



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

MOVIMIENTO DE TRAMOS SECCIONALES  
DE PUENTES ATIRANTADOS ANTE LA  
ACCIÓN DEL VIENTO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico o impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: María Eugenia

Espinosa Trejo

FECHA: 27 Mayo 19

FIRMA: 

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
María Eugenia Espinosa Trejo

Asesor: Ing. Neftalí Rodríguez Cuevas

Naucalpan, Edo. de México

Mayo 2005



m. 345894



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# MOVIMIENTO DE TRAMOS SECCIONALES DE PUENTES ATIRANTADOS ANTE LA ACCIÓN DEL VIENTO





*Sacheon-Si, Korea*

***“...just how easy  
it is to please me  
because when you learn  
you’ll know what makes the world turn.”  
Martin L. Gore***

**A la memoria de:**

Manuel Trejo, abuelito querido, de quien aprendí a apasionarme con aquello que me agrada hacer

Reynaldo Cruz Solís, mi profesor antes de terminar la educación primaria,  
de quien aprendí que la investigación metodológica sacia la curiosidad y descubre las verdades

**A la UNAM**

**Sinodales:**

**Ing. Neftalí Rodríguez Cuevas**  
**Ing. Miguel M. Zurita Esquivel**  
**M. en I. Víctor J. Palencia Gómez**  
**Ing. Carlos Arce León**  
**Ing. Manuel Gómez Gutiérrez**

*"Primus inter pares"*

# Agradecimientos



A mi madre,  
por inculcarme su dinamismo, contribuir a mi necesidad por estudiar esta carrera  
y por su apoyo moral

A mi padre,  
quien siempre me recuerda que puedo lograr lo que me proponga,  
gracias por enseñarme a trabajar bajo presión

A mi “hermana menor” Gaby,  
que me enseñó a organizar mis ideas, a tener iniciativa...  
iy a una lista enorme de cosas más!

A mi hermano Memo, pues siempre me pone a pensar

A Anita, por ser como otra hermana para mí, enseñarme a “no tenerle miedo” a la computadora y  
brindarme su incondicional apoyo desde que nos conocimos

A quienes conocí por pertenecer al Club de Estudiantes del CICM,  
por enseñarme que hay que enfrentar las cosas de la mejor forma posible,  
a compartir experiencias, a trabajar en equipo, etc., etc., etc.;

fueron clave para desarrollarme como persona, todos ustedes son demasiado importantes para mí

A quienes conocí en la Universidad dentro y fuera de las aulas, de cada uno pude aprender algo durante esta preciosa época de mi vida: mi formación profesional,  
De modo especial a mis amigos... ustedes saben que los aprecio y quiero mucho!!

A mis ilustres profesores, por su conocimiento, anécdotas, tips, aliento, retos, regaños...

A quienes conocí en la Casa del Becario, por sus palabras de motivación y solidaridad,  
esa fue en realidad, mi tercera casa

De modo especial al Ing. Nefalí Rodríguez,  
por su infinita paciencia conmigo,  
buena disposición y guía durante la elaboración de este trabajo

A Manuel y Rubén, pues “el ultimátum” definitivamente dio celeridad a este proceso

*“Cuando era niña, un día mi madre me dijo que cuando fuera mayor  
y lograra algo importante en mi vida sería una mejor persona...  
no creo que esto signifique que ya soy una mejor persona,  
pero sí que ya estoy en camino para serlo”.*  
Cherilyn Sharkician

# Prólogo

# ¡Hola!

Cuando inicié este trabajo pensé en que cualquier persona con un poco de empeño, atención y curiosidad pudiese entender lo que dice, desde un niño de primaria hasta el mayor de los ancianos (y ahora no sé si me desvié un poco de tal idea...), y es relevante para mí, aunque no pueda dar fe de ello en estos momentos, que te tomes el tiempo para leer estas líneas.

Ahora bien, “tras advertencia no hay engaño”. Independientemente del libro que se trate, si no se está dispuesto a concentrarse en la lectura, definitivamente será una tarea poco emocionante, confusa; pero si se sabe leer e interpretar lo que se lee, consultar el diccionario cuando existe una palabra o frase no comprendida, existirá también la capacidad para aprender y sacarle el máximo provecho.

Según Ron Hubbard, pueden existir tres áreas deficientes en una persona: la incapacidad para iniciar, la incapacidad para cambiar y la incapacidad para parar; creo entonces que cuando se realiza un trabajo para titulación, se progresa: uno es capaz de detener o terminar cualquier ciclo de trabajo de similar naturaleza posteriormente, y dejarlo terminado. Eso lo experimentaré en el futuro.

Durante los últimos cuatro años he tenido en mente siempre este documento, pero algo me detenía para terminarlo. Rescato tres momentos: al inicio, no sabía por dónde empezar y lo más difícil fue sentarme a escribir las primeras líneas; pasada la mitad, pues me desanimé con los problemas técnicos que evitaban la continuación y decidí sumirme en las actividades propias mi empleo; al final, cuando acepté el reto de terminar con un límite de tiempo, me dí cuenta que, como dijera Sócrates, la ignorancia te hace cobarde. Tras el paso del tiempo y de centenas de colegas que he conocido, me doy cuenta de la mayoría atraviesa por las mismas circunstancias, por lo que es recomendable descubrir los motivos que limitan a la persona para su titulación antes de comenzar siquiera en pensar el tema, así no abandonará.

... Un día ví un programa de televisión donde entrevistaron a un escritor que presentaba su libro en que describe a los diferentes tipos de “idiota”, este autor ocupa el término para definir a ciertos sujetos: los que creen que no necesitan nada, los que creen que lo quieren todo, los que no saben lo que quieren, los que saben lo que quieren pero dudan antes de lograrlo y los que saben lo que quieren y cuando lo logran no saben qué hacer. Es fácil saber en que clasificación estaba enfrascada yo, pero me sumo a Francis Bacon ante su enunciado donde comenta que “la prosperidad no existe sin temores ni disgustos”.

Resulta un tanto irónico que es hasta estos momentos cuando me doy cuenta del sentido de una de las frases del ingeniero Angel Pujalte cuando me habló sobre mi egreso y titulación, de esas frases que escuchas pero que no entiendes con exactitud. Recuerdo también que fue él de los primeros en llamarme con una palabra que me embargó de emoción y que sentí como cubetada de agua fría en esos momentos pues nunca pensé escucharla de alguien como él: “colega”.

Tengo la idea muy fija de que un libro es un documento donde el autor explica, a su manera, cierta información, con la finalidad de que quien lo lea pueda aprenderla; por lo que con este trabajo quise intentar demostrarme a mí misma que tengo la capacidad para buscar información, organizarla, desmenuzarla, entenderla, resumirla, analizarla, criticarla y hasta de plantear ideas sobre ella... pero sobre todo, de presentársela al lector de modo que la comprenda; pues al fin he llegado a asimilar que esa es la finalidad de los estudios de licenciatura en esta Universidad.

He de comentar que en el transcurso de la revisión de referencias, me dí cuenta de que la información disponible no satisfacía del todo mi curiosidad, por lo que en el caso de algunas clasificaciones y definiciones, hice mi mejor esfuerzo por hacer las propias, y son las que aparecen.

En este documento se encuentra, una serie de ideas e información que pretenden acercar al lector (y sobre todo a los colegas, estudiantes de ingeniería por supuesto), con este tema, pues

soy testigo de que cuando uno termina la carrera no tiene la más remota idea de cosas tan específicas como ésta; y para ser sinceros ini le importan!, sólo se acerca a ellas cuando le es requerido o, como en mi caso, le llaman tanto la atención que siente la necesidad de conocerlas.

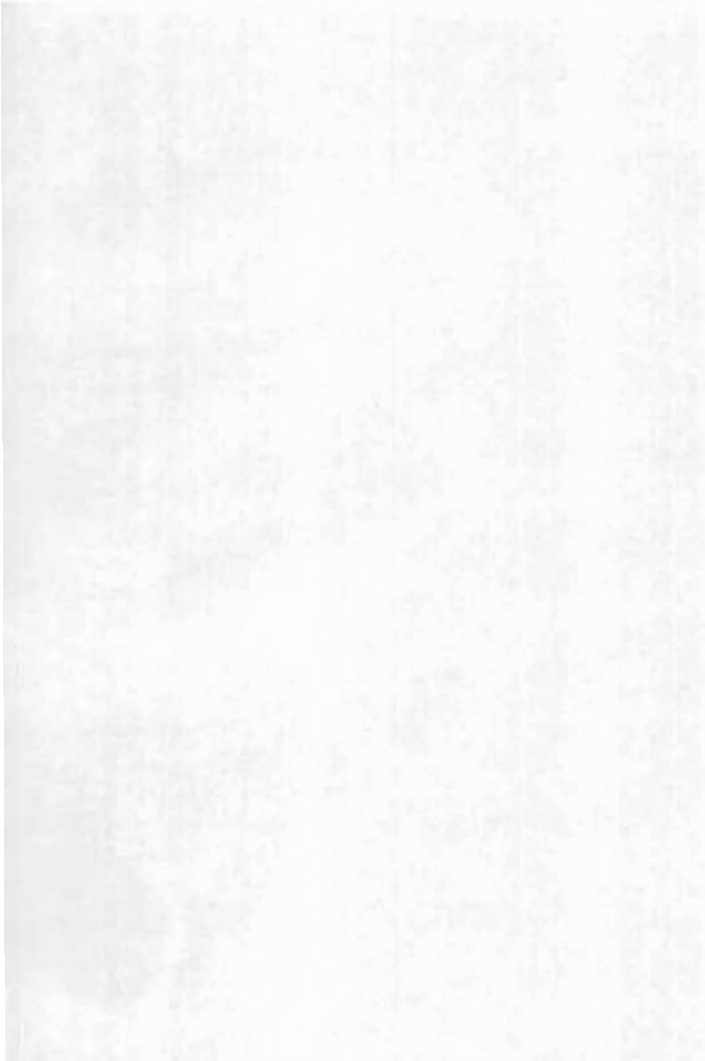
Considero que, a pesar del conocimiento que el autor tenga sobre el tema a que se refiere, la mayoría de veces, jamás piensa en sus lectores, creo que es bueno ahorrarle mucho tiempo al lector haciendo explícitas las ideas básicas y aquellas que no se encuentran escritas en ningún otro lado o son difíciles de encontrar en texto (iautores, ayuden a quien lee por favor!).

Lo anterior me impulsó a incluir en este trabajo, información sobre el uso del compilador FORTRAN, pues todos los libros que encontré y hablan de este lenguaje, se remiten a la época en que los ordenadores perforaban tarjetas... y cuando uno se aventura a ocupar un programa nuevo es difícil entenderlo si ya no se usa el método explicado en el libro. Por ahora me burlo pero estoy consciente de que quizá en un futuro no muy lejano ya tampoco sea útil esa información, pues este programa requiere de un simple procesador 386 para trabajar, cuando en la actualidad ya ni son fabricados debido al gr an avance en la tecnología.

Sea pues, con estas ideas y sin más preámbulo, de toda tu utilidad lo que a continuación se presenta.

Maru Espinosa  
Marzo, 2005  
Naucalpan, Edo. Méx.





*“...Espera, aún no vayas,  
no dejes tan presto  
a los peces libres,  
al mar con sosiego.  
Pero, si mejoras la suerte,  
midiendo el seno anchuroso  
del mar más inmenso,  
bien haces, acude  
a mayor empeño,  
y tu pesca sea todo el universo.”  
Sor Juana Inés de la Cruz*

# Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	
<b>3</b>	<b>Información básica</b>	
	¿Qué es un puente?, 5	
	Partes de un puente, 6	
	Clasificación de los puentes, 7	
<b>16</b>	<b>Capítulo 1</b>	
	<b>Antecedentes de los puentes atirantados</b>	
	1.1 Aspectos históricos, 18	
	1.2 Desarrollo de puentes atirantados durante un siglo, 32	
	1.3 Propiedades estructurales de los puentes atirantados, 45	
	Arreglo de claros, 46	
	Arreglo de tirantes, 46	
	Geometría de soportes, 49	
	Sistema de piso, 50	
	Consideraciones generales, 52	
	1.4 Puentes atirantados como solución al cruce de grandes claros, 54	
<b>60</b>	<b>Capítulo 2</b>	
	<b>Consideración del viento sobre puentes atirantados</b>	
	2.1 Origen y características generales del viento, 62	
		Atmósfera y su composición, 62
		Circulación atmosférica, 66
		Características generales del viento, 68
		Viento general, 70
		Viento regional, 71
		Viento local, 73
	2.2 Propiedades físicas del viento en la capa límite, 82	
	2.3 Acción estática del viento en puentes, 90	
	2.4 Efectos aerodinámicos y fenómenos de interacción dinámica, 94	
<b>102</b>	<b>Capítulo 3</b>	
	<b>Análisis matemático</b>	
	3.1 Ecuaciones que controlan el movimiento, 104	
	Amortiguamiento, 105	
	Galopeo, 108	
	Teoría aplicable, 109	
	3.2 Solución numérica de las ecuaciones, 112	
	Calibración, 114	
<b>118</b>	<b>Capítulo 4</b>	
	<b>Características del movimiento resultante</b>	
	4.1 Aplicación a problemas específicos, 120	
	4.2 Análisis paramétrico, 124	



**127 Comentarios finales**

**133 Anexos**

- A. Programa en lenguaje FORTRAN, 135
- B. ¿Cómo ocupar FORTRAN?, 139
- C. Archivos de entrada y salida, 142
- D. Resultados, 144
- E. Gráficas generadas, 176

**223 Referencias**

- Básicas, 225
- Complementarias, 228

**231 Glosario**

**237 Índice de apoyos gráficos**

**245 Notación**

*“En los momentos críticos de la vida,  
la imaginación es más importante que el conocimiento”*  
Albert Einstein

# Introducción

El ingeniero civil debe dar solución a los problemas que en cuestión de infraestructura surgen en la sociedad diariamente, procurando optimizar los recursos disponibles. En este marco, aquél que opta por el área de estructuras, debe preocuparse por definir mediante el cálculo, el comportamiento de los elementos que conforman las obras que resuelven tales problemas.

Una de las actividades cotidianas de los ingenieros civiles es adaptarse a las nuevas tecnologías y ocuparlas adecuadamente para obtener buenos resultados, es decir, aquellos que permiten conocer más detalladamente lo que sucede en la realidad.

Con el avance de la tecnología computacional, los ingenieros encuentran una herramienta poderosa para disminuir los tiempos de análisis y diseño de estructuras.

Históricamente, se procura crear modelos que faciliten la comprensión de problemas y simplifiquen el cálculo; y los avances se obtienen mediante "ensayo y error", por lo que aún no existe una forma exacta de conocer el comportamiento del viento, pues en la mayoría de los casos se trata de corrientes libres turbulentas.

En la realidad el hombre no puede ejercer ningún control sobre el viento, sin embargo, día con día se entienden mejor sus características y efectos que causan; por lo que se han propuesto diversos modelos para su estudio.

El presente trabajo tiene como objetivo, analizar el comportamiento de puentes atirantados bajo flujo de viento, con diferentes propiedades mecánicas y geométricas, con base a las ecuaciones de movimiento que definen la interacción dinámica.

Debido a la gran diversidad existente en cuanto a tipos de puentes se refiere, se consideró conveniente efectuar una clasificación y definir cada uno de ellos, con la finalidad de tener una base sólida de información que permitiera visualizar lo amplio del tema y ubicar los puentes atirantados en tal contexto.

Poca y dispersa es la información que puede encontrarse sobre este tipo de puentes, por lo que fue de interés y valor en contenido, el efectuar una revisión de los aspectos evolutivos que enmarcan el desarrollo de los puentes atirantados, así como sus características generales en el primer capítulo, para entender el porqué de su existencia.

Una vez que se conocen las generalidades y detalles respectivos de los elementos de estudio, es más sencillo entender y resolver los problemas en que se encuentran involucrados, por lo que en el segundo capítulo se describen las características

relativas al flujo de viento actuante en la superficie de los puentes y los fenómenos aerodinámicos correspondientes.

En el tercer capítulo se explica el planteamiento matemático y numérico que definen la interacción del flujo de viento con las estructuras y establecer la solución a las ecuaciones planteadas, pues a través de ellas se puede predecir el comportamiento del puente.

Tras efectuar el análisis dinámico de los tramos seccionales de puentes atirantados, en el cuarto capítulo se definieron trayectorias de sistemas estructurales a través de graficación y posición de fuerzas resultantes con base en los resultados numéricos de las ecuaciones de movimiento.

Se incluyen anexos con información generada y de interés complementario que apoyaron para los comentarios finales.

*“Proyecta lo difícil partiendo de donde aún es fácil,  
realiza lo grande partiendo de donde aún es pequeño,  
todo lo difícil comienza siempre fácil,  
todo lo grande comienza siempre pequeño.  
El árbol de ancho tronco está ya en el pequeño brote...  
Un gran edificio se basa en una capa de tierra...  
El viaje hacia lo eterno comienza ante tus pies.”*

Lao Tsé

# Información básica



Fig. 1-1 Puente Lexington, Virginia, Estados Unidos [Ref. B-8]



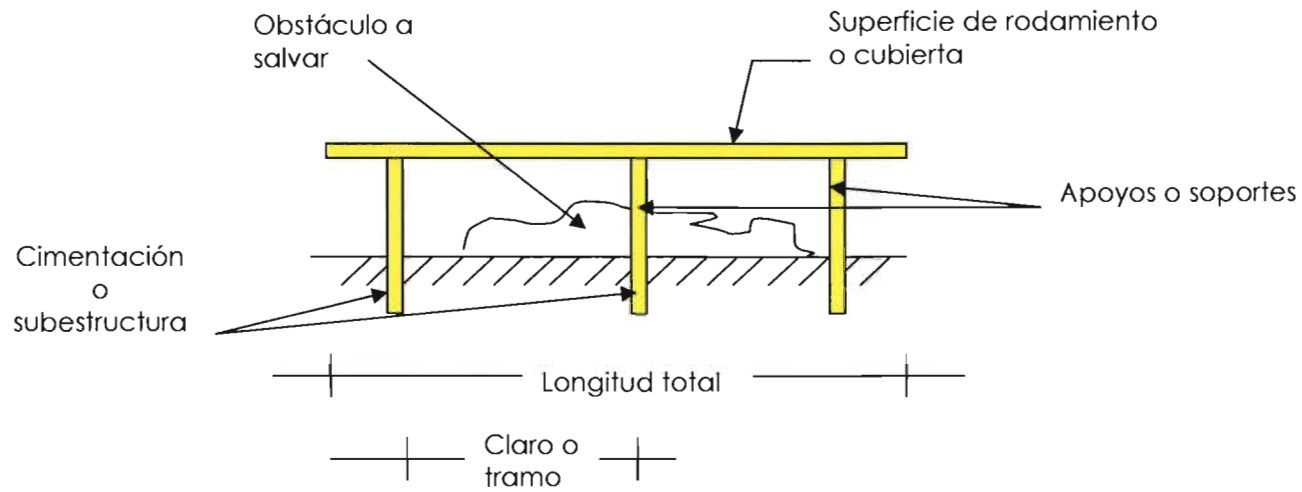
Fig. 1-2 Puente peatonal moderno (arquitectura orgánica) [Ref. B-15]

## ¿QUÉ ES UN PUENTE?

Es una estructura que se construye para unir físicamente dos puntos, y así recorrer la distancia existente entre ellos para trasladar algo por encima de un obstáculo interpuesto. Dicha estructura puede ser de cualquier material que resista la carga esperada, y el obstáculo puede ser natural o artificial.

## PARTES DE UN PUENTE<sup>1</sup>

La mayoría de los puentes cuentan con las indicadas a continuación:

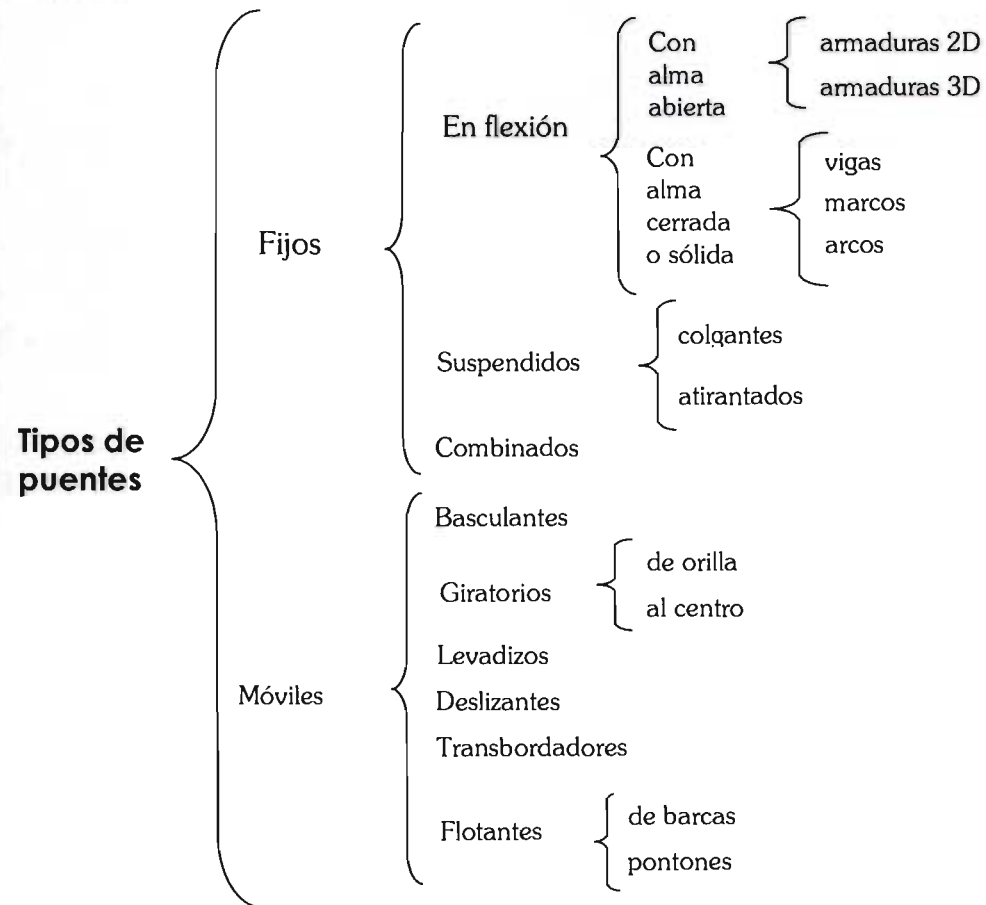


<sup>1</sup> Según su uso pueden llamárseles de diferentes formas:

Si transporta...	Son denominados:
Personas	Peatonales o pasarelas
Agua	Acueducto
Automóviles, ferrocarriles	Viaducto

## CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES

Existe una gran variedad de opiniones entre los autores de las fuentes de información, que además difieren en cada país, lo presentado a continuación es una recopilación entre textos estadounidenses, españoles y mexicanos; así como de su respectiva milicia. La clasificación dependerá de la naturaleza del obstáculo a salvar, de la longitud a transitar y de los materiales disponibles para su construcción.





# Puentes fijos

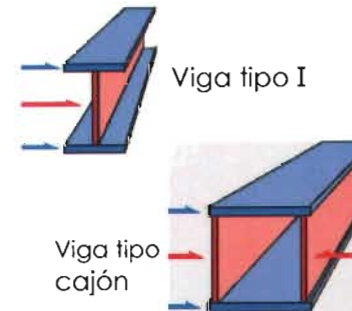
Son aquellos que permanecen en la misma posición y lugar toda su vida útil.

## EN FLEXIÓN

- **Con alma cerrada.** Los que no tienen ningún hueco a lo largo de su sección longitudinal.

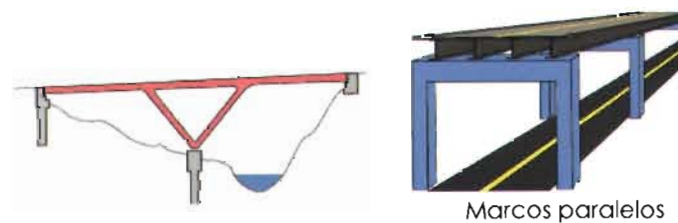
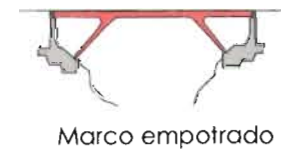
Tipos:

- Vigas. Pueden ser de sección "I" ó "cajón" y estructurarse como simplemente apoyadas, Gerber o en cantiliver.



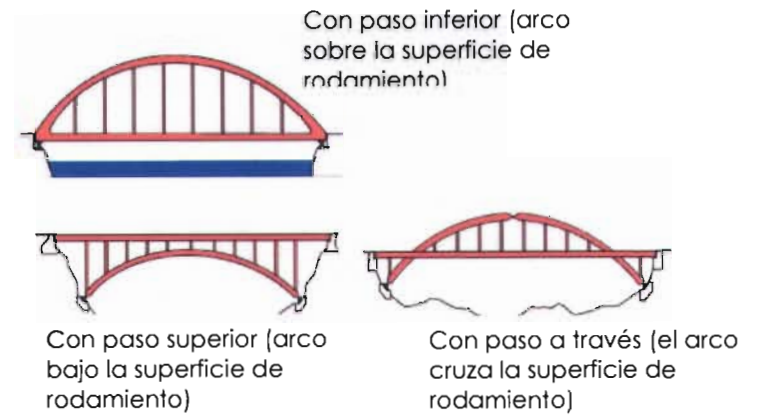
**Fig. 1-3** Tipos de vigas para puentes.

- Marcos. Se ocupa por lo general en los lugares donde se necesitan apoyos intermedios para sostener la superficie de rodamiento.



**Fig. 1-4** Ejemplos de marcos para puentes.

- c) Arcos. Son recomendables cuando hay fuerzas horizontales y verticales a lo largo de la superficie de rodamiento o en el terreno de apoyo porque sufren deflexiones muy pequeñas respecto al resto.



**Fig. 1-5** Armaduras y su posición en puentes.

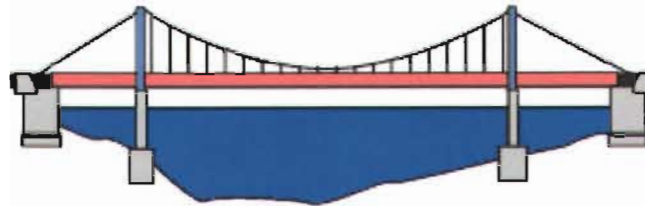
- **Con alma abierta.** Los que constan de elementos de sección relativamente pequeña que se unen en un punto y trabajan a compresión o tensión (armaduras).



