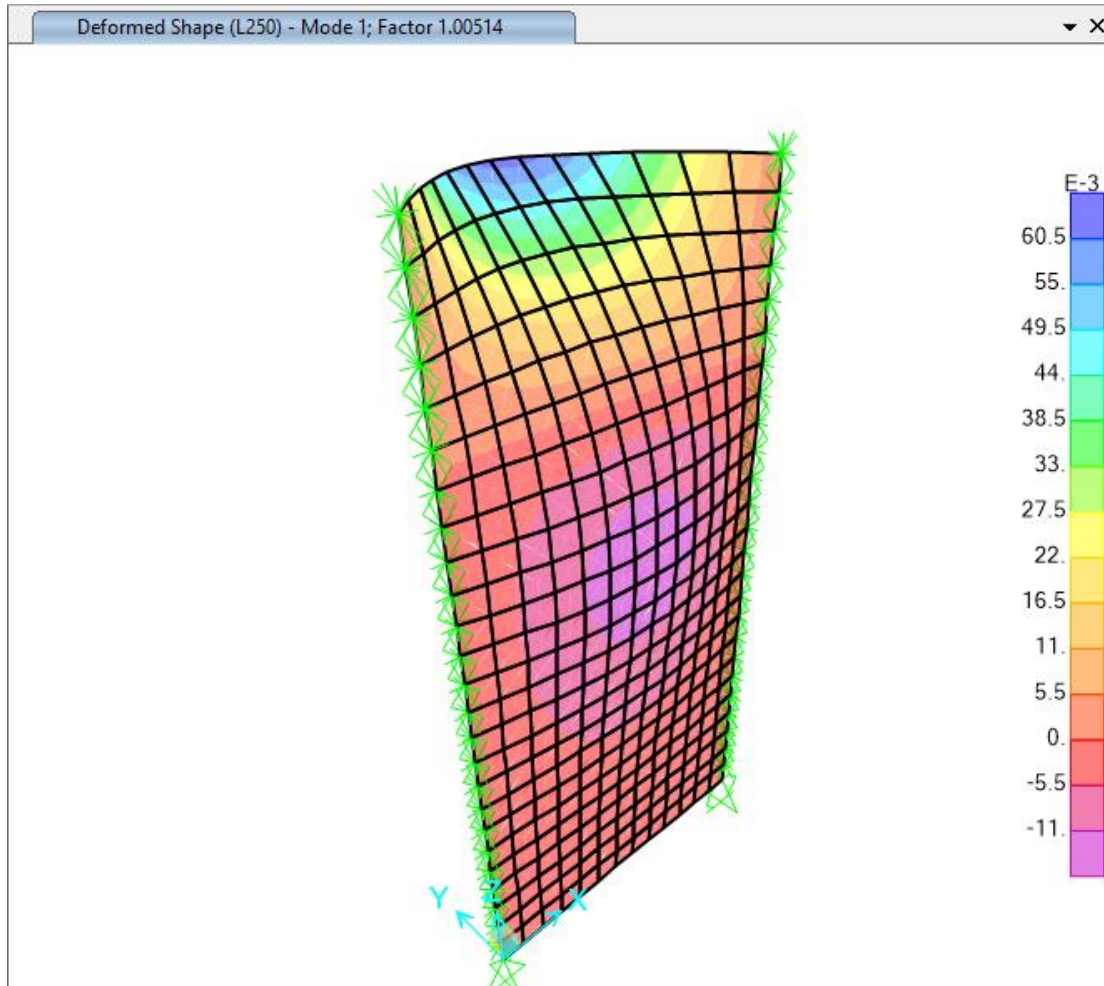


Modelo óptimo de convergencia

Dimensión de elementos (mm)	Número de elementos (u)	Desplazamiento (mm)
500x500	15	44
300x300	45	60
200x200	91	60.5
150x150	153	60.5
100x100	325	60.5
75x75	561	60.5
50x50	1225	60.5



Carga crítica de Euler



$$Q_{cr} = q * n * F$$

$$Q_{cr} = 17.86 * 14 * 1.00514$$

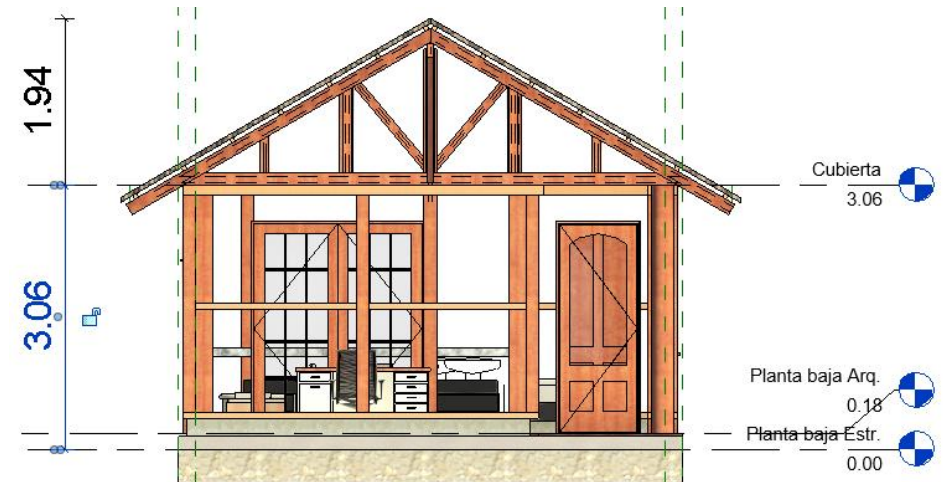
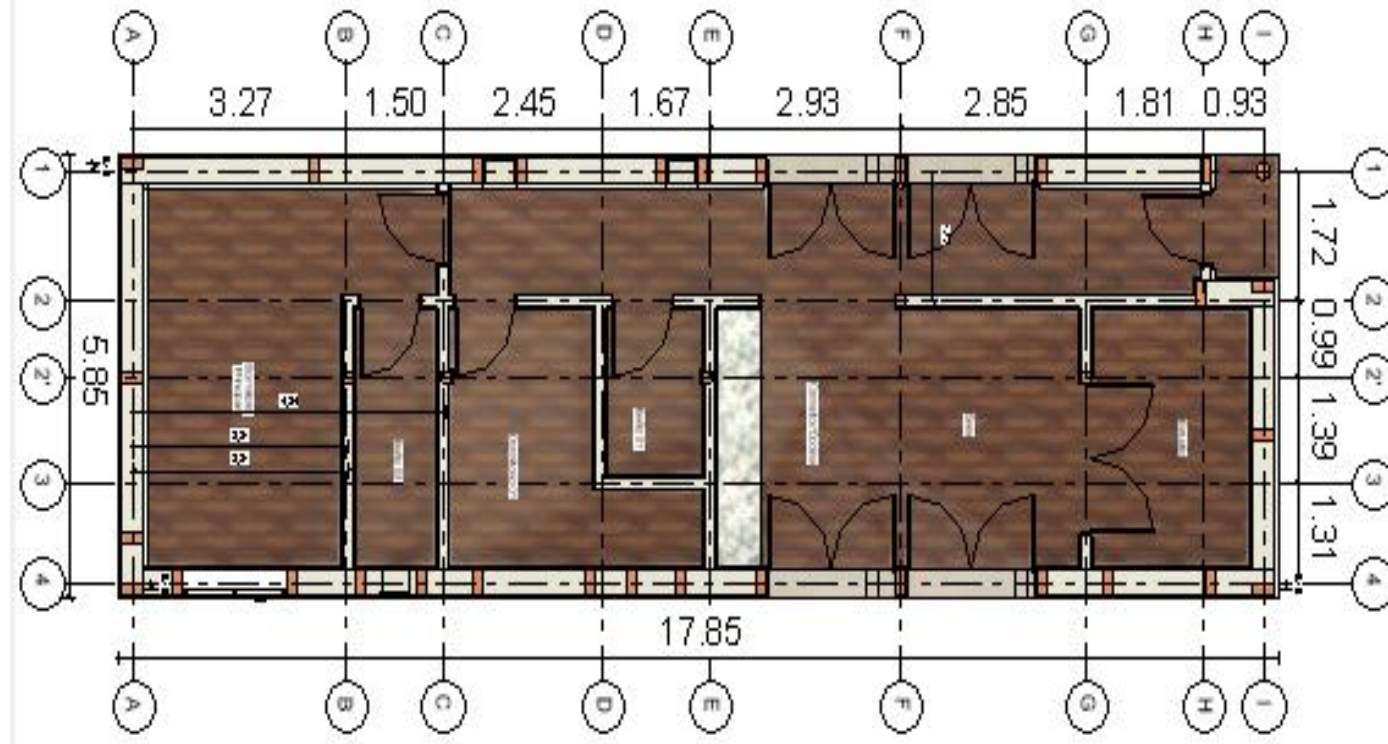
$$Q_{cr} = 251.33 \text{ kg}$$

Abbey T. (2015)



Vivienda a base de fardos de paja y mochetas de madera

Vista en planta

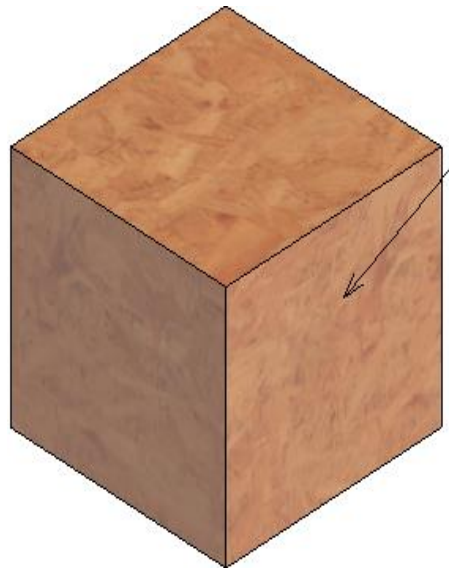


Vista en elevación



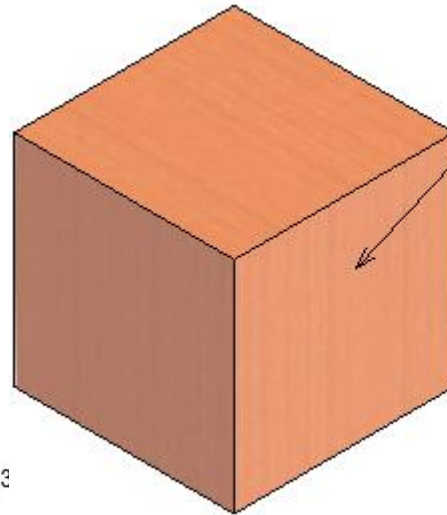
Propiedades mecánicas

Guia de Estructuras de Madera (NEC, 2015)

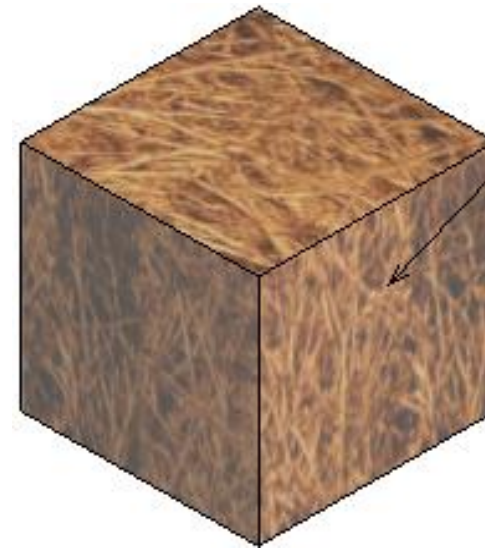


Material: OSB
Peso específico: 600kg/m^3
 $E=15290\text{ kg/cm}^2$
 $U=0.3$

**Valores determinado
mediante ensayos**



Material: Madera Tipo B
Peso específico: 700kg/m^3
 $E=76470\text{ kg/cm}^2$
 $U=0.3$



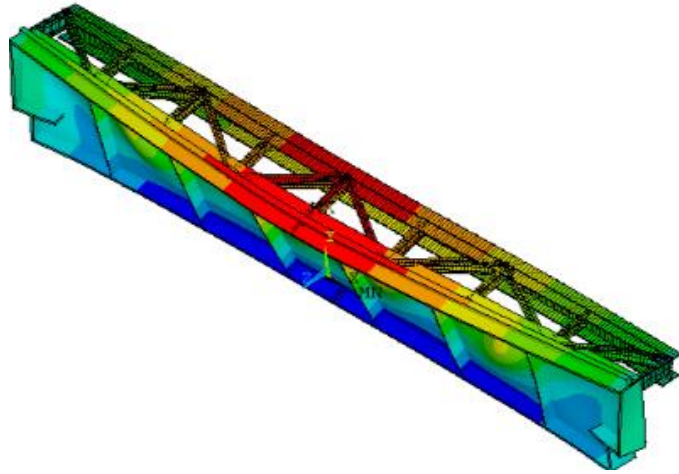
Material: Fardos de Paja
Peso específico: 100kg/m^3
 $E=10\text{ kg/cm}^2$
 $U=0.3$

