

Autores: Galván, Enrique Maximiliano, García, Diego Alberto

Laboratorio de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería de Oberá

Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Misiones

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los **puentes** se volvió un tema de interés en el ámbito de la ingeniería estructural en el último siglo, debido a fenómenos desconocidos hasta ese entonces como la resonancia, lograda a partir de la sincronización de las frecuencias del flujo de peatones y las características dinámicas propias de la estructura, lo cual lleva a excitarla a tal punto de poner en riesgo la seguridad estructural.

La madera proveniente del árbol **Eucalyptus grandis** cultivado en la Mesopotamia Argentina, es aceptada por el CIRSOC 601 para uso estructural. Las piezas de este material presentan una gran variabilidad en sus propiedades mecánicas en relación con otros materiales de uso estructural.

Se realiza un modelado del puente y de los **peatones**, buscando analizar las **frecuencias naturales** de la estructura, así como también determinar las **aceleraciones** producidas en el centro del puente, de tal manera de poder determinar el nivel de confort del mismo.

2. METODOLOGÍA

Se analizó un puente peatonal de madera de Eucalyptus grandis el cual está conformado por 3 vigas longitudinales de 0,15m x 0,60m y por 5 vigas transversales de igual sección. EL tablero del puente está formado por madera acerrada de espesor 1 1/2" como se indica en la figura 1. En la figura 2 podemos ver como queda el puente modelado en el software Abaqus.