**Fig. 1-6** Ejemplo de un puente a base de armaduras.

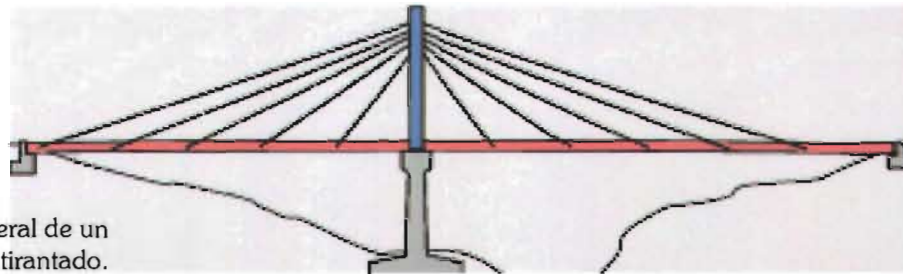
SUSPENDIDOS. Son aquellos que ocupan cables en tensión

- **Colgantes.** Tienen cables en dirección longitudinal y en ocasiones transversal, constan de “cadenas” estiradas entre 2 puntos fijos y la cubierta descansa sobre el cable o está suspendida bajo ella mediante suspensión vertical.



**Fig. 1-7** Forma general de un puente colgante.

- **Atirantados.** Constan de cables (o varillas) conectadas en puntos distribuidos a lo largo de la longitud del puente, que suspenden la cubierta.



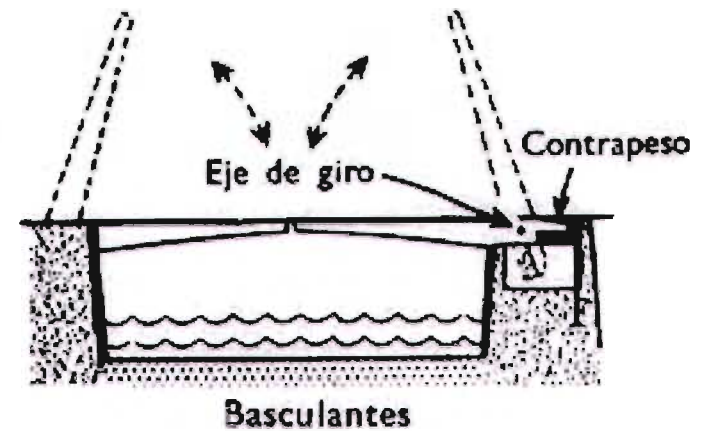
**Fig. 1-8** Forma general de un puente atirantado.

# Puentes móviles

Son aquellos que cambian su posición en el espacio durante su operación (vida útil).

## BASCULANTES

Aquellos que giran alrededor de un eje horizontal, comúnmente llamados levadizos; se ocupan donde la navegación requiere de poco espacio entre apoyos pero gran espacio vertical.

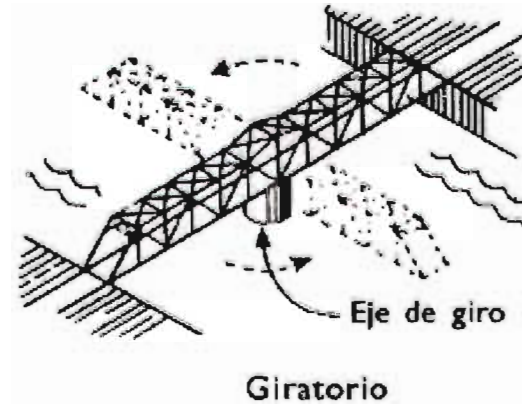


**Fig. 1-9** Diagrama de un puente basculante [Ref. B-18].

**Fig. 1-10** Puente basculante construido [Ref. B-18].

## GIRATORIOS

Son los que giran alrededor de un eje vertical, generando así una altura ilimitada para el paso de barcos generalmente, y los claros pueden ser o no simétricos. La desventaja más notoria de estos es que debe tenerse un espacio horizontal amplio para maniobrar, por lo que no son muy socorridos en la actualidad.



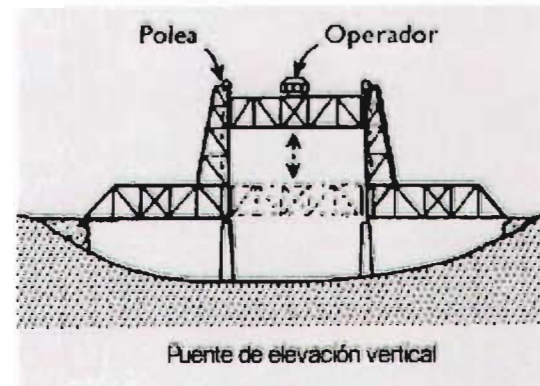
**Fig. 1-11** Diagrama de puente giratorio [Ref. B-18].



**Fig. 1-12** Sturgeon Bay, Swing Bridge [Ref. B-29].

## LEVADIZOS O ELEVABLES

Son los que se deslizan sobre un eje vertical con apoyo de cables que los sujetan y pasan por poleas que se encuentran en la parte límite, hacia donde se desplazará, auxiliándose con contrapesos para tal efecto.



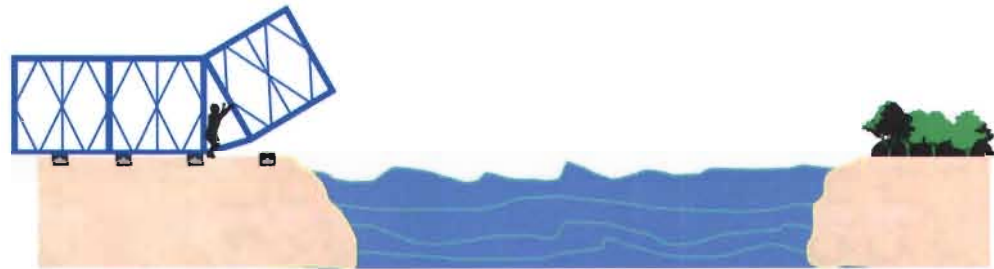
**Fig. 1-13** Diagrama de puente con elevación vertical [Ref. B-18].



**Fig. 1-14** Puente con elevación vertical [Ref. B-18].

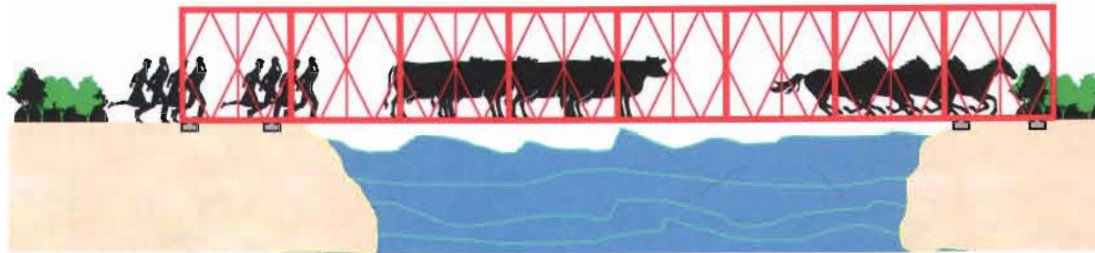
### DESLIZANTES

Son aquellos que se desplazan longitudinalmente sobre rodillos, avanzando o retrocediendo en voladizo libre desde uno de los apoyos hasta llegar al otro. Eran ocupados generalmente por los invasores militares o medievales, pero en la actualidad tienen utilidad en situaciones de desastre natural.



**Fig. 1-15** Colocación del puente portátil. Lanzamiento de la “nariz” del puente, cuyas características son la posición inclinada respecto a la horizontal, menor peso que el resto del puente y ser removida al término de la colocación [Ref. C-10].

**Fig. 1-16** *Puente portátil en uso.* Una vez que se ensamblan y empujan los módulos sobre rodillos para llegar al lado requerido, se aseguran en los apoyos y puede usarse [Ref. C-10].

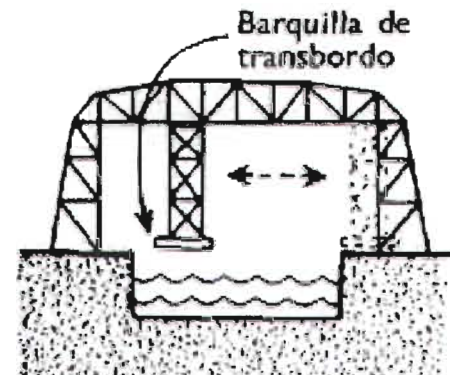


## TRANSBORDADORES

Son los consistentes en una viga fija situada a la altura requerida por el gálibo (altura libre que permite la estructura), de la que se cuelga una plataforma móvil, generalmente mediante cables, que transporta los objetos de una orilla a la opuesta. Se utilizan cuando el claro es muy grande y se requiere tránsito específico.



**Fig. 1-18** Ejemplo de un puente transbordador [Ref. B-18].



**Fig. 1-17** Diagrama de funcionamiento de un puente transbordador [Ref. B-18].

## FLOTANTES

Son aquellos que se apoyan sobre el mar, un río, laguna, etc.

- **De barcas.** Se coloca una superficie sobre barcos, la cual es más larga que el espacio entre ellos y no necesita ser sujeta.



**Fig. 1-19** Puente de barcas en África [Ref. B-18].

- **De pontones.** Los pontones se forman con cajones cerrados con formas paralelepípedas o cilíndricas, estos se fijan a macizos apoyados en el fondo del agua mediante cables, o también pueden amarrarse de los extremos hasta el punto fijo al que quiere llegarse, sobre esa preparación se coloca la superficie de rodamiento, que funciona como una balsa muy larga.

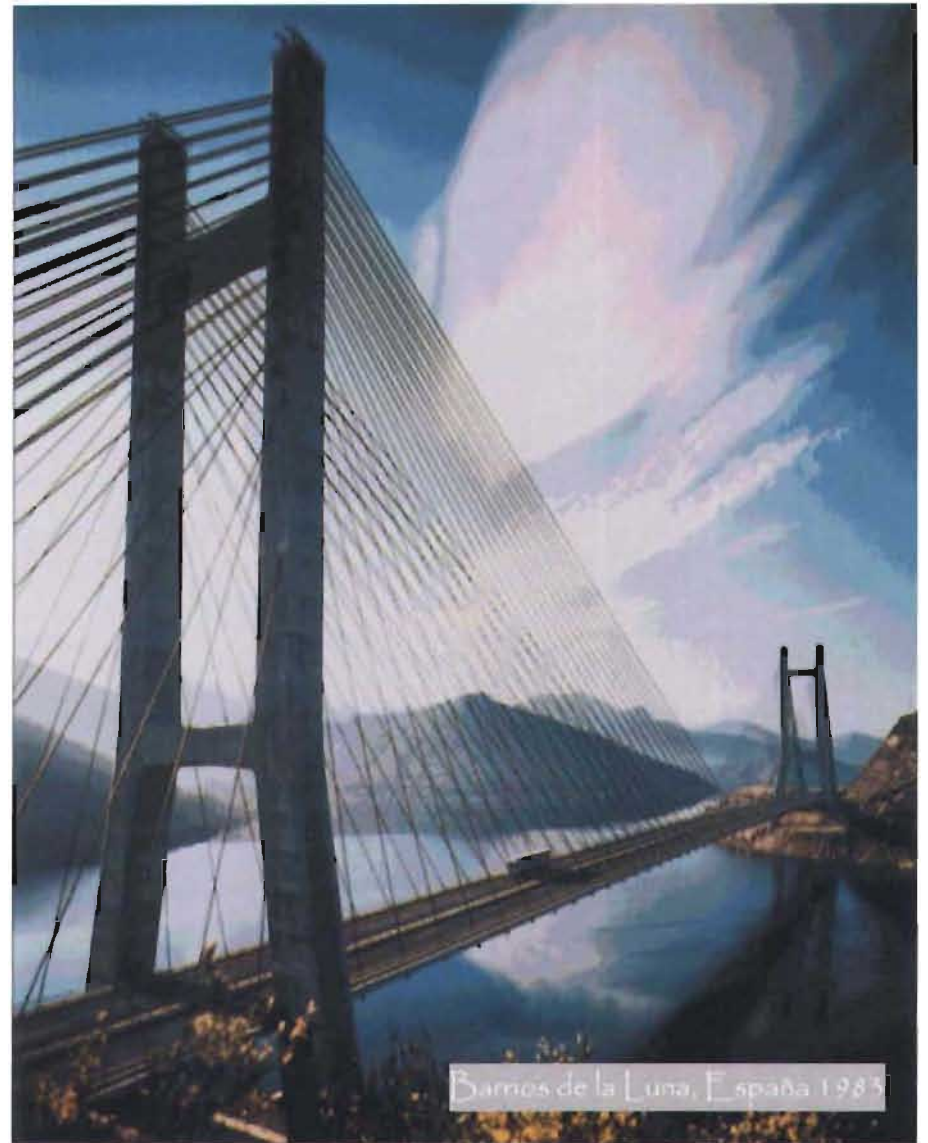


**Fig. 1-20** “Puente de pontones sobre Sano en Kozuke”, autor Katsushika Hokusai (1760-1849).



# Capítulo

# 1



*"...bridges represent an astonishing marriage of technology and art"*  
Judith Dupré

# Antecedentes de los puentes atirantados

# 1.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

Los primeros puentes fueron formados de modo natural, hechos de hielo, troncos o roca, tal es el caso del *Ardèche*, en forma de arco, ubicado en Francia, o el de roca en Lexington, Virginia, en E.U.

Se considera que fue el Hombre Neolítico<sup>2</sup> quien comenzó a imitar las estructuras naturales con diversos fines específicos, y que algún "genio primitivo" derribó un árbol para poder cruzar algún abismo, convirtiéndose así en el primer constructor de puentes en la historia de la civilización.

A través del tiempo, los materiales de construcción fueron manipulados por el hombre, pudiendo elaborar estructuras de los mismos materiales pero en los lugares donde ellos deseaban, y posteriormente

fueron perfeccionados al manufacturar ladrillos, hierro, acero, etc.<sup>3</sup>



**Fig. 1-21** Hombre primitivo [Ref. B-18].

Se sabe que, en general, los primeros puentes se construían colocando piedras una sobre otra, o troncos cubiertos con leños pequeños para lograr una superficie amplia. En los lugares fríos, donde la madera es escasa, se usaron superficies

---

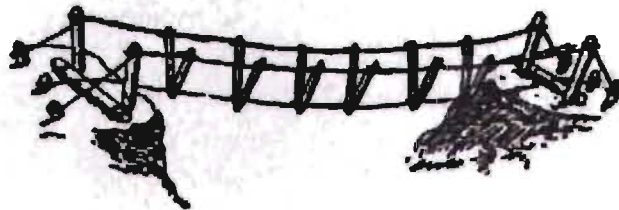
<sup>2</sup> En el Periodo Neolítico el hombre emprendió un dominio sobre la naturaleza en cooperación con ella, volviéndose sedentario y realizando actividades de cooperación social.

---

<sup>3</sup> En la Gráfica 1 se muestra la evolución de los materiales de construcción en los últimos 300 años.

completas labradas en piedra para conectar los apoyos de los puentes. Entre los puentes primitivos, uno de los más simples es el *Dartmoor*, en Devon, Gran Bretaña, que mide 5 metros de ancho y con apoyos de roca; asimismo, en Cornwall, se ocupaban troncos de árbol para la construcción de los puentes peatonales.

En lugares cálidos, se ocuparon enredaderas para formar cables primitivos, que eventualmente evolucionaron a puentes colgantes, que eran soportados por tres cables, dos de ellos a cada lado, actuando de pasamanos, y el tercero, sobre el que caminaban los pasantes. Se elaboraban trenzando lianas, bambú, y cualquier material semejante.



**Fig. 1-22** Puente colgante [Ref. B-18].

Este tipo de puentes se desarrollaron de modo independiente en regiones

apartadas entre sí, como China, India<sup>4</sup>, África y Sudamérica. Donde el comenzar a incluir en la construcción algunos troncos de árbol les proporcionó mayor ancho, y una mayor confianza a los pasantes no tan intrépidos que se alarmaban por el movimiento de la estructura ante su paso.

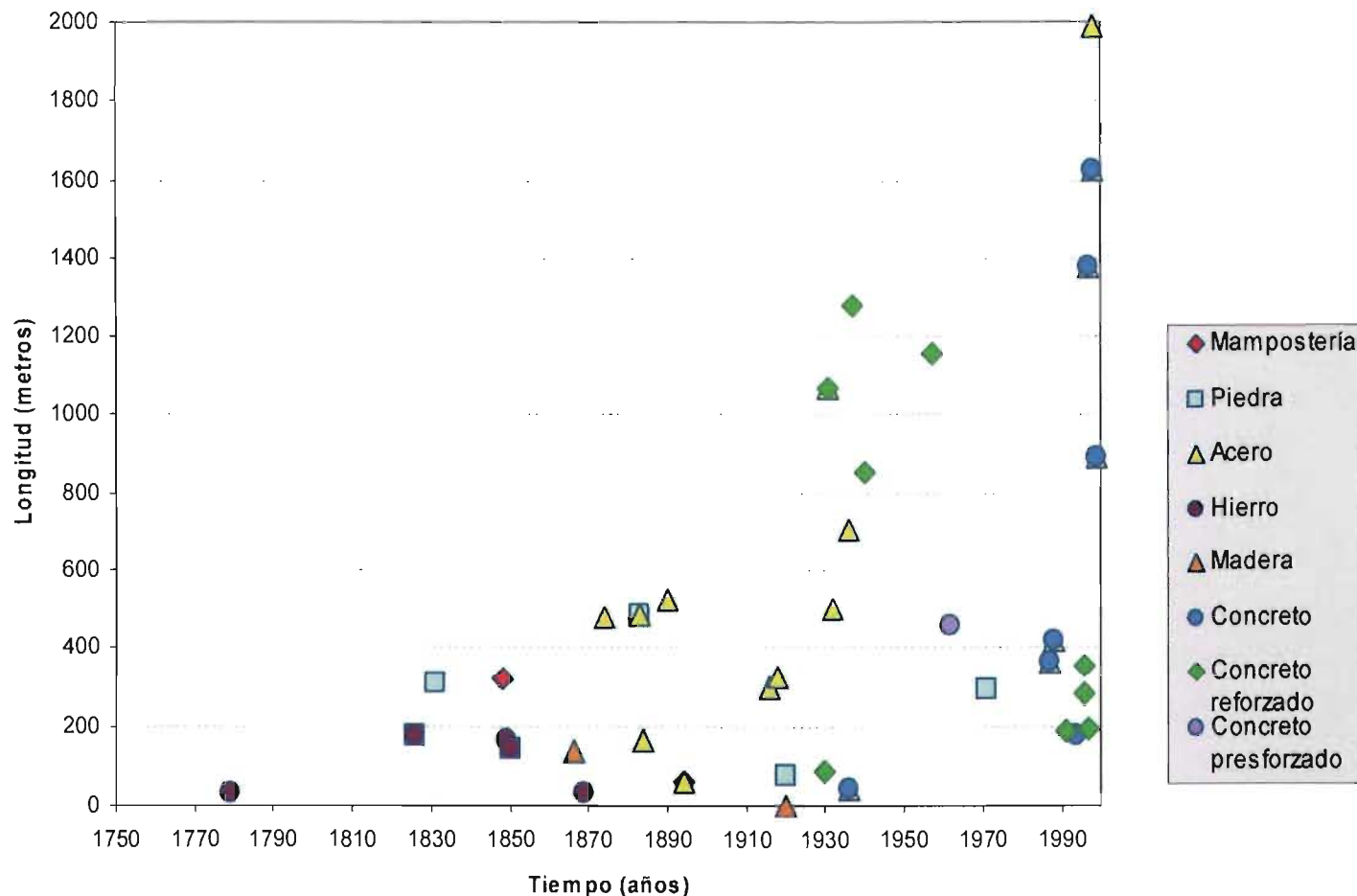


**Puente colgante**  
El antiguo puente de bejucos trenzados, sobre un abismo de montaña o un río, es el prototipo del puente colgante, cuyo piso se halla suspendido de preciosos cables colgantes.

**Fig. 1-23** Puente colgante [Ref. B-18].

<sup>4</sup> En India se diseñó el primer prototipo de puentes suspendidos modernos, al idear una superficie colgada de los cables en un nivel más bajo, además de inventar los puentes en cantiliver.

**Materiales usados en la construcción de puentes**



**Gráfica 1.** Evolución en el uso de materiales para construcción de puentes.

Según Herodoto, hace más de 4000 años, los constructores del puente que cruza el Eúfrates en Babilonia, esperaban la temporada de sequía para construir sus apoyos; y en esa época también se desarrolló el arco como forma estructural en Mesopotamia<sup>5</sup>.

Debido a la navegación realizada en esta región, los primeros puentes eran de pontones de tamaño considerable; Herodoto describió también la construcción de un puente de barcas por Xerxes, rey de Persia; por lo que se sabe que en los tiempos modernos los puentes de pontones tienen las mismas desventajas que los de aquél entonces: vida corta, mantenimiento costoso y en muchos de los casos, obstruyen la navegación.

La piedra, en sus principios, fue usada como elemento de construcción para puentes en Anatolia y *El Aegean* (Turquía, Asia Menor); sin embargo es importante el reconocer que las civilizaciones Mesopotámicas fueron quienes introdujeron uno de lo mayores inventos en este ámbito: el tabique; que usaron en puentes de arco cerca del año 600 a.C.

---

<sup>5</sup> Se piensa que el arco pudo originarse de la deformación de un **muro hecho** con ladrillos que quedó en esa forma y se autosoportó después.

China fue el origen de muchas de las formas de los puentes conocidos, dado que Marco Polo hizo construir cerca de 12,000 puentes de madera, piedra y metal en la antigua ciudad de *Kin-sai*. El primer puente suspendido conectado con cadenas, fue el *Panhogiao* o Puente Panho, construido por el General Panceng durante la Dinastía Han, en el año 206 a.C.<sup>6</sup>

Del mismo modo, el desarrollo de los puentes en cantiliver se llevó a cabo en toda Asia, donde estaban hechos con vigas de madera y un buen ejemplo de ellos son los que se situaron sobre el río *Jhelum* en *Srinagar, Kashmir*, en el que sobre las pilas de piedra se tendieron capas de troncos en un sentido y en otro desde cada extremo hasta unirse finalmente al centro del claro por troncos largos. Ejemplos similares se han encontrado en el Tibet y Escandinavia.

Fueron los chinos quienes, al construir un cantiliver de piedra de 335 metros de longitud total sobre el Río Dragón en *Poh Lam*, unieron los cantiliver con una viga de las mismas características que el resto.

---

<sup>6</sup> Sin embargo, el único puente chino que aún sobrevive a nuestra época y el arco segmentado más antiguo con alma abierta es el *Zhaozhou*, construido en el 605 d.C.

Por su parte, los romanos se convirtieron en grandes constructores de puentes en la antigüedad, al aplicar por primera vez la Ingeniería Civil en gran escala y archivar sus resultados. Se puede decir que la Ingeniería romana introdujo cuatro inventos significativos a la construcción que nadie había imaginado antes:

1. La mampostería de piedra
2. Los acueductos
3. El perfeccionamiento y aplicación de los arcos semicirculares
4. El concepto de obras públicas

La fama de los constructores de puentes romanos estuvo basada, por un lado, en la rapidez de sus procedimientos constructivos<sup>7</sup>, pues generalmente construían puentes de pontones de la misma forma que lo hiciera Xerxes con madera como el Trajan, ubicado sobre el Río Danubio; pero no conformes con los puentes de madera, estos constructores desarrollaron un modo de construir puentes permanentes con formas monumentales de

su cultura, como el *Ponte Sant' Angelo* sobre el Río Tíber.

Por el otro lado, los puentes con forma de arco, dieron también gran importancia a los romanos. Uno de los más representativos es el Alcántara, situado sobre el Tagus, construido por *Caius Julius Lacer* en granito con 30 m. de ancho y una longitud de 52 m.



**Fig. 1-24** Aelius, puente romano 135 A.C., Italia [Ref. B-13].

Después de la caída del Imperio Romano, la construcción de puentes en Europa declinó por cerca de ocho siglos<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Cabe mencionar que dadas las campañas militares del Imperio, eran los soldados y los prisioneros de guerra quienes debían tener construídos los puentes a tiempo para las invasiones, por lo que a pesar de ser provisionales debían ser supervisados por los ingenieros en tiempos mínimos.

<sup>8</sup> Ver Gráfica 2 (Construcción de puentes más largos respecto al tiempo).

El tipo de puente depende de la naturaleza del obstáculo, de la longitud del claro requerido, del tipo de tráfico y de los materiales de construcción disponibles. Y a pesar del desarrollo de los materiales romanos, los puentes que aún se encuentran en pie son los labrados en roca como el acueducto *Pont du Gard*, en 14 d.C. (cerca del *Nîmes*, Francia), o el Puente Alcántara (frontera España-Portugal) y el acueducto en Segovia en 98 d.C.; es notable que algunos de los primeros puentes de este tipo fueron Persas (Irán), que eran construidos en un lugar seleccionado donde las rocas de los ríos sirvieran para conformar los apoyos; resultando estructuras como el *Kārûn River* en *Shûshtar*, que se caracterizaron por contar con arcos ojivales.

En la Época Medieval, los puentes tuvieron otras funciones además de la transportación, es decir, sobre ellos se construyeron capillas, talleres, aduanas y se efectuaban también ferias y torneos. En el caso de las aduanas y lugares para recaudación de impuestos de Gales y Francia, se consideraba estos lugares como estratégicos, por coincidir con el tránsito naval y terrestre.

Uno de los puentes medievales más famosos en Europa es el *Pont d'Avignon*, que se encuentra sobre el Ródano y el Danubio en Francia, cuya construcción fuera iniciada por Benézet<sup>9</sup> en 1177 y terminado diez años más tarde; las particularidades del mismo son la altura de 6 m y los arcos elípticos con un espesor de 30 m cada uno<sup>10</sup>. Al mismo tiempo, un monje inglés propuso la construcción de un puente de mampostería para cruzar el Río *Thames*, por lo que el viejo Puente de Londres se comenzó en 1176 y se terminó en 1209, mismo que durante 600 años perduró como el centro de la vida londinense, hasta que fuera reemplazado en 1831.

Para el siglo XIII, la iglesia se convirtió en la única constructora de puentes, y debido a que viajar era muy peligroso, se formó una "Hermandad de constructores de puentes" en Italia y Francia para brindar ayuda a los viajeros. Como características de los puentes de esta época, los constructores situaron

---

<sup>9</sup> Joven pastor que interrumpió el sermón del obispo en la iglesia de Avignon y declaró que "Dios lo había enviado para construir un puente sobre el *Rhone*", posteriormente canonizado por su trabajo de construcción inspirado divinamente.