**Pachala y Rosero
(UCE, 2016)**



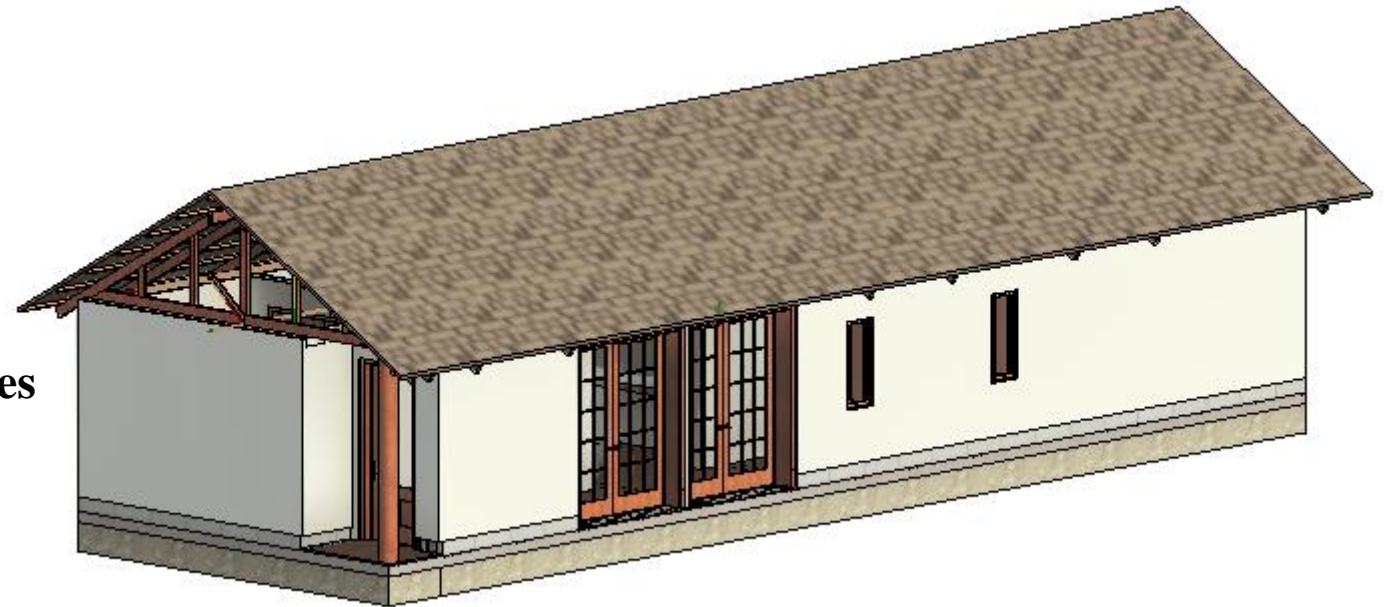
Software Comercial

Materiales no convencionales



Análisis de Elementos Finitos

Estructuras irregulares

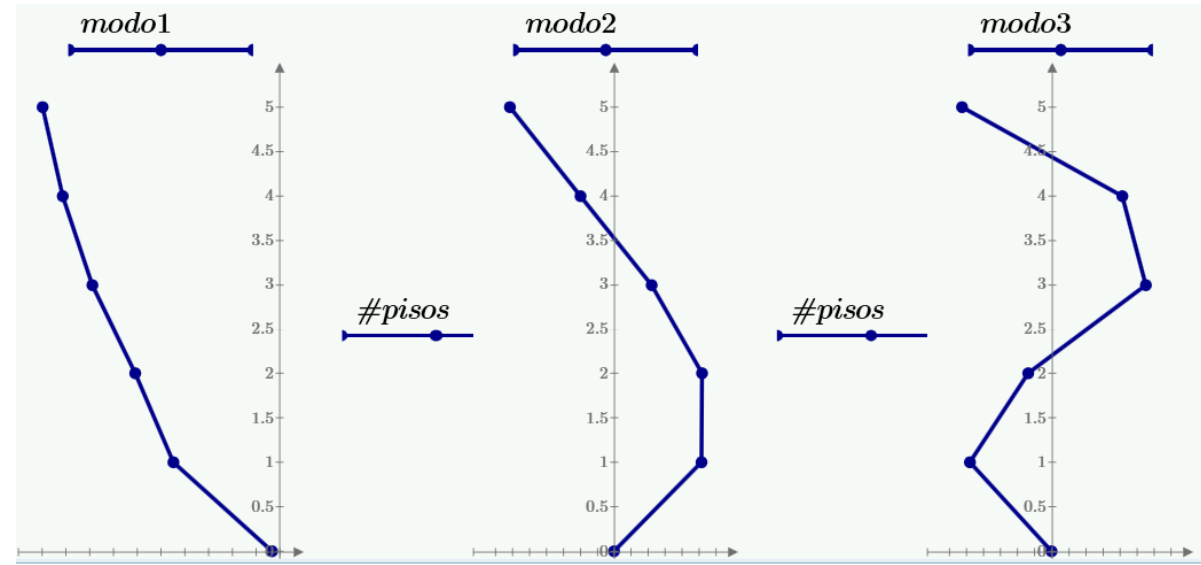


Software Comercial

Análisis Modal

$$M := \begin{bmatrix} Mp5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Mp4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Mp3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Mp2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Mp1 \end{bmatrix}$$

$$A = [K^{-1}] * [M]$$



$$K := \begin{bmatrix} Kp5 & -Kp5 & 0 & 0 & 0 \\ -Kp5 & Kp5 + Kp4 & -Kp4 & 0 & 0 \\ 0 & -Kp4 & Kp4 + Kp3 & -Kp3 & 0 \\ 0 & 0 & -Kp3 & Kp3 + Kp2 & -Kp2 \\ 0 & 0 & 0 & -Kp2 & Kp2 + Kp1 \end{bmatrix}$$

Eigen Valores

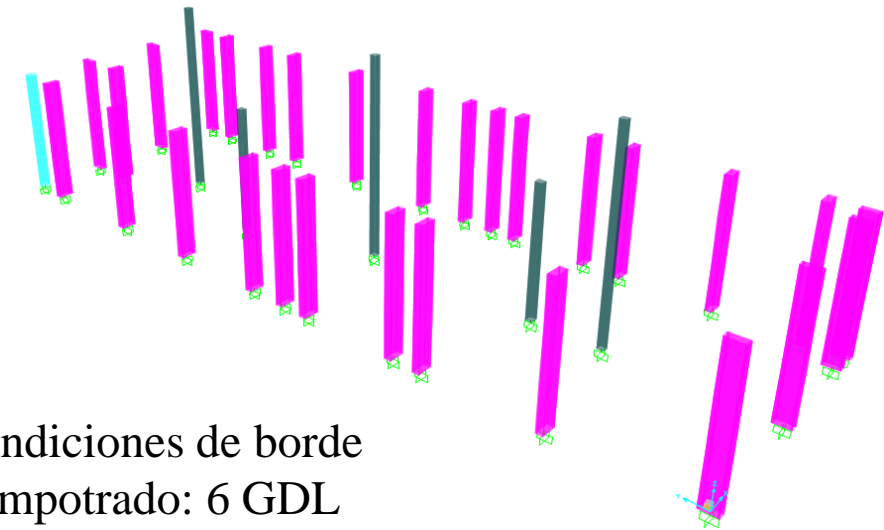
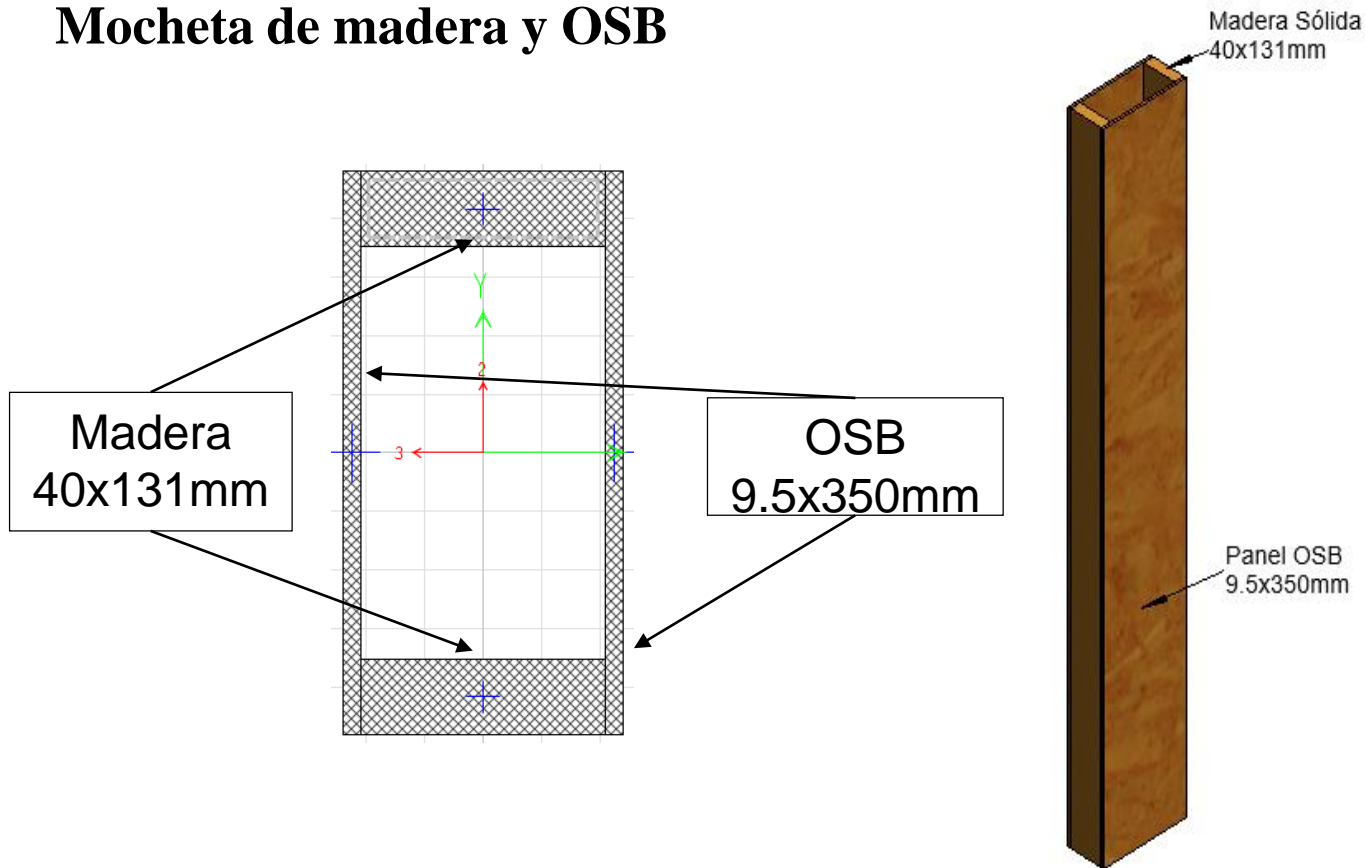
Eigen Vectores



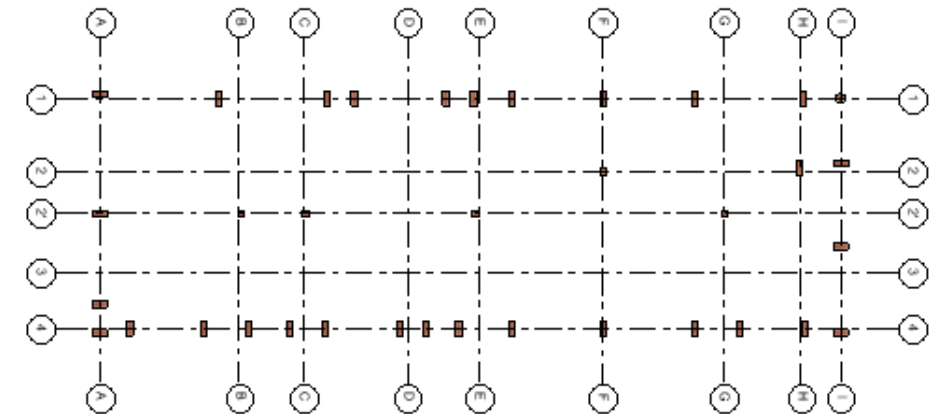
Software Comercial

Elementos estructurales

Mocheta de madera y OSB



Condiciones de borde
Empotrado: 6 GDL

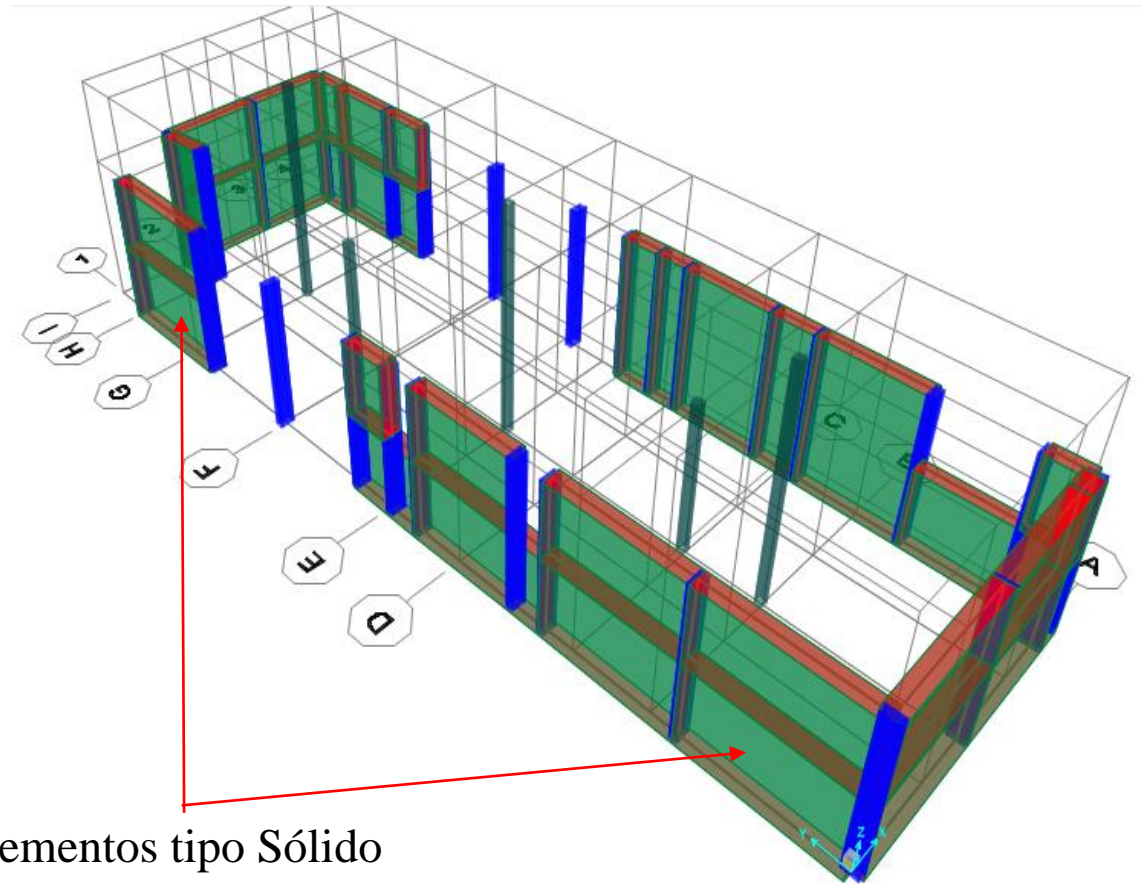


Software Comercial

Elementos estructurales

Muros de fardos de paja

Dimensiones: 35x45x115

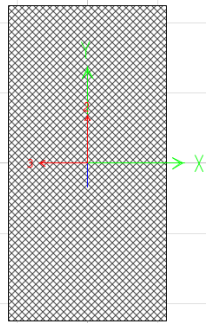
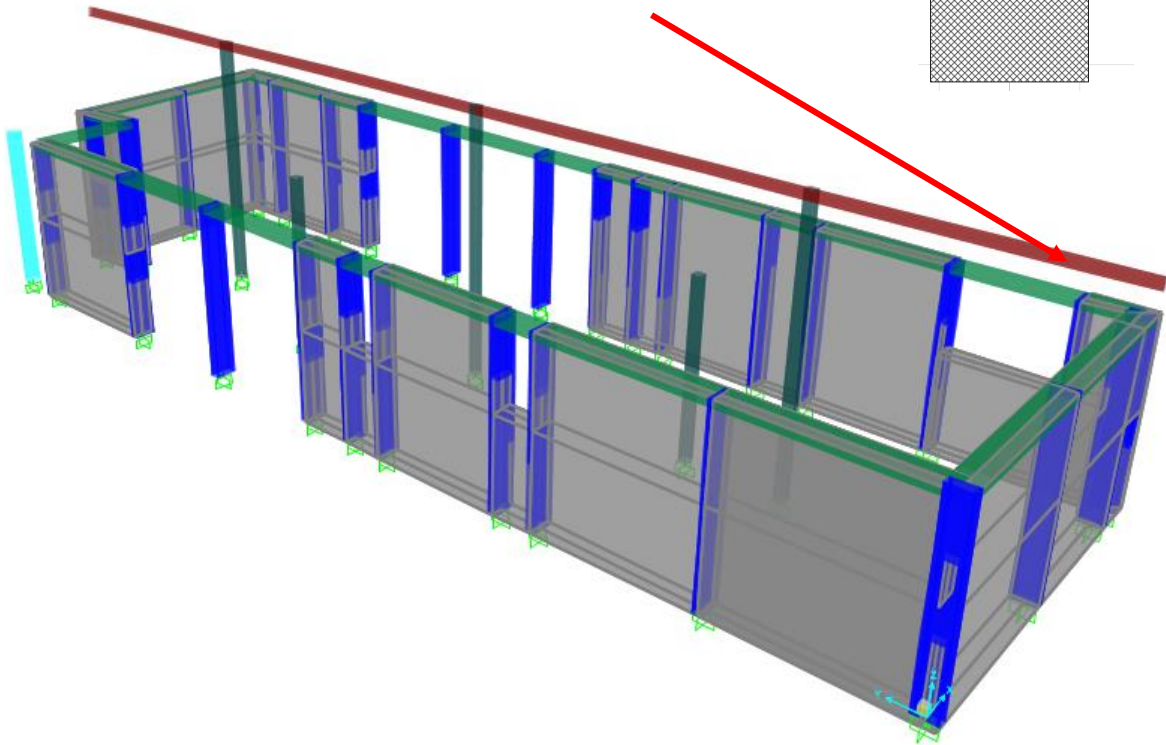


