

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y
NATURALES



TESIS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MENCIÓN ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA**

*Demandas cinemáticas en estructuras longitudinales
enterradas sometidas a ondas de corte*

Por

SOFFIETTI, Franco Primo

Dirección: Dr. Ing. Federico Pinto

2019

RESUMEN

Históricamente, las estructuras subterráneas sufrieron menor daño sísmico que las superficiales, al punto de no considerarse este escenario en el diseño. Tal situación fue justificada en el hecho de que, al tener menor masa que el medio circundante, las estructuras enterradas se moverían solidariamente con el entorno ante un terremoto. La ocurrencia de fenómenos sísmicos de gran intensidad en los últimos años llevó a la falla de numerosos túneles, chimeneas y líneas de servicios, aumentando las investigaciones. La respuesta sísmica de estructuras longitudinales subterráneas es generalmente controlada por la interacción cinemática. En la práctica, los efectos sísmicos son tenidos en cuenta, de manera pseudoestática, aplicando a la estructura patrones de deformación impuestos por el medio circundante, aproximados como ondas simples, introduciendo aproximaciones cinemáticas en el comportamiento estructural para evaluar la demanda sísmica de manera sencilla. Los métodos habituales utilizados consideran la hipótesis de Euler – Bernoulli para el comportamiento flexional y deformaciones de corte puro para el comportamiento transversal, introduciendo aproximaciones inconsistentes entre sí. En el presente trabajo se desarrolló un modelo de viga de Timoshenko sobre fundación elástica con restricciones transversales y rotacionales capaz de representar, en el límite, las soluciones existentes en la literatura para casos extremos, así como las situaciones intermedias. Los resortes del medio son obtenidos mediante una extensión de la formulación de Novak para considerar casos en que la hipótesis de deformación plana no pueda ser aplicada. A través de analizar paramétricamente el modelo, se estudia el comportamiento de la solución y se proponen soluciones simplificadas para la obtención de curvaturas y distorsiones de corte. El modelo propuesto es verificado con un modelo de elemento finitos 3D pudiendo verse un muy buen ajuste entre la solución analítica y la numérica. Finalmente se realiza una comparación entre las soluciones propuestas y soluciones existentes en la literatura donde se observa la capacidad del modelo analítico desarrollado de representar los casos extremos, así como aquellas situaciones intermedias.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Contexto general.....	1
1.2 Contexto particular.....	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Organización del trabajo	4
2. ESTRUCTURAS ENTERRADAS SOMETIDAS A SISMOS	6
2.1 Vulnerabilidad sísmica en estructuras enterradas	6
2.1.1 Características sísmicas.....	12
2.1.2 Características de las estructuras	12
2.1.3 Estrategias actuales y recomendaciones a futuro	13
2.2 Nociones sísmicas	17
2.2.1 Definición del ambiente sísmico	18
2.2.2 Evaluación de la respuesta del terreno a la excitación sísmica	20
3. RESPUESTAS ESTRUCTURALES A LAS DEFORMACIONES DEL MEDIO.....	25
3.1 Introducción	25
3.2 Métodos de diseño	29
3.3 Deformaciones de campo libre	32
3.4 Interacción suelo-estructura	40
4. SOLUCIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS LONGITUDINALES ENTERRADAS	50
4.1 Teoría de viga de Timoshenko	51
4.1.1 Esfuerzos seccionales	53
<i>Momentos flectores</i>	54
<i>Esfuerzos de corte</i>	54
4.1.2 Distribución seccional del esfuerzo cortante.....	55
4.1.3 Factor de corrección por corte	56
4.2 Viga de Timoshenko sobre fundación elástica	57

4.2.1	Formulación del problema	57
4.2.2	Coeficientes de reacción dinámica	59
	<i>Rigidez rotacional del medio</i>	60
	<i>Rigidez transversal del medio</i>	63
4.2.3	Ecuación diferencial del sistema	64
5.	RESPUESTA DE ESTRUCTURAS LONGITUDINALES ENTERRADAS A ONDAS SISMICAS	67
5.1	Desplazamientos relativos	68
5.2	Campo de desplazamiento sísmico	68
5.3	Ecuación diferencial del modelo	69
5.4	Solución homogénea	69
5.4.1	Longitud crítica	71
5.5	Solución particular para una onda de corte	72
5.6	Solución general	73
5.7	Respuesta longitudinal completa	76
5.7.1	Curvaturas	77
5.7.2	Distorsiones de corte	77
5.8	Respuesta longitudinal simplificada	79
5.8.1	Curvaturas simplificadas	80
5.8.2	Distorsiones de corte simplificadas	81
5.8.3	Esfuerzos máximos	82
	<i>Máximos momentos flectores</i>	82
	<i>Esfuerzos máximos de corte</i>	83
5.9	Comparación entre soluciones	83
5.9.1	Curvaturas	84
5.9.2	Distorsiones de corte	84
6.	VERIFICACIÓN DEL MODELO	85
6.1	Formulación del problema	86
6.2	Elementos del modelo numérico	87

6.3 Dimensiones del medio	87
6.4 Obtención de resultados	88
6.5 Condiciones de borde y desplazamientos	91
6.6 Cálculo de los coeficientes de reacción	93
6.7 Comparación de resultados	95
6.7.1 Deflexiones en el túnel	96
6.7.2 Curvaturas en el túnel	96
6.7.3 Distorsiones de corte en el túnel	97
6.8 Resumen de resultados	97
6.9 Comparación con la metodología existente	98
6.9.1 Solución analítica propuesta comparada con sol. de campo libre	100
<i>Medio con infinita rigidez a corte y rigidez rotacional nula</i>	100
<i>Medio con baja rigidez a corte y rigidez rotacional infinita</i>	101
6.9.2 Soluc. analítica propuesta comparada con las soluciones con interacción ...	101
7. CONCLUSIONES	103
REFERENCIAS	106