<sup>10</sup> Los cuatro arcos que subsisten en la actualidad datan de la reconstrucción del puente en el año 1350.



torres como apoyos, y colocaron pretilles, capillas, estatuas, talleres o viviendas sobre ellos.

En el periodo Renacentista, se adoptó la eficiencia técnica y artística como los ideales a lograr para el orden cívico; y en el periodo Neoclásico se destacó el uso de grandes claros y arcos múltiples en piedra, como los de Florencia, Venecia y París. En la actualidad, dichos puentes son los más famosos por contener inscripciones, pues más que resultar útiles es relevante que fueron diseñados con elegancia para formar parte de la perspectiva visual de la ciudad; es decir, eran puentes monumentales en ciudades capitales como Londres, San Petesburgo y Praga.



**Fig. 1-25** *Old Bridge of London* [Ref. B-24].

La seguridad y la filosofía del Renacimiento se reflejaron en el ofrecimiento que hiciera Leonardo Da Vinci en 1502 para construir un puente de mampostería con forma de arco con un claro de 240 m en Estambul, pero aunque el diseño general parecía ser muy práctico, el diseño de la cimbra resultó ser altamente complicado por tratarse de trabajo con madera.



**Fig. 1-26** Modelo del puente de Leonardo Da Vinci [Ref. B-15].

A mediados del siglo XVIII, la construcción de puentes de mampostería estaba en su apogeo y algunos ingenieros, como el francés Jean-Rodolphe Perronet, diseñaron y construyeron puentes con apoyos esbeltos y arcos esforzados a su máxima capacidad. El *Pont de la Concorde* representa la perfección lograda en la construcción de arcos de este material, pero algunos incrédulos lo forzaron a colocar un apoyo central, argumentando que era una distancia muy grande a salvar. Muy a pesar de ello, es un puente elegante, largo, con arcos elípticos y apoyos a la mitad del espesor tradicional de la época, en el que se ocupó maquinaria especial y sobre todo, se introdujo un nuevo tema arquitectónico. Este puente conserva su apariencia original

después de haber sido “ensanchado” en 1950.

Charles Labelye, un ingeniero constructor equivalente a Perronet en Suiza, aplicó en su primer puente el concepto de cajón hidráulico, que hizo posible que las pilas fueran construidas en la profundidad de los ríos. Para resolver el problema, el suizo usó cajas de madera construidas en la orilla, puestas a flote en la posición necesaria, y posteriormente hundidas al fondo del río por el peso de piezas de mampostería que se les colocaba encima.

Durante los siglos XVII y XVIII, la construcción de puentes llegó a ser una ciencia, pues los científicos de la época (incluido Galileo), investigaron la teoría estructural de vigas y marcos, y para finales de dicho periodo, los constructores de puentes requerían ya de especificaciones detalladas para realizar su trabajo.

Otro aspecto de interés se centra en el uso de armaduras, que en sus inicios se elaboraron con vigas de madera para soportar tejados, pero después se adoptaron para ser usadas en los puentes diseñados por Andrea Palladio, arquitecto italiano.

Posteriormente, en el siglo XVIII, los carpinteros suizos las usaron para construir la cubierta de puentes que tenían claros de 59 y 52 m sobre el río Rhin, a los que se colocaron además techumbres de paja para proteger los miembros estructurales del agua. Uno de los puentes más largos con una armadura por estructura, fue creado por Theodore Burr, quien basándose en un dibujo de Palladio elaboró uno en forma de arco; de este modo, introdujo un nuevo patrón de diseño.

No fue hasta después del siglo XVIII que se empleó el acero como un material para la construcción de estructuras, tal introducción promovió nuevas posibilidades de diseño y procesos constructivos, logrando disminuciones considerables de tiempo para ejecución.

Por otro lado, aunque las cadenas de acero fueron usadas en puentes suspendidos por siglos, se hace notorio su empleo en la construcción del primer puente construido en acero, que tenía un arco semicircular de 30 m de longitud, armado sobre el Severn en Coalbrookdale, Shopshire en 1779; la novedad fue tal, que acarreó tránsito terrestre por más de 170 años, este puente

fue la inspiración de múltiples diseños en forma de arco elaborados por el ingeniero escocés Thomas Telford, quien diseñó el más ambicioso proyecto en cuanto a dimensiones de la época: 180 m de longitud, que pretendía desplazar de dicho sitio al *Old Bridge of London*, pero nunca se construyó.

Cabe mencionar un hecho que detuvo durante largo tiempo el progreso de los puentes atirantados. Claud Louis Marie Henri Navier, quien creció fuera de su país natal (Francia) y realizó un viaje a Gran Bretaña entre 1821 y 1823 para estudiar detalladamente sobre la construcción de puentes en ese lugar; resultó ser un personaje influyente en el medio de la Ingeniería cuando escribió su "Memoria de Puentes Suspendidos"<sup>11</sup>, donde quedó plasmado el talento que Navier tenía para realizar observaciones precisas sobre el área y su análisis matemático para tales estructuras. Este documento se divide en tres partes: en la primera, Navier hizo referencia a los tipos de puentes diseñados por Telford, Rennie, Stevenson y otros de sus colegas, y describió a su criterio los colapsos de tales construcciones, además de explicar el por qué el puente *Menai Straights Bridge*

---

<sup>11</sup> *Memoir on Suspension Bridges* (1823), resulta importante por ser el primer libro realizado sobre el tema.

propuesto por Telford representaba para él la mejor forma; en la segunda parte, presentó un análisis matemático de los puentes suspendidos, donde concluyó que el radio óptimo entre la altura de la torre y el claro principal era  $1/(2\sqrt{2})$ ; y en la tercera y última parte del libro, presentó un diseño completo para un puente suspendido de 150 m de claro que sería construido en París a una altura de 10 m. Navier, en su tan prestigiado libro no admitió los puentes atirantados por tres razones: científicamente, porque los que habían sido construidos en Gran Bretaña se colapsaron; socialmente, porque consideraba que tal tipo de puentes no tenía ventajas económicas sobre los colgantes; y simbólicamente, rechazó la idea de los puentes atirantados porque provenía de un arquitecto (*Poyet*).

Debido a la adopción del acero, en 1840 se obtuvo la patente de armaduras de madera con tirantes de acero en Estados Unidos, y consecuentemente (en 1851), se logró el puente más largo en la historia elaborado con estructura a base de armaduras y conexiones de acero. Lo anterior apoyó por un lado, la idea de la primera viga en cantiliver en Alemania, misma que se elaboró físicamente dieciséis años después, consistente en alternar cantiliver con vigas

continuas; y, por otro lado, el hecho de construir puentes de acero en 1860 con forma de arco, con vigas y puentes suspendidos<sup>12</sup>.

Durante la década de 1870 a 1880, se incrementó la construcción de puentes en Estados Unidos (25 por año), y se consideró consecuencia del uso de un nuevo material: el acero. El primer puente hecho totalmente de este material se construyó en 1878 sobre el Río Missouri, por un ingeniero militar.

En la segunda mitad del siglo XIX, se mantuvieron los avances en la teoría del diseño y el conocimiento de la resistencia de materiales, realizada por científicos como Karl Culmam (Alemania), James Clerk Maxwell y W. Rankine (Gran Bretaña). Como resultado del trabajo realizado en tales áreas, cobró gran importancia el uso de las matemáticas y métodos gráficos de análisis estructural; estableciendo también la capacidad para dibujar diagramas de fuerzas y líneas de influencia, mediante los cuales se pudo mostrar el comportamiento del segmento de una viga o armadura; así como la resistencia de los materiales ante

---

<sup>12</sup> Es en esta misma época que se introduce a la construcción de puentes el uso del aire comprimido para el desplante de la cimentación bajo el agua.

varios tipos de fuerza, y para todas las posiciones de una carga en movimiento. Al parecer, es en esta época cuando se elabora un diseño formal.

En el diseño del puente suspendido de *Menai* (1820-1826), con 177 m de claro, construido al norte de Gales, Telford usó cadenas de acero para sostener el puente que tenía sólo 7 m de ancho y en ausencia de cualquier tipo de vigas rigidizantes, la estructura era altamente vulnerable al efecto del viento y la parte dañada tuvo que reconstruirse al menos dos veces antes de que fuera necesario reconstruir el puente completo. Pero tiempo después, en Europa y Estados Unidos se reconoce la aportación de Telford con su idea de los primeros puentes suspendidos, al lograr que el puente *Menai* tuviera una vida útil de 115 años.



**Fig. 1-27** *Menai Bridge*, Gran Bretaña [Ref. B-27].

Un factor importante para el desarrollo de los puentes suspendidos consistió en el uso de cables anchos en vez de cadenas, hecho que se le atribuye al ingeniero francés M. Chaley, quien no sólo construyó puentes en su tierra natal, sino también en Suiza, al lograr una longitud de 265 m en ellos; cada cable tejido con 2000 alambres de acero tenía una longitud de 390 m de lado a lado y se hizo pasar por lo alto de sus torres de mampostería; el ancho diseñado fue de 5 m y la altura de 50 m sobre el nivel del río Saône<sup>13</sup>.

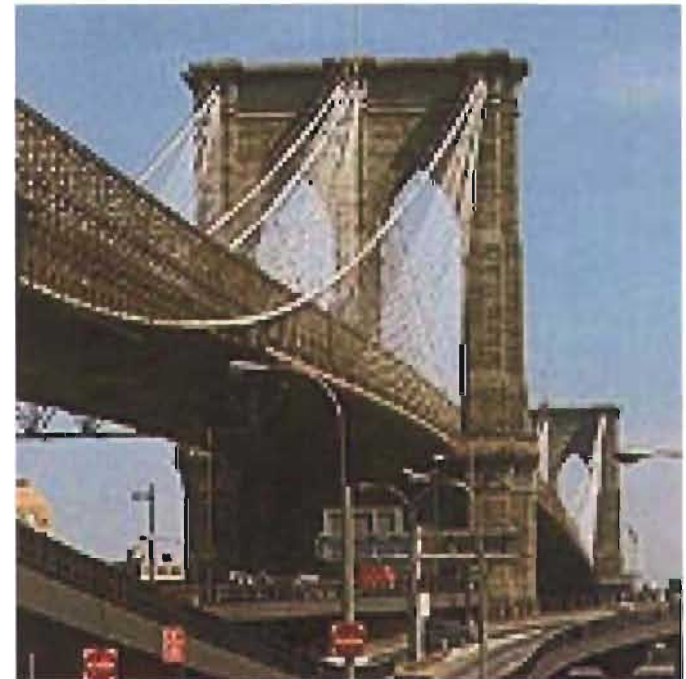
<sup>13</sup> A partir de este acontecimiento se inició la "competencia" por lograr la mayor longitud mundial y este puente en particular logró el récord durante algún tiempo.

A raíz del desarrollo de los puentes suspendidos se descubrió la debilidad de los mismos: tormentas y cargas repetidas constantemente. Por ejemplo, en 1831, el puente *Broughton* se colapsó por las oscilaciones provocadas por la marcha de una tropa que pasaba sobre él, y otros puentes fueron destruidos por el impacto de los rebaños de ovejas o trenes en Estados Unidos y Gran Bretaña.

El crédito por diseñar y construir el primer puente suspendido que fue lo suficientemente rígido para soportar la acción del viento y el impacto del tránsito férreo se le atribuye a John A. Roebling, un alemán que emigró a Estados Unidos en el siglo XIX. Roebling usó alambres paralelos para elaborar cables de acero tejidos, agrupados y enrollados<sup>14</sup>, logrando la patente de este procedimiento en 1841 para un cable de 25 cm de diámetro. En 1855, construyó dicho puente, lo que representó una estructura atrevida situada aguas abajo de las Cataratas del Niágara con claros soportados por cables en trayectoria parabólica, que se auxiliaron con tirantes inclinados durante la construcción. Catorce

<sup>14</sup> Roebling inventó los torones de acero y los usó como cables para puentes suspendidos.

años después se concluyó el puente y sobrevivió 42 años sin mantenimiento alguno. Fue Roebling, con la ayuda de su hijo, quien diseñó el puente de Brooklyn en 1883 (con una longitud de 486 m), y empleó para ello cuatro cables de 40 cm de diámetro cada uno.



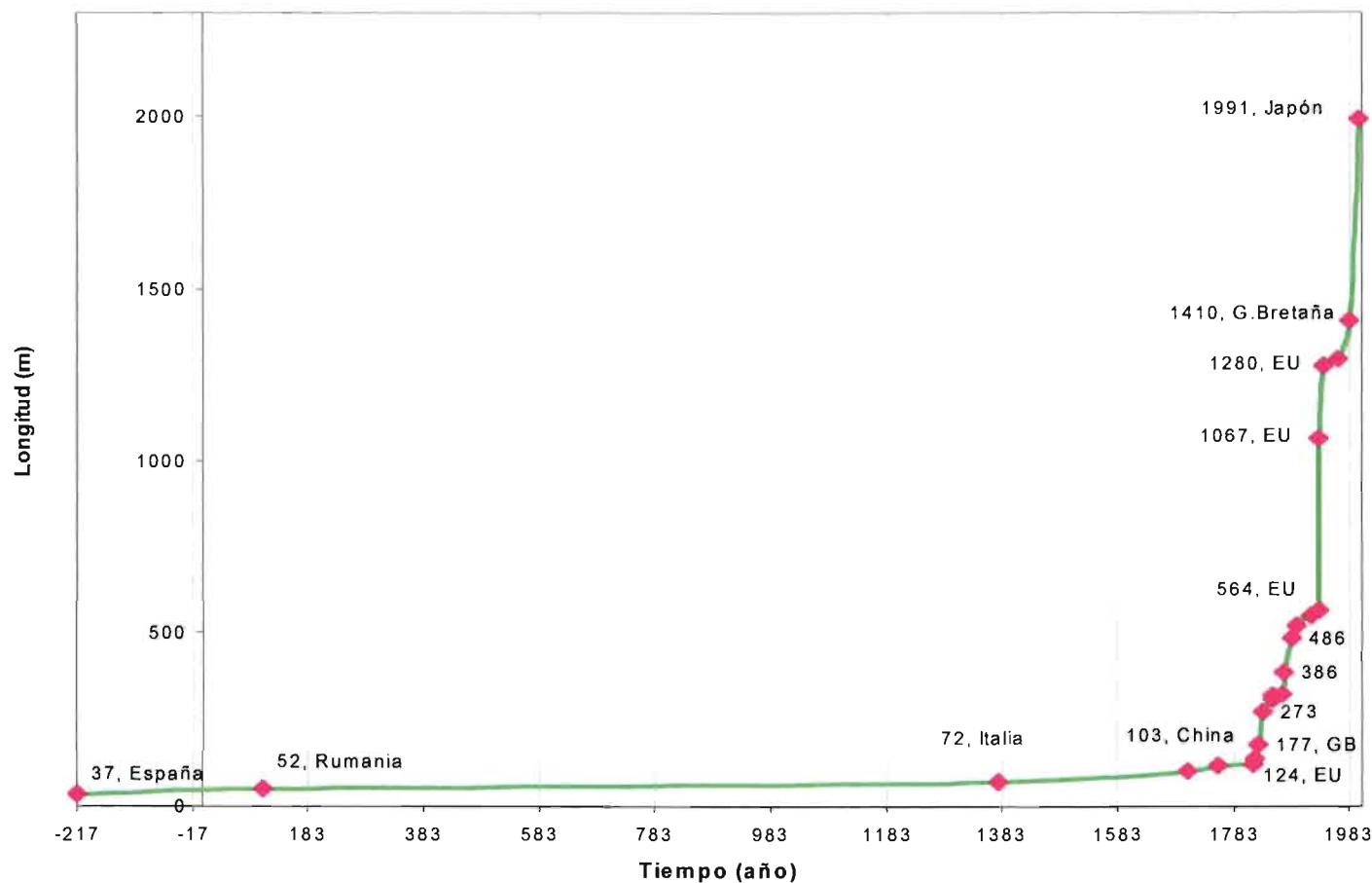
**Fig. 1-28** Brooklyn Bridge, Estados Unidos  
[Ref. B-32].

El método de tejido de cables fue tan simple y efectivo, que se ocupó como principio para idear otros más elaborados que se usan actualmente y que se manufacturan en su

mayor parte en Estados Unidos. Cabe mencionar también que, en la época de Roebling, las armaduras rígidas se

establecieron como una parte indispensable de los puentes suspendidos.

### Evolución de la longitud de los puentes



**Gráfica 2.** Construcción e incremento de longitud de puentes en el tiempo. Se toma en cuenta la longitud del mayor claro, y se observa que el número de puentes construidos incrementa a partir de 1700.

En 1867, se ideó el primer puente en cantiliver, compuesto por armaduras desde los apoyos y conectadas por un claro corto suspendido, con la característica de que no impedía el paso de la navegación durante su construcción; por lo que su creador Heinrich Gerber, lo ubicó sobre el río *Main* en Alemania.

Posteriormente, en 1882, Sir John Fowler y Benjamín Baker construyeron el puente en cantiliver más famoso del mundo, el "*Firth of Forth*" ubicado en Escocia que cuenta con dos claros principales de 527 metros cada uno. Este puente fue el primero diseñado por viento, y ocupó el récord mundial de mayor longitud por 27 años.



# 1.2

## DESARROLLO DE PUENTES ATIRANTADOS DURANTE UN SIGLO

Como se mencionó anteriormente, Roebling fue un pionero al introducir nuevos métodos de suspensión para puentes y cables encordados de modo paralelo, y para 1867 diseñó en New York su trabajo más reconocido mundialmente, el *Brooklyn Bridge*. Este puente fue un ejemplo de la construcción de puentes suspendidos durables, pues todos los que se realizaron en la misma época fueron derribados por el viento.

Es de gran importancia mencionar que las primeras soluciones no empíricas para puentes atirantados, que tomaron en cuenta la necesidad de rigidez y condiciones económicas, fueron propuestas por Gislard, un ingeniero francés, quien introdujo en 1899 un nuevo sistema que consistió básicamente en cables inclinados y horizontales; este sistema, presentó geoméricamente una armadura atirantada estable, donde los

cables inclinados no transferían las fuerzas horizontales del cable a la viga. El sistema de Gislard no resultó atractivo visualmente, pero sí muy útil para el tránsito de ferrocarriles y fue aplicado en Francia y sus primeras colonias; un ejemplo es el puente *Cassagne*, que fue construido en 1907 para el paso de un tren eléctrico<sup>15</sup>.



**Fig. 1-29** *Pont de Cassagne*, Pirineos Orientales, Francia [Ref. B-25].

<sup>15</sup> Con un peso de 192 toneladas y con un desplazamiento menor a 0.148 m

Los cables de alambres paralelos fueron usados por el afán estadounidense de lograr una mayor longitud construída de los puentes suspendidos; y aunque existen alambres con diámetro mayor y con un esfuerzo dependiente del incremento de peso, para puentes siempre se han usado los más delgados, porque al usar alambres de 5 mm pueden trenzarse y hacer un cable de mayor diámetro. Simultáneo a este uso, se construyó también el primer puente suspendido que contaba con torres de acero: el *Williamsburg*, del que se archivaron datos específicos que sirvieran en la decisión de usar vigas en vez de armaduras por su rigidez y en otros casos para mejorar las armaduras propuestas.

Para el logro del objetivo fijado, comenzaron a realizarse los diseños con mayor detenimiento y cuando en Canadá fueron adoptados los cables trenzados en el puente *Philadelphia-Camden* (en Delaware, 1926), el *Orleans* (en Québec, 1935), y el *Lions Gate* (en Vancouver, 1939), se colocaron por primera vez torres, construídas para incrementar el esfuerzo permisible en los cables. De modo semejante, se introdujeron alambres templados en el

puente de *Mount Hope* que contaba con una longitud de 564 m sobre el río Detroit en 1929, pero durante la colocación se detectó que algunos alambres en la zona de anclaje estaban rotos; y tiempo después, una investigación mostró que los alambres templados y los texturizados no toman carga cuando están trenzados, fue por ello que a partir de tal estudio se entiende que los alambres trabajados en frío funcionan mejor.

El siguiente avance en esta materia mostró ciertas peculiaridades del puente George Washington, localizado sobre el río Hudson (1927-1931) y diseñado por el ingeniero Othmar H. Ammann. Al iniciar la construcción, tenía una longitud original de 1067 m. en su claro central, dos superficies de rodamiento una sobre la otra, se ocuparon cuatro cables de casi un metro de diámetro cada uno<sup>16</sup>; y, aunque originalmente contaba con armaduras rígidas (pues sólo existía la carretera original), se anexó la construcción de la cubierta inferior con armaduras de ese tipo y se terminó en 1962. Es interesante observar que como

---

<sup>16</sup> Cada cable contiene 61 torones con 434 alambres paralelos galvanizados de 0.49 mm. cada uno; cada cable soporta 350 000 toneladas.

consecuencia de haber ocupado 170 km de cable en este puente, se requirió de un alto grado de mecanización para la colocación; por lo que el procedimiento fue archivado en su totalidad para ser consultado posteriormente.



**Fig. 1-30**

*George Washington Bridge, Estados Unidos [Ref. B-25].*

En 1933, San Francisco era el lugar que contaba con los puentes más largos, el de la Bahía de Oakland y el Golden Gate,

con 1280 m este último; seguido por el *Mackinac*<sup>17</sup>, de 1158 m de longitud, localizado en Michigan, éste último fue hasta 1970 el tercero más largo del mundo. Después de los ya citados, eran el *Forth Road* y el *Severn*<sup>18</sup>, los más largos fuera de Estados Unidos, ambos superaban los 914 m y eran más ligeros, con diámetros de cable menores y más económicos que cualquier otro de talla semejante.

Hacia el año 1928 en Estados Unidos, se inauguraron los reconocimientos anuales para puentes artísticos; y al observar tal exhibición, Karl Schaechterle y Fritsz Leonhardt (ambos ingenieros) publicaron un libro llamado "La forma de los puentes"<sup>19</sup>, en el que se mostraban fotografías y diagramas donde se identificaban (según ellos) las formas apropiadas y detalles que debía contener un puente para hacerse merecedor al reconocimiento.

<sup>17</sup> Iniciado en 1954 y tardando sólo tres años en su construcción para estar finalmente en uso.

<sup>18</sup> Construidos en 1958 y 1961 respectivamente en Gran Bretaña.

<sup>19</sup> *Die Gestaltung der Brucken*, publicado en Alemania, 1937.

Adicionalmente, en el mismo año se publicó también un libro dedicado a los 30 años de carrera del arquitecto Paul Bonatz quien trabajó en colaboración con ingenieros en el diseño de puentes; lo que inspiró a su colega Friedrerich Tamms a manejar la misma idea de colaboración entre ingenieros y arquitectos para obtener una solución estructuralmente estética, pero fue gravemente criticado por el ingeniero suizo Robert Maillart, quien opinaba que para lograr la unidad del modelo se requiere de la imaginación de un solo diseñador no de dos, lo que produjo gran controversia. Este dato resulta relevante porque se especula que la introducción de los puentes atirantados en la ingeniería moderna fue altamente influenciada por la estética estructural manifestada en aquella época.

En 1938, Dishinger introdujo cables para que funcionaran estructuralmente como tirantes dentro del diseño de un puente suspendido destinado a tráfico ferroviario con 752 m de claro sobre el río *Elbe*, en Alemania; y sus investigaciones sobre las cargas a que estarían sujetos tales cables, establecieron el

factor de rigidez y de estabilidad aerodinámica, mismos que pueden ser obtenidos al combinar la suspensión principal con cables presforzados.

En 1940 fue inaugurado un puente muy largo, pero que falló ante viento estable y relativamente bajo: el *Tacoma*. Ante un viento de 68 km/h, los 853 m de claro y un costo de 6.4 millones de dólares se colapsó después de cuatro meses de operación, y aunque este puente no era atirantado, se convirtió en un evento sobresaliente al demostrar que no se sabía determinar el comportamiento aerodinámico de puentes suspendidos ante la acción del viento; pues a pesar de haberse considerado el peso propio y el del tránsito que soportaría, se pasaron por alto los efectos dinámicos del viento.



**Fig. 1-31** Puente *Tacoma Narrows*, Estados Unidos, [Ref. B-16].

Después de la Segunda Guerra Mundial, Alemania terminó con 15 000 puentes destruidos<sup>20</sup>, de ahí que la reconstrucción de dichas estructuras permitiera que se aplicaran nuevos conceptos de diseño y construcción, además de que la escasez y costo del acero dio énfasis al diseño con peso mínimo, es decir, condujo a la optimización de recursos.

Los propietarios de las compañías que comerciaban con hierro y acero del *Rhin* y del *Ruhr* se encontraron en una situación particularmente débil en el periodo de la inmediata post-guerra a causa de su estrecha colaboración con los nazis; pero en un intento de restablecer su credibilidad ante la población y para frenar los proyectos de expropiación que los aliados pretendían poner en marcha, las empresas buscaron la colaboración de los trabajadores para que participaran en las decisiones industriales. Con lo anterior, también los intelectuales pudieron regresar a sus ocupaciones sin temores, lo que propició que la industria de fabricación de materiales resurgiera en relativamente

poco tiempo, logrando construir más de 320 kilómetros de puentes carreteros y férreos en Alemania entre 1945 y 1956, todos ellos con una longitud mucho mayor a la que se había ocupado el siglo anterior.

Debido a que el movimiento de todos los tipos de transporte dependían de la reconstrucción, se realizaron mejores trabajos como los puentes sobre el Rhin o los viaductos. Muchas de las estructuras que fueron construidas durante el régimen de Hitler, algunas otras durante la guerra, con fines armamentistas, por lo que es razonable el asumir que el mínimo monto de acero se empleó, realizando así un diseño avanzado respecto de los parámetros conocidos. Algunos de estos diseños que fueron universalmente aclamados, ahora se observan pesados o muy torpemente realizados, cuando son comparados con las estructuras nuevas.

Algunos datos que comprueban la optimización de acero efectuada por los alemanes se muestran en la Tabla 1, donde al efectuar un rápido análisis, se observa una diferencia del 57% en las cantidades de material usado.

---

<sup>20</sup> Ver Gráfica 3 (Puentes férreos alemanes dañados o destruidos; *Railway bridges damaged or destroyed 1945*), [Ref. 21].

Se sabe que después de la Guerra, hubo cierta tendencia a diseñar un número de miembros que actuaran como un solo elemento, y así se han diseñado desde entonces, pero también se retomaron las ventajas de la tecnología aplicada al concreto.