Elementos tipo Sólido

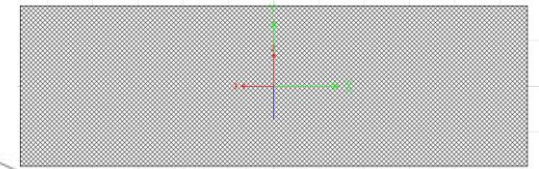
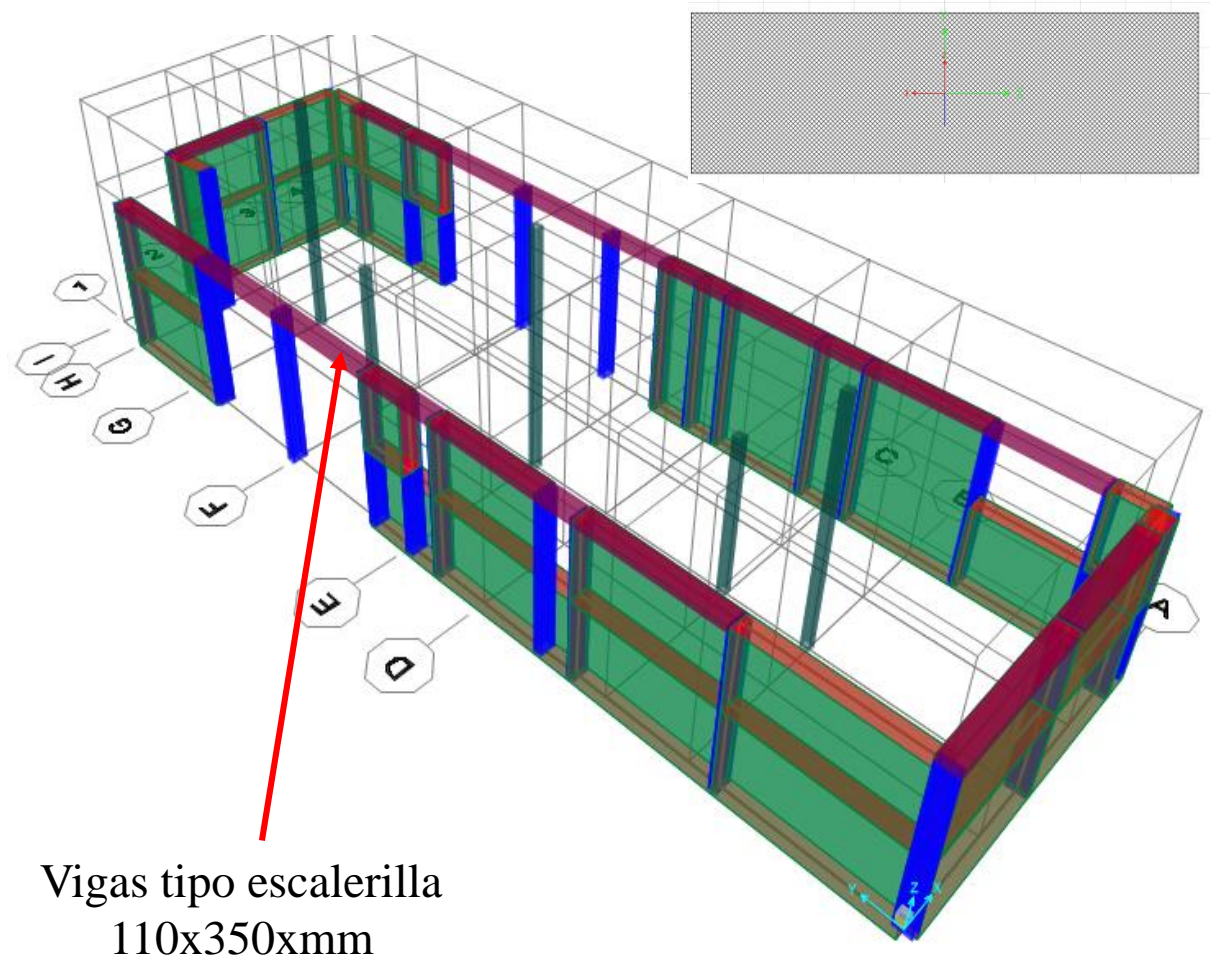


Elementos estructurales

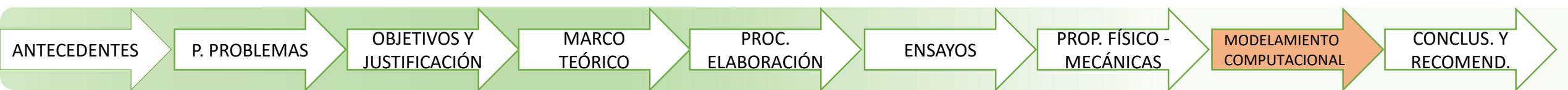
Vigas de cubierta
70x150mm



Software Comercial

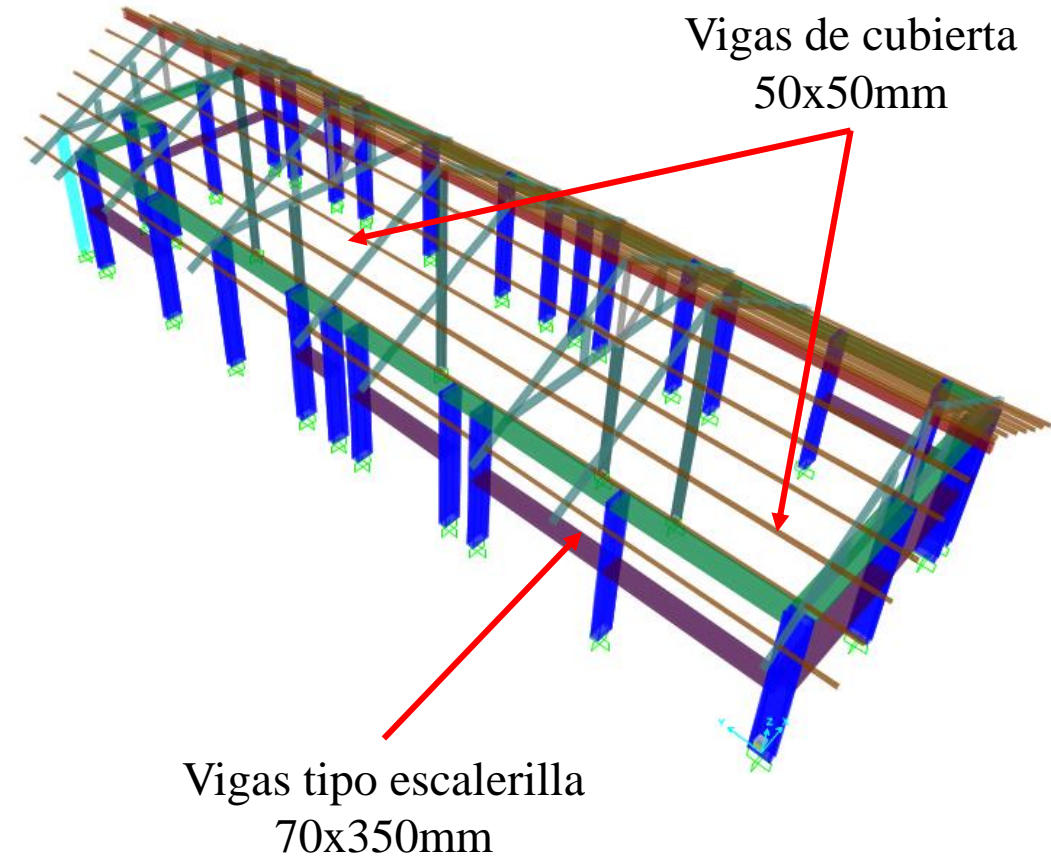
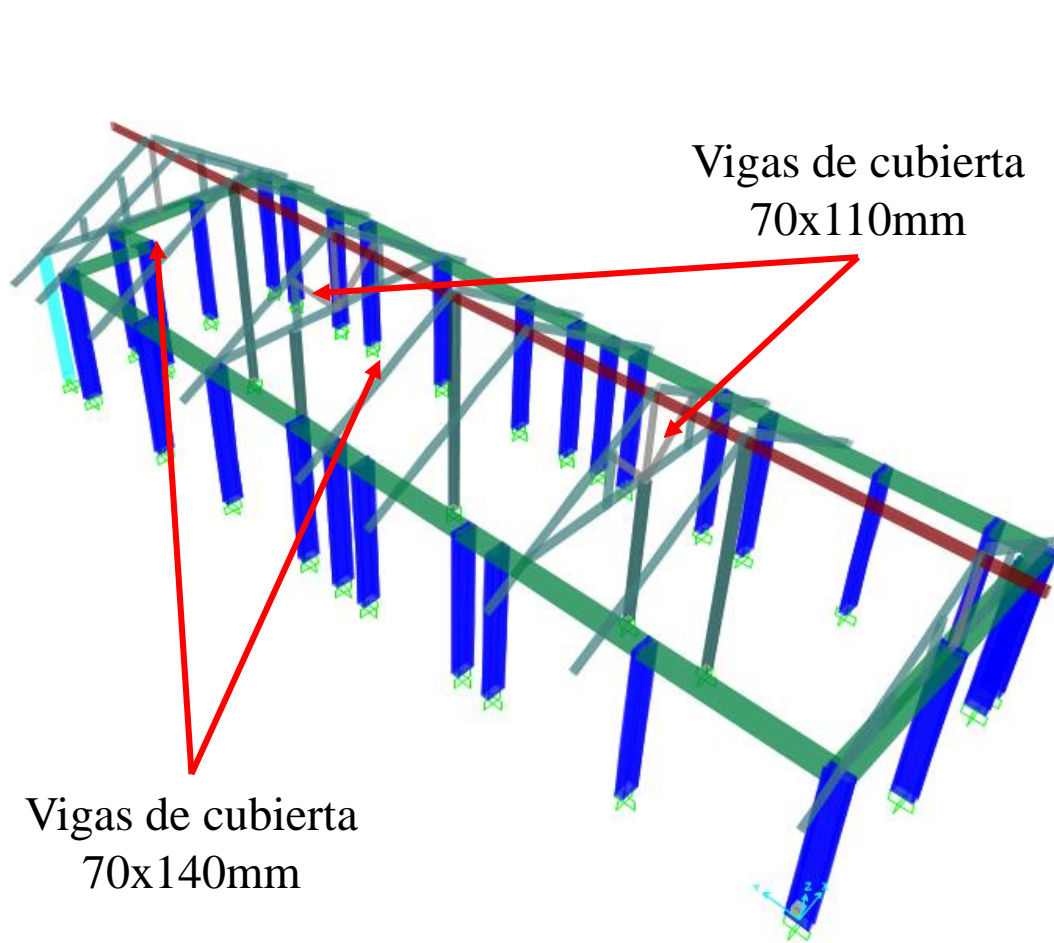


