

## DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE DISPERSIÓN PARA RIEL FERROVIARIO UIC 54 E.1

Marcos Amado <sup>1</sup>, Javier Idzi <sup>1</sup>, Fernando Gutiérrez <sup>1</sup>, José Gialonardo <sup>1</sup> y Eduardo Becker Groth <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UIDET Ingeniería Aplicada en Mecánica y Electromecánica (IAME), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 116, La Plata, Argentina.  
marcos.amado@ing.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BRASIL

### RESUMEN

La propagación de ondas elásticas en estructuras donde una de las dimensiones es mucho mayor que las otras dos, son llamadas ondas guiadas, es un tema vinculado a técnicas de Ensayos No Destructivos. El estudio de estas ondas es fundamental en el cálculo de las llamadas curvas de dispersión que serán específicas para cada geometría estudiada. Estas curvas de dispersión permiten describir, dada una excitación aplicada sobre la estructura en análisis, en qué modos dicha excitación se va a descomponer. En este contexto en el presente trabajo se calculan las curvas de dispersión de un Riel (UIC 54 E.1) empotrado y fijo, utilizando el modelo axisimétrico y el método de los elementos finitos (MEF). Los resultados obtenidos son discutidos y los mismos permiten entender la propagación de ondas guiadas en este tipo de geometría.

**Palabras clave:** Riel; Ondas guiadas; Curvas de dispersión; Método Axisimétrico;

## 1. INTRODUCCIÓN

La utilización de técnicas de detección de daño basadas en propagación de ondas en sólidos ha crecido en las últimas décadas gracias a la disponibilidad de instrumentos cada vez más sensibles y precisos. Para aprovechar este potencial es mandatorio conocer los fundamentos de la propagación de ondas en sólidos.

El estudiar la propagación de una guía de onda con geometría específica utilizando las curvas de dispersión permite entender qué frecuencias pueden propagar en que forma modal sobre la guía de ondas.

Asociar la técnica de ultrasonido con la propagación de ondas guiadas tiene una buena relación costo-beneficio debido a la simplicidad y rapidez de inspección. Esta metodología permite localizar daños en estructuras inaccesibles debido a estar sumergidas, enterradas o aisladas. Esto es porque cuando se aplica una vibración que se extenderá como una onda guiada sólo se requiere una pequeña área de acceso [1]. En este caso, es posible, con un mismo sensor emisor receptor obtener información de defectos localizados a distancias considerables (20-30 metros), en estructuras de acero de difícil acceso. Es cierto que este tipo de metodología no permite un diagnóstico preciso de la magnitud y tipo de daño identificado, pero permite realizar una localización de potenciales regiones críticas donde deberá ser realizada una intervención con otras técnicas de Ensayo No Destructivo (END). Los patrones de estas curvas dependen de la sección geométrica, debido fundamentalmente a la interacción de las mismas, con las fronteras del cuerpo. Estos patrones pueden ser analizados con las curvas de dispersión. En este contexto, se presenta en este trabajo el análisis de un riel de ferrocarril (UIC 54E.1) [2], donde serán calculadas las curvas de dispersión para dicha estructura utilizando el modelo axisimétrico [3].

## 2. DESARROLLO

En esta sección se determinan las curvas de dispersión de un riel ferroviario libre, utilizando el modelo axisimétrico [3]. Las curvas se determinaron para 3 tamaños de elementos (Figuras 4, 7 y 10).

### 2.1 Modelo axisimétrico

El modelo axisimétrico [3] para el cálculo de curvas de dispersión consiste en modelar una guía de ondas a través de un aro de gran radio (Figura 1), en la cual la sección transversal bajo estudio es la sección transversal del aro ( $R > 10L$ , siendo  $R$  el radio adoptado y  $L$  una dimensión característica de la sección transversal estudiada).

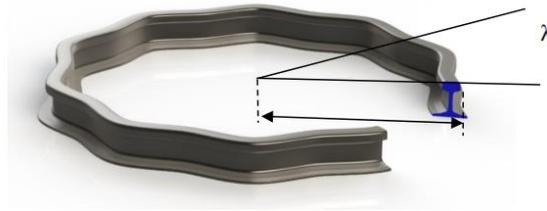


Figura 1. Esquema del método axisimétrico

Los softwares comerciales de elementos finitos, que ofrecen un análisis modal a través del modelo axisimétrico, usualmente permiten la entrada de las condiciones de contorno descritas a través de un comando. Este comando, preestablece una cantidad de longitudes de onda  $\lambda$  para las cuales el modelo está sujeto a vibrar. La cantidad de longitudes de onda son fijadas a través de un parámetro conocido como Corder. Por consiguiente, resulta de importancia determinar este parámetro, que representa el número por el cual debemos dividir a la longitud de la circunferencia del modelo axisimétrico analizado, para poder determinar la longitud de onda  $\lambda$  definida como:

$$\lambda = (2 \cdot \pi \cdot R)/\text{Corder} \quad (1)$$

$$\lambda = (2 \cdot \pi)/k \quad (2)$$

De las ecuaciones 1 y 2 es posible establecer una relación entre el parámetro Corder y el número de onda  $k$  de la siguiente manera:

$$\text{Corder} = k \cdot R \quad (3)$$

Para el cálculo de la sección, se utiliza el elemento PLANE83 (Figura 2) que permite automatizar el proceso de formación de las curvas de dispersión [4] y [5].