**Tabla 1**  
Comparación entre tonelajes de material según el año.

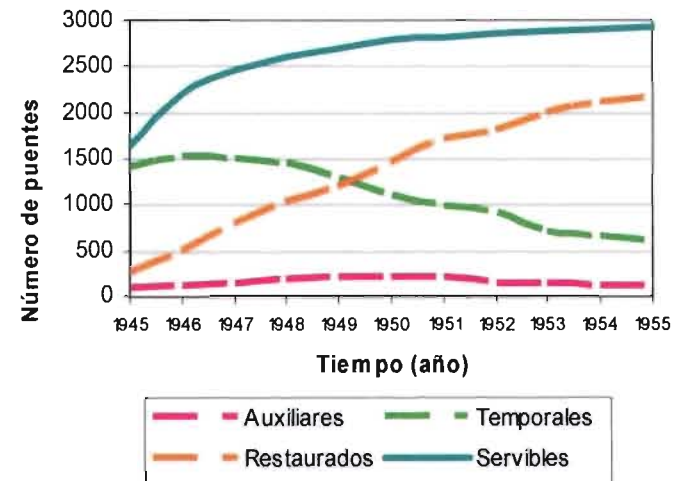
Elemento	Puente en 1929	Puente en 1951
Pilones, cubiertas, vigas	10,415	4,454
Cables de suspensión	1,582	942
Otro tipo de acero	893	414
<b>Total</b>	<b>12,890</b>	<b>5,810</b>

Como resultado de tales aspectos, se desarrollaron las placas ortotrópicas<sup>21</sup>, que proporcionaron acoplamiento con diseños de tirantes para producir puentes que fueran hasta 40% más ligeros que los anteriores. Además, derivado de las investigaciones en laboratorios y en ejemplos actuales prácticos en Alemania,

<sup>21</sup> Ortotrópico = Ortogonal y anisotrópico, es decir, que no tiene las mismas propiedades en sentidos ortogonales.

Suiza y otros lugares, la Comisión Alemana para las Estructuras de Acero elaboró el

### Puentes férreos alemanes dañados o destruidos



**Gráfica 3.** Aproximación de puentes dañados o destruidos por la guerra en Alemania [Traducc. de Ref. B-21].

“Reglamento Provisional para el Diseño de Vigas para Puentes de Construcción Mixta”<sup>22</sup> en 1950. Cabe mencionar que después de esta fecha, muchos puentes atirantados fueron propuestos para la reconstrucción de los que cruzaban el río

<sup>22</sup> *Provisional Regulations for the Design of Girders in Composite Construction.*

*Rhin* en Alemania, por ser más económicos que los suspendidos; y que en 1954, este reglamento fue reemplazado por la Norma DIN 1078<sup>23</sup>.

Para el año 1955 el Puente Strömsund fue la primera estructura con un gran claro sujetado con tirantes en Alemania, pero

en 1958, el lugar lo ocupó el *North Bridge*, ubicado en Düsseldorf para el que se realizaron consultas con el Ing. Schaechterle y con el Arq. Tamms; se llegó a las siguientes conclusiones:

una armadura no resultaba atractiva visualmente, ni económica por el claro tan largo; cuando el claro es corto, un puente colgante no resulta ser económico; por lo tanto, un puente atirantado satisfacía los requisitos de

economía, estética, construcción y funcionamiento.

Dadas las condiciones por las que se eligió este diseño, resulta ser el primer ejemplo de un nuevo tipo de diseño que haya sido construido; con él se obtuvo como resultado una tradición estética en



**Fig. 1-32** *North Bridge*, Dusseldorf, Alemania [Ref. B-25].

tal país, que ha madurado entre las dos guerras mundiales que ha vivido y que remarcó la búsqueda por una nueva estética después de 1945, pues de los 12 puentes que se terminaron de construir para el año 1966, siete se realizaron en Alemania, y uno en cada uno de los siguientes países: Suecia (con un diseño

<sup>23</sup> Publicada por el Instituto Alemán de Estándares, se refiere al cálculo y construcción de puentes para autopistas mediante vigas compuestas.

alemán), Venezuela, Unión Soviética, Gran Bretaña y Japón.

El desarrollo de los puentes atirantados fue marcado en 1967 por H. Homberg, quien diseñó el puente Friedrich Ebert en Bonn, con una suspensión axial que consiste en múltiples tirantes. Este diseño se facilitó con el uso de métodos para ordenadores digitales y que después se aplicó para estructuras de concreto.

Para la época en que el puente *Duisburg*<sup>24</sup> se culminó (1970), hubo también 15 diseños de puentes atirantados construidos de los que sólo 4 eran alemanes, es decir, se difundió y adoptó rápidamente la idea de estos diseños, pero curiosamente no en los Estados Unidos.

Cabe mencionar que se construyeron más de 40 puentes en el mundo antes de que se realizara el primero en Estados Unidos, nombrado *Sitka Harbor Bridge* y ubicado en Alaska, fue diseñado por Leonhardt, por lo que en Alemania se realizaron estudios sobre la optimización de formas y acomodo de cables,

---

<sup>24</sup> Fue el puente atirantado más largo en el mundo, y manteniéndose así por 5 años.

logrando en 1972 el primer puente totalmente construido con vigas de concreto, llamado *Mainbrücke*, ubicado cerca de Frankfurt, para posteriormente realizar estructuras con un incremento en claros y mejores efectos arquitectónicos, como el *Brotonne*, construido en 1977 y el puente *Pasco-Kennewick* en 1978.

Entre 1983 y 1987, los diseñadores de puentes atirantados en Estados Unidos se enfocaron en el tipo de soportes principales (variando sus formas), en los materiales de las cubiertas y el arreglo de los cables, con el fin de lograr que las estructuras pesaran menos; pero preocupados también por su estética.

De esta forma, en 1988 comenzó la construcción del puente con claro más largo del mundo: el *Akashi Kaikyo* en Japón, que cuenta con una longitud total de 3910 m y un claro central de 1990 m, mismo que hasta la fecha el puente suspendido más largo, con una torre casi el mismo tamaño que la Torre Eiffel<sup>25</sup> y un costo de 7.6 billones de dólares, se ubica en la Ruta *Kobe-Naruto*, uniendo las islas *Honshu* y *Awaji*.

---

<sup>25</sup> Sólo 37 metros más pequeña.





**Fig. 1-33** Akashi Kaikyo, Japón [Ref. B-25].

Para el mismo año, se construyó el *Sunshine Skyway*, en Tampa, Florida, que es uno de los primeros puentes atirantados que manejó la idea de sostener el claro de la carretera con los cables unidos desde la parte central de ésta hacia las torres colocadas en los extremos para no obstruir la vista de la

bahía, por lo que ganó el Premio Presidencial de Diseño de la Fundación para las Artes<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> A este hecho se sumó el hecho de estar pintado de color amarillo, pues contrasta con los colores marinos del lugar, logrando una vista agradable.



**Fig. 1-34** *Sunshine Skyway Bridge*, Estados Unidos [Ref. B-14].

Cabe mencionar que en nuestro país también se construyen puentes atirantados, que con el tiempo se han convertido en importantes hitos nacionales, como son el *Ingeniero Antonio Dovalí Jaime*, ubicado en Coatzacoalcos, Veracruz, inaugurado en 1962; y el *Tampico*, ubicado en Tamaulipas construido en 1988. De ambos puentes se destaca su realización 100% por ingenieros mexicanos; y que el *Tampico* último permite el paso simultáneo de embarcaciones y

vehículos<sup>27</sup> a la vez de resistir vientos que alcanzan velocidades hasta de 250 km/h.



**Fig. 1-35** *Puente Tampico*, Tamaulipas, México [Ref. B-41].

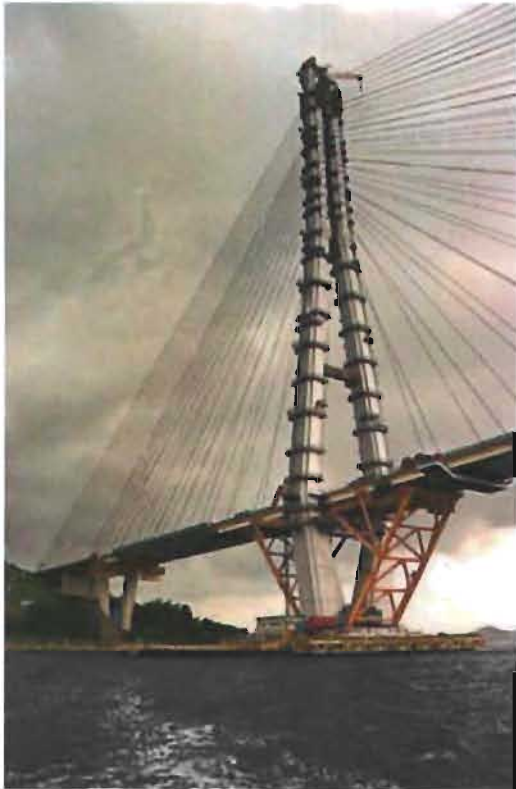
Debe reconocerse también el *Tatara*, construido en Japón, mismo que en 1999 tomó el primer lugar de longitud entre los puentes atirantados<sup>28</sup>. Este puente se ubica en la Vía Rápida *Nisheto*<sup>29</sup> y, aunque originalmente se había concebido como un puente suspendido,

<sup>27</sup> Su construcción fue el resultado de un análisis económico para la zona pues se trata de una de los puertos más importantes del país a pesar de que desde 1968 ya se visualizaba la necesidad de su existencia.

<sup>28</sup> Ver Gráfica 4. Puentes atirantados más largos del mundo.

<sup>29</sup> Las islas *Honshu* y *Shikoku* cuentan 4 vías rápidas, la *Nisheto* con una serie de nueve puentes y el *Tatara* se encuentra entre las provincias Hiroshima y Ehime, ubicadas en cada una de esas islas respectivamente.

se decidió posteriormente diseñarlo como atirantado debido a que resulta menos costoso y menos agresivo para la ecología del parque nacional Seto Naikai.



**Fig. 1-36** Tatarabashi Bridge, Japón.  
El puente atirantado más largo del mundo [Ref. B-25].

**Tabla 2**  
Puentes atirantados en el mundo

Puente	Año	Claro	País
Übersicht	1955	183	Suecia
North Bridge	1958	260	Alemania
Duisburg	1970	350	Alemania
Saint-Nazaire	1975	404	Francia
Carlos Fernández Casado	1983	440	España
Annacis (Alex-Fraser)	1986	465	Canadá
Yokohama Bay	1989	460	Japón
Skarnsundet	1991	530	Noruega
Ikuchi	1991	490	Japón
Higashi-Kobe	1992	485	Japón
Yang-p'u	1993	602	China
Tsurumi	1994	510	Japón
Tsubasa			
Pont de Normandie	1995	856	Francia
Xupu	1997	590	China
Meiko Chuo Central	1998	590	Japón
Ting Kau	1998	475	China
Tatara	1999	890	Japón

Posteriormente a tal alcance, se siguen desarrollando puentes atirantados en el mundo y los más largos son los que se mencionan a continuación:

**Tabla 3**  
Puentes atirantados desarrollados  
en los últimos 5 años en el mundo

<b>Puente</b>	<b>Año</b>	<b>Claro</b>	<b>País</b>
Queshi	1999	518	China
Öresund	2000	490	Dinamarca/ Suecia
Seo-Hae	2000	470	Corea del Sur
Second	2001	628	China
Nanking			
Qingzhou	2001	605	China
Minjiang			
Third Wuhan	2002	618	China
Jingsha	2002	500	China
Rion-Antirion	2004 <sup>30</sup>	560	Grecia



**Fig. 1-37** Öresund, Dinamarca-Suecia [Ref. B-25].

Es importante mencionar también que, muy independientemente de que existan puentes atirantados con grandes claros, también pueden ser usados para circunstancias más comunes, como peatonales o para salvar claros relativamente cortos.

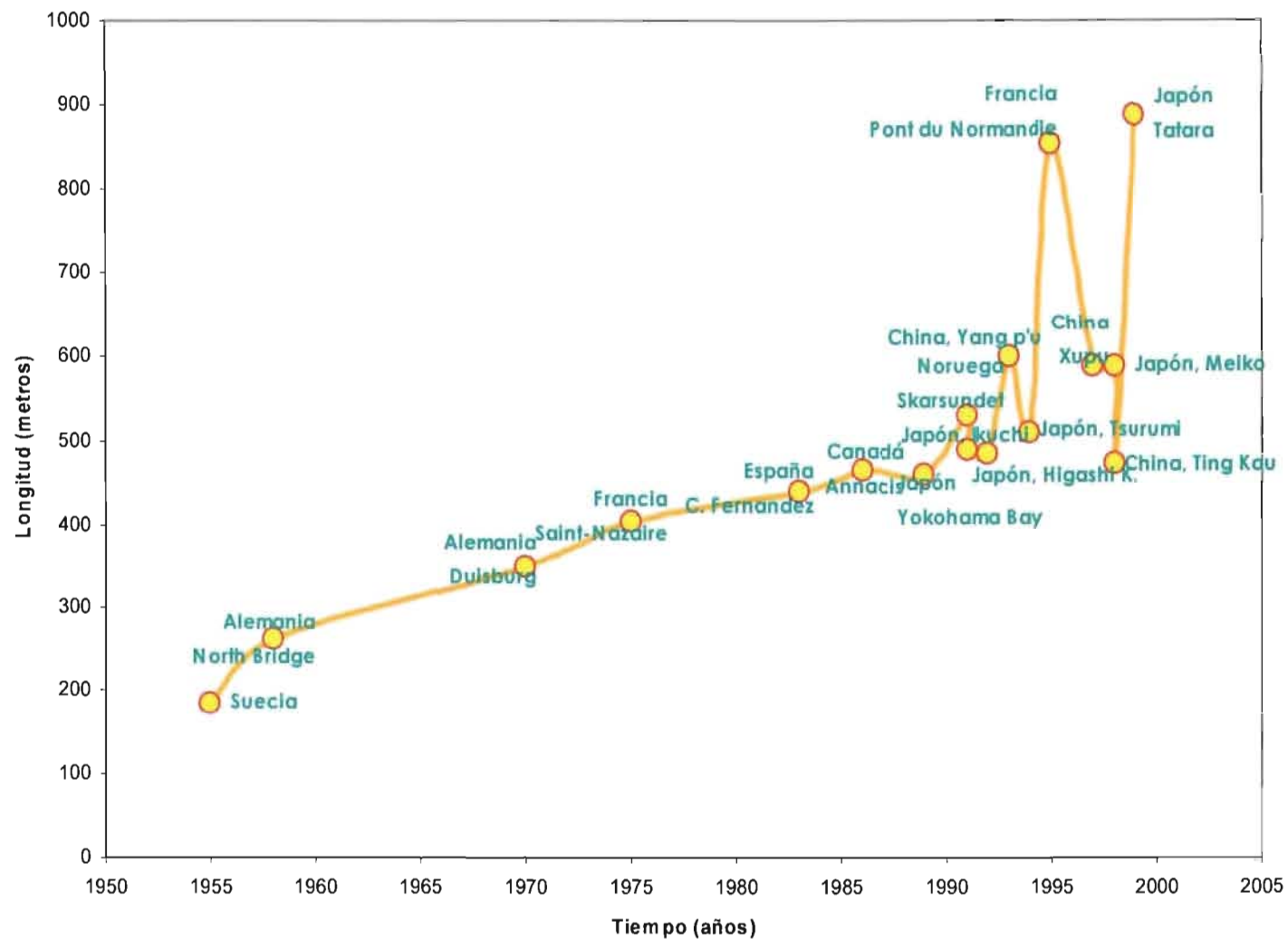


**Fig. 1-38** Viaducto, México, D.F.<sup>31</sup>  
Foto. M. Espinosa, 2003.

<sup>30</sup> Se espera que se termine de construir en esa fecha.

<sup>31</sup> Este puente pertenece a una serie de seis que cruzan la Av. Zaragoza en diferentes puntos, tramo ubicado entre el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y la Carretera Libre México-Puebla.

## Puentes más largos del mundo



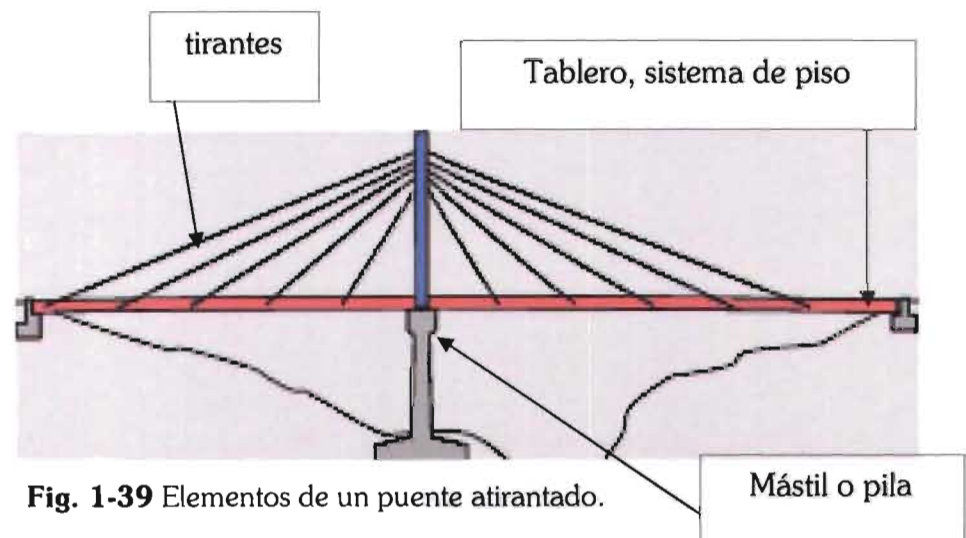
**Gráfica 4.** Puentes atirantados construidos y proyectados en el mundo. Se observa que antes de 1990, los puentes de este tipo se desarrollaban en el “Viejo Mundo” y durante la última década se han construido en mayor cantidad en Asia.

# 1.3

## PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LOS PUENTES ATIRANTADOS

Se mencionó anteriormente que todo puente cuenta con partes similares. En el caso de los atirantados, la cimentación o subestructura aunque es importante porque, como cualquier otra estructura, es la que transmitirá la carga que recibe la superestructura al suelo, en realidad no resulta un factor determinante en el comportamiento del mismo siempre y cuando resista las solicitaciones a que estará expuesto<sup>32</sup>; sin embargo, la superestructura de un puente atirantado toma tantas formas como imaginación tenga el diseñador, por lo que las

<sup>32</sup> Peso del puente, cargas esperadas de tránsito, además de las accidentales como los sismos, aspectos que se deben considerar en el diseño de toda estructura.



**Fig. 1-39** Elementos de un puente atirantado.

propiedades que puede tener un puente atirantado son muy variadas.

Las variables de las que dependen las propiedades de un puente atirantado en particular son: el arreglo de claros, el arreglo de tirantes, la geometría de soportes y el sistema de piso.

## Arreglo de claros

Los más comunes son: dos claros simétricos o asimétricos, tres claros, o claros múltiples. Un estudio de numerosas estructuras de puentes atirantados de tres claros indica que el claro central es aproximadamente 55% de la longitud total del puente, el resto es usualmente dividido en partes iguales a los extremos.

## Arreglo de tirantes

El arreglo de tirantes es uno de los aspectos fundamentales en el diseño de los puentes atirantados, pues tienen una gran importancia no sólo en el comportamiento estructural sino también en el método de erección y en el costo.

Pueden colocarse en dirección transversal



**Fig. 1-40** Claros múltiples. Puente *Rion Antirion*, Grecia [Ref. C-14].

(denominada suspensión lateral), pero la mayoría de las estructuras existentes los manejan en la longitudinal (denominada suspensión axial), consistentes en planos de

cables, ya sea central, a los costados de la cubierta o varios paralelos.

En general son usadas básicamente cuatro configuraciones longitudinales de cables para puentes atirantados<sup>33</sup>:

- a) Arreglo Simple. Usado para claros cortos y para soportar cargas relativamente bajas, pero hay que diseñar el cable detalladamente.
- b) Arreglo tipo Arpa o Paralelo. Usado para tener una perspectiva visual estética, aunque esto causa momentos flexionantes en la torre y requiere el estudio de los soportes en los cables inferiores, pero finalmente proporciona una excelente rigidez a la viga principal si los cables son anclados a una pila en la orilla del río.
- c) Arreglo tipo Abanico. Se usa cuando se quiere una reducción en la altura del pilón. Un sistema particular de esta presentación longitudinal de cables es la llamada Radial o Convergente (cuando todos los cables pasan por la parte superior de la torre); es usada para tener la máxima inclinación respecto a la horizontal y, de tal modo, la cantidad de acero menor, pues los cables transmiten

la máxima componente vertical al pilón. Aunque también la concentración de cables en la parte superior de la torre puede ocasionar problemas en la transferencia de la fuerza vertical y debe tenerse sumo cuidado en el detallado.

- d) Arreglo en Estrella. Este sistema ha sido usado sólo en el puente *Norderelbe* en Hamburgo, Alemania por apariencia estética, pero los cables pueden ser más eficientes, este arreglo ayuda en la construcción solamente.

Cabe mencionar que también se manejan sistemas de cables en el espacio, aunque no sean muy comunes. Debido a que un sistema en el espacio es la combinación de planos, las posiciones que pueden adoptarse son: simétricos o asimétricos, mismos que pueden a su vez colocarse verticales u oblicuos.

---

<sup>33</sup> Puede decirse que de ellas parten todas las combinaciones imaginables que se presentan. Ver Gráfico 5 (Arreglo de cables para puentes atirantados).



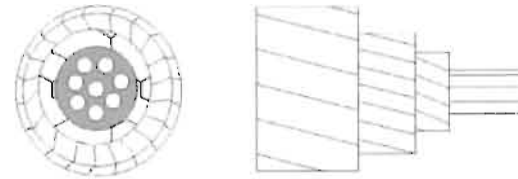


**Fig. 1-41** Puente peatonal con arreglo de cables espacial. Malecón, España [Ref. B-21].

Al asumir que los cables son los elementos más importantes de un sistema como éste (atirantamiento), debe elegirse un tipo de cable que garantice la mayor seguridad y el mejor comportamiento, por lo que se realizan estudios especiales y un número importante de pruebas y ensayos en laboratorio. En tales pruebas, los conceptos que requieren mayor atención son: la forma

y tipo de acero, las características del anclaje, la resistencia, la protección contra la corrosión, la fabricación, manejo, colocación y operación de los cables.

Respecto a los tirantes, los cables ocupados son aquellos elaborados con alambres paralelos (simplemente agrupados) y/o en espiral (trenzados) para formar torones. Para el caso de los primeros,



Torón de alambres con protección enrollada



Torón de cables paralelos dentro de un ducto de poliestireno

**Fig. 1-42** Tipos de cables usados.

el espesor puede variar entre 8.8 cm y 1.35 m, y entre 11 cm a 2 m para los cables en espiral según lo requiera el diseño.

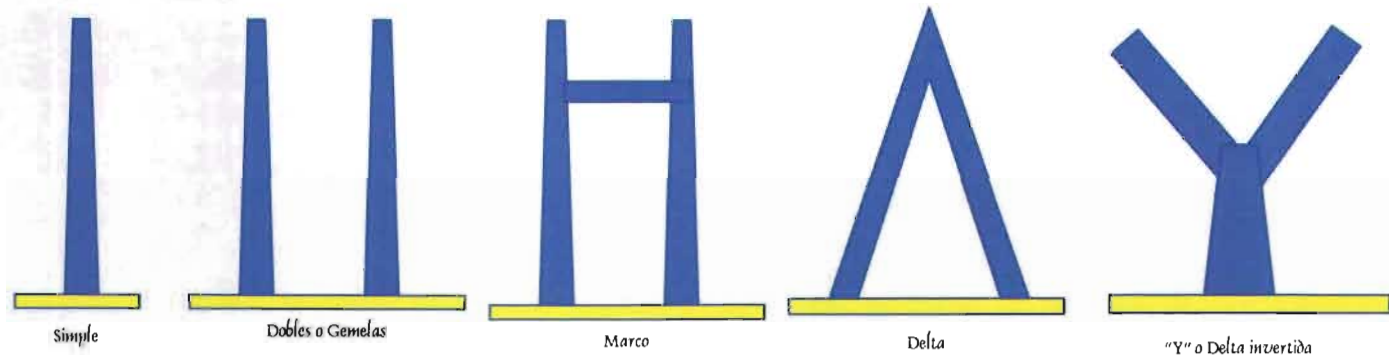
## Geometría de soportes

En cuanto a pilones se refiere, existen diferentes tipos usados, que pueden clasificarse en tres grupos<sup>34</sup>:

- Simple. Sólo se tiene de un soporte al cual llegan los cables.
- Dobles o Gemelas. Se cuenta con dos torres idénticas orientadas en espejo generalmente, pero actúan de modo independiente en el puente.

- Marco. Consta de dos torres unidas por un tercer elemento a una altura determinada, lo que hace que actúen de modo conjunto en el puente. También suele llamárseles "H".
- Delta. También llamado "A", es una torre que tiene la forma mostrada en la figura, generalmente se coloca con dos puntos de apoyo, pero puede estar en sentido invertido y llamársele "Y".

Respecto a los soportes, dependiendo del arreglo de los cables, pueden orientarse en el sentido transversal o longitudinal de la cubierta del puente para optimizar su

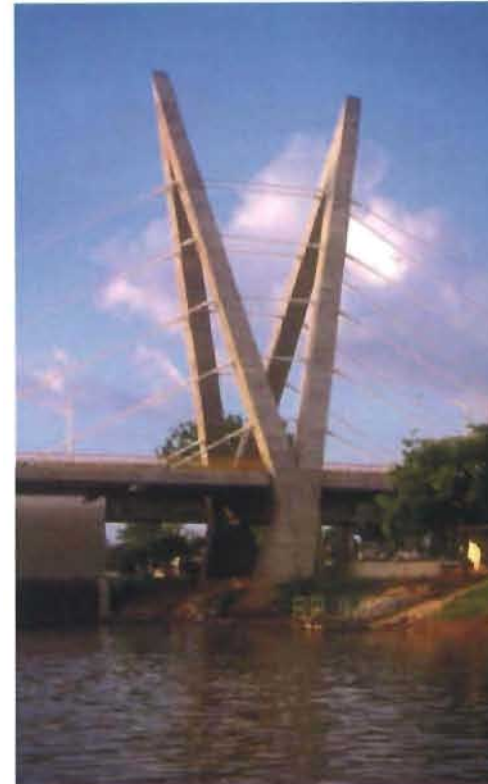


**Fig. 1-43** Algunos tipos de soportes.

<sup>34</sup> Los pilones "Delta" y "Y" son variaciones de los tres

funcionamiento. Por ejemplo, con los tirantes en un arreglo tipo arpa, las cargas deben ser balanceadas solamente con el pilón, es decir, debe ser muy resistente a la flexión y con la suficiente rigidez para reducir las deformaciones del sistema de piso, particularmente si éste es muy flexible.