Vigas tipo escalerilla
110x350xmm



Software Comercial

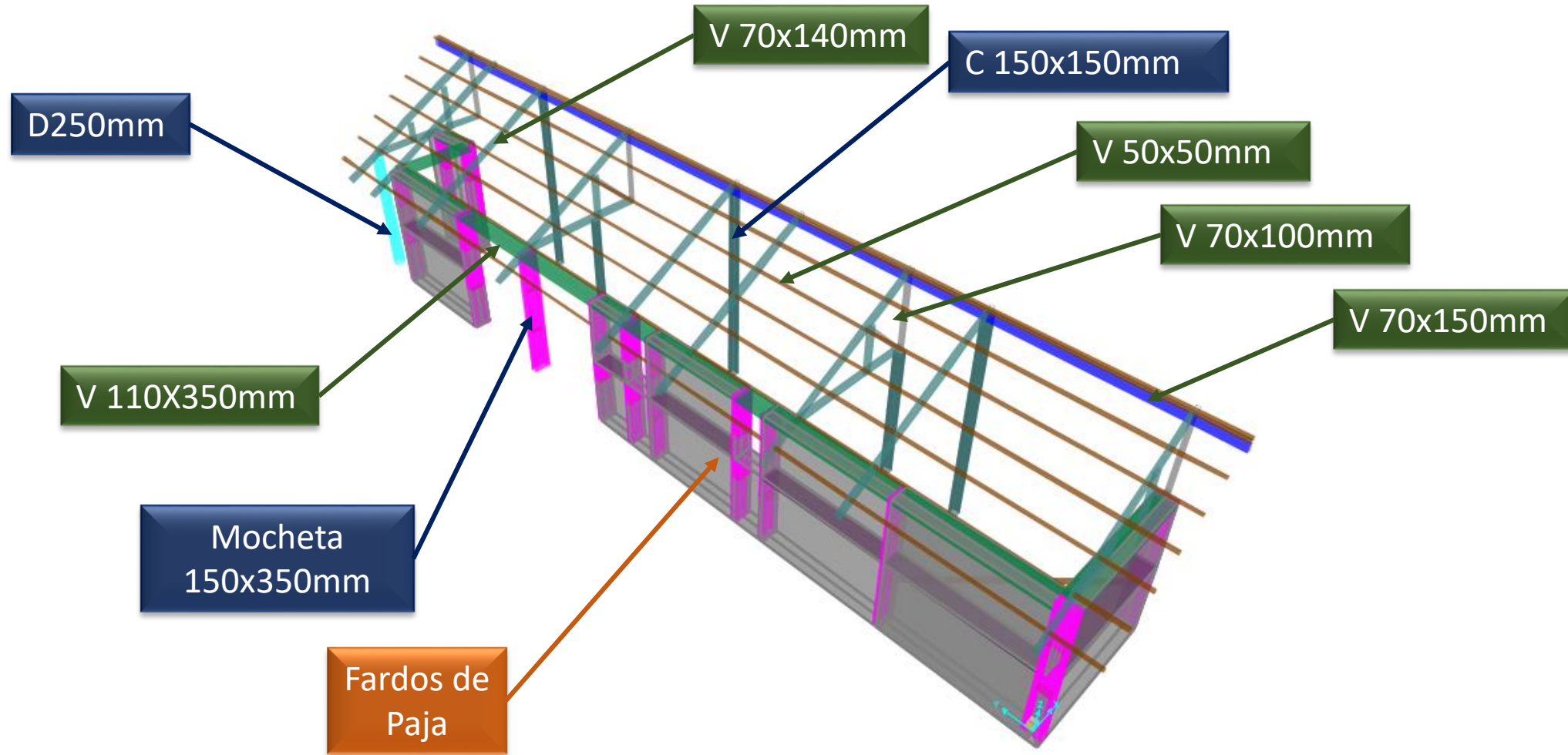
Elementos estructurales





Software Comercial

Elementos y modelación





Software Comercial

Análisis modal

Modo (u)	Period (s)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	RZ (%)	SumRZ (%)
9	0.547	0.00%	24.40%	1.10%	58.80%	0.00%	3.10%
22	0.313	75.10%	0.01%	80.50%	63.10%	8.80%	19.30%
23	0.299	2.40%	0.00%	82.90%	63.10%	53.30%	72.60%
24	0.277	1.80%	0.26%	84.70%	63.30%	0.77%	73.40%
25	0.274	0.08%	0.01%	84.70%	63.30%	0.00%	73.40%
30	0.237	0.01%	8.10%	87.80%	72.20%	0.09%	82.30%
31	0.235	0.00%	1.80%	87.80%	74.10%	0.04%	82.40%
32	0.234	0.00%	0.00%	87.80%	74.10%	0.00%	82.40%
33	0.233	0.12%	5.60%	87.90%	79.60%	0.00%	82.40%
34	0.232	0.00%	0.44%	87.90%	80.10%	0.02%	82.40%
35	0.231	0.05%	0.53%	87.90%	80.60%	0.00%	82.40%

Modelo con carga temporal

Período:
T= 0.547s

Modelo con carga permanente

Período:
T= 0.188s

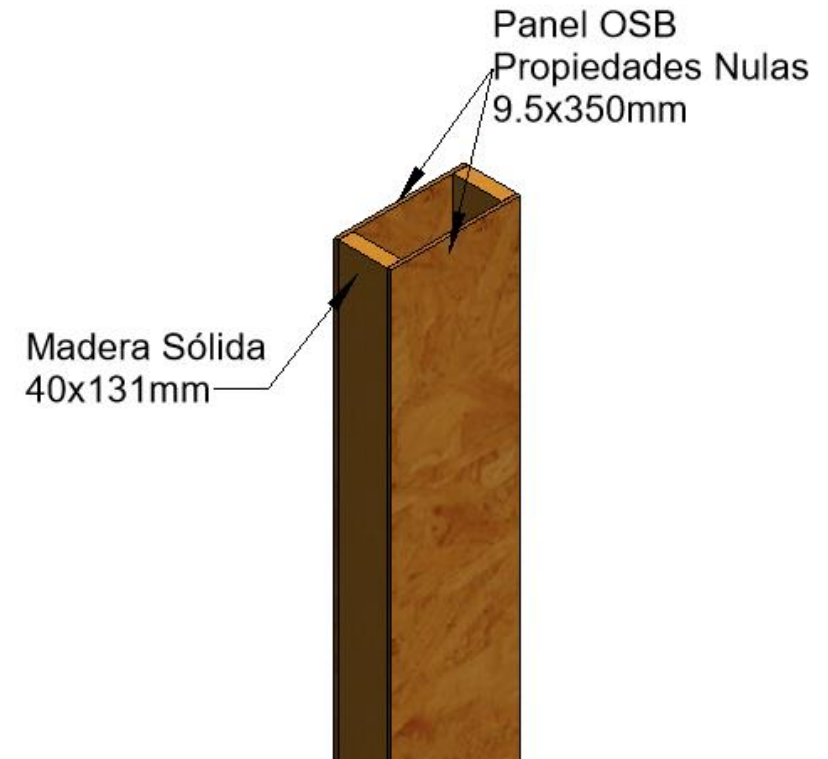
Modo (u)	Período (s)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	RZ (%)	SumRZ (%)
1	0.188	0.00%	54.30%	0.00%	54.30%	0.14%	0.14%
2	0.149	36.20%	0.00%	36.20%	54.30%	43.20%	43.30%
3	0.133	33.90%	0.41%	70.10%	54.70%	32.50%	75.80%
4	0.128	11.10%	1.30%	81.10%	56.00%	5.10%	80.90%
5	0.115	0.05%	26.20%	81.20%	82.20%	0.09%	81.00%
6	0.114	1.30%	2.30%	82.50%	84.50%	1.10%	82.00%
7	0.108	0.07%	0.07%	82.60%	84.60%	0.79%	82.80%
8	0.107	0.00%	0.05%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
9	0.107	0.00%	0.03%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
10	0.106	0.00%	0.00%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
11	0.099	0.00%	0.00%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%
12	0.099	0.00%	0.00%	82.60%	84.60%	0.00%	82.80%



Software Comercial

Análisis modal

Modo (u)	Período (s)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	RZ (%)	SumRZ (%)
10	0.221	0.03%	70.90%	0.70%	72.10%	0.23%	0.56%
11	0.191	20.70%	0.05%	21.40%	72.20%	32.20%	32.80%
15	0.162	45.60%	0.01%	21.40%	72.20%	26.60%	74.10%
16	0.159	4.50%	0.01%	82.80%	72.40%	3.40%	77.50%
17	0.132	0.00%	0.04%	82.80%	72.50%	5.60%	83.10%
18	0.128	0.00%	13.00%	82.80%	85.50%	0.08%	83.20%
19	0.108	0.02%	0.00%	82.90%	85.50%	0.12%	83.30%
20	0.107	0.00%	0.00%	82.90%	85.50%	0.00%	83.30%
21	0.107	0.00%	0.00%	82.90%	85.50%	0.00%	83.30%
23	0.099	0.00%	0.00%	82.90%	85.50%	0.00%	83.30%



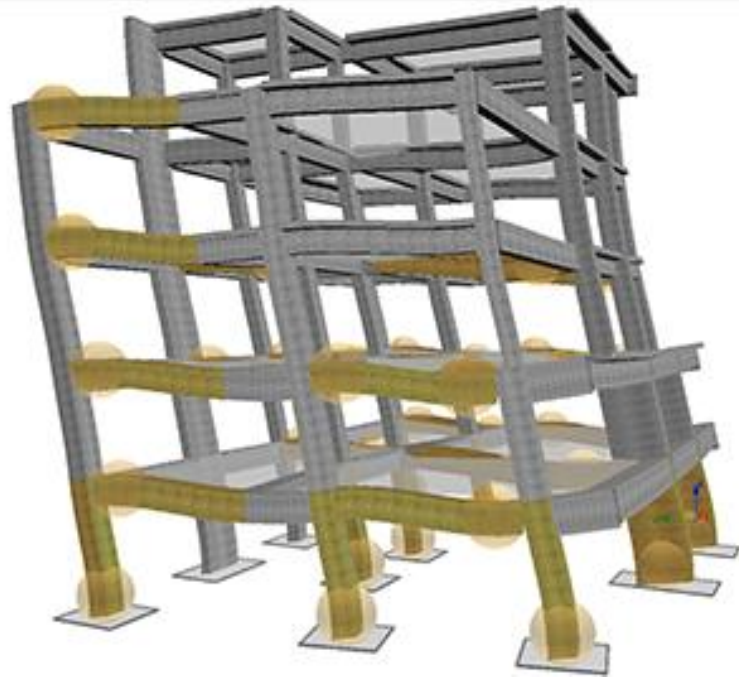
Modelo con propiedades nulas del OSB

Período
 $T = 0.221s$

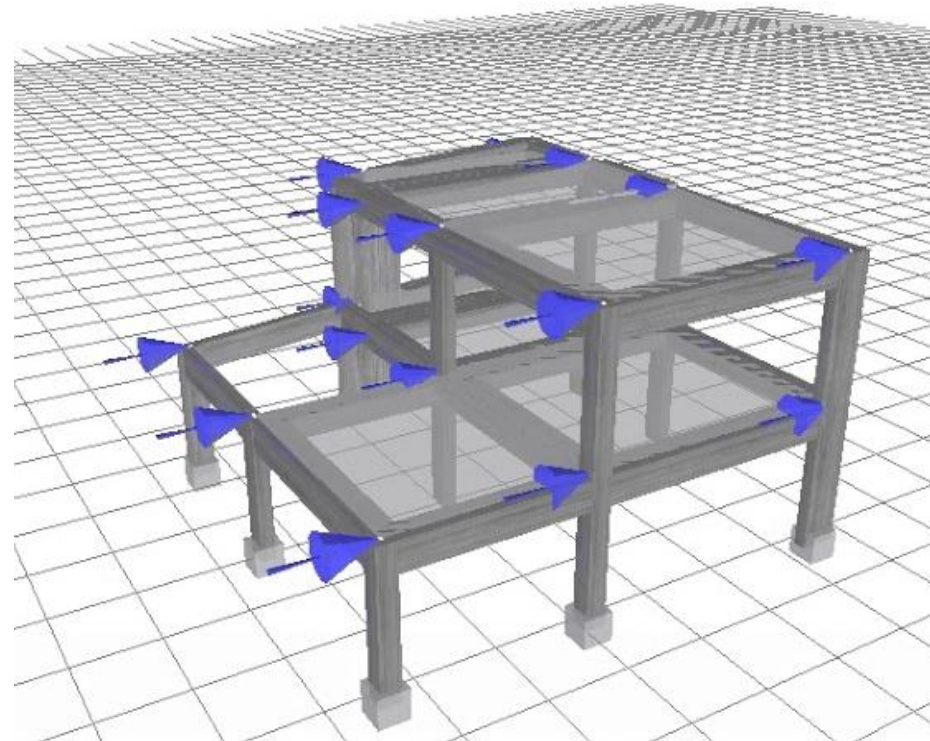




Software SeismoStruct



**Análisis de Eigenvalores
(Modal)**



Análisis por desempeño



SEISMOSOFT
EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE SOLUTIONS



Definición de materiales

Software SeismoStruct

Editar Propiedades de Material

Nombre Material: OSB

Tipo Material: el_mat

Modelo de material elástico genérico

Parámetros para Revisiones basadas en Código

Material_Existente Material_Nuevo

Resistencia Promedio: 1e20

Límite bajo de Resistencia: 1e20

Módulo de elasticidad (kPa): 1.499E+006

Peso Específico (kN/m3): 5.884

(Pseudo)Tiemp	Deformación
1	0.002
2	-0.002
3	0.002
4	-0.002
5	0.004
6	-0.004
7	0.004
8	-0.004
9	0.008
10	-0.008
11	0.008
12	-0.008

**Modelo de material para elementos:
Elástico Genérico**

Editar Propiedades de Material

Nombre Material: Fardos-de-paja

Tipo Material: mas_par

Modelo parabólico para mampostería

Parámetros para Revisiones basadas en Código

Material_Existente Material_Nuevo

Compresión Corte Tensión Aparejo Mampuestos

Resistencia Promedio (Compresión Vertical): 3500.00

Resistencia Promedio (Compresión Horizontal): 1750.00

Límite bajo de Resistencia (Compresión Vertical): 2692.308

Límite bajo de Resistencia (Compresión Horizontal): 1346.15

Resistencia a la Compresión (kPa): 3500.00

Resistencia a la tracción (kPa): 150.00

Módulo de elasticidad (kPa): 1.9250E+006

Coefficiente de Poisson: 0.20

Deformación al valor del máximo pico de esfuerzo (m/m): 0.002

Parámetro de rama descendente (-): 1.00

Peso Específico (kN/m3): 0.981

(Pseudo)Tiemp	Deformación
1	0.001
2	-0.001
3	0.001
4	-0.001
5	0.001
6	-0.002
7	0.001
8	-0.002
9	0.001
10	-0.004
11	0.001
12	-0.004

**Modelo parabólico:
Para mampostería**

Nombre Material	Tipo Material	Propiedades Materiales	Parámetros de Revisiones basadas en código
OSB	el_mat	1.499E+006 5.884	Material_Nuevo Resistencia_Promedio=1e20 Re
Madera	el_mat	7.499E+006 6.865	Material_Nuevo Resistencia_Promedio=1e20 Re
Fardos-de-paja	mas_par	3500.00 150.00 1.9250E+006 0.20 0.002 1.00 0...	Material_Nuevo Resistencia_Vertical_Media=3500
S420	stl_mp	2.0000E+008 483000.00 0.005 20.00 18.50 0.15 ...	Material_Nuevo Resistencia_Promedio=483000.0





Software SeismoStruct

Definición de Elementos estructurales

Nombr...	Tipo de...	Materiales ...	Dimensiones Sección	Disposición Armadura	Arma...	Armadura t...
Mochet...	rhs	OSB	0.15000 0.35000 ...			
V350x110	rss	Madera	0.35000 0.11000			
V350x70	rss	Madera	0.35000 0.07000			
Col150...	rss	Madera	0.15000 0.15000			
V70x150	rss	Madera	0.07000 0.15000			
V70x140	rss	Madera	0.07000 0.14000			
V70x100	rss	Madera	0.07000 0.10000			
D250	css	Madera	0.25000			
C50x50	rss	Madera	0.05000 0.05000			
fardosm	mws	S420 S42...	2.88000 0.35000 ...	esquinas(0@10mm) Borde...		(0-0)@10m...
fardosv2	mws	S420 S42...	1.51000 0.35000 ...	esquinas(0@10mm) Borde...		(0-0)@10m...