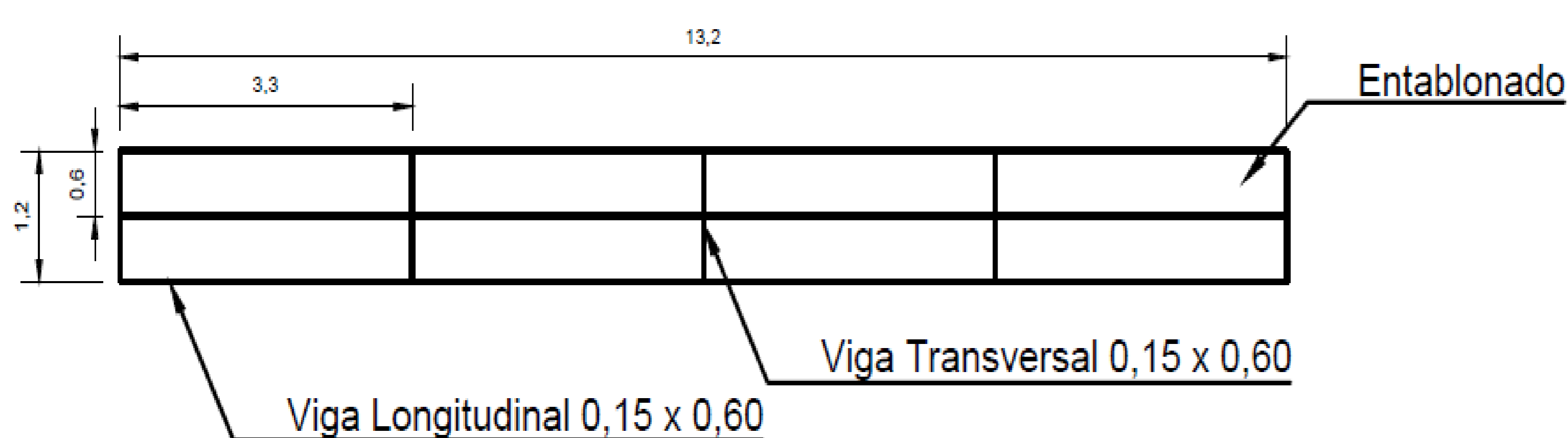


Figura 1: Esquema estructural del puente peatonal

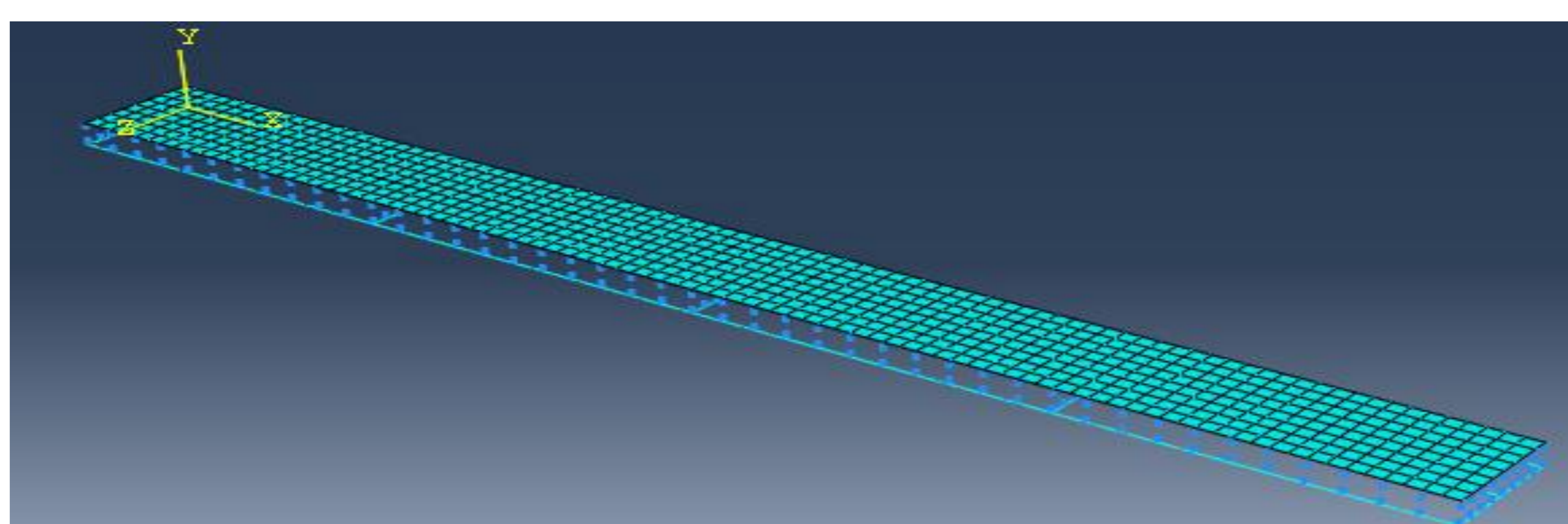


Figura 2: Imagen esquemática de la fundación modelada

La madera presenta una gran variabilidad en sus propiedades mecánicas, por lo que, para los análisis hechos se tuvo en cuenta las distintas combinaciones de módulo de elasticidad densidad, basadas en la distribución normal de cada uno según la normativa.

Módulo de elasticidad para vigas (laminadas):

- Percentil 0.05: 9000MPa
- Valor Medio: 13400MPa
- Percentil 0.95: 17800MPa

Densidad para vigas (laminadas):

- Percentil 0,05: 430 kg/m³
- Valor Medio: 640kg/m³
- Percentil 0.95: 850kg/m³

Para modelar los peatones se tuvo en cuenta la siguiente Serie de Fourier, que determina la fuerza de paso en función del tiempo:

$$F(t) = P \left[1 + \sum \alpha_1 \cdot \cos(2\pi i \cdot f_s t + \varphi_i) \right]$$

Se tuvo en cuenta también el amortiguamiento de la estructura, considerando la matriz de amortiguamiento de Rayleigh. También se utilizó un N° equivalente de personas, que básicamente determina el número mínimo de personas que generan el mismo efecto que más personas teniendo en cuenta las frecuencias naturales de la estructura

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primero se analizaron las **frecuencias naturales** de la estructuras para las distintas combinaciones de propiedades mecánicas de la madera, los resultados se observan en la tabla 1.

Densidad: 640kg/m ³			Módulo de Elasticidad Entablonado		
			8100 MPa	12000 MPa	15900 MPa
Módulo de Elasticidad Vigas	9000 MPa	M1	5,256	5,256	5,257
		M2	13,789	13,799	13,810
		M3	19,193	20,797	20,799
	13400 MPa	M1	6,413	6,414	6,414
		M2	16,816	16,825	16,833
		M3	20,417	23,380	25,375
	17800 MPa	M1	7,391	7,392	7,392
		M2	19,375	19,383	19,391
		M3	21,255	24,451	26,923

Tabla 1: Frecuencias para Densidad 640 kg/m³

En cuanto a las **aceleraciones**, la tabla 2 muestra la clasificación de la estructura respecto al **confort** en función de las aceleraciones obtenidas:

N° de Personas	Combinaciones de Propiedades Mecánicas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	E: 9000MPa			E: 13400MPa			E: 17800MPa		
	D: 430 kg/m ³	D: 640 kg/m ³	D: 850 kg/m ³	D: 430 kg/m ³	D: 640 kg/m ³	D: 850 kg/m ³	D: 430 kg/m ³	D: 640 kg/m ³	D: 850 kg/m ³
1									
2									
3									
4									
6									
8									
Frecuencia Natural de la estructura	6.413	5.256	4.561	7.824	6.413	5.565	9.018	7.391	6.414
Frecuencia de Paso peatonal	5.700	5.700	3.800	7.600	5.700	5.700	7.600	7.600	5.700
Diferencia entre Frecuencia Natural y Frecuencia de Paso	0.713	-0.444	0.761	0.224	0.713	-0.135	1.418	-0.209	0.714

BLANCO: Nivel de confort máximo
VERDE: Nivel de confort moderado
AMARILLO: Nivel de confort mínimo
ROJO: Nivel de confort inadmisibile

Tabla 2: Nivel de confort de la estructura para distintos peatones y propiedades mecánicas

4. CONCLUSIONES

Sobre el **análisis modal** se puede decir que la **frecuencia natural** de mayor probabilidad de ocurrencia es de 6,41Hz lo que denota que la estructura tiende a ser **flexible**.

En cuanto a las condiciones de **confort** debido a las **aceleraciones**, se presentan las peores condiciones cuando la frecuencia de paso peatonal es muy cercana a la frecuencia natural de la estructura, excitándola a tal punto de generar grandes **aceleraciones**. Ahora si observamos la columna 1 de la tabla 2 se puede ver que también se generan malas condiciones de confort debido a que la estructura es liviana y muy deformable.

Respecto a los amortiguamientos, se observa que mejora el nivel de confort al aumentar el amortiguamiento.