El mástil, generalmente se construye con concreto reforzado por tener un menor costo.



**Fig. 1-44** Puente sobre el Río Grijalva, México [Ref. C-14].

## Sistema de piso

Los sistemas de piso usados comúnmente en los puentes atirantados son a base de dos tipos de arreglos que pueden usarse repetidamente en la estructura o combinarse entre ellos:

- a) Viga "I". Tienen alma sólida y con

---

grupos principales.

una serie de ellas se pueden formar nervaduras al colocarlas a cierta distancia paralela.






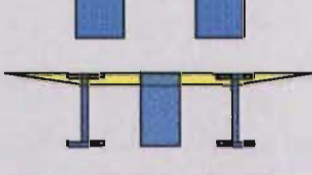
- b) **Viga-Cajón.** Puede tener una forma rectangular o trapezoidal y también se pueden formar nervaduras con ellas.

Cuando la calzada requiere un gran número de líneas de tráfico, la longitud transversal requiere efectivos sistemas de vigas cajón para soportar la estructura del sistema de piso. El uso de una viga-cajón representa ventajas frente al tipo "I" porque proporciona:

- una mejor estabilidad aerodinámica
- una superficie de rodamiento más ancha
- incremento en la rigidez a la torsión cuando se tiene un plano singular de cables

**Tabla 4**

Ejemplos de arreglos para sistemas de piso para puentes atirantados.

Tipo de arreglo	Vista de la sección transversal
<b>Dos vigas "I"</b>	
<b>Una viga-cajón</b>	
<b>Una viga trapezoidal</b>	
<b>Dos vigas trapezoidales</b>	
<b>Dos vigas-cajón</b>	
<b>Combinación "I-Cajón"</b>	

## Consideraciones generales

Para ocupar el arreglo de cables de suspensión central es esencial contar con una rigidez alta a la torsión en su sistema de piso. Según diseñadores, se recomienda para carreteras con dos cuerpos o dos sentidos (cubiertas muy anchas), el uso del

arreglo de cables en el espacio, pues estos ocupan losas rígidas que estarán sujetas a torsión, lo que contribuye a estabilidad dinámica y aerodinámica del conjunto.

La mayoría de los puentes atirantados en nuestros días tienen sistemas de soporte lateral; esto es, el plano de los tirantes puede ser vertical o inclinado hacia adentro cuando se usan soportes tipo "A", o combinaciones de los grupos conocidos, como el denominado "Y adaptada" o "Diamante"<sup>35</sup>.

Cuando un puente tiene suspensión lateral se pueden tener sistemas de piso esbeltos, dado que la flexión longitudinal es relativamente baja o menor y no se necesita de una alta rigidez a la torsión.

Las dimensiones mínimas del sistema de piso son las que se requieren para resistir los momentos transversales y las cargas en los anclajes, y son estos dos efectos los que incrementan proporcionalmente al ancho de la cubierta.



**Fig. 1-45** Viaducto con torres tipo diamante, Venezuela [Ref. B-21].

Desde luego que otro elemento importante para que el puente pueda contar con ciertas propiedades estructurales es el material del que está construido, por lo que

<sup>35</sup> Nombrado así porque tiene forma de rombo y puede contar además con elementos intermedios para rigidizarlo más.

el sistema de piso más eficiente ha sido buscado durante mucho tiempo, se ha logrado un gran avance con el desarrollo de las cubiertas de acero ortotrópico, mismas que tienen diferentes formas y diferentes separaciones entre nervaduras<sup>36</sup>.

Se puede afirmar que el diseño de los puentes atirantados se enfoca en los cables (tipo y arreglo), los soportes (comportamiento ante sismo) y tipo de sección para el sistema de piso (comportamiento ante la acción del viento).

---

<sup>36</sup> Una estructura ortotrópica está constituida por una placa relativamente delgada rigidizada longitudinalmente mediante elementos secundarios soldados, que a su vez se apoyan en piezas transversales.

# 1.4

## **PUNTES ATIRANTADOS COMO SOLUCIÓN AL CRUCE DE GRANDES CLAROS**

Debido a la búsqueda de nuevos métodos de construcción y diseño para lograr salvar claros más grandes con costos menores y mayor eficiencia, se proponen puentes de diferentes tipos, sin embargo, los puentes atirantados representan una buena alternativa para tales fines.

Las perturbaciones más frecuentes a que se ven sometidos los puentes son:

- el paso de vehículos
- la acción sísmica
- la acción del viento

y es conocido que los puentes atirantados resultan una buena alternativa debido a que bajo cargas vivas la deformación de la estructura es gobernada por los esfuerzos en los pilones y el sistema de suspensión; es decir, los puentes atirantados son muy flexibles longitudinalmente, lo que ayuda al

comportamiento favorable ante acción de viento por ejemplo.

Debido a su forma, un puente de este tipo estará expuesto a grandes momentos torsionantes bajo la acción del viento, por lo que debe seleccionarse una sección óptima dependiendo del método de suspensión adoptado.

Se sabe que en este tipo de puentes, los cables generalmente se distribuyen en forma simétrica a los lados de las torres, y que por conveniencia de fabricación y erección la estructura del puente tiene un tramo de cables que sostienen el centro del claro. Ante esta configuración de elementos, la relación entre la longitud del tramo sin cables y la longitud total del claro es próxima al 20% cuando solamente un tirante parte de cada lado de la torre, pero disminuye al 8% cuando varios cables

parten de cada lado de la torre; resultando entonces que el espaciamiento entre cables se reduce y se ofrecen numerosas ventajas para la construcción de grandes claros que cuentan con doble voladizo.

Además, para el caso particular de arreglos con cables en el espacio, se sabe que este método de suspensión se caracteriza por la poca fatiga por carga a la que están expuestos los cables, lo que da como resultado una losa rígida en torsión, misma que tendrá gran capacidad para distribuir cargas concentradas<sup>37</sup>.

Se sabe que la mayor eficiencia y economía se logra con la suspensión en abanico, y se ha demostrado que en el caso de suspensión total del tablero (cuando éste no se apoya en el mástil), la relación entre la altura de la pila y la longitud del claro principal puede ser de 0.20 para la suspensión en abanico y llegar hasta 0.50 para la solución en arpa.

Como el arreglo longitudinal de los cables varía de acuerdo al diseñador, los claros y la altura de las torres o pilones; resulta que para claros cortos, una ramificación

transversal puede ser suficiente para los requerimientos de carga, pero para grandes claros y diferentes anchos, existen una variedad de arreglos de cables que satisfacen los requisitos de eficiencia y resistencia, así como una configuración estética en la geometría.

Los costos se ven afectados en gran medida en la selección del arreglo de cables, porque cuando se usan menos tirantes se provoca mayor esfuerzo en ellos y existe entonces mayor complejidad en el diseño del anclaje y la conexión a las torres, pues estas conexiones estarán sujetas a concentraciones de carga y requieren de un refuerzo adicional para rigidizar la transferencia de cargas y distribuir las uniformemente a todo el sistema estructural. Por lo tanto, el hecho de usar un mayor número de cables (justificado por supuesto), generalmente disminuye los costos, permite el uso de vigas de poco peralte e incrementa la estabilidad del puente ante las fuerzas dinámicas del viento.

Para optimizar la disposición de los tirantes se requieren estudios en los que deben tomarse en cuenta todas las condiciones para la estabilidad general de la estructura,

---

<sup>37</sup> Esta capacidad de distribución limita las variaciones de resistencia en los tirantes.



como pueden ser: los efectos dinámicos por las cargas de servicio, viento, sismo u otras; el comportamiento no lineal de la estructura en conjunto; el comportamiento de sus materiales; y los procedimientos de construcción.

En cuanto a los materiales que pueden usarse, cuando la cubierta es de acero o una combinación de concreto y acero, puede construirse un doble voladizo sustentado por cables; pero se puede aplicar preesfuerzo durante la erección de la sección cuando la cubierta se realiza con secciones prefabricadas, y de tal modo aprovechar tales técnicas de construcción.

Pero es definitivamente la longitud que puede salvarse al ocupar puentes atirantados lo más interesante de sus ventajas, puesto que para claros superiores a 600 m, el efecto del sistema cable-espacial es pequeño, pero para un claro de 1000 m, el sistema es capaz de reducir en un 40% el valor obtenido para un sistema con cables verticales.

Para claros superiores a 1000 m, el movimiento lateral del sistema tradicional

rápidamente se incrementa mientras que, por ejemplo, para un puente con sistema espacial uniforme de 1600 m de claro, dicho movimiento es menor que  $1/600$  de la longitud del claro.

El principio de suspensión múltiple fue rápidamente aceptado por los diseñadores, porque cuando se trata de un puente con claros de algunos cientos de metros, este sistema se convierte en la única solución posible. Según los diseñadores, el sistema cable-espacial se debe considerar para puentes con relación claro-ancho superior a 40. Por ejemplo, para el caso de dos carriles de circulación y un ancho de 9 m, un sistema cable-espacial será útil para si el puente tiene claros de más de 360 m, pero por el otro lado, para un ancho de 30 m, un sistema de este tipo no dará ventajas para claros de menos de 1200 m.

Respecto a los materiales, se sabe que para puentes de concreto simétricos, se permite una mayor relación de longitud "Claro lateral/Claro principal" respecto a los de acero.

La versatilidad del concepto de puente

atirantado se presta a una gran variedad de configuraciones geométricas, el arreglo de los cables, sistema de piso y estilo de las torres pueden ser fácilmente ajustados, al variar los numerosos requerimientos de las condiciones del sitio y estética para carreteras y puente peatonales.

Se espera que el límite en la longitud de los claros construídos mediante este sistema se encuentre más allá del último realizado (800 m), pues tal evolución está relacionada con el diseño de puentes colgantes. En años recientes se han efectuado combinaciones de ambos sistemas y con el Messina<sup>39</sup> se probó que es posible y seguro hacerlo.



**Fig. 1-46** Puente Messina<sup>38</sup>, Italia [Ref. B-6].

<sup>38</sup> Perspectiva por computadora del puente Messina; "Preliminary Project 2003, computer simulation, view from Piale (Calabria)".

<sup>39</sup> Proyectado en 1992 con la finalidad de unir Sicilia con Calabria (al sur de Italia), su claro central será de 3300 m, y el tiempo de construcción se estima en 11 años.

Para la estabilidad por viento, la relación de esbeltez entre ancho y claro debe máximo 1:40 con un buen comportamiento aerodinámico, esto significa que la longitud puede incrementarse con anchos mayores.

Finalmente, también puede aceptarse que una ventaja de ocupar un sistema

suspendido en puentes (la más notable), es su naturaleza estética, pues en el caso de la presencia de un plano singular de cables proporciona una elegancia visual innegable por su sencillez y la apariencia "futurista" según califican algunos autores.

# Capítulo

# 2



Tornado



Fotografía satelital de un huracán

*"(...) El viento hincha la vela, pero la deshilacha (...)"*  
José Ángel Buesa

# Consideración del viento sobre puentes atirantados

# 2.1

## ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VIENTO

### Atmósfera y su composición

Para entender mejor el origen del viento, es importante conocer que la atmósfera es la envolvente gaseosa de nuestro planeta, que está unida al resto del planeta por atracción gravitatoria, manteniéndose un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la natural expansión de los gases.

Además, se distinguen las siguientes clasificaciones de la atmósfera:

#### A) Por su composición química

Se considera un espesor cercano a 1.000 km, en el que se distinguen dos capas

1. **Homosfera**, que se extiende desde el nivel del mar hasta 100 km de altitud y cuenta con una composición química uniforme que

incluye aire puro y seco, según se indica en la tabla 5; es aquello a que comúnmente le llamamos "aire"; y está constituida por una mezcla de gases que no reaccionan químicamente entre sí (no se combinan para formar otra sustancia), vapor de agua y aerosoles (partículas en suspensión).

**Tabla 5**

Composición de gases en la homosfera<sup>1</sup>

Componente	Porcentaje
Nitrógeno	78.084
Oxígeno	20.946
Argón	0.934
Dióxido de carbono	0.033
Otros gases inertes	0.00256
Hidrógeno	0.00005
Metano	0.00002
Óxido nítrico	0.00005

<sup>1</sup> "Composición aproximada del aire de la baja atmósfera de la Tierra", [Cuadro en Ref. B-33].

2. **Heterosfera**, que se extiende desde los 100 km de altitud hasta el límite exterior de la atmósfera, no tiene una composición química uniforme y consta de varias capas determinadas por el gas que predomina en cada una, según se indica en la tabla 6.

**Tabla 6**  
Composición de la heterosfera<sup>2</sup>

Gas predominante	Rango de Altitud (km)
Capa de Nitrógeno molecular (N <sub>2</sub> )	100 – 200
Capa de Oxígeno atómico (O)	200 – 1000
Capa de Helio (He)	1000 – 3500
Capa de Hidrógeno (H)	A partir de 3500

### B) Por su comportamiento térmico

La atmósfera se idealiza en capas esféricas de acuerdo con la altura sobre la superficie. Debido a que las propiedades físicas y químicas de la atmósfera dependen de la altura de la capa donde ocurren, el sistema de capas y el nombre que se les da dependen de la clase de propiedades seleccionadas. La mayoría de

esas capas no están bien definidas, y sus límites son establecidos arbitrariamente.

El comportamiento térmico de la atmósfera no presenta una uniformidad a lo largo de todo su espesor, a veces disminuye la temperatura con la altura y otras veces aumenta.

Tomando en cuenta lo anterior, la atmósfera se divide en cinco regiones: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera.

1. **Troposfera**. Es la capa interior de la atmósfera que se extiende hasta una altitud promedio de 12 km, su temperatura en la atmósfera estándar decrece constantemente<sup>3</sup> a razón de 6.5 °C/km, y debido a que contiene prácticamente la totalidad del vapor de agua de la atmósfera, en ella se forman casi todas las nubes, la precipitación pluvial y las tormentas; es decir, es la capa atmosférica donde tiene lugar el conjunto de fenómenos que determinan el tiempo atmosférico.

<sup>2</sup> "Composición de la heterosfera", [Cuadro en Ref. B-43].

<sup>3</sup> A esta razón de descenso se le denomina también "gradiente térmico vertical".

El límite superior de la troposfera, que es la transición entre ella y la estratosfera, se llama tropopausa, que es una zona donde la temperatura deja de disminuir con la altitud. La altura de la tropopausa no es uniforme alrededor del mundo, pero varía desde 16 km en el Ecuador hasta los 8 sobre los polos.

2. **Estratosfera.** Se extiende desde la tropopausa hasta 50 km, en ella se genera la mayor parte del ozono atmosférico, y se detectan las concentraciones máximas entre los 15 y 35 km de la misma. En esta capa, la temperatura sí aumenta con la altura debido a la absorción de la radiación ultravioleta del Sol por las moléculas de ozono; en ella existen corrientes de aire en dirección horizontal, pero no movimientos verticales.
3. **Mesosfera.** Se extiende desde la estratopausa (que es la zona de transición entre la estratosfera y la mesosfera) hasta los 80 km de altura, en esta capa la temperatura disminuye hasta los  $-90^{\circ}\text{C}$  en el límite superior y la presión desciende.
4. **Termosfera.** Es la región situada sobre la mesopausa, aumenta su

temperatura constantemente hasta  $500^{\circ}\text{K}^4$  en el curso de la noche y durante un mínimo de actividad solar, pero llega a  $1750^{\circ}\text{K}$  en el día y durante el máximo de actividad solar. En esta capa la interacción de las partículas subatómicas procedentes del Sol con los átomos ionizados de la termosfera, da lugar a los fenómenos luminosos conocidos como "auroras boreales".

5. **Exosfera.** Es la zona exterior que limita la atmósfera y que se caracteriza por aumentar muy poco su temperatura con la altura, además de que los átomos de los elementos que la componen escapan al espacio fácilmente.

Los parámetros que normalmente resultan de interés para el estudio de las capas mencionadas son: presión, densidad, temperatura y composición del aire.

Como información adicional puede decirse que el Nitrógeno es un gas inactivo, y que a pesar de la actividad química del Oxígeno, la cantidad del mismo permanece constante gracias a que la cantidad usada

---

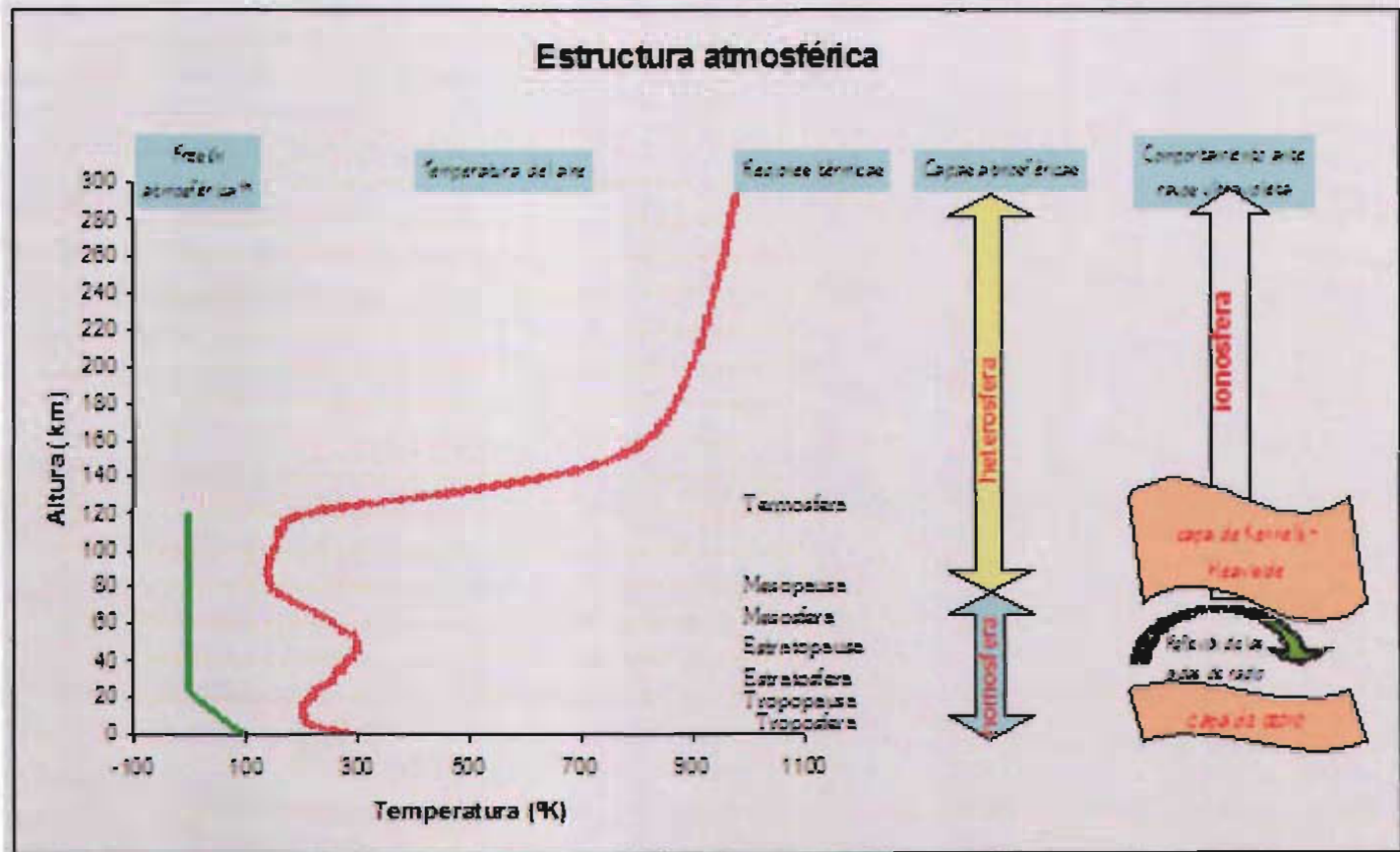
<sup>4</sup> Un grado Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ) equivale a  $-272.15$  grados Centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ).



se equilibra con el oxígeno que las plantas liberan a la atmósfera.

Por otro lado, el Bióxido de Carbono resulta muy importante en el control del clima y la

temperatura del aire cerca de la superficie de la Tierra; y biológicamente es de suma importancia para el crecimiento de las plantas<sup>5</sup>.



subsistencia de la vida en el planeta; físicamente este componente sirve en las funciones de absorción de calor y como capa aislante que ayuda a regular la

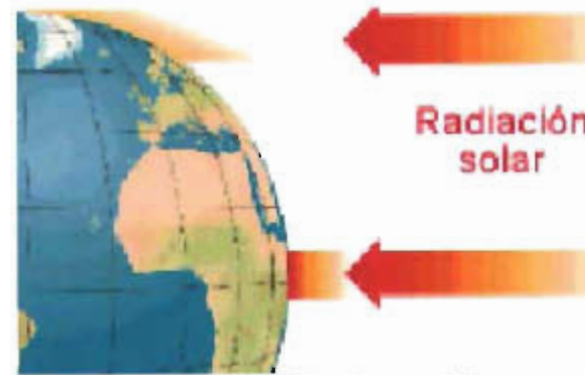
**Gráfica 5.** Estructura atmosférica.

<sup>5</sup> A lo largo de su vida, las plantas realizan la fotosíntesis, que involucra la transformación del bióxido de carbono en oxígeno a través del "Ciclo de Krebs".

Cabe distinguir que el vapor de agua no es visible al ojo humano y no debe confundirse con la niebla o las nubes, pero sí les suministra agua a éstas y a la lluvia, además de liberar calor latente<sup>6</sup> durante su condensación suministrando energía para las tormentas. Del mismo modo, las partículas sólidas (polvo atmosférico que proviene de la superficie terrestre), son imperceptibles por el humano, pero reduce la radiación solar directa y contiene cristales de sal importantes para la formación de nubes y la precipitación pluvial.

## Circulación atmosférica

Se sabe que el sol actúa sobre el planeta Tierra y aporta energía al mismo; y que la energía solar que llega a la superficie terrestre no lo hace en la misma cantidad en todos los puntos de la tierra ni a lo largo del tiempo.



**Fig. 2-1** Incidencia de los rayos solares en la Tierra [Ref. B-8].

Para mantener su equilibrio físico, el planeta requiere que unas regiones pierdan calor y otras lo ganen, de modo que en la troposfera se genera un transporte de energía entre zonas de la Tierra. A dicho transporte de energía se le denomina "sistema de circulación", y según el motivo que genere la circulación, recibe uno de los siguientes nombres:

- a) **Térmica.** Por la proximidad de la Tierra al Sol durante el año, es decir, el movimiento de traslación terrestre.
- b) **Mecánicamente forzada.** Por las variaciones diurnas originadas por la sucesión día-noche, es decir, el movimiento de rotación terrestre.
- c) **Gravitatoria inducida.** Por las modificaciones en cada estación del

<sup>6</sup> Aquel que se invierte en cambiar el estado de un cuerpo (por ejemplo, de líquido a gas), sin que aumente la temperatura del cuerpo que lo recibe.

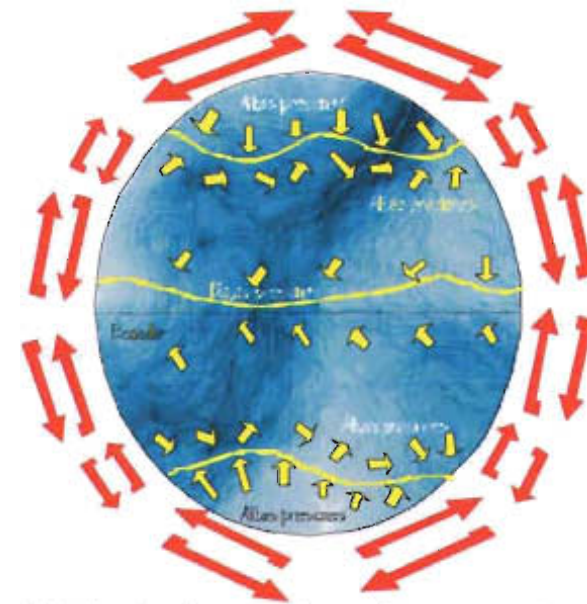
año, producidas por la oscilación de la inclinación de la tierra con respecto al Sol.

La circulación general atmosférica se ha explicado mediante un modelo zonal con franjas de características diferentes, paralelas al ecuador, que transfieren calor del ecuador hacia los polos en alguna de las siguientes maneras:

1. Como *calor sensible*<sup>7</sup>; modo en que lo transportan las masas de aire o agua caliente.
2. Como *calor latente*<sup>8</sup>; que se efectúa debido al vapor de agua atmosférica.

Es importante destacar que la presión atmosférica tiene un papel muy importante en la circulación atmosférica. Según el Principio de Pascal, la presión atmosférica varía según la temperatura y la altitud, es decir: a mayor temperatura menor presión, y a mayor altitud menor presión, y viceversa (gradiente de presión). De acuerdo a lo anterior, la presión no tiene el mismo valor en distintos puntos del planeta y en distintos

momentos, por lo que hay variaciones tanto en sentido vertical, donde la presión disminuye a medida que aumenta la altitud<sup>9</sup>; como en sentido horizontal, que se encuentran relacionadas con la distribución de la energía solar en las zonas de la superficie terrestre.



**Fig. 2-2** Circulación atmosférica teórica; se muestra zonas de comportamiento diferente [Ref. B-39].

<sup>7</sup> Se le denomina así porque se percibe con los sentidos.

<sup>8</sup> Se nombra así por ser liberado al efectuarse un cambio de estado físico, como la evaporación o precipitación.

<sup>9</sup> El cambio es rápido en zonas bajas respecto al nivel del mar, y lento en las altas.