infrmFB	infrmFBPH	infrmDBPH	infrmDB	elfrm	truss	infill	rack	masonry
La clase de ele...	Nombre Sección		Fibras Sección	Longitud de rótula plástica Lp/L (%)		Amorti		
col-mocheta	Mocheta150x350x18-5		150	16.67		Ningun		
col-D250	D250		150	16.67		Ningun		
col-150x150	Col150x150		150	16.67		Ningun		
viga-350x110	V350x110		150	16.67		Ningun		
viga-V350x70	V350x70		150	16.67		Ningun		
viga-V70x150	V70x150		150	16.67		Ningun		

Tipo de elemento para vigas y columnas:
Elemento inelástico de pórtico con rótulas basada en fuerzas

infrmFB	infrmFBPH	infrmDBPH	infrmDB	elfrm	truss	infill	rack	masonry
La clase de ele...	Nombre Sección	Fibras Sección	Reducción de Rigide...	Capacidad Total de ...	Capacidad de De			
muro-fardo	fardosm	150	0.50	0.20	0.40			
muro-fardosv2	fardosv2	150	0.50	0.20	0.40			

Tipo de elemento para fardos de paja:
Elemento de marco de mampostería inelástica



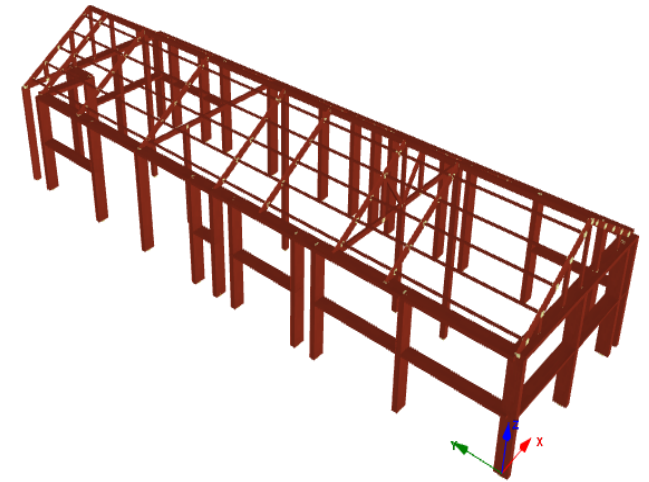
Software SeismoStruct

Dibujo de estructura

Nube de puntos

Nombre Nodo	X	Y	Z	Tipo
nodo48	0.00000	11.82500	2.88000	estructural
nodo49	0.00000	13.97500	2.88000	estructural
nodo50	0.00000	16.55000	2.88000	estructural
nodo51	0.00000	17.40000	2.88000	estructural
nodo52	2.70000	0.00000	2.88000	estructural
nodo53	4.92500	0.00000	2.88000	estructural
nodo54	5.40000	0.00000	2.88000	estructural
nodo55	5.40000	0.69500	2.88000	estructural
nodo56	5.40000	2.44500	2.88000	estructural
nodo57	5.40000	4.44500	2.88000	estructural
nodo58	5.40000	5.29500	2.88000	estructural
nodo59	5.40000	7.04500	2.88000	estructural
nodo60	5.40000	7.66500	2.88000	estructural
nodo61	5.40000	8.43000	2.88000	estructural
nodo62	5.40000	9.66500	2.88000	estructural
nodo63	5.40000	11.82500	2.88000	estructural
nodo64	5.40000	13.97500	2.88000	estructural
nodo65	5.40000	15.02500	2.88000	estructural
nodo66	5.40000	16.55000	2.88000	estructural
nodo67	5.40000	17.40000	2.88000	estructural
nodo68	3.58200	17.40000	2.88000	estructural
nodo69	1.71000	17.40000	2.88000	estructural
nodo70	1.71000	16.42500	2.88000	estructural
nodo71	1.71000	11.82500	2.88000	estructural
nodo72	2.70000	3.31000	4.46000	estructural
nodo73	2.70000	4.83500	2.88000	estructural
nodo74	2.70000	8.82500	4.46000	estructural
nodo75	2.70000	14.66500	4.46000	estructural

Nombre Ele...	La clase de ...	Nombre(s) nodo(s)	Cachos Rigidos	Libe
elem269	viga-C50x50	nodob74 nodob111 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem270	viga-C50x50	nodob111 nodob75 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem271	viga-C50x50	nodob75 nodob114 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem272	viga-C50x50	nodob114 nodob115 deg=...	0.00 0.00 ...	
elem273	viga-C50x50	nodoa101 nodoe103 deg=...	0.00 0.00 ...	
elem274	viga-C50x50	nodoe103 nodoa105 deg=...	0.00 0.00 ...	
elem275	viga-C50x50	nodoa105 nodoa108 deg=...	0.00 0.00 ...	
elem276	viga-C50x50	nodoa108 nodoa74 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem277	viga-C50x50	nodoa74 nodoa111 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem278	viga-C50x50	nodoa111 nodoa75 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem279	viga-C50x50	nodoa75 nodoa114 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem280	viga-C50x50	nodoa114 nodoa115 deg=...	0.00 0.00 ...	
elem141	viga-V70x140	nodob116 nodob41 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem142	viga-V70x140	nodob117 nodob41 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem143	viga-V70x140	nodob118 nodob101 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem144	viga-V70x140	nodob119 nodob101 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem145	viga-V70x140	nodob120 nodob104 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem146	viga-V70x140	nodob121 nodob105 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem147	viga-V70x140	nodob122 nodob51 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem148	viga-V70x140	nodob123 nodob51 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem149	viga-V70x140	nodob125 nodob115 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem150	viga-V70x140	nodob124 nodob115 deg=...	0.00 0.00 ...	
elem151	viga-V70x100	nodob52 nodob101 deg=0.00	0.00 0.00 ...	
elem152	viga-V70x100	nodob73 nodob105 deg=0.00	0.00 0.00 ...	
elem153	viga-V70x100	nodob126 nodob115 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem154	viga-V70x100	nodob73 nodob104 deg=0	0.00 0.00 ...	
elem155	viga-V70x100	nodob73 nodob105 deg=0	0.00 0.00 ...	



Unión de puntos para crear elementos



Software SeismoStruct

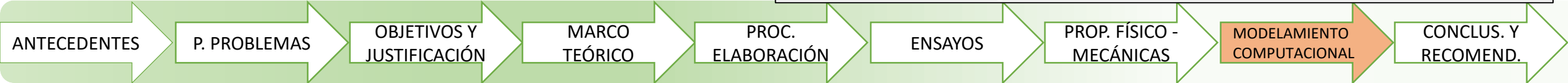
Dibujo de fardos de paja

Nombre Ele...	La clase de ...	Nombre(s) nodo(s)	Cachos Rigi...	Lit
elem413	muro-fardo	nodo413 nodo414	deg=0 0.00 0.00...	-
elem414	muro-fardo	nodo414 nodo415	deg=0 0.00 0.00...	-
elem416	muro-fardo	nodo416 nodo417	deg=0 0.00 0.00...	-
elem417	muro-fardo	nodo417 nodo418	deg=0 0.00 0.00...	-
elem418	muro-fardo	nodo418 nodo419	deg=0 0.00 0.00...	-
elem419	muro-fardo	nodo419 nodo420	deg=0 0.00 0.00...	-
elem420	muro-fardo	nodo420 nodo421	deg=0 0.00 0.00...	-
elem424	muro-fardo	nodo424 nodo425	deg=0 0.00 0.00...	-
elem425	muro-fardo	nodo425 nodo426	deg=0 0.00 0.00...	-
elem426	muro-fardo	nodo426 nodo427	deg=0 0.00 0.00...	-
elem427	muro-fardo	nodo427 nodo428	deg=0 0.00 0.00...	-
elem428	muro-fardo	nodo428 nodo429	deg=0 0.00 0.00...	-
elem429	muro-fardo	nodo429 nodo430	deg=0 0.00 0.00...	-
elem503	muro-fardo...	nodo503 nodo504	deg=0 0.00 0.00...	-
elem505	muro-fardo...	nodo505 nodo506	deg=0 0.00 0.00...	-
elem515	muro-fardo...	nodo515 nodo516	deg=0 0.00 0.00...	-
elem601	col-mocheta	nodo401 nodo1	deg=9... 0.00 0.00...	-
elem602	col-mocheta	nodo401 nodo81	deg=... 0.00 0.00...	-
elem603	col-mocheta	nodo2 nodo402	deg=0 0.00 0.00...	-
elem604	col-mocheta	nodo402 nodo82	deg=0 0.00 0.00...	-
elem605	col-mocheta	nodo3 nodo503	deg=0 0.00 0.00...	-
elem606	col-mocheta	nodo503 nodo403	deg=0 0.00 0.00...	-
elem607	col-mocheta	nodo403 nodo83	deg=0 0.00 0.00...	-
elem608	col-mocheta	nodo4 nodo504	deg=0 0.00 0.00...	-
elem609	col-mocheta	nodo504 nodo404	deg=0 0.00 0.00...	-
elem6010	col-mocheta	nodo404 nodo84	deg=0 0.00 0.00...	-
elem6011	col-mocheta	nodo5 nodo505	deg=0 0.00 0.00...	-
elem6012	col-mocheta	nodo505 nodo405	deg=0 0.00 0.00...	-

Restricción empotrado en base de columnas 6GDL

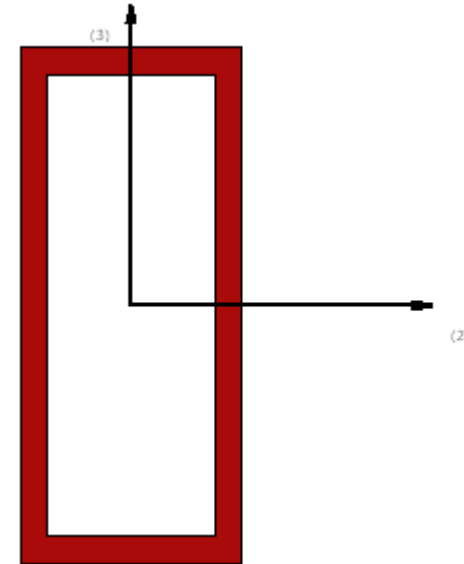
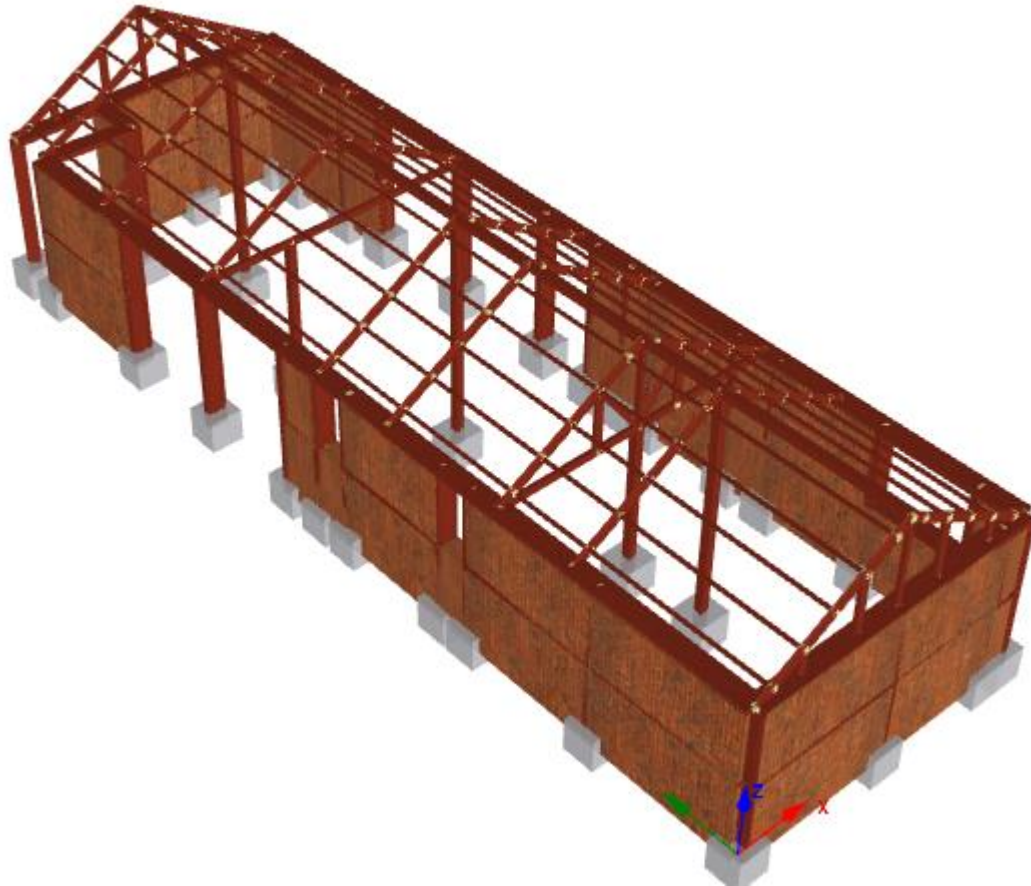
Nombre Nodo	Restrains
nodo7	x+y+z+rx+ry+rz
nodo8	x+y+z+rx+ry+rz
nodo9	x+y+z+rx+ry+rz
nodo10	x+y+z+rx+ry+rz
nodo11	x+y+z+rx+ry+rz
nodo12	x+y+z+rx+ry+rz
nodo13	x+y+z+rx+ry+rz
nodo14	x+y+z+rx+ry+rz
nodo15	x+y+z+rx+ry+rz
nodo16	x+y+z+rx+ry+rz
nodo17	x+y+z+rx+ry+rz
nodo18	x+y+z+rx+ry+rz
nodo19	x+y+z+rx+ry+rz
nodo20	x+y+z+rx+ry+rz
nodo21	x+y+z+rx+ry+rz
nodo22	x+y+z+rx+ry+rz
nodo23	x+y+z+rx+ry+rz
nodo24	x+y+z+rx+ry+rz
nodo25	x+y+z+rx+ry+rz
nodo26	x+y+z+rx+ry+rz
nodo27	x+y+z+rx+ry+rz
nodo28	x+y+z+rx+ry+rz
nodo29	x+y+z+rx+ry+rz
nodo30	x+y+z+rx+ry+rz
nodo31	x+y+z+rx+ry+rz
nodo32	x+y+z+rx+ry+rz
nodo33	x+y+z+rx+ry+rz
nodo34	x+y+z+rx+ry+rz
nodo35	x+y+z+rx+ry+rz