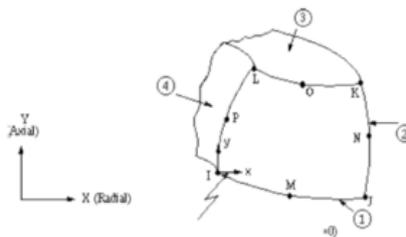


Figura 2. Elemento PLANE 83, usado en el modelo axisimétrico.

## 2.2 Cálculo de las curvas de dispersión

En la implementación del método basado en el método axisimétrico se ha dejado fijo el radio en un valor determinado por los parámetros de cálculo, para nuestro caso particular  $R=500$  m se ha hecho variar  $k$  entre un valor mínimo de  $0,01$  rad/m y un valor máximo de  $350$  rad/m, el intervalo de variación de  $k$  es de  $0,01$  rad/m. Los resultados de las frecuencias encontradas entre las frecuencias máximas y mínimas establecidas para cada valor de  $k$  son graficados en conjunto lo cual permite visualizar las curvas de dispersión.

El contorno del perfil es introducido como output de un archivo neutro, (\*.igs), de esta manera podemos, a través de este tipo de archivos, importar directamente cualquier perfil que sea requerido para su estudio.

Tabla 1 de parámetros de cálculo

Parámetro	Valor	Descripción	Unidad
E	210 e9	Módulo de young	N/m <sup>2</sup>
$\nu$	0.3	Coeficiente de poisson	--
$\rho$	7850	Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
T1	0,006	Tamaño de elemento (1)	m
T2	0,003	Tamaño de elemento (1)	m
T3	0,009	Tamaño de elemento (1)	m
R	500	Radio de simetría	m
Modos	100	Modos	-
Kmin	0.01	Numero de onda mínimo	Rad/m
Kmax	350	Numero de onda máximo	Rad/m
Kinc	0.01	Intervalo de numero de onda	Rad/m

A partir de todos estos parámetros y características definidas previamente se construyen las Figuras de las curvas de dispersión para el caso del riel sin restricción, ó sea de cuerpo libre.

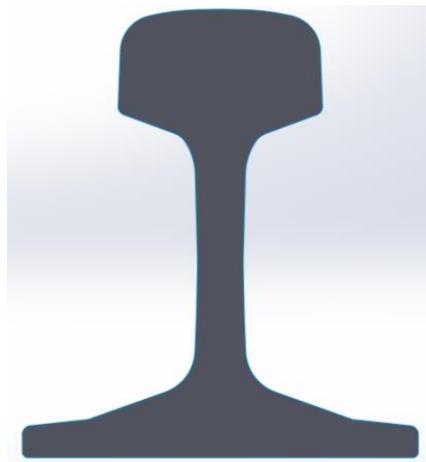


Figura 3. Sección del riel en estudio

2.3 Malla 1

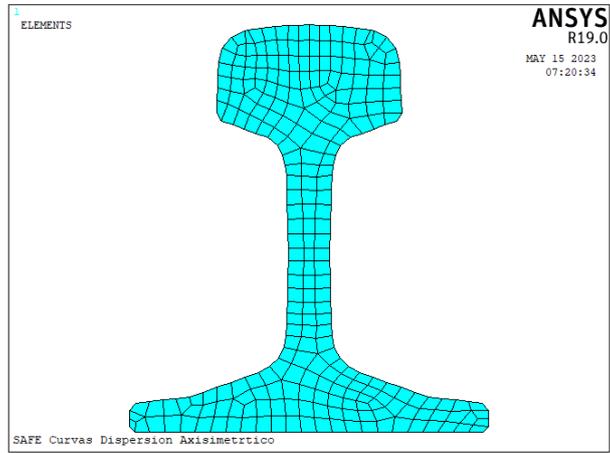


Figura 4. Riel con malla 1.