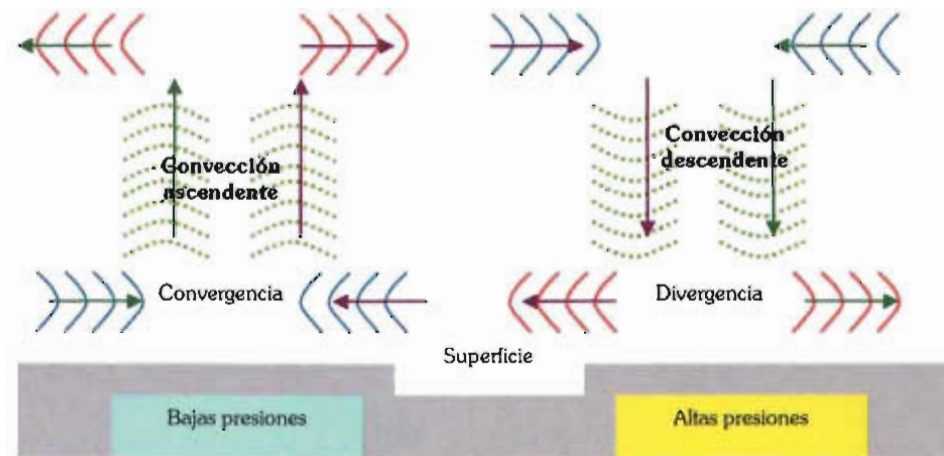
## Características generales del viento

### • En la atmósfera

El viento es el desplazamiento de una masa atmosférica producido por la diferencia de presión y temperatura entre dos puntos, que se caracteriza por su dirección, frecuencia y velocidad; además de consistir de dos movimientos: vertical y horizontal.

El movimiento vertical es cuantitativamente pequeño, pues su velocidad no suele pasar de 10 m/s, aunque en las corrientes ascendentes relacionadas con fuertes tormentas puede alcanzar hasta 30 m/s. Se le conoce también como movimiento de **convección** y que puede ser ascendente o descendente; de esta forma, a las zonas donde se verifica la convergencia o divergencia de tales desplazamientos se les denomina "zonas de calma".

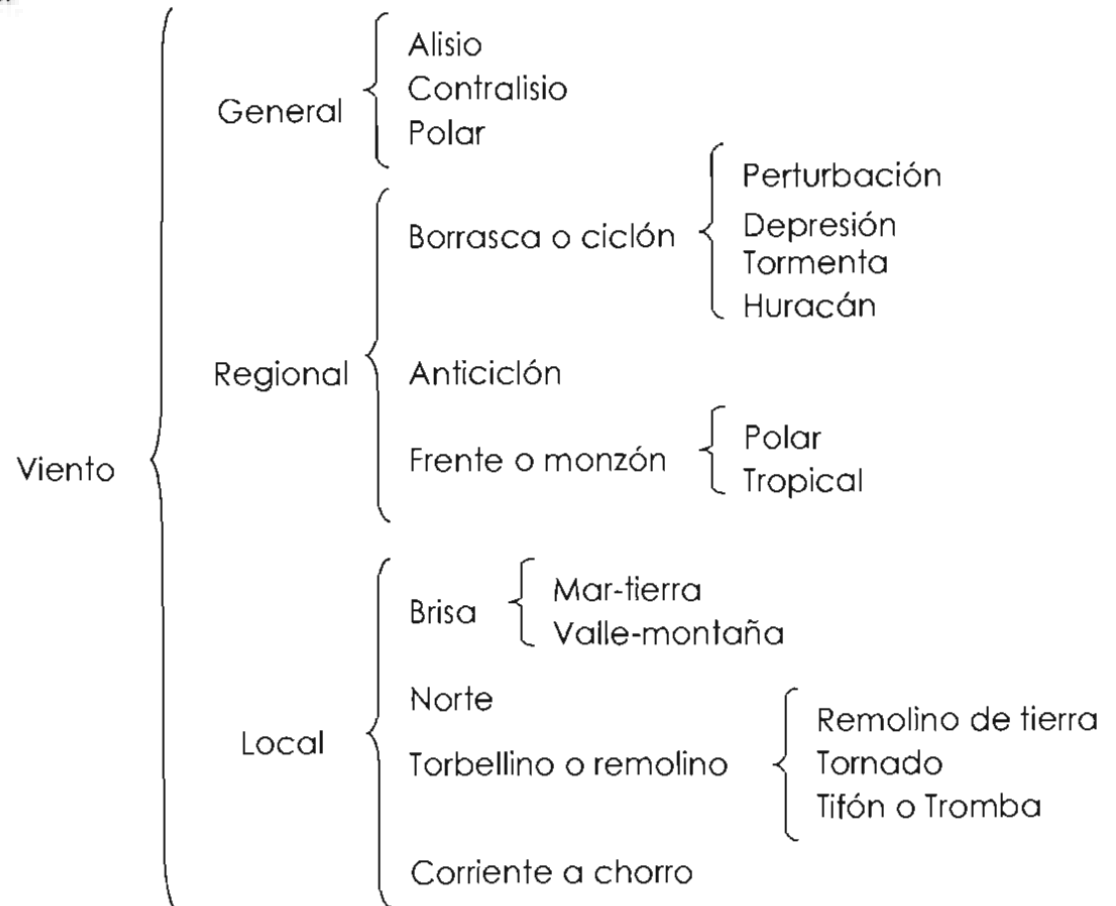
El movimiento horizontal es a lo que generalmente se le denomina viento, se genera cuando el aire se desplaza desde una zona con alta presión hacia las zonas con baja presión y sigue una trayectoria en espiral. Dicho movimiento tiene su justificación en las leyes Newton y las leyes de los vientos<sup>10</sup>. A este movimiento se le conoce además como **advección**.



**Fig. 2-3** Movimientos de convección y advección [Ref. B-43].

<sup>10</sup> La Primera, conocida también como la ley de Buys Ballot, indica que los vientos circulan desde las regiones de alta presión hacia las regiones de baja presión; la Segunda, conocida como ley de Ferrel, indica que debido a la rotación terrestre, los vientos se desvían hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur (basada en la Fuerza de Coriolis); la Tercera, conocida como ley de Stephenson, dice que la velocidad del viento está en razón directa a la diferencia de presiones en los puntos entre los cuales circula.

Según las características mencionadas, puede clasificarse por tipos<sup>11</sup> que se indican a continuación.



<sup>11</sup> Según la Organización Mundial Meteorológica, las perturbaciones meteorológicas de baja presión se clasifican con diferentes nombres dependiendo de su intensidad, pero aquí se muestra una diferente. Según el idioma y terminología de cada lugar, los nombres mostrados en el esquema también varían.

# Viento general

Es aquél que se define por la dirección en la que se desplaza, teniendo como referencia el Ecuador.

## ALISIO

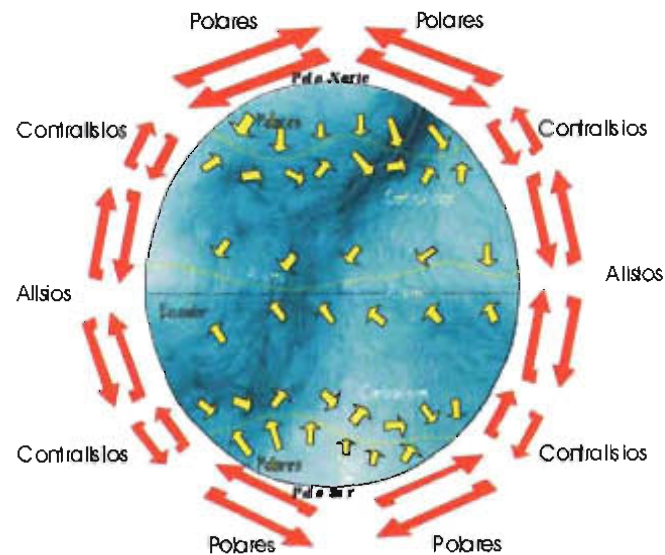
Es aquél que se desplaza con dirección noroeste en el hemisferio Norte y sureste en el hemisferio Sur, hacia el Ecuador térmico, en donde se transforma en viento convectivo (sólo ascendente) y forma una zona de calma ecuatorial.

## CONTRALISIO

Es el que se desplaza en dirección contraria al alisio, es decir, en el hemisferio Norte se originan al sureste y en el hemisferio Sur desde el noroeste.

## POLAR

Es el que inicia su circulación en los polos, moviéndose hacia los círculos polares con la misma dirección que los vientos alisios.



**Fig. 2-4** Ubicación del viento general en el planeta.

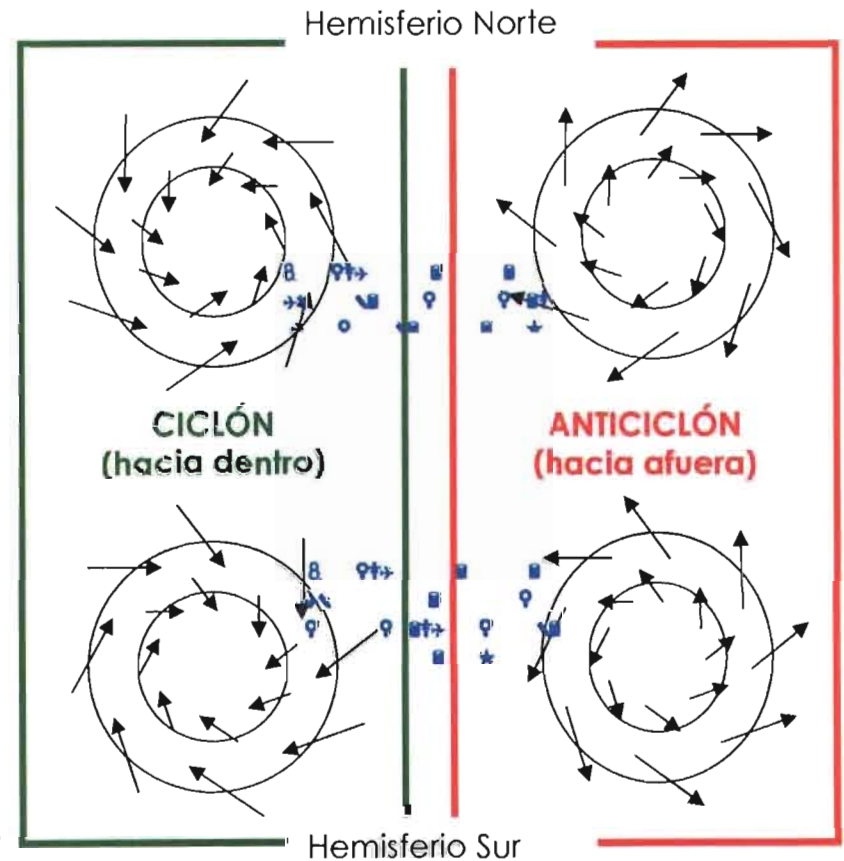
## Viento regional

Es aquél que se genera por las diferencias de presión atmosférica debidas al cambio de estación en distintos lugares, a las variaciones diarias de calentamiento y enfriamiento de la tierra y el mar, a la topografía de una zona.

### BORRASCA O CICLÓN

En este tipo de viento, la presión disminuye hacia el centro y es el resultado de la convección de la masa de aire.

- **Perturbación tropical.** Se presentan en zonas tropicales con viento ligero en rotación.
- **Depresión.** Es una perturbación que aumenta la rotación pero no excede los 63 km/h.
- **Tormenta.** Es una depresión tropical con viento en clara rotación en un intervalo de velocidad entre 63 y 120 km/h.
- **Huracán.** Es una tormenta que supera la rotación de 120 km/h. Cuando una depresión se convierte en huracán, se nombra por orden alfabético (alternando femenino y masculino), por ejemplo: Aurora, Bernardo, Carmen, y así



**Fig. 2-5** Diagrama de la rotación en espiral de ciclones y anticiclones [Ref. B-43].

sucesivamente hasta llegar a la Z y comenzar de nuevo<sup>12</sup>.

### ANTICICLÓN

En este tipo de viento, la presión aumenta hacia el centro; por lo general es más extenso que la borrasca, resultan también de la convección. Se debilitan durante el verano y se forman en invierno en las regiones continentales del hemisferio norte.

### FRENTE O MONZÓN

Es una masa de aire que se desplaza de su lugar de origen pero en los límites de la zona donde se formó, y es tal desplazamiento el que modifica sus características iniciales; por lo general se desplazan desde el mar hacia el continente durante el verano, y en sentido inverso durante el invierno. Por sus características, son de gran importancia en el sureste de Asia (India, China, y países cercanos), ya que su agricultura. Los frentes se nombran según su origen como polares o tropicales, siendo la diferencia evidente

que se forman en tal ubicación geográfica y unos son fríos o calientes, pero además pueden ser secos (si se forman sobre los continentes) o húmedos (si se forman sobre el océano).



**Fig. 2-6** Imagen vía satélite de un ciclón [Ref. C-12].

<sup>12</sup> Según los registros meteorológicos, se producen cerca de 60 huracanes anualmente en el mundo.



## Viento local

Es aquél que se genera en un lugar y no se desplaza gran distancia con respecto al lugar de origen.

### BRISA

- **De mar y tierra.** Se produce en las costas y son el resultado de que durante el día la tierra se calienta más que el mar, por lo que la masa de aire se desplaza del mar hacia la tierra, mientras que por la noche se efectúa el movimiento inverso.
- **De valle y montaña.** Son vientos periódicos que se producen en el interior de los continentes, originados porque la montaña se calienta más de día, provocando que la masa de aire se desplace hacia ésta última; mientras que por la noche se dirigen hacia el valle hacia el centro y es el resultado de la convección de la masa de aire se desplace hacia ésta última; mientras que por la noche se dirigen hacia el valle.

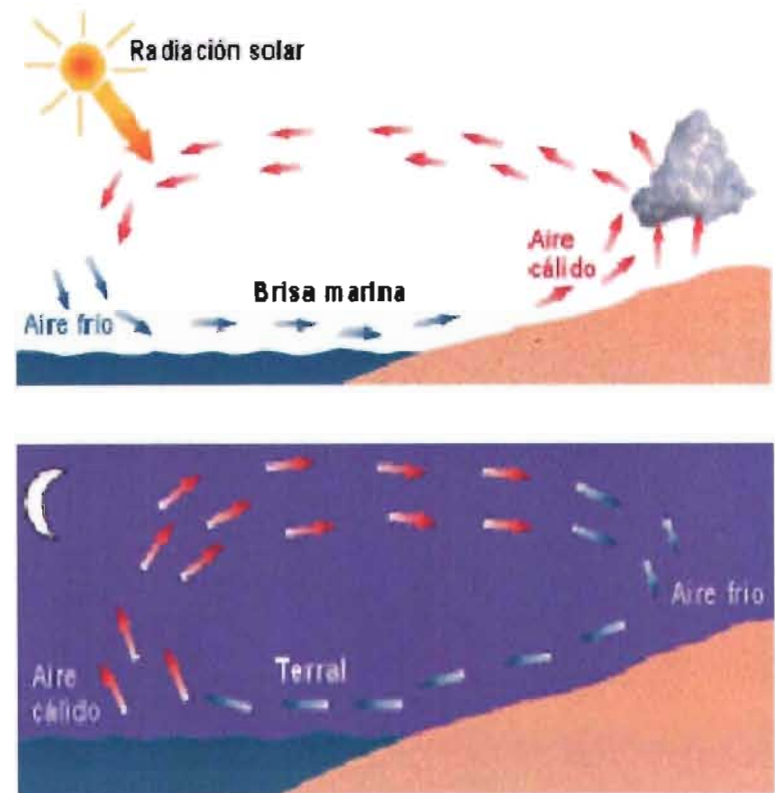


Fig. 2-7 Movimiento de las brisas de mar y tierra [Ref. B-8].

## NORTE

Llamados también ciclones extratropicales, porque constan de escasa intensidad y presentan poca lluvia; se originan en zonas templadas que se suceden constantemente en áreas de baja y alta presión, se mueven de oeste a este; y por lo general se forman en invierno y primavera.

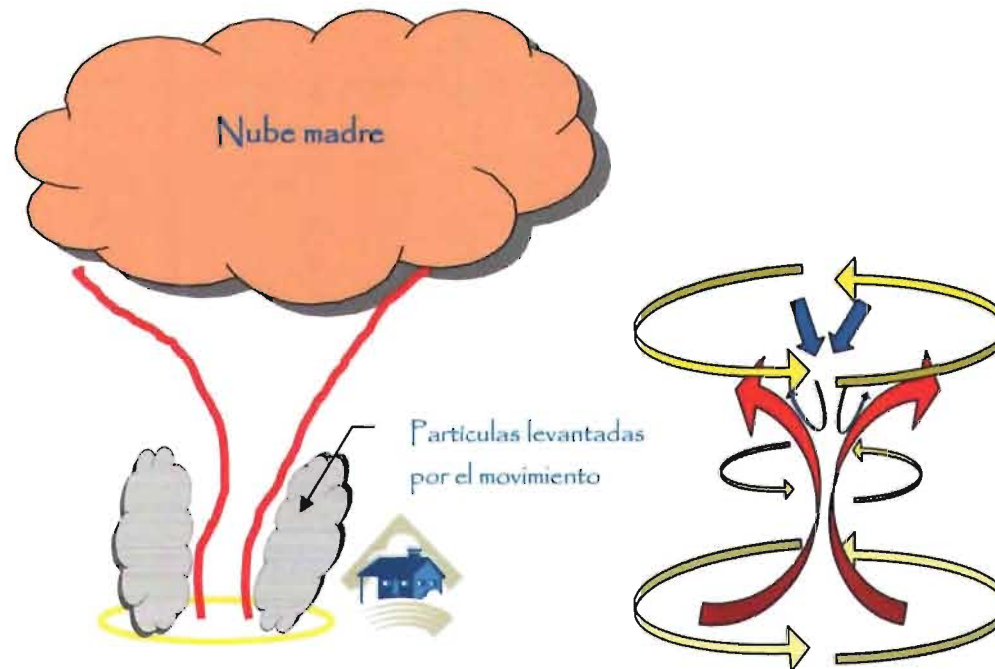
## TORBELLINO O REMOLINO

Es un movimiento de masa de aire de tipo ciclónico y pueden distinguirse los siguientes:

- **Remolino de tierra.** Tiene forma de columna o cono invertido, su movimiento de aire es giratorio en cualquier dirección pero ascendente, su altura oscila entre 2 y 1500 m y su diámetro varía de 1 a 50 m, siendo el más común de 10 m. se forman bajo

condiciones de mucho calor y cielo despejado.

- **Tornado.** Es aquél que tiende a regresar a su lugar de origen y se une a una "nube madre". Sus dimensiones generalmente son de 100 m de ancho y su altura oscila desde 800 a 1500 m; su velocidad de rotación varía entre 400 y 800 km/h y la de traslación entre 50 y 112 km/h.
- **Tromba o tifón.** Se le denomina así a un tornado que se forma o pasa por una



**Fig. 2-8** Representación gráfica de un tornado y los movimientos de las masas de aire que lo conforman.

superficie de agua y, consecuentemente, disminuye su intensidad aunque elevan el agua sólo unos metros.

- **Tormenta.** Se produce por un cumulonimbo, es un evento de corta duración en la microescala caracterizado por truenos, relámpagos, ráfagas de viento, turbulencia, granizo, hielo, precipitación, corrientes moderadas y violentas hacia arriba y abajo y, en condiciones muy severas, tornados.

### CORRIENTE A CHORRO

Es un área de fuertes vientos concentrados en una franja relativamente angosta de la tropopausa en regiones subtropicales de los hemisferios Norte y Sur.

Este tipo de viento fluye en una banda semi-continua alrededor del planeta de oeste a este y es producto de los cambios en la temperatura del aire cuando el viento polar se mueve hacia el ecuador encontrándose con el cálido viento ecuatorial que se dirige al polo. Una corriente a chorro es señal de la existencia de dos masas de aire con una frontera que las separa, tiene forma tubular y es casi horizontal, se forma en la atmósfera pero

que no roza la superficie terrestre y su velocidad de rotación se encuentra entre 250 y 600 km/h.

Se denomina también *Jet Stream* debido a que se forma en la altura que la Aviación Civil Internacional reconoce como "Jet estratosférico".



**Fig. 2-9** Corriente a chorro al norte del Océano Atlántico [Ref. C-5].

## • En la superficie terrestre

El comportamiento del viento está muy ligado a las características del terreno, la influencia de obstáculos y la orografía de la región, pues la superficie tiende a disminuir significativamente la velocidad con que se desplaza el viento y generar un comportamiento turbulento (que se describirá en este documento posteriormente). Este efecto disminuye al aumentar la altura a la cual circula la masa de aire y se denomina gradiente de velocidad del viento; que, de modo

contrario a lo que se puede concluir con una mirada a las gráficas de la figura 2-11, donde se observa que la velocidad del viento es menor si se mide en una zona urbana donde hay construcciones de gran altura, dicho gradiente se encuentra más bien ligado a la permeabilidad de los obstáculos que encuentra en su trayectoria y que impiden su libre paso.

Para evaluar las características de las condiciones del viento, se ocupan valores denominados "clase de rugosidad" y "longitud de rugosidad", pues el efecto en

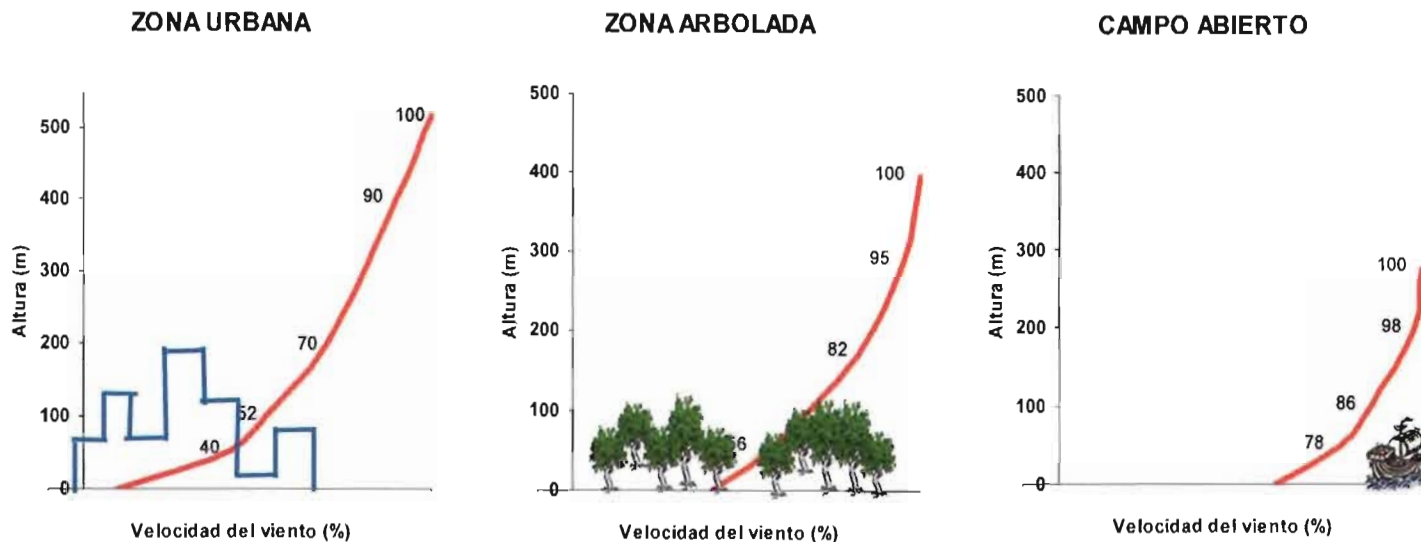


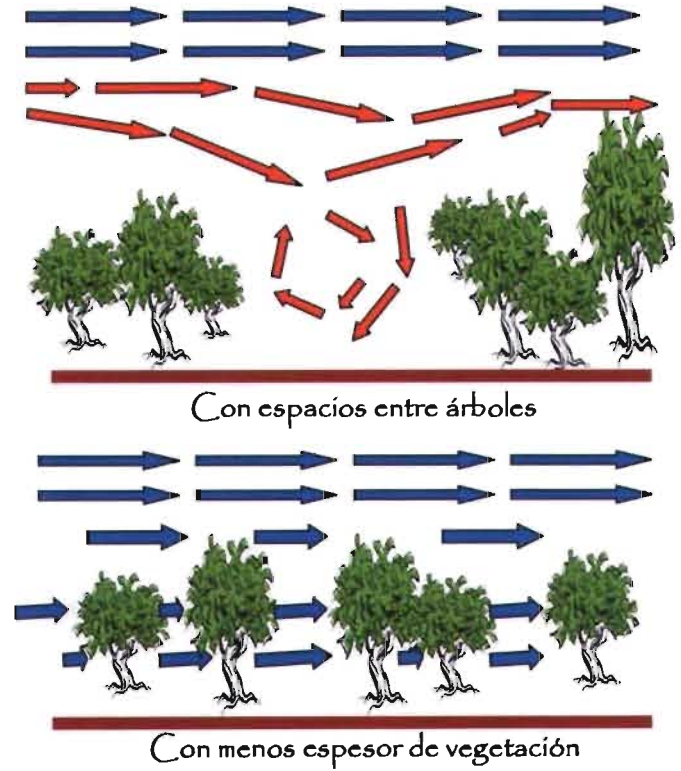
Fig. 2-11 Gradientes de velocidad del viento [Ref. B-6].

la disminución de la velocidad del viento depende de la altura y longitud del obstáculo, por lo que es más pronunciado en la cercanía del obstáculo y de la superficie terrestre.



**Fig. 2-10** Desviación de la trayectoria del viento ante un obstáculo [Ref. B-6].

Se sabe que, en los bosques la velocidad del viento puede ser del 25 al 50% de la velocidad fuera de él, pero con los claros del bosque o si se produce una disminución general de la altura de la vegetación, aunque no haya espacios definidos, se pueden producir torbellinos, y el viento dominante cerca de la superficie puede ir en dirección inversa a la que se produce por encima de los árboles. En las zonas forestales de menor altura de árboles, el viento sopla normalmente en la misma dirección incluso a nivel del terreno, aunque la velocidad se reduce en gran medida.



**Fig. 2-12** Movimiento del viento en zonas arboladas [Ref. B-6].

De acuerdo con el Atlas Europeo de Viento, la rugosidad se divide por clases según el tipo de terreno, como se menciona en la tabla 7.

Para nombrar de algún modo generalizado al viento según sus características comunes, fueron desarrolladas las escalas para velocidad de viento. Las más usuales son la Escala de Beaufort y la Escala Fujita, mencionadas en las tablas 8 y 9 respectivamente.

La primera de ellas fue planteada por Sir Francis Beaufort<sup>13</sup>, usada en mar abierto; es por esto que existen dos versiones (para mar abierto y para tierra) y, aunque tal escala fue reconocida por el Comité Meteorológico Internacional en 1874, se estandarizó por los británicos y estadounidenses únicamente la escala para tierra en 1939.

La segunda de ellas, conocida también como Escala-F o Fujita-Pearson, fue planteada por el Dr. Theodore Fujita en 1971; debido a la necesidad de distinguir los tornados (y ciclones) débiles y los fuertes, además de conocer los riesgos que representan. Aunque algunos meteorólogos la refutan, ha sido adoptada rápidamente en la actualidad por el personal Servicio

Climático Nacional<sup>14</sup> estadounidense y profesionistas de todo el mundo se han dado a la tarea de revisarla a través del programa iniciado por el Centro de Ciencias del Viento e Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Texas<sup>15</sup>, en Estados Unidos; para complementar lo plasmado, pues consideran que tiene algunas fallas.