Mampostería de fardos de paja



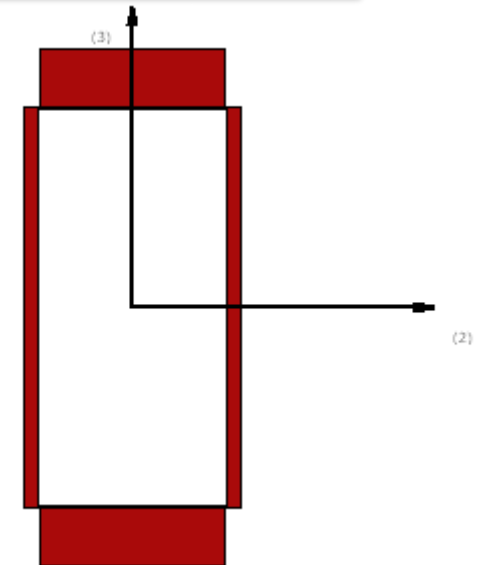
Software SeismoStruct

Elementos y modelación



Sección equivalente 1
Tubular hueca
150x350x18.5mm
OSB

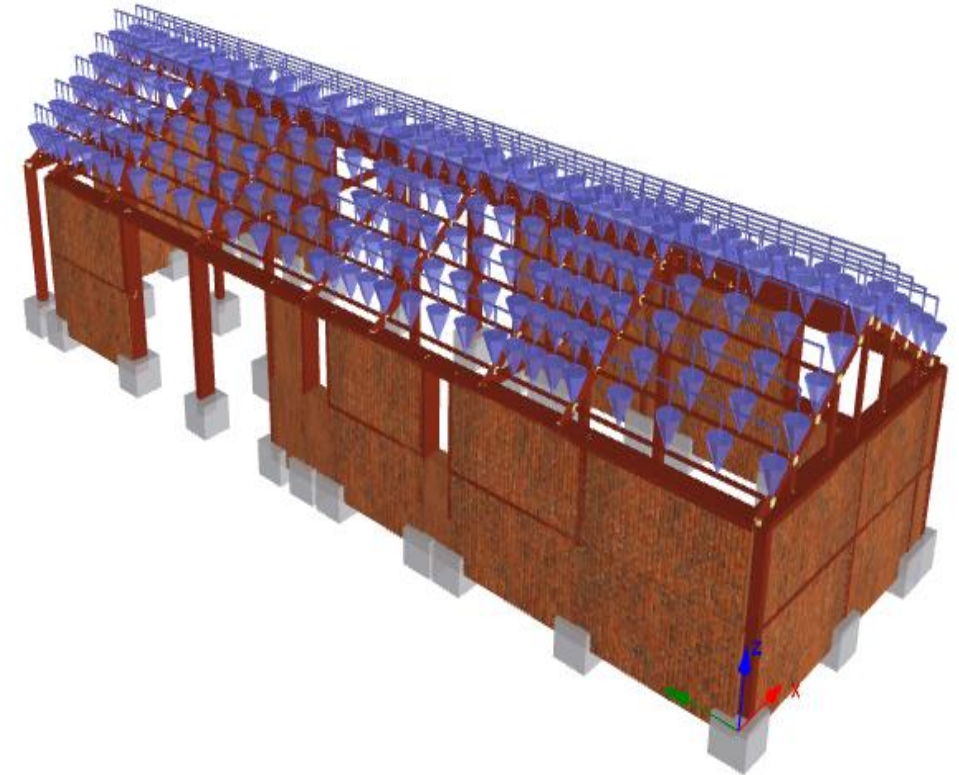
Sección equivalente 2
Compuesta
C280x75x10X0.01mm
P130X40mm



Software SeismoStruct

Análisis modal

Modo	Período	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
1	0,508	0,00%	62,90%	0,00%	1,16%	0,00%	0,01%
2	0,433	64,21%	62,91%	0,01%	1,16%	1,27%	0,12%
3	0,308	64,25%	62,91%	0,02%	1,17%	1,28%	43,50%
4	0,245	70,49%	63,03%	0,02%	1,17%	1,29%	55,98%
5	0,237	82,65%	63,10%	0,02%	1,17%	1,29%	59,81%
6	0,211	84,94%	63,10%	0,02%	1,17%	1,86%	73,67%
7	0,189	84,94%	84,26%	0,02%	1,38%	1,86%	73,68%
8	0,178	86,47%	84,50%	0,02%	1,38%	3,32%	80,67%
9	0,171	86,55%	84,50%	0,04%	1,60%	5,22%	80,97%
10	0,170	86,55%	84,50%	9,89%	4,53%	5,30%	80,98%



Modelo con Sección equivalente 1 y carga temporal

Período:
T= 0.508s





Software SeismoStruct

Análisis modal

Modo	Período	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
1	0,177	0,00%	39,82%	0,00%	1,44%	0,00%	0,08%
2	0,148	56,93%	39,82%	0,00%	1,45%	2,18%	24,56%
3	0,129	80,11%	39,85%	0,00%	1,45%	3,97%	86,57%
4	0,124	80,98%	43,66%	0,00%	1,45%	3,98%	86,62%
5	0,116	83,35%	44,66%	0,00%	1,48%	4,04%	87,72%
6	0,113	84,37%	47,85%	0,00%	1,49%	4,46%	88,04%
7	0,104	84,39%	84,26%	0,00%	1,56%	4,52%	89,58%
8	0,092	84,40%	90,74%	0,00%	1,57%	4,53%	90,01%
9	0,082	84,40%	90,74%	0,00%	1,57%	4,53%	90,83%
10	0,072	85,00%	91,30%	0,01%	1,72%	5,45%	91,20%

*Modelo con Sección
equivalente 2*

Período:
T= 0.163s

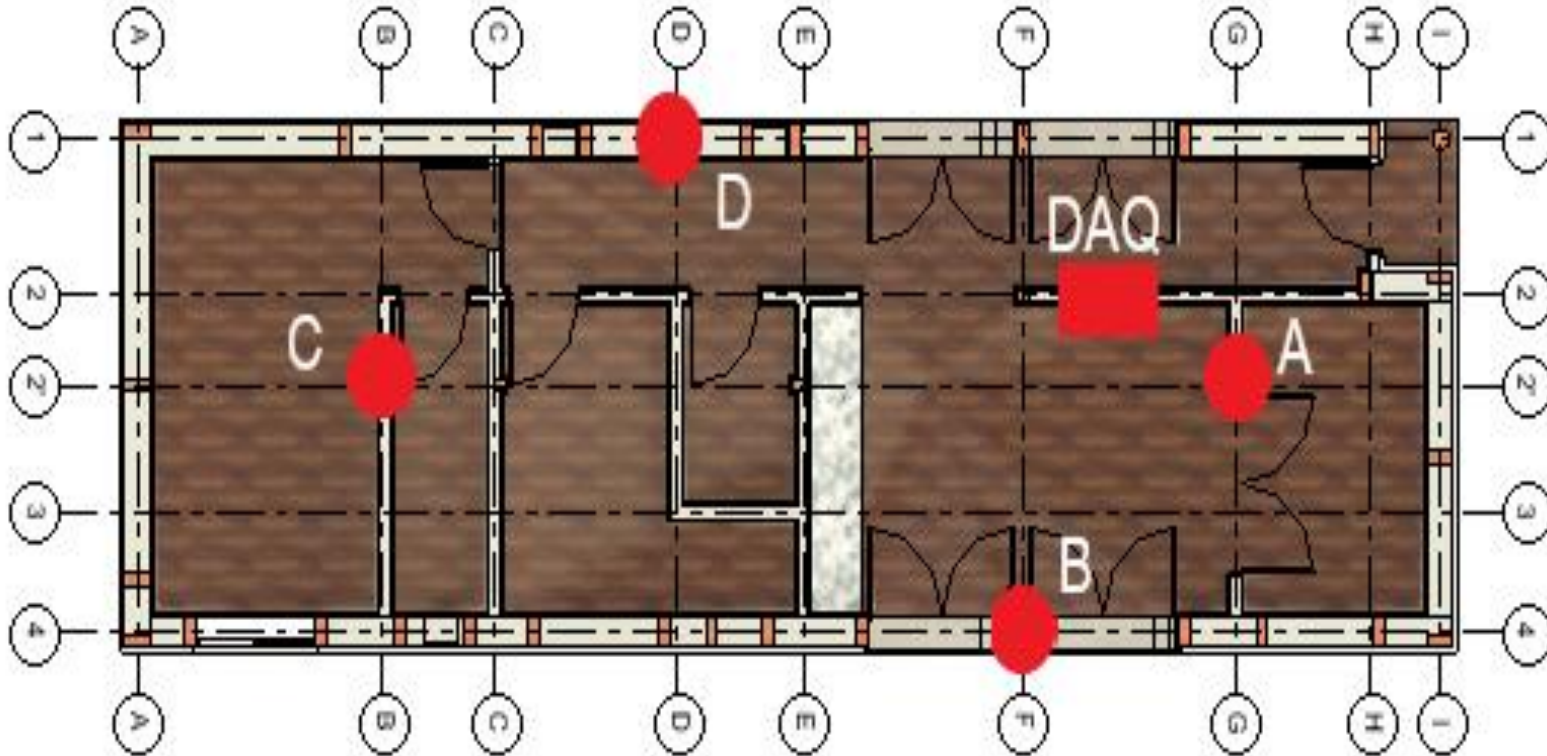
*Modelo con Sección
equivalente 1*

Período:
T= 0.177s

Modo	Período	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
1	0.163	0.00%	24.95%	0.00%	1.72%	0.00%	0.01%
2	0.122	0.01%	26.03%	0.00%	1.72%	0.00%	0.06%
3	0.104	56.87%	26.03%	0.02%	1.76%	5.52%	3.45%
4	0.091	57.00%	40.64%	0.05%	1.79%	5.53%	3.52%
5	0.090	57.83%	42.39%	0.09%	1.79%	5.95%	63.99%
6	0.081	72.41%	44.87%	0.10%	1.99%	6.75%	64.20%
7	0.077	75.31%	66.79%	0.10%	2.03%	6.90%	74.73%
8	0.073	75.34%	78.44%	0.10%	2.59%	6.93%	75.53%
9	0.072	75.34%	78.69%	0.10%	2.60%	6.93%	75.53%
10	0.068	76.75%	78.81%	0.15%	2.61%	6.98%	79.02%



Estudio de Vibración ambiental



Dispositivo de
adquisición de datos

4 sensores

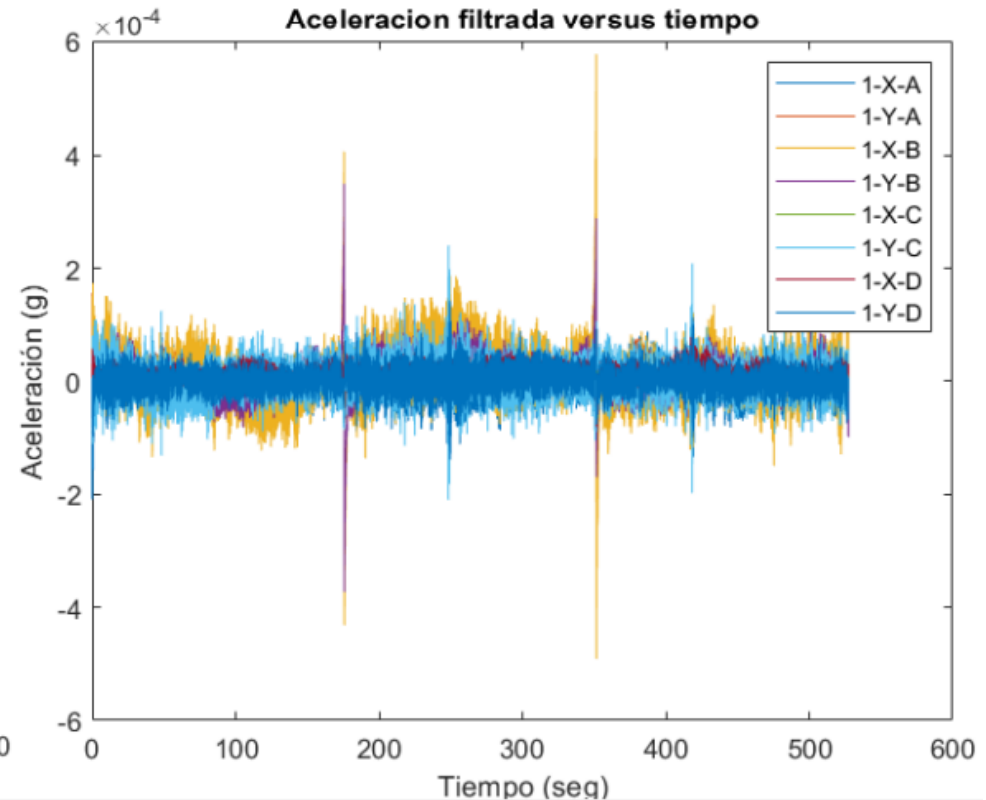
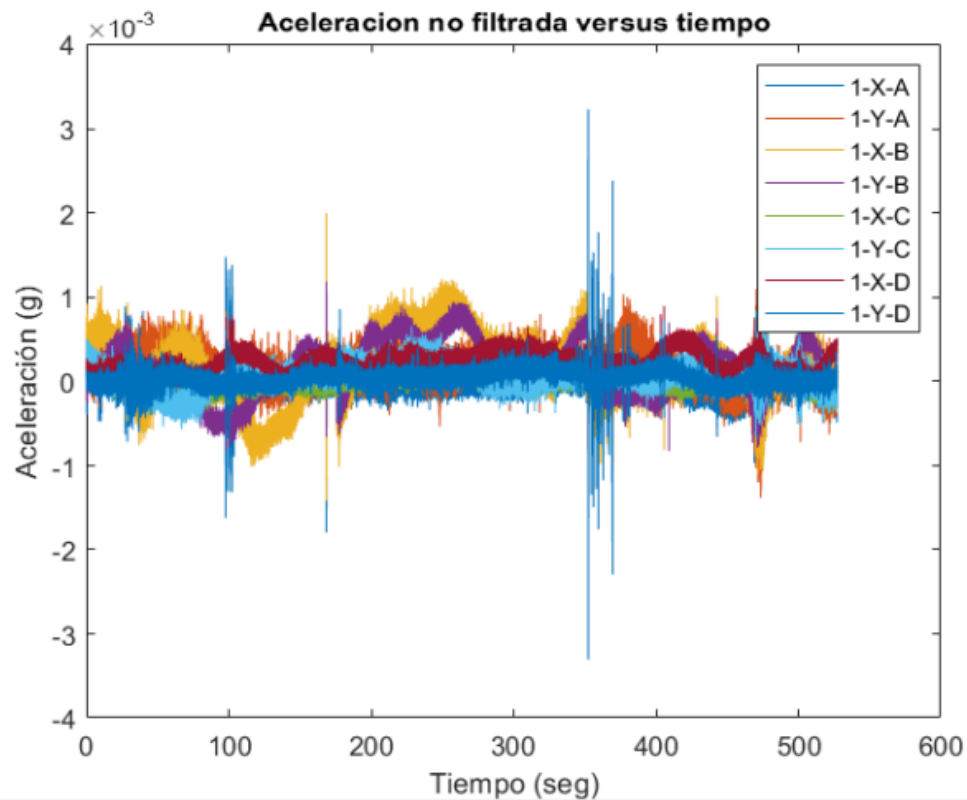
16 registros de aceleración