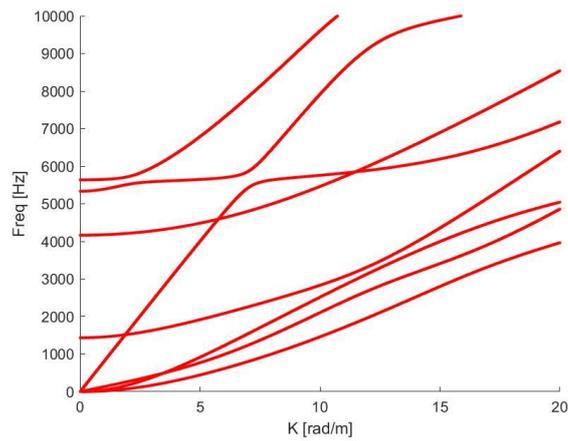


Figura 5. Curvas de dispersión graficadas en frecuencia vs número de onda

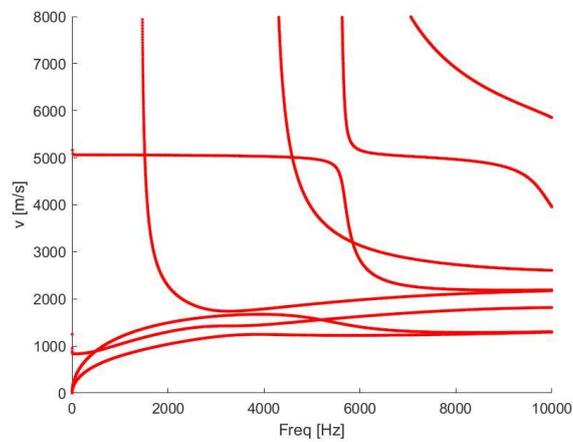


Figura 6. Curvas de dispersión graficadas en velocidad de fase vs frecuencia

2.4 Malla 2

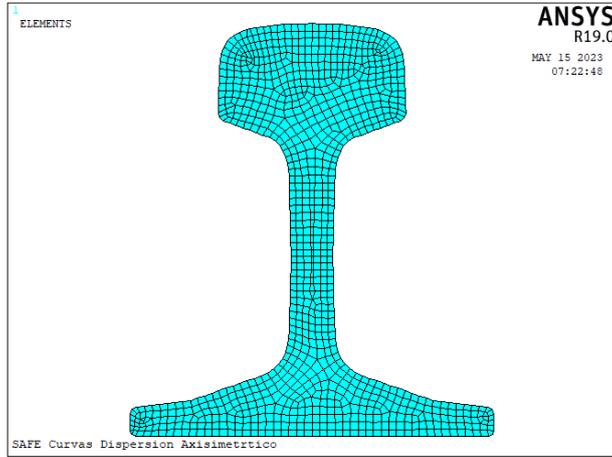


Figura 7. Riel con malla 2.