**Fig. 2-13** Temporal según la Escala de Beaufort [Ref. B-38].

<sup>13</sup> Sir Francis Beaufort (1774-1857), fue Almirante en la Fuerza Naval Británica y realizó su primera propuesta con fines militares en 1806 adoptada por la milicia en 1838.

<sup>14</sup> National Weather Service (NWS, USA).

<sup>15</sup> Wind Science and Engineering Center at Texas Tech University.

**Tabla 7**

Clases de rugosidad según el terreno [Ref. B-34].

Clase	Longitud de rugosidad	Energía del viento (%)	Características del terreno
0.0	0.0002	100	Superficie de agua
0.5	0.0024	73	Terreno completamente abierto con superficie suave, por ejemplo, autopistas de concreto en aeropuertos o pasto
1.0	0.0300	52	Área agrícola abierta sin cercas ni sembradíos y edificios muy alejados entre sí; sólo colinas suavemente redondeadas
1.5	0.0550	45	Terreno agrícola con algunas casas y sembradíos de 8 m de altura agrupados a una distancia de aproximadamente 1250 m entre sí
2.0	0.1000	39	Terreno agrícola con algunas casas y sembradíos de 8 metros de altura agrupados a una distancia aproximadamente de 500 m entre sí
2.5	0.2000	31	Terreno agrícola con muchas casas, huertas y plantas, o sembradíos de 8 m de altura agrupados y a una distancia aproximada de 250 m entre sí
3.0	0.4000	24	Villas, pueblos pequeños, terrenos agrícolas con muchos plantíos de gran altura agrupados, bosques y terrenos muy rugosos e irregulares
3.5	0.8000	18	Ciudades grandes con edificios altos
4.0	1.6000	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

**Tabla 8**  
Escala de Beaufort [Ref. B-38].

Grado	Nombre	Velocidad (km/h)	Características
0	Calma chicha	0-1	El humo se eleva verticalmente.
1	Ventolina	2-6	Su dirección es la del humo, las hojas de los árboles permanecen inmóviles, la veleta no se mueve.
2	Viento suave	7-12	Se siente en la cara, susurra entre las hojas y agita las hojas pequeñas, mueve la veleta, mueve una bandera.
3	Viento leve	13-18	Mueve las hojas y las ramas pequeñas, extiende las banderas.
4	Viento moderado	19-26	Levanta polvo y papeles sueltos, mueve las ramas.
5	Viento regular	27-35	Cimbra los árboles pequeños, levanta olas pequeñas en los lagos.
6	Viento fuerte	36-44	Mueve las ramas grandes, zumban los alambres telegráficos, se dificulta usar el paraguas.
7	Viento muy fuerte	45-54	Mueve los árboles, dificulta el andar.
8	Temporal	55-65	Quiebra las ramas pequeñas, impide el andar.
9	Temporal fuerte	66-77	Arranca las tejas, deteriora chimeneas, quiebra los árboles.
10	Temporal muy fuerte	78-90	Arranca los árboles, causa averías en estructuras.
11	Tempestad	91-104	Causa estragos en áreas extensas.
12	Huracán	Más de 104	Causa desolación.



**Tabla 9**  
Escala Fujita [Ref. B-10].

Grado	Nivel de daño	Velocidad (km/h)	Características
F-0	Ligero	64-119	Algunos daños en chimeneas, rompimiento de ramas de árboles, empuje de ramas o árboles caídos, daños en señalamientos y estructuras para anuncios, daño en sobretoldos o cubiertas ligeras.
F-1	Moderado	120-180	Esquinas de techos removidas, chimeneas colapsadas en casas, casas móviles empujadas según la trayectoria del viento, automóviles en movimiento empujados fuera de la carretera, ventanas rotas por los restos de objetos removidos por el viento.
F-2	Significativo	181-252	Secciones de techo y pórticos dañados (especialmente los que tienen un ancho inadecuado), pueden agujerarse largas secciones de techos de dos aguas, levantamiento de capotas de automóviles y cubiertas de garages, casas móviles demolidas, cajas de camiones empujadas, árboles grandes succionados (completos o en parte), genera que los objetos ligeros se conviertan en misiles.
F-3	Severo	253-332	Techos y muros bien construidos de casas agujerados, trenes movidos por el tornado, la mayoría de los árboles del bosque arrancados, camiones pesados levantados del nivel de piso y lanzados a una distancia medible.
F-4	Devastación	333-418	Casas bien construidas levantadas, estructuras poco resistentes movidas cierta distancia, automóviles y objetos grandes lanzados como misiles.
F-5	Increíble	419 y mayores	Marcos estructurales de casas levantados a distancias considerables o son desintegrados, los automóviles "vuelan" por el aire cientos de metros, árboles desgajados.

# 2.2

## PROPIEDADES FÍSICAS DEL VIENTO EN LA CAPA LÍMITE

Desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, el viento es materia (como tema y como sustancia<sup>16</sup>) de estudio debido a sus propiedades físicas en la capa límite atmosférica, donde se entiende que dicha capa es la troposfera, que es la de interés para el ingeniero civil por ser donde los puentes son construidos. Las propiedades físicas del viento se vislumbran al reconocer que tal materia de estudio es un fluido.

Se sabe que la Materia presenta como propiedades comunes<sup>17</sup> las siguientes:

**a) Extensivas**, es decir, aquellas referentes a la masa del fluido; como son la densidad, el peso específico y la gravedad específica.

**b) Intensivas** o térmicas, es decir, referentes al flujo de calor; tales como el calor específico, la energía interna y la entalpía específicas.

Es importante destacar que los fluidos manifiestan como propiedades distintivas: la viscosidad y la elasticidad.

La viscosidad es la atracción entre las moléculas de un fluido que se opone al corte del mismo y que le proporcionan un comportamiento elástico, es decir, la viscosidad está relacionada con la rapidez de deformación del fluido.

Se denomina viscosidad dinámica o coeficiente de viscosidad dinámico, al factor de proporcionalidad de dicho comportamiento elástico, simbolizado como  $\mu$  a través de la expresión:

$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{dV}{dy}\right)} \quad (1)$$

<sup>16</sup> Todo lo que se percibe a través de los sentidos es denominado “materia”, misma se presenta en un estado sólido o fluido.

<sup>17</sup> Aunque la tensión superficial y la presión de vapor también son comunes, no se mencionan en este trabajo por producirse cuando un fluido cambia de líquido a gas, fenómeno poco probable para viento.

en la que  $\tau$  es el esfuerzo cortante entre las capas adyacentes del fluido, y el gradiente de velocidad  $\left(\frac{dV}{dy}\right)$  es el cambio

de velocidad dividido por la distancia sobre la que el cambio ocurre. Debido a que normalmente se ocupa la razón entre viscosidad dinámica y la densidad del fluido, se le ha dado el nombre de viscosidad cinemática o coeficiente de viscosidad cinemático; mismo que varía con la temperatura pero es independiente de la variación de presión (en gases la viscosidad aumenta con la temperatura y en los líquidos disminuye), se asume que es la rapidez de deformación angular del fluido. Como ejemplo se muestran algunos valores de densidad, peso y viscosidad del aire en la tabla 10.

Lo anterior resulta fundamental para la mecánica de fluidos viscosos y compendia la hipótesis que Newton estableció en 1687 como base para el estudio de los fluidos. Debido a que el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la deformación de corte, el gradiente de velocidad resulta ser una recta que pasa por el origen en la gráfica que relaciona dichas variables y que tiene por pendiente el valor de la viscosidad dinámica. A todos

los fluidos que cumplen con la expresión (1), se les denomina fluidos newtonianos<sup>18</sup>.

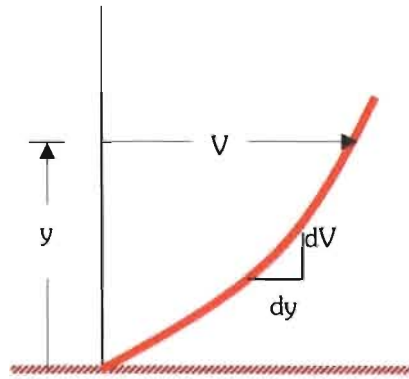
**Tabla 10**  
Valores de densidad, peso específico y viscosidad del aire<sup>19</sup> [Ref. B-20]

Temperatura (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Peso específico (DINA/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica (g/cm·s)	Viscosidad cinemática (cm <sup>2</sup> /s)
-15	1.365	1.338	0.161	0.118
-10	1.343	1.316	0.164	0.122
-5	1.320	1.293	0.168	0.127
0	1.294	1.268	0.171	0.132
5	1.272	1.247	0.174	0.137
10	1.249	1.226	0.176	0.141
15	1.225	1.202	0.178	0.145
20	1.205	1.182	0.181	0.151
25	1.184	1.162	0.183	0.155
30	1.164	1.142	0.186	0.160
35	1.147	1.130	0.188	0.164

Cuando disminuye la presión que actúa sobre una masa de fluido, éste se contrae, y cuando la presión decrece, se expande. La elasticidad de un fluido está relacionada con la cantidad de deformación (expansión o contracción) para un cambio de presión.

<sup>18</sup> Consecuentemente, a los fluidos que no la cumplen se llaman fluidos no newtonianos, y se clasifican 3 tipos: plástico de Bingham, con cortante grueso y, con cortante delgado.

<sup>19</sup> Traducción al español de "Table 8.1 Air density, specific weight and viscosity" [Ref. B-20].



**Fig. 2-14** Distribución de velocidad planteada por Newton [Ref. B-34].

En ocasiones esta propiedad es llamada compresibilidad, porque todos los fluidos se comprimen si la presión aumenta. Cabe mencionar que debido a tal incremento obliga también a un aumento de densidad.

El efecto de compresibilidad puede ser despreciado cuando el valor de cambio en la densidad es muy pequeño<sup>20</sup>; pero en el caso de fluidos que tengan cambios de densidad con valores mayores al 3%, deben ser considerados compresibles, como es el caso de los gases.

Cuantitativamente, esta propiedad puede expresarse a través del módulo de elasticidad o coeficiente de compresibilidad  $E_v$  con la expresión:

$$E_v = \frac{dp}{\left(\frac{d\rho}{\rho}\right)} \quad (2)$$

para la cual los parámetros  $dp$  y  $d\rho$  son cambios de presión y densidad respectivamente.

Como la elasticidad de un gas se encuentra relacionada con la velocidad del sonido, resulta útil el llamado Número de Mach<sup>21</sup> como parámetro para definir si un fluido se considera compresible o no, y que se define como:

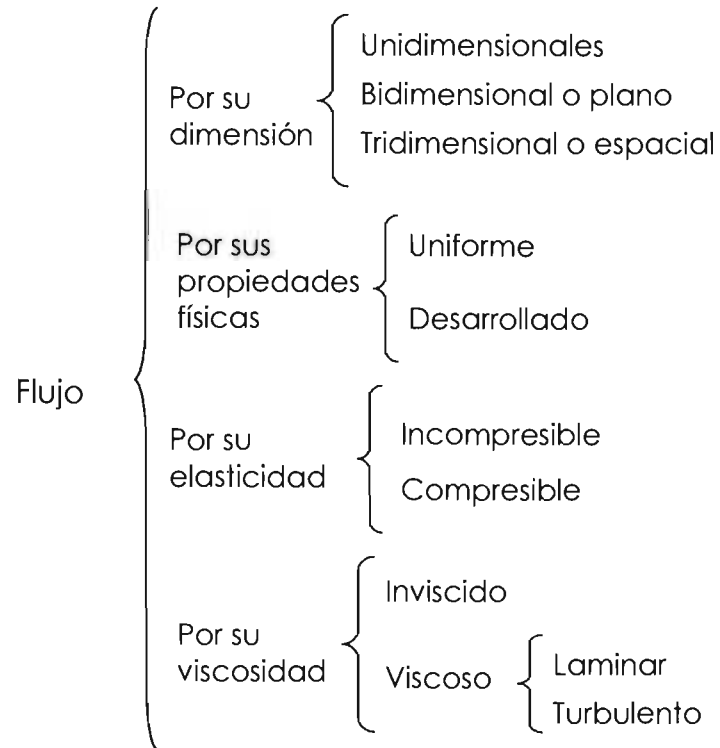
$$M = \frac{V}{c} \quad (3)$$

donde  $V$  es la velocidad del fluido gaseoso y  $c$  la velocidad del sonido. En este punto, se deduce que el viento en la troposfera siempre será un flujo subsónico según las velocidades indicadas en el subcapítulo anterior.

<sup>20</sup> Por esta causa se considera que los líquidos son incompresibles.

<sup>21</sup> Propuesto por el científico Ernst Mach (1838-1916) en 1896 que considera como subsónicos los flujos con  $M < 1$ , como transónicos con  $M$  aproximado a 1, y como supersónico si  $M > 1$ .

Al movimiento de los fluidos se le denomina **flujo** y a continuación se muestra su clasificación:



Los flujos que se clasifican por su dimensión, está claro que la razón es su modo de análisis vectorial en un marco de referencia según su mismo nombre lo indica.

Los flujos uniforme y desarrollado son aquellos en que los perfiles de velocidad varían o no con respecto al marco coordinado de referencia respectivo.

Según la clasificación que se basa en la elasticidad del flujo, los incompresibles existen si la densidad de cada partícula del fluido permanece relativamente constante conforme se desplaza a través del campo de flujo, es decir, cuando la densidad es constante. En este caso, si el Número de Mach  $M$  es menor a 0.3, el fluido puede ser considerado incompresible; pero si es mayor a 0.3, la variación de la densidad influye en el flujo y se deberán tener en cuenta los efectos de compresibilidad.

Con respecto a los flujos que se clasifican por su viscosidad, un flujo inviscido es aquél en que los efectos viscosos no influyen significativamente en el movimiento, por lo que son ignorados, además de ser excelentes para predecir el flujo alrededor de una superficie aerodinámica pues tiene una capa límite. Con frecuencia se consideran como flujos externos, es decir, los que se presentan en el exterior de un cuerpo.

La capa límite, que es una capa delgada supuesta, confina la superficie y tiene como característica que en su borde la velocidad del flujo siempre es nula, por lo que se concentran en él los efectos viscosos.

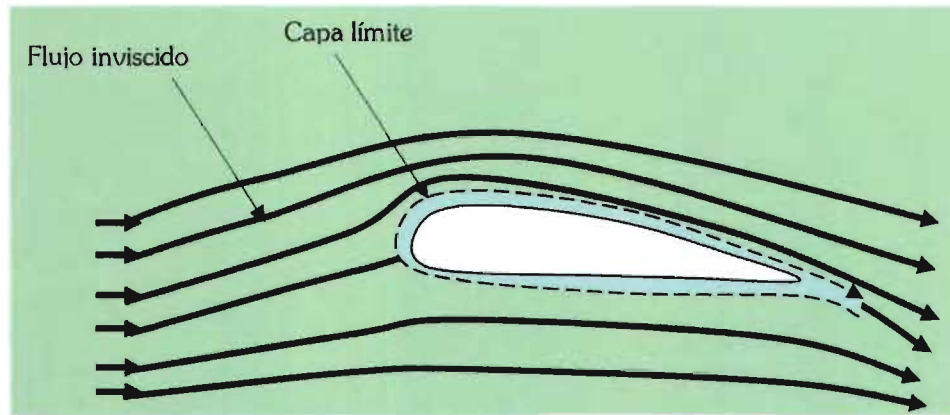


Fig. 2-15 Flujo alrededor de una superficie aerodinámica [Ref. B-34].

De modo contrario, en el flujo viscoso los efectos anteriores son importantes y no pueden pasar desapercibidos. Los flujos de este tipo generalmente se consideran como internos, pues los efectos de la viscosidad provocan pérdidas sustanciales. El flujo viscoso puede clasificarse contar con un régimen laminar o turbulento.

- Laminar. En este flujo el fluido se mueve en capas paralelas una sobre otra sin mezclado

significativo de sus partículas próximas entre sí, pero con esfuerzos cortantes viscosos significativos.

- Turbulento. Los movimientos del fluido varían irregularmente de tal suerte que las cantidades de velocidad y presión muestran una variación aleatoria con el tiempo y las coordenadas espaciales en el marco de referencia. Cuando la variación es aleatoria en el tiempo, se denomina continuo o uniforme si las cantidades físicas promedio dependen del tiempo y no cambian con este; o se denomina

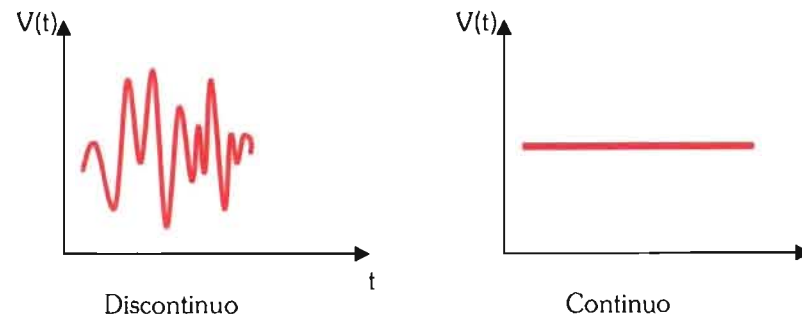
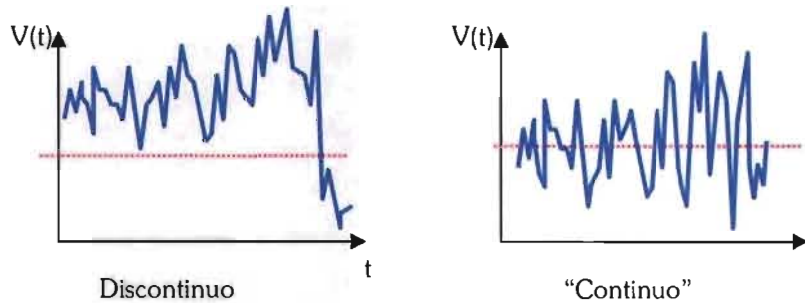


Fig. 2-16 Flujo laminar en que la velocidad depende del tiempo [Ref. B-34].

discontinuo cuando sí cambian con el tiempo, según se indica en la figura 2-16.

La razón por la que un flujo puede ser laminar o turbulento, tiene que ver con una perturbación en las componentes de velocidad (al aumentar o disminuirla). Si la perturbación incrementa, el flujo laminar es inestable<sup>22</sup> y puede llegar a ser turbulento; y si la perturbación disminuye el flujo permanece laminar.



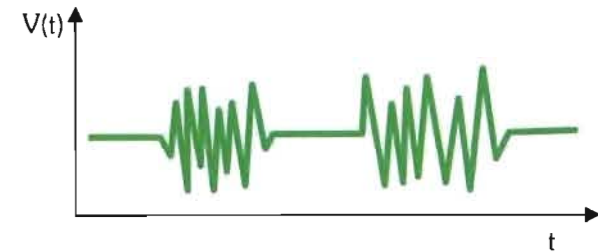
**Fig. 2-17** Flujo turbulento donde la velocidad depende del tiempo [Ref. B-34].

<sup>22</sup> A este tipo de movimiento también se le conoce como flujo de Taylor-Connette y es un flujo laminar diferente en el que se generan movimientos rotatorios si permanece estable o no.

El número de Reynolds<sup>23</sup> es un parámetro que combina una longitud de escala  $L$ , una velocidad de escala  $V$  y la viscosidad cinemática en un flujo  $\nu$  de la siguiente forma:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (4)$$

Al conocer este número se puede definir el régimen del flujo. Cuando se calcula además el número de Reynolds crítico, se efectúa la clasificación con más precisión, puesto que un número mayor a este indica que el flujo laminar ha dejado de existir, y cuando se aproxima al número de Reynolds, el flujo puede ser intermitente, es decir, intercambiar entre laminar y turbulento.



**Fig. 2-18** Flujo intermitente [Ref. B-34].

<sup>23</sup> Cantidad adimensional nombrada así en honor a Osborne Reynolds (1842-1912).

No es apropiado referirse a un flujo inviscido como laminar o turbulento, es mejor denominarlo como corriente libre, misma que puede ser o no rotatoria (con mayor frecuencia es no rotatoria) y que se define como el flujo inviscido fuera de la capa límite en un flujo externo.

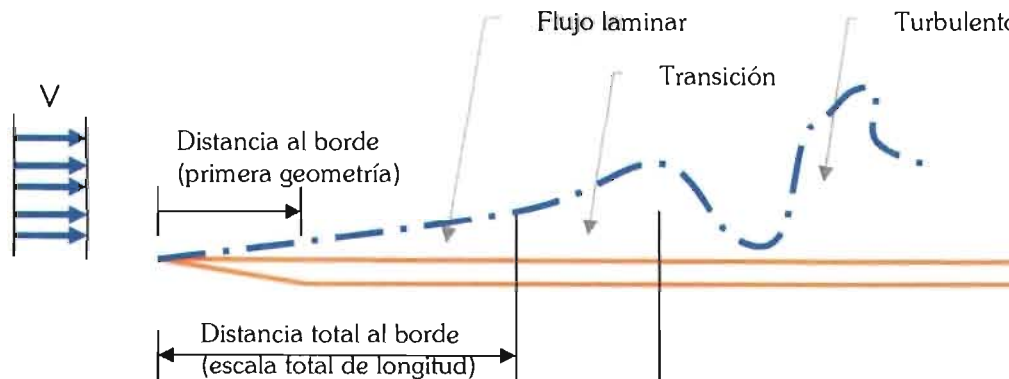
$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_2 \quad (5)$$

De la ecuación 5, con frecuencia se hace referencia como presión total o presión de estancamiento a los términos:

$$p_r = p + \rho \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

El flujo inviscido no siempre da una buena aproximación del movimiento que se genera alrededor de un cuerpo; pues en la realidad, debido a la geometría del cuerpo y viscosidad que todos los fluidos presentan, se generan puntos de estancamiento porque la velocidad del flujo en ellos es nula; asimismo, existen puntos donde la

circulación se realiza con velocidad máxima y presión cero; por lo que el fluido se separa de la capa límite y se crea una región separada (también llamado fenómeno de divergencia o inestabilidad aerodinámica), donde el flujo se recircula. La presión no se incrementa sino que permanece relativamente baja en la parte opuesta del cuerpo inmerso, por lo que la



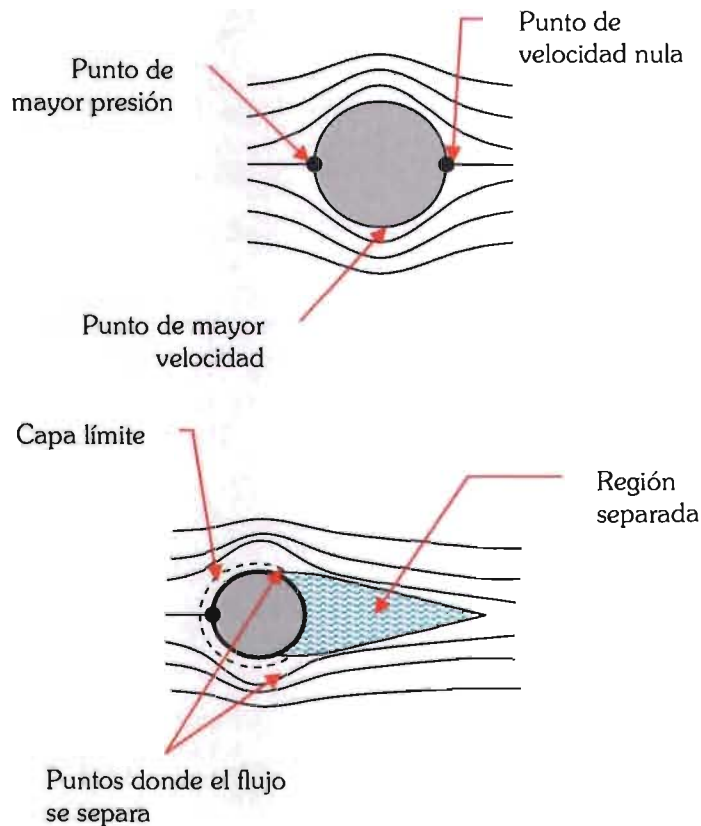
**Fig. 2-19** Flujo en la capa límite de una placa plana [Ref. B-34].

La ecuación de Bernoulli<sup>24</sup>, aplica la segunda ley de Newton (movimiento) a los fluidos y se expresa como:

<sup>24</sup> Daniel Bernoulli (1700-1782), profesor de matemáticas, publicó obras sobre la estática y dinámica de fluidos.



alta presión existente cerca del punto de estancamiento directamente expuesto nunca se recupera en su contraparte y se genera una fuerza de retardo relativamente grande en la dirección del flujo. Los efectos viscosos en la capa límite producen la separación, y este fenómeno con frecuencia es indeseable.



De modo similar a la formación de la región separada, se presenta la estela, que es una región de defecto de velocidad que crece a causa de la difusión (recuperación de la velocidad de corriente libre por el fluido) y se comporta de modo inverso a la región separada, pues mientras esta última tiende a cerrarse, la estela continua difundiéndose hacia el flujo principal y con el tiempo desaparece a medida que su área es excesivamente grande; por lo que puede decirse que la región separada siempre está inmersa en la estela.

**Fig. 2-20** Flujo viscoso (arriba) y flujo real (abajo) sobre una superficie esférica [Ref. B-34].

# 2.3

## ACCIÓN ESTÁTICA DEL VIENTO EN PUENTES

En las páginas anteriores fueron descritos los parámetros que definen el viento (propiedades); pero también debe conocerse la acción que causa sobre los cuerpos romos que rodea.

Los efectos que el viento puede causar en estructuras como los puentes atirantados son de carácter estático y dinámico (como se observa en el cuadro sinóptico de la derecha), aunque es conocido que en puentes con claros medianos o cortos, los efectos dinámicos no son importantes.

En casos idealizados, las acciones del viento pueden ser analizadas como fuerzas

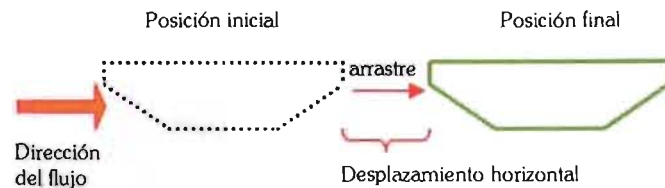


estáticas equivalentes, determinadas a partir de la distribución de presiones locales alrededor del puente (inicialmente sólo se consideraban así las fuerzas debidas al viento), es decir, se simplifican para simular

la presión del aire sobre la superficie de contacto; sin embargo, después de lo sucedido con el Tacoma, se optó por tomar en cuenta también los efectos dinámicos, que están asociados a la velocidad del viento en un tiempo específico.