3 minutos por registro

Viera P. (2022)



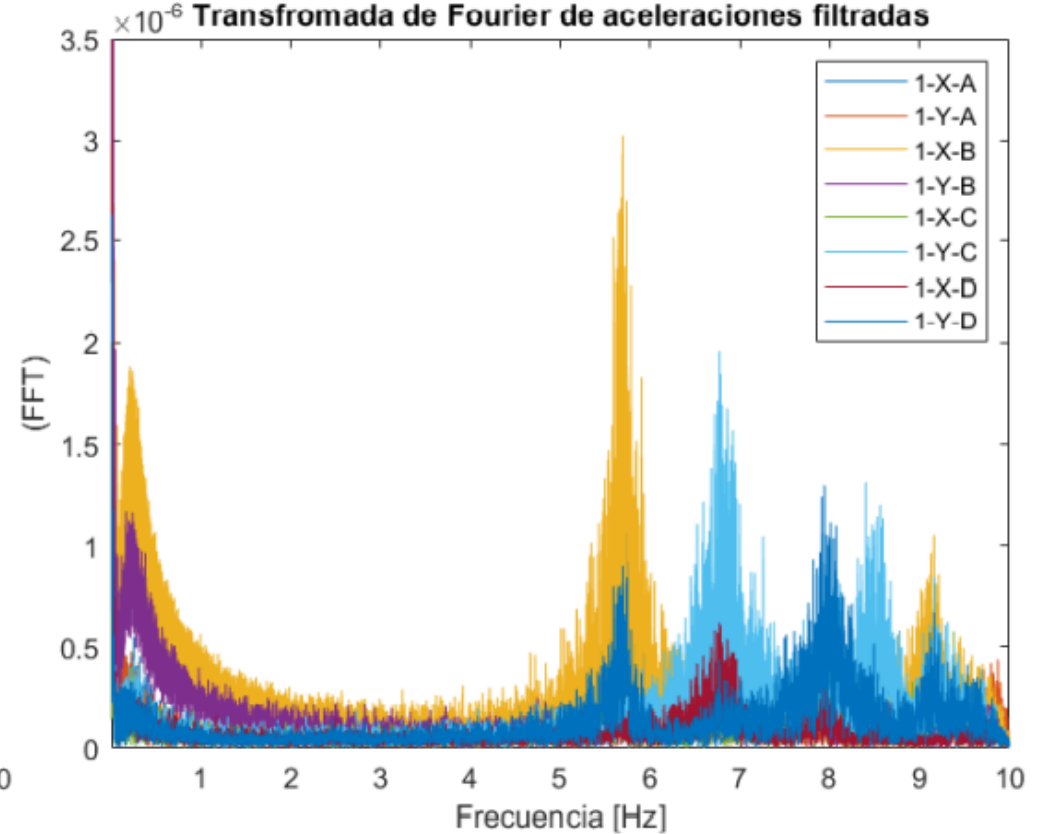
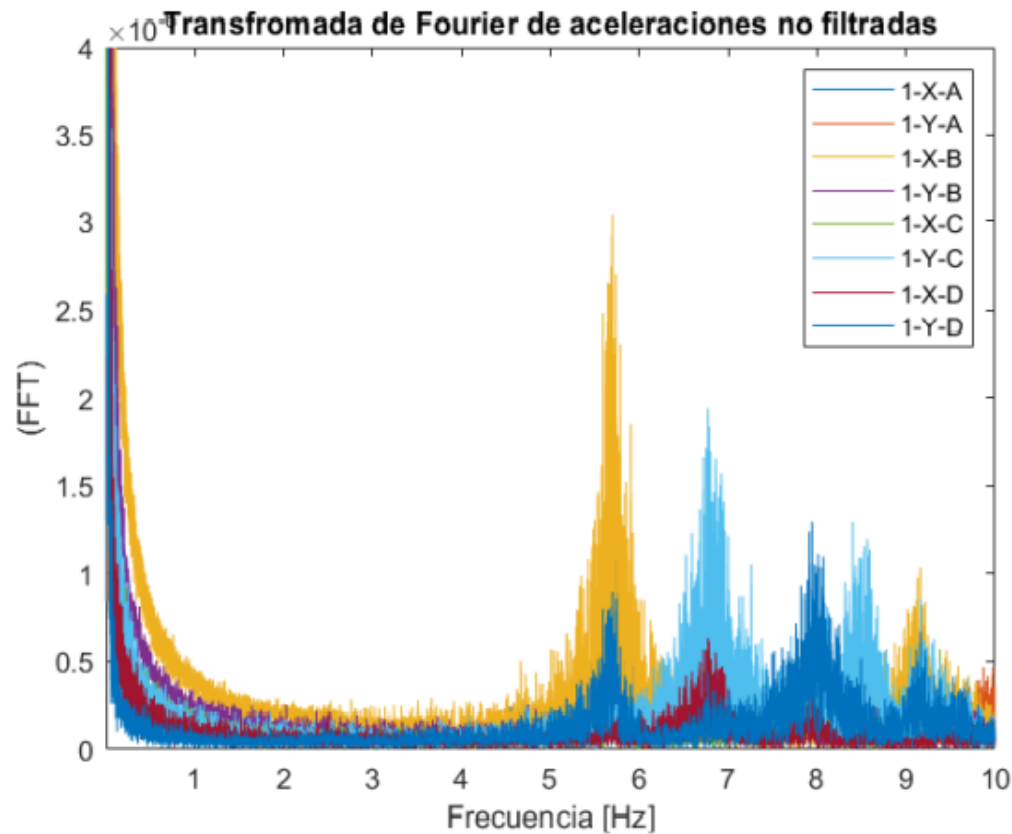
Estudio de Vibración ambiental



Elección de 3 registros con menor ruido



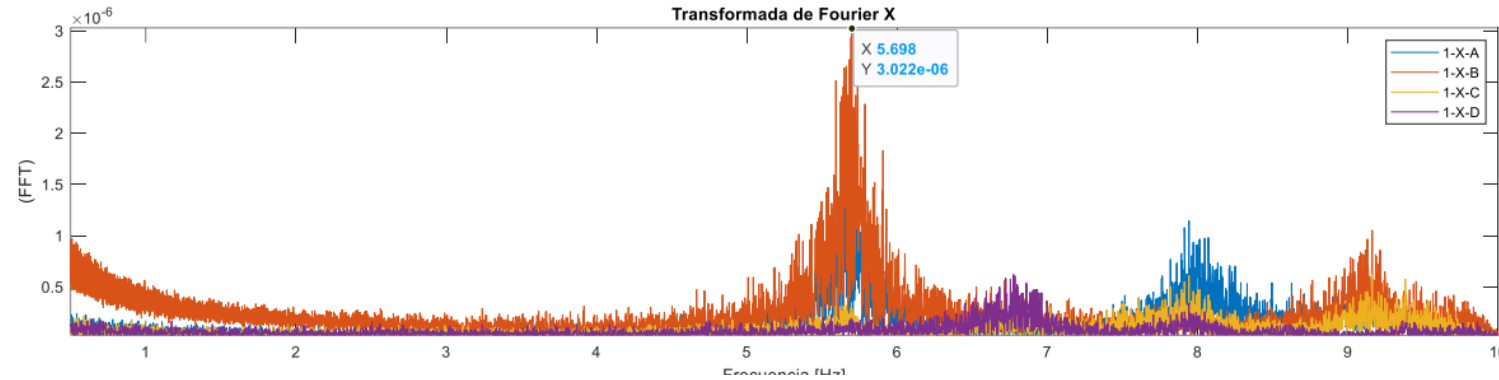
Estudio de Vibración ambiental



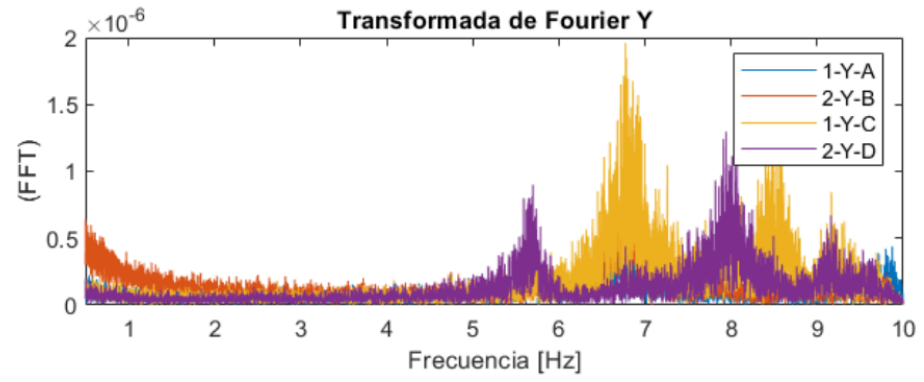
Transformada de Fourier
De tiempo a frecuencia



Estudio de Vibración ambiental



Canal 1-Sentido X

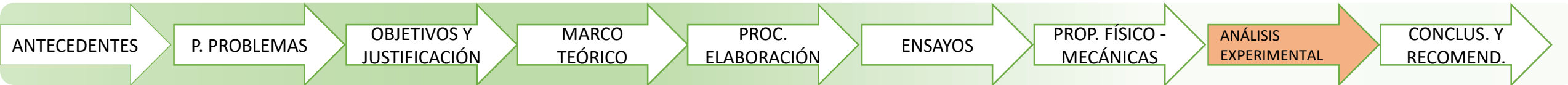


Canal 2-Sentido Y

PEAK PICKING

Función de transferencia
 Función de densidad Espectral (PSD)
 Espectro cruzado de potencia

	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frecuencia	5.698	6.785	7.942
Periodo	0.176	0.147	0.126



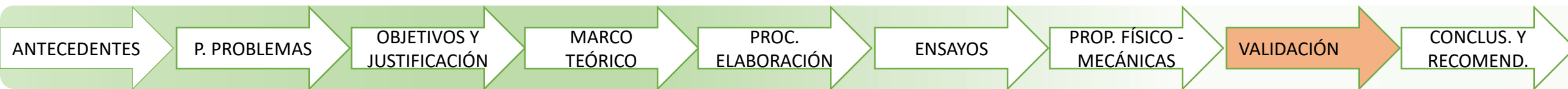
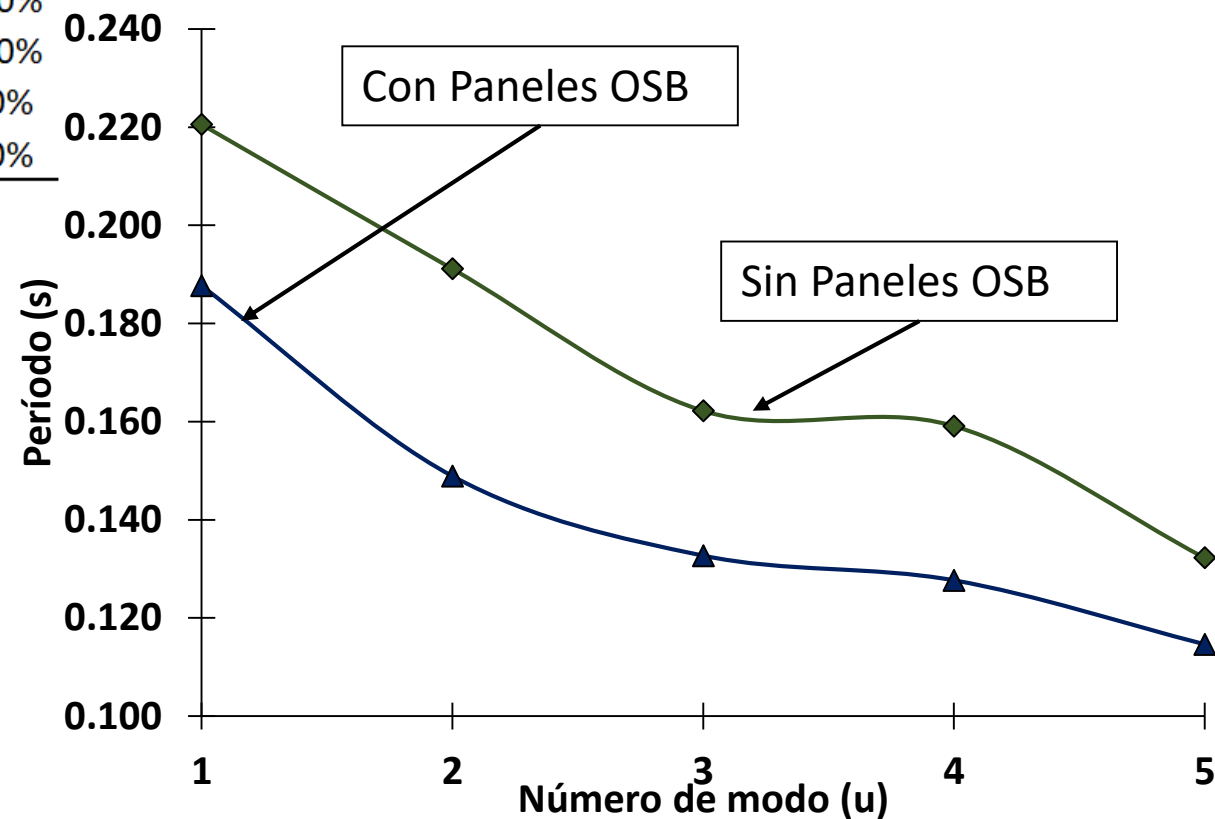
Influencia de paneles OSB

Modo	Período	Con Paneles OSB			Sin paneles OSB			
		Ux	Uy	Rz	Período	Ux	Uy	Rz
1	0.188	0.00%	54.30%	0.14%	0.221	0.03%	70.90%	0.23%
2	0.149	36.20%	0.00%	43.20%	0.191	20.70%	0.05%	32.20%
3	0.133	33.90%	0.41%	32.50%	0.162	45.60%	0.01%	26.60%
4	0.128	11.10%	1.30%	5.10%	0.159	4.50%	0.01%	3.40%
5	0.115	0.05%	26.20%	0.09%	0.132	0.00%	0.04%	5.60%