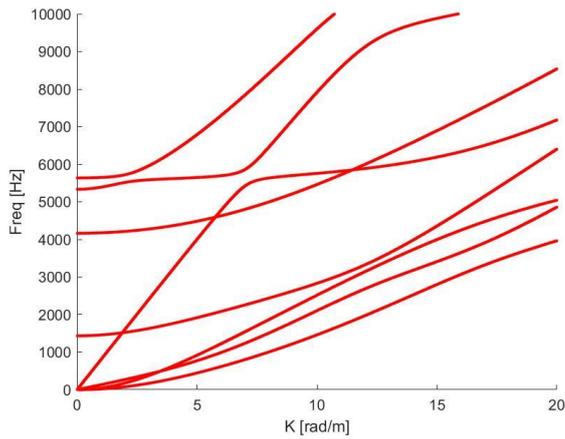


Figura 8. Curvas de dispersión graficadas en frecuencia vs número de onda

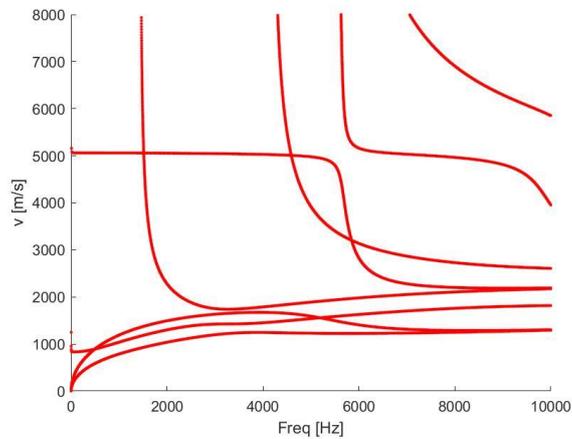


Figura 9. Curvas de dispersión graficadas en velocidad de fase vs frecuencia

2.5 Malla 3

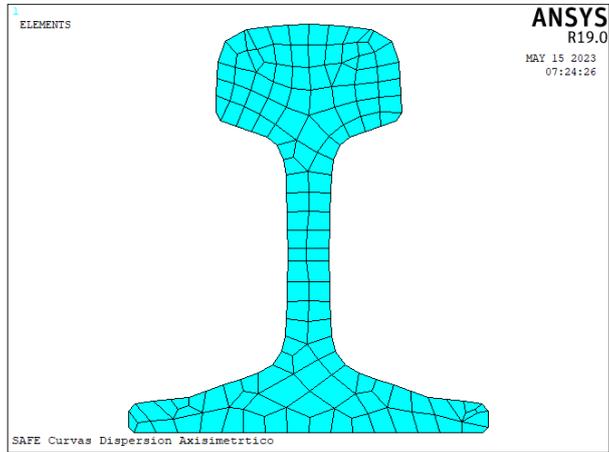


Figura 10. Riel con malla 3.

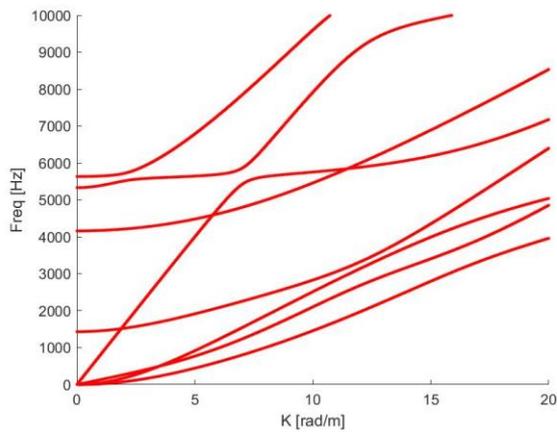


Figura 11. Curvas de dispersión graficadas en frecuencia vs número de onda

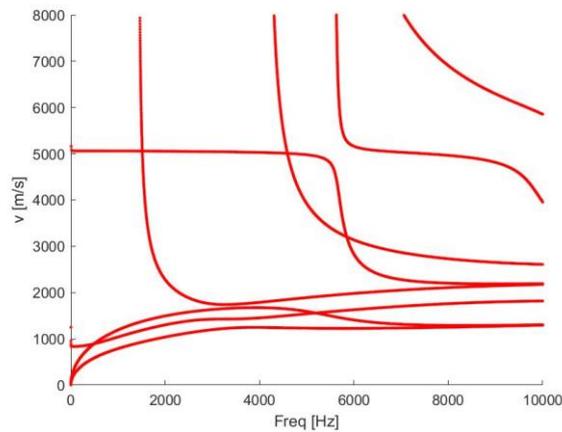


Figura 12. Curvas de dispersión graficadas en velocidad de fase vs frecuencia

## CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó el estudio de la propagación de ondas guiadas en un riel ferroviario libre, del tipo UIC 54 E.1, utilizando el modelo axisimétrico. Los resultados obtenidos fueron consistentes con la bibliografía. Las conclusiones presentadas en este documento son las siguientes:

A medida que es más compleja la geometría transversal de la guía de ondas más compleja será el conjunto de curvas de dispersión generados. En el caso del riel las curvas de dispersión deben ser estudiadas en intervalos de frecuencia pequeños en la región de interés.

Como es común en otras guías de ondas que poseen una dimensión infinita, los rieles poseen 4 modos básicos de propagación, ellos son: uno axial (AX), uno torsional (T1), y dos flexionales (FLX, FLY).

El tamaño de elemento no tuvo influencia en la determinación de las curvas de dispersión.

Como trabajo futuro se plantea la posibilidad de determinar las curvas de dispersión de los rieles utilizados en el trazado de vías del país y contemplados en [5].

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eduardo Becker Groth, Curvas De Dispersão: No Contexto Da Determinação De Defeitos Em Estruturas Laminares Utilizando Ondas Guiadas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- [2] Manual Integral de Vías, Nuevo Central Argentino, República Argentina, 2014. MathWorks. Reference Manual. The MathWorks, Inc., 2011. Normas Técnicas De Vías Y Obras. Comisión Nacional de Regulación del Transporte, República Argentina.
- [3] D. Hesse and P. Cawley, Surface wave modes in rails. Department of Mechanical Engineering, Imperial College London, London SW7 2AZ, United Kingdom, 2005.
- [4] Daniel Hesse, Rail inspection Using Ultrasonic Surface Waves. University of London, 2007. Das, B. M. Fundamentals of Soil Dynamics. Volume I. Elsevier Science publishers B. V.
- [5] Alleyne, D. and Cawley, P. A two-dimensional Fourier transform method for the measurement of propagating multimode signals. Journal of Acoustical Society of America, vol. 89, p. 1159–1168, 1991.