Período con paneles OSB:
 $T = 0.188s$

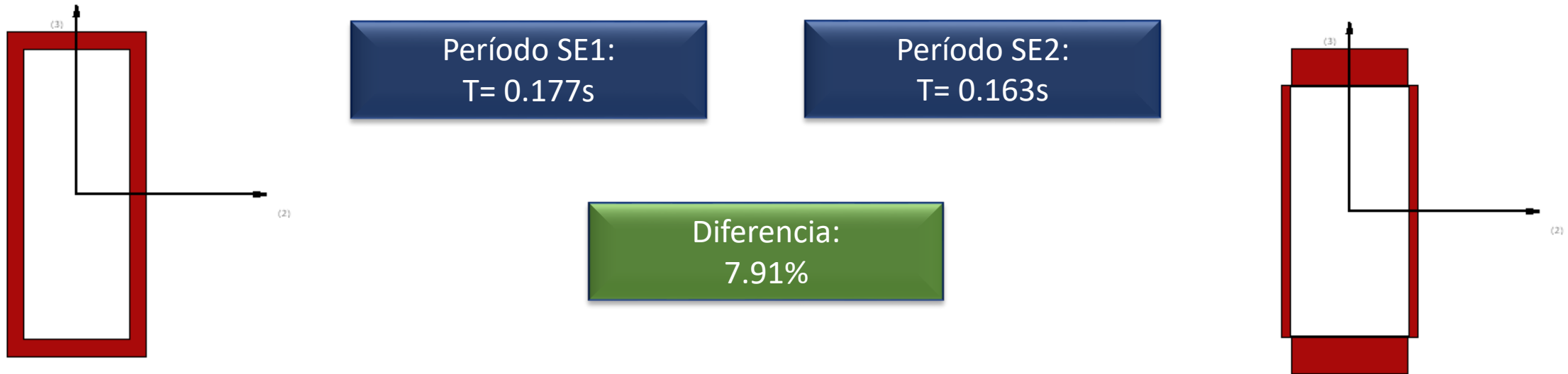
Período sin paneles OSB:
 $T = 0.221s$

Diferencia:
17.55%

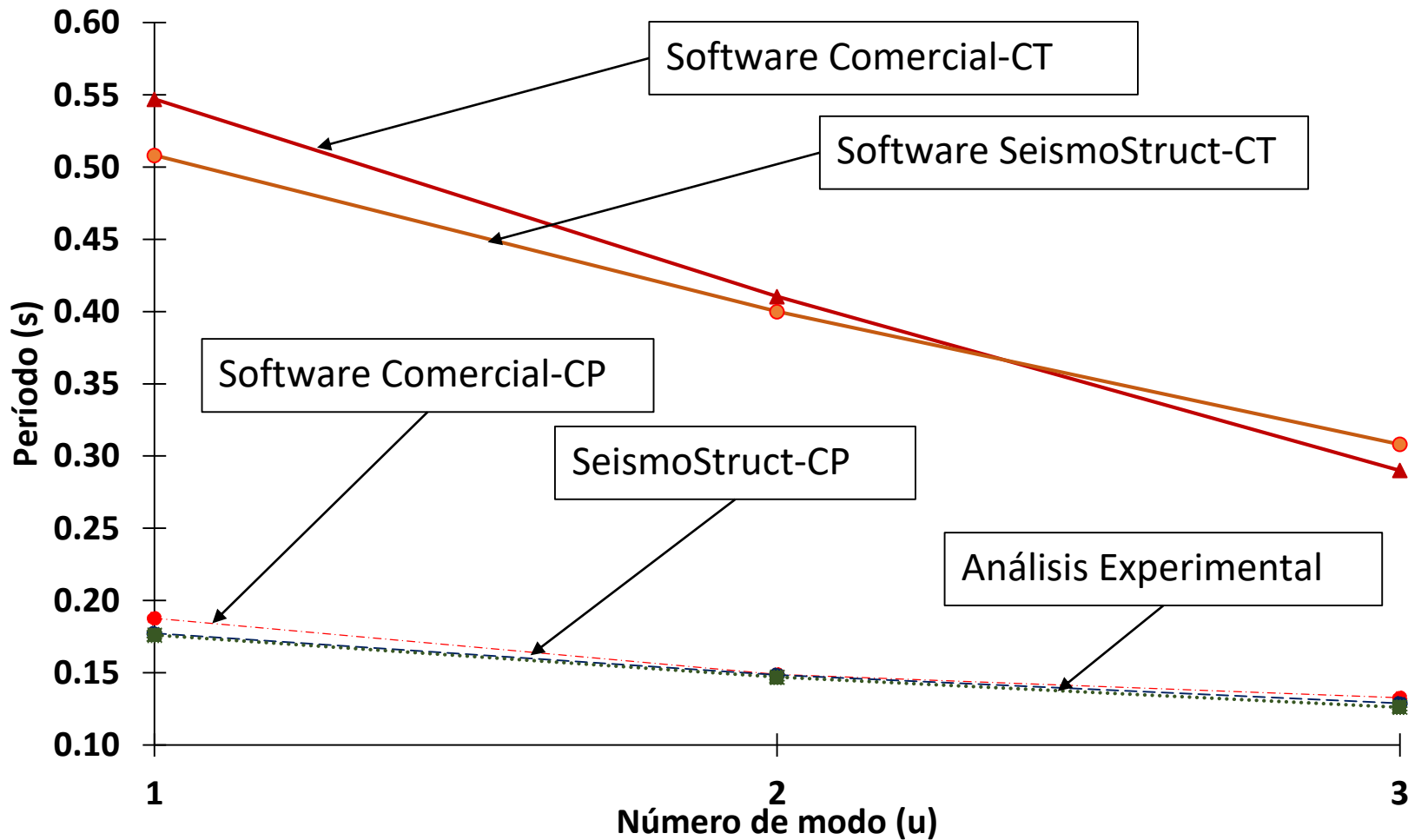


Comparación de secciones del software SeismoStruct

Modo	Sección Equivalente 1				Sección Equivalente 2			
	Período	Ux	Uy	Rz	Período	Ux	Uy	Rz
1	0,177	0,00%	39,82%	0,08%	0,163	0,00%	24,95%	0,01%
2	0,148	56,93%	39,82%	24,56%	0,122	0,01%	26,03%	0,06%
3	0,129	80,11%	39,85%	86,57%	0,104	56,87%	26,03%	3,45%
4	0,124	80,98%	43,66%	86,62%	0,091	57,00%	40,64%	3,52%
5	0,116	83,35%	44,66%	87,72%	0,090	57,83%	42,39%	63,99%



Validación de modelos



Período SC-CT:
T= 0.547s

Período SS-CT:
T= 0.508s

Diferencia:
7.13%

Período SC-CP:
T= 0.188s

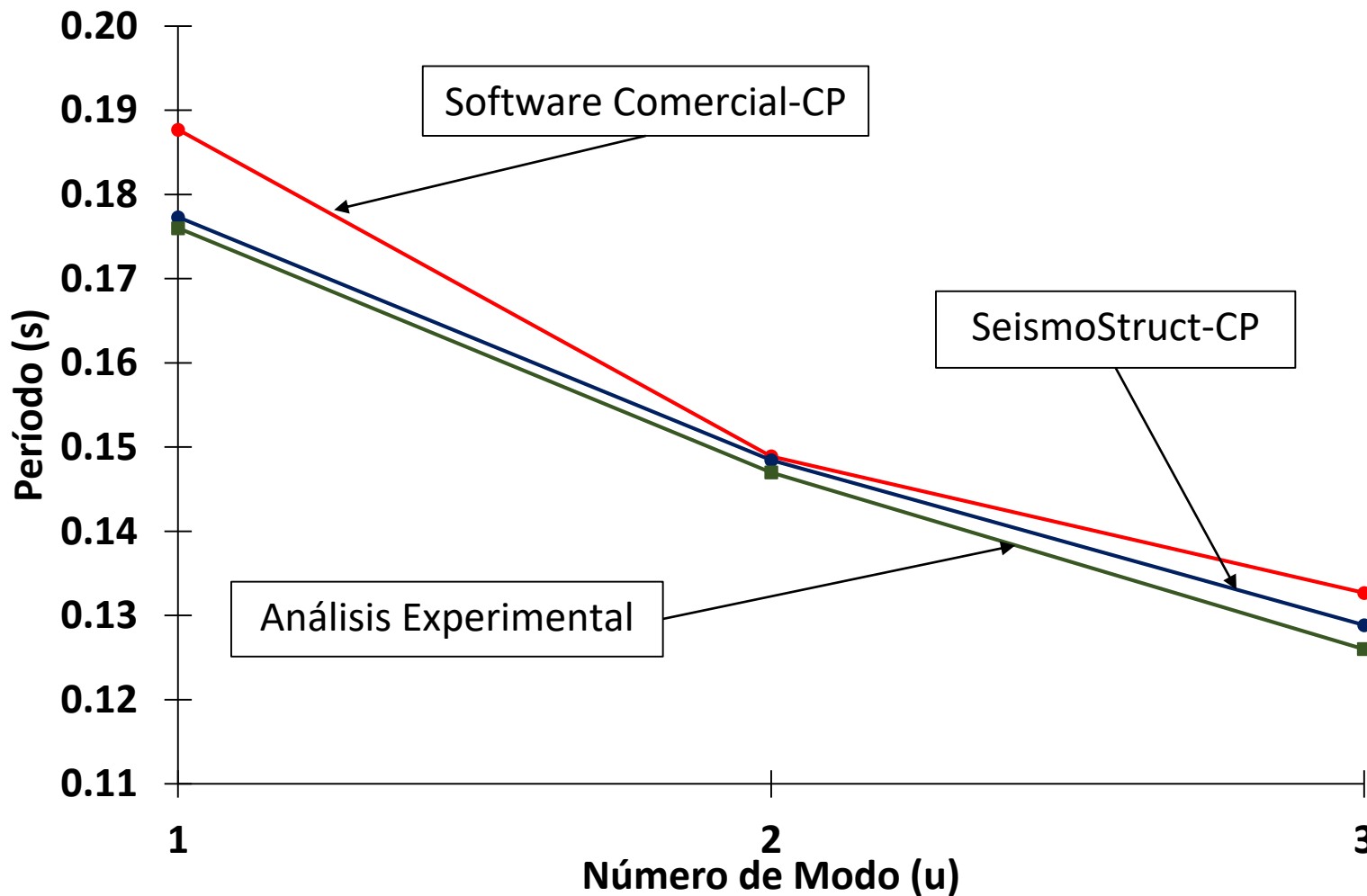
Período SS-CP:
T= 0.177s

Diferencia:
5.85%

Período Experimental:
T= 0.176s



Validación del análisis experimental



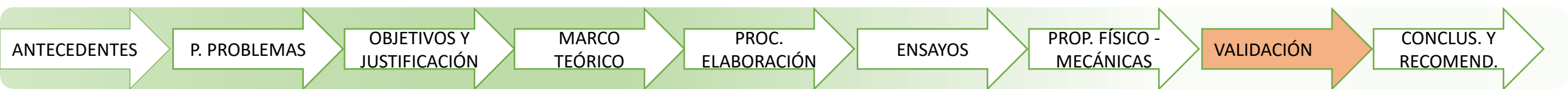
Período SC-CP:
 $T = 0.188s$

Período SS-CP:
 $T = 0.177s$

Período Experimental:
 $T = 0.176s$

Software Comercial:
 6.38%

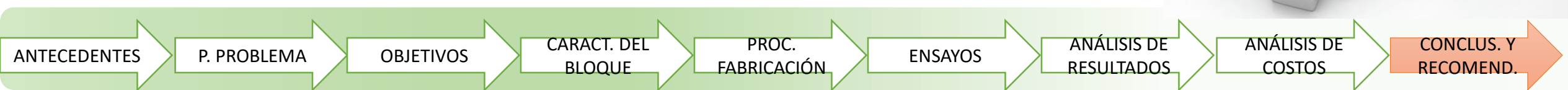
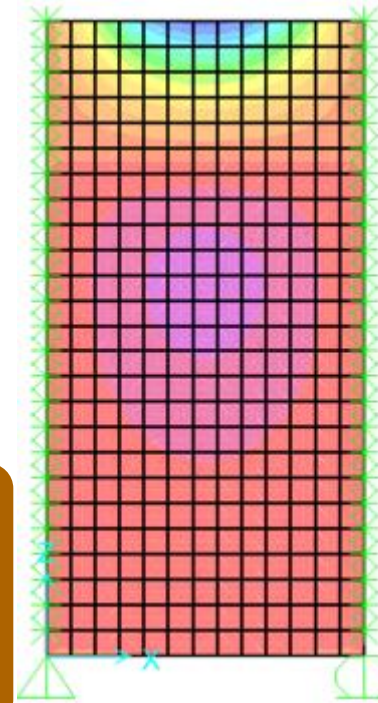
Software SeismoStruct:
 0.10%



Propiedades mecánicas determinadas
tiene una variación del 18.03% y 4.28%

Análisis de pandeo en OSB,
concentración de esfuerzos en la zona
central

Validación de modelos
computacionales tiene un 5.85% de
diferencia en sus periodos

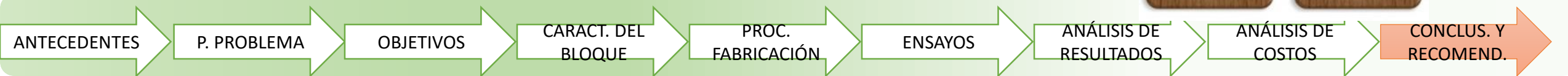
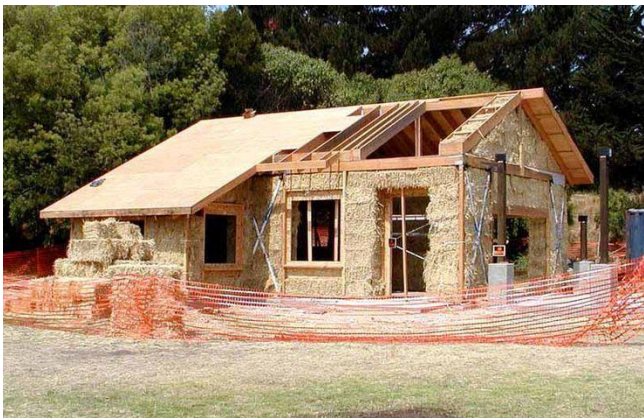


Análisis
de
vibración
ambiental

Tablero OSB proveen de rigidez a los fardos de paja

El modelo del software comercial genera respuestas similares al análisis experimental

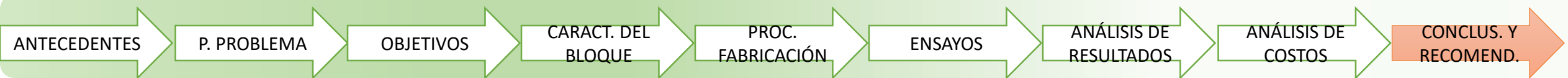
Alternativa confiable para zonas rurales del país



En la modelación computacional se recomienda modelar la estructura de la misma manera que está construida para obtener respuestas confiables, además se debe procurar que todos los elementos estén unidos entre cada uno para evitar que se tenga modos de vibración innecesarios

Para futuras estructuras que se realicen con este modelo constructivo se recomienda distribuir las columnas tipo mochetas de tal forma que provea de una rigidez similar en sus direcciones ortogonales

Al realizar la modelación analítica de la estructura ya construida se pudo identificar un porcentaje de torsión importante en la estructura por lo que se recomienda que la estructura tenga una relación ancho-largo de 1 a 2





**¡MUCHAS
GRACIAS POR
SU ATENCION!**