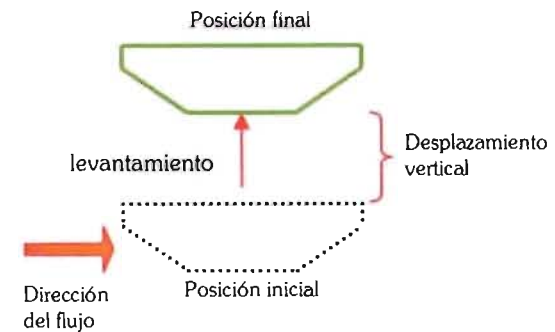
Debido a que es lógico observar los puentes como estructuras que tienen la cubierta paralela a la superficie terrestre; las acciones estáticas debidas al viento que se consideran sobre sus secciones son:

- a) **Arrastre ( $F_A$ )**. Fuerza en dirección del flujo, y que provoca un desplazamiento como el siguiente:



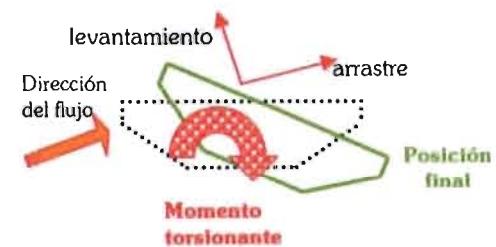
**Fig. 2-21** Fuerza de arrastre del viento.

- b) **Levantamiento ( $F_l$ )**. Fuerza perpendicular a la dirección del flujo que genera un desplazamiento como el indicado en la figura 2-22.



**Fig. 2-22** Fuerza de levantamiento del viento.

- c) **Volteo ( $M_T$ )**. Momento torsionante producido cuando la fuerza resultante del flujo no coincide con el centroide de la sección.



**Fig. 2-23** Volteo en sección de puente.

Un dato importante es que los cambios bruscos en la geometría de secciones de algún cuerpo tienen como resultado regiones separadas en tales puntos ante la

acción del viento, mismas que son insensibles al número de Reynolds.

Según la ecuación (6), la fuerza de arrastre puede definirse como

$$F_A = C_A A_p \rho \frac{V^2}{2} \quad (7)$$

donde  $C_A$  es el coeficiente de arrastre, es decir, la aportación o retraso que aporta el cuerpo al arrastre;  $A_p$  es el área proyectada del cuerpo en la dirección del flujo<sup>25</sup>,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $V$  es la velocidad de la corriente libre. De esta expresión matemática, se observa que es posible determinar el coeficiente de arrastre si se conoce la distribución de presiones alrededor de un cuerpo, pero también se obtiene al medir el arrastre total del objeto en un túnel de viento.

De acuerdo con la ecuación 7, es posible establecer estos coeficientes adimensionales ( $C_A$ =coeficiente de arrastre,  $C_L$ =coeficiente de levantamiento y  $C_M$ =coeficiente de momento), en relación a cada una de las fuerzas estáticas de la siguiente forma:

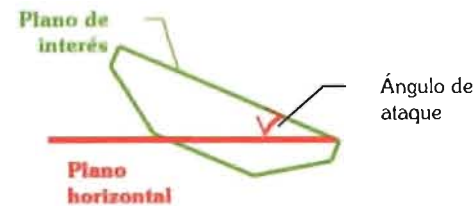
$$C_A = \frac{F_A}{\frac{1}{2} \rho V^2 H} \quad (8)$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 B} \quad (9)$$

$$C_M = \frac{M_T}{\frac{1}{2} \rho V^2 B^2} \quad (10)$$

donde  $H$  y  $B$  son la altura y longitud de la cubierta respectivamente.

No hay que perder de vista que los coeficientes de arrastre varían de acuerdo al número de Reynolds y al ángulo de ataque del flujo, que es aquél formado entre el plano horizontal y el plano de interés del cuerpo (en este caso, del plano de la cubierta del puente).



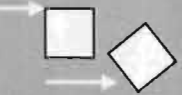

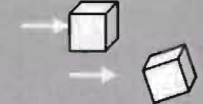




**Fig. 2-24** Ángulo de ataque del viento.

<sup>25</sup> La dirección del flujo está relacionada con la cuerda geométrica del cuerpo observado en dos dimensiones.

Tabla 11

Valores aproximados del coeficiente de arrastre para cuerpos diversos [Ref. B-7].

Tipo de cuerpo	Nombre	Razón de longitud	Re	$C_A$
	Placa rectangular	$l/b = 1$	$>10^4$	1.18
		$l/b = 5$		1.20
		$l/b = 10$		1.30
		$l/b = 20$		1.50
		$l/b = \infty$		1.98
	Cilindro circular con eje paralelo al flujo	$l/d = 0$ (disco)	$>10^4$	1.17
		$l/d = 0.5$		1.15
		$l/d = 1$		0.90
		$l/d = 2$		0.85
		$l/d = 4$		0.87
		$l/d = 8$		0.99
	Barra cuadrada	$\infty$	$>10^4$	2.00
				1.50
	Barra triangular	$\infty$	$>10^4$	1.39
	Cubo		$>10^4$	1.10
				0.81
	Cono con vértice de $60^\circ$		$>10^4$	0.49
	Paracaídas		$\approx 3 \times 10^7$	1.20

# 2.4

## EFECTOS AERODINÁMICOS Y FENÓMENOS DE INTERACCIÓN DINÁMICA

Según se ha planteado, el flujo en la atmósfera es casi siempre turbulento, porque continuamente se forman torbellinos (vórtices) que se descomponen en otros más pequeños que se disipan debido a la rugosidad de las superficies con las que se topan.

Un vórtice es el movimiento de una multitud de partículas fluidas alrededor de un centro común; y se han identificado dos tipos de vórtices que poseen líneas de corriente concéntricas que se pueden describir matemáticamente. Uno de ellos se llama vórtice forzado, y su velocidad aumenta en forma lineal desde el centro de rotación; el otro se llama vórtice libre o potencial, donde la velocidad aumenta hacia el centro del vórtice. Los vórtices en el mundo real, con frecuencia son una combinación de ambos.

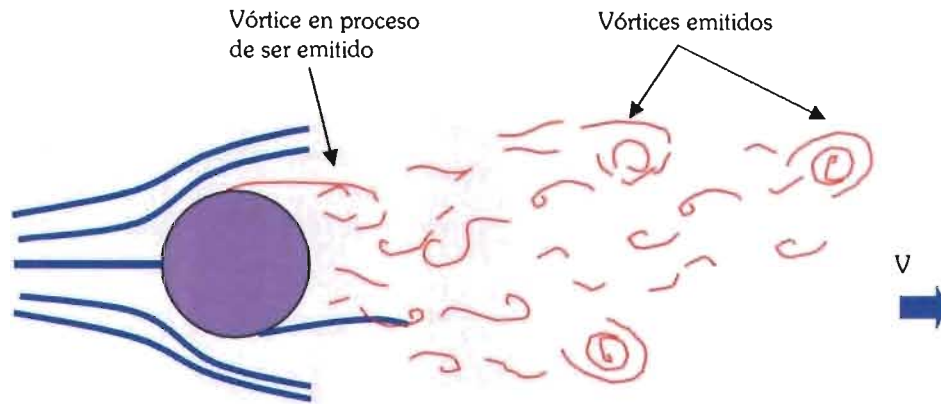
En términos generales, se dice que los vórtices<sup>26</sup> son remolinos o formas identificables en un patrón de flujo a cierta distancia del cuerpo por emitirse de modo regular y alternado desde lados opuestos del objeto; por lo que al flujo resultante corriente abajo<sup>27</sup> se le llama estela vorticiosa o calle de vórtices de Kármán. Debido al efecto causado por el movimiento rotacional de los vórtices, su velocidad traslacional es menor que la del flujo; y aunque todos los vórtices tienen vorticidad (que depende de la velocidad con que rota cada partícula en un fluido), no siempre que hay vorticidad se presentan vórtices; es decir, aunque en los flujos las partículas tienden a girar debido a la velocidad con que se mueve el fluido

---

<sup>26</sup> Llamados también “convección de Bénard”.

<sup>27</sup> Se denomina corriente arriba al flujo antes de pasar por un punto definido en su dirección, y corriente abajo cuando ya ha pasado por ese lugar.

(cuando existen condiciones para ello), no siempre se generan remolinos.



**Fig. 2-25** Formación de vórtices [Ref. B-34].

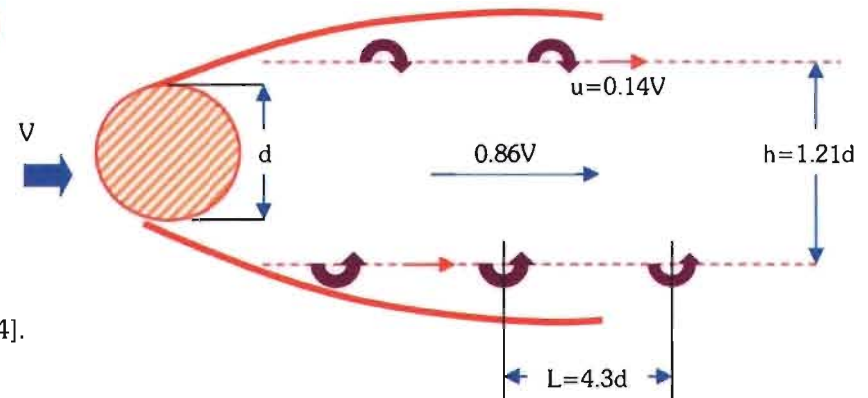
Los vórtices son emitidos cuando el número de Reynolds se encuentra entre 40 y 10 000, y van acompañados por turbulencia cuando  $Re=300$ .

La frecuencia de emisión de los vórtices de Von Kármán<sup>28</sup> cuando el flujo tiene un número de Reynolds alto depende de la velocidad ( $V$ ) y del diámetro del cuerpo ( $D$ ), y normalmente se conoce con el número de Strouhal, calculado mediante la expresión:

<sup>28</sup> Nombrada así en honor de Theodor Von Kármán (1881-1963).

$$St = \frac{fD}{V} \quad (11)$$

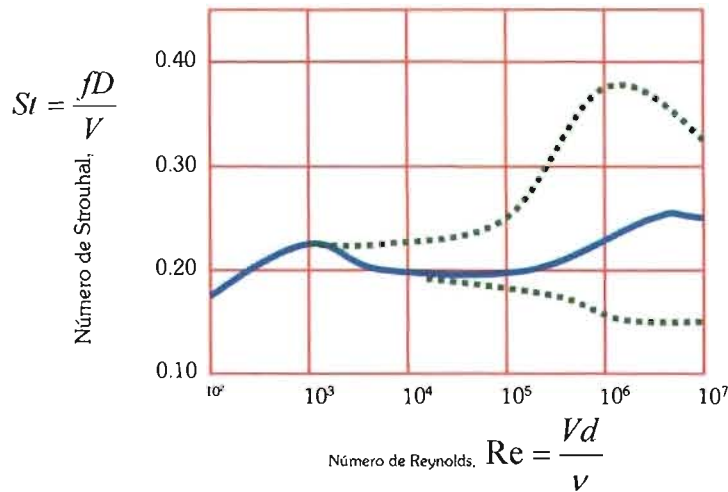
donde  $f$  es la frecuencia con que se generan los vórtices en el fluido medida en hertz.



**Fig. 2-26** Patrón regular de vórtices de Karman [Ref. B-20].

La frecuencia de la emisión de los vórtices ( $St$ ) genera un esfuerzo en la sección, y cuando la velocidad del viento es tal que la frecuencia vorticiosa coincide con la frecuencia natural<sup>29</sup> del cuerpo o estructura, es posible que ocurran grandes amplitudes de vibración; vibración que dependerá de la geometría transversal.

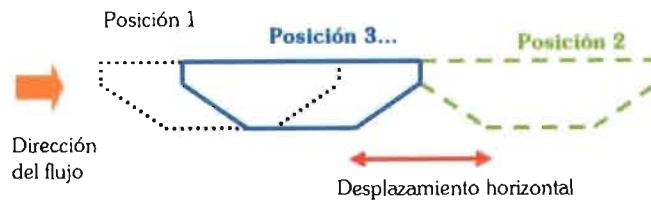
<sup>29</sup> Que es el movimiento vibratorio u oscilatorio que se produce por unidad de tiempo cuando el cuerpo no tiene ninguna fuerza externa que modifique ese comportamiento.



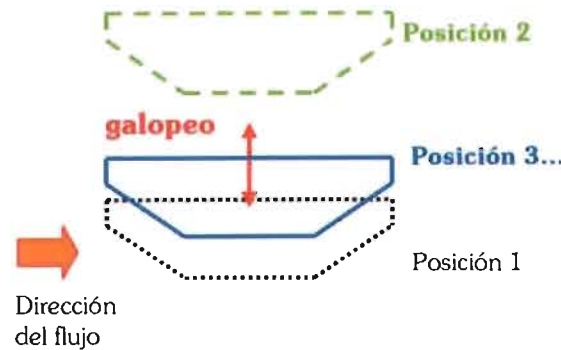
**Fig. 2-27** Comparación del Número de Strouhal contra el Número de Reynolds para un flujo alrededor de un cilindro circular [Ref. B-7].

El estudio del movimiento de puentes es complejo debido a que la distribución de presiones en la sección es variable con respecto al tiempo, además de que tales fuerzas interactúan con las fuerzas dinámicas internas generadas por el movimiento de la estructura; es decir, las fuerzas aerodinámicas de arrastre, levantamiento y momento torsionante, interactúan con las fuerzas de la estructura generando oscilaciones autoexcitadas en sentido horizontal, vertical y angular;

denominadas de golpeteo (sacudida horizontal), galopeo (sacudida vertical), y aleteo (o flameo) respectivamente.

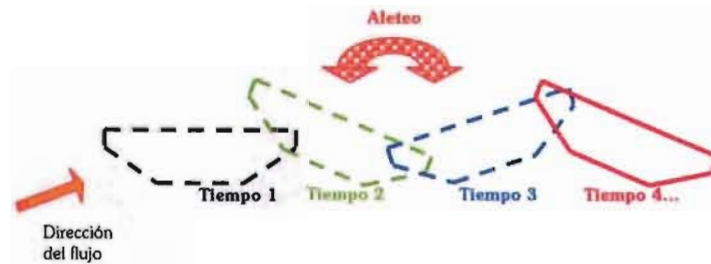


**Fig. 2-28** Golpeteo o vaivén horizontal.



**Fig. 2-29** Galopeo o vaivén vertical.





**Fig. 2-30** Aleteo o flameo.

Cuando se presenta una sección poco común que estará sometida a flujo atmosférico, se recurre a una sección geométrica similar a la que aparece en los reglamentos o bien hacer pruebas de túnel de viento; que es un instrumento de investigación ocupado en Ingeniería para realizar experimentos referentes a flujo de viento, en los que se simulan las condiciones atmosféricas bajo mecanismos de control; con lo que se obtienen mediciones de muy aproximadas para determinar las cargas por viento en tramos de estructuras a escala real, aunque esto sucede en muy pocos casos ante flujo turbulento.

Los ensayos que se efectúan en el túnel de viento se usan también para investigación, como forma de corroborar o mejorar las normas técnicas de los reglamentos y,

como ya se ha mencionado, también es una herramienta para determinar las cargas por viento en estructuras especiales que no se encuentran explícitamente en reglamentos. Existen túneles de viento denominados "de capa límite" y con flujo laminar.

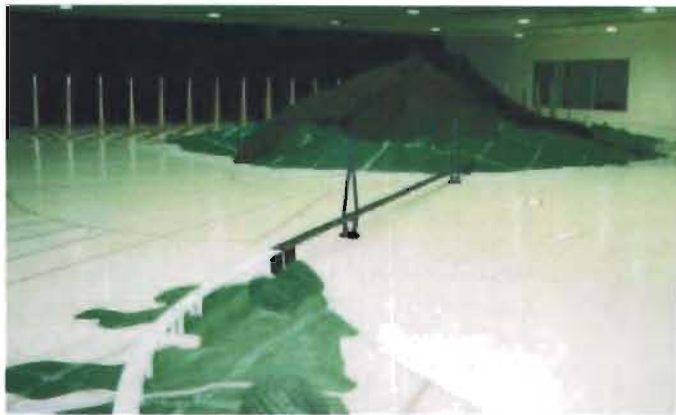
En el túnel de viento de capa límite se tiene gran sección transversal y gran longitud total, por lo que se requieren instalaciones de circuito de aire abierto y cerrado; en él se pueden ensayar modelos reducidos de estructuras completas o tramos en escala natural, se puede modelar el terreno circundante y estructuras en ambiente marino. En este tipo de túnel se obtienen valores de reacciones y movimientos en la estructura, estados límite últimos (resistencia de la estructura) y cargas aeroelásticas (fuerzas que el viento produce en una estructura debido a la deformación de la misma); los más importantes en el mundo son:

- Danish Maritime Institute (Dinamarca)
- Kawasaki Heavy Industries (Japón)
- NASA Ames Research Center (Estados Unidos)
- National Research Council (NRC, Canadá)
- Universidad de Milán (Italia)

- Universidad de Western Ontario (Canadá)<sup>30</sup>
- Universidad de Yokohama (Japón)



**Fig. 2-31** Túnel de viento de Yokohama [Ref. B-22].



**Fig. 2-32** Modelo del puente Tataru y su terreno circundante en el túnel de viento de Yokohama [Ref. B-22].

En el caso del túnel de flujo laminar, se cuenta con una sección transversal y longitud medianas o pequeñas, además de instalaciones de circuito de aire abierto y cerrado. El objetivo de estos túneles es obtener los coeficientes aerodinámicos y aeroelásticos; los más importantes son:

- Centro Científico y Técnico en la Edificación de Nantes (Francia)
- Instituto Superior Técnico de Lisboa (Portugal)
- Universidad John Hopkins (Estados Unidos)

Cabe mencionar que en nuestro país se cuenta con el primer túnel de viento de capa límite de Latinoamérica, ubicado en el Instituto de Ingeniería de la Máxima Casa de Estudios (UNAM, 1967), con sección de pruebas de 0.80x1.20 m y longitud de 2.40 m, donde se producen velocidades de flujo laminar o turbulento hasta 150 km/h, que registra datos mediante sensores de presión y 4 computadoras. El tamaño máximo de los modelos que pueden ser probados en él es de 40x80 cm. En este túnel de viento se han probado estructuras como por ejemplo: el Palacio de los Deportes y estructuras industriales.

<sup>30</sup> Este fue uno de los primeros túneles de viento de capa límite. Diseñado por el Profesor A. G. Davenport, construido en 1965.

Para realizar pruebas en un túnel de viento, normalmente se ocupan los modelos de Fraude y Reynolds cuando se trata de modelos teóricos, y se ocupa el de Jensen cuando se quiere obtener datos para flujo turbulento; donde se generan maquetas con las siguientes características:

**Tabla 12**

Escalas para maquetas según prueba a realizar en el túnel de viento [Ref. B-12].

Prueba	Escala
Topografía	1:2000 hasta 1:5000
Presión local intermitente	1:100 hasta 1:500
Cargas en un área	1:100 hasta 1:500
Medición directa por acción de viento	1:100 hasta 1:500
Modelado de secciones	1:50 hasta 1:100
Aerodinámica para edificios, puentes, etc.	1:100 hasta 1:300

Para estructuras como los puentes suspendidos se producen dos efectos debidos al viento: acción media y aeroelásticos. Se considera que los primeros se presentan cuando la geometría no se ha deformado, y los segundos, se deben a la deformación de la estructura; y pueden además ser de carácter estable o inestable. La estabilidad aerodinámica

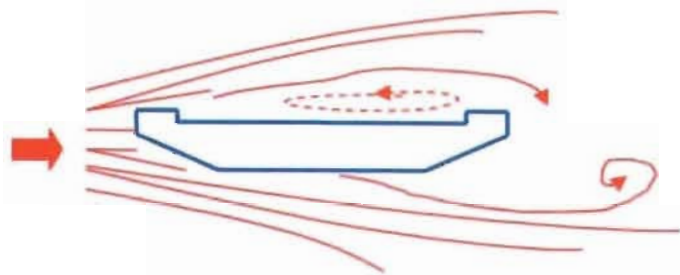
depende del tipo de flujo y la aeroelástica depende de la estructura sometida a dicho flujo y sus propiedades dinámicas.

Por lo anterior, resulta interesante comentar que cuando un cuerpo tiene forma aerodinámica (forma que disminuye el efecto del aire en la superficie del cuerpo) se reduce la curvatura extrema en el lado corriente abajo del cuerpo para disminuir o eliminar de esta forma el fenómeno de separación, y disminuir también el coeficiente de arrastre por presión (levantamiento); pero aumenta el arrastre viscoso (arrastre) debido a que existe una mayor cantidad de superficie en contacto paralelo; al darle forma aerodinámica a un cuerpo se elimina la formación periódica de vórtices ante valores elevados del número de Reynolds, lo que explica la geometría de las secciones (cuerpos romos que tienden a ser aerodinámicos) que generalmente se usan en puentes suspendidos, pues se conoce que mejoran su estabilidad.

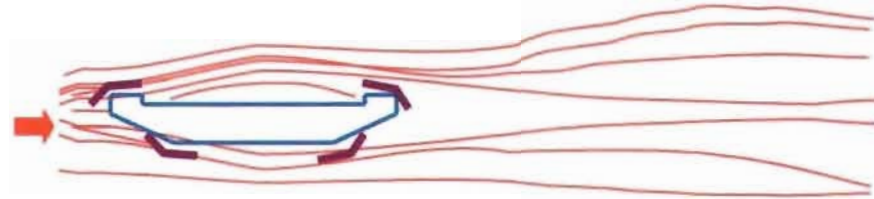
El comportamiento estructural de un puente atirantado es dependiente de:

- La distribución de masa de sus partes<sup>31</sup>.
- La rigidez total del puente.
- Su estabilidad ante perturbaciones a su posición de equilibrio.

Un estudio realizado en un túnel de viento dio a conocer la necesidad de colocar deflectores en ángulos bien definidos de la sección transversal del puente Saint-Nazaire, por lo que posteriores estudios han concluido que el incremento de rigidez a la torsión contribuye a la estabilidad, cosa que se logra por ejemplo con pantallas para viento o barreras de seguridad en la cubierta.



**Fig. 2-33** Sección de puente sin deflectores [Ref. B-1].



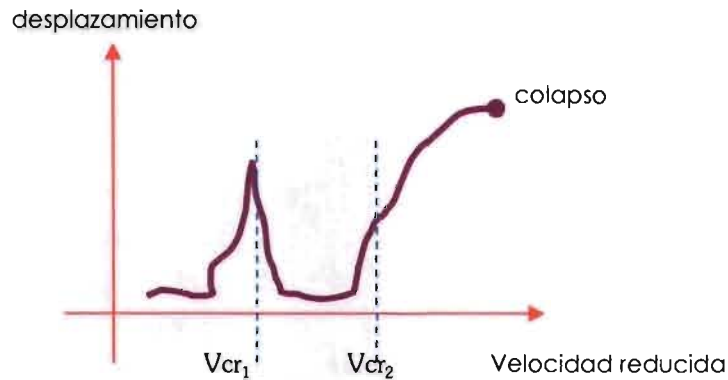
**Fig. 2-34** Sección de puente con deflectores [Ref. B-1].

Se ha estudiado que para puentes con grandes claros, poco peso y una frecuencia natural de 0.1 Hz., resultan de gran importancia las características dinámicas del viento pueden interactuar con la respuesta dinámica de la estructura causando inestabilidades aerodinámicas y aeroelásticas<sup>32</sup>.

Es muy importante saber que como consecuencia de la presencia de vórtices se producen velocidades críticas del viento  $V_{cr}$ . La velocidad crítica se define como la velocidad de flujo laminar o la velocidad media del flujo turbulento en que ocurre la mayor excitación aerodinámica, es decir, la velocidad con que el viento provoca una mayor respuesta dinámica en el puente.

<sup>31</sup> Para efectos de análisis y diseño, se examinan las características de sus partes por separado para poder simplificar el procedimiento.

<sup>32</sup> La inestabilidad aeroelástica es el fenómeno de aumento incontrolado de movimientos en una estructura producidos por su propia respuesta ante la acción del viento.



**Fig. 2-35** Representación esquemática de la velocidad crítica.

Dicha velocidad se obtiene por medio de pruebas en un túnel de viento o mediante la solución de ecuaciones propuestas (por autores como Kármán, Farquharson, Vincent, Bleich, Vlasov y Theodorsen) que brindan aproximaciones teóricas a los fenómenos aeroelásticos.

Cuando se presenta la velocidad crítica, la cubierta recibe más energía de la que puede ser disipada por amortiguamiento y como resultado se producen movimientos en flexión y torsión combinados, generándose un rápido incremento de amplitudes hasta llegar al colapso del puente.

En el estudio de inestabilidad en puentes, se identifican tres mecanismos de falla. El primero es el aleteo por torsión, que se presenta comúnmente en puentes que carecen de formas aerodinámicas; el segundo es el aleteo, que se genera por el acoplamiento entre flexión y torsión, este mecanismo se presenta comúnmente en secciones aerodinámicas; el tercero es la resonancia, que conduce a la inestabilidad de la estructura y se debe al acoplamiento de la frecuencia natural con la producción de las estelas vorticosas.

# Capítulo

$$M\ddot{r} = I\rho\ddot{\alpha} + 2\eta\omega\dot{\alpha} + \omega\alpha^2$$

$$\rho V^2 B \left[ KH_1^*(K) \left( \frac{h}{V} \right) + KH_2^*(K) \left( \frac{B}{V} \right) \right]$$

$$r = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t$$

# 3

$$L = m\dot{h} + \omega s^2 h$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} \left( \frac{c}{2m} \right)^2}$$

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0$$

$$KA_1^*(K) \left( \frac{h}{V} \right) + KA_2^*(K) \left( \frac{B}{V} \right) + \dots$$

*"La cantidad caracteriza a los objetos (...);  
se expresa matemáticamente y su particularidad estriba  
en que su cambio, al alcanzar cierto límite, influye sobre su cualidad"*  
Hegel

# Análisis matemático

# 3.1

## ECUACIONES QUE CONTROLAN EL MOVIMIENTO

Una estructura surge por la necesidad de mejorar las condiciones de vida de la sociedad, y en para la Ingeniería Civil, dicha estructura debe cumplir su función con cierto grado de seguridad y con un comportamiento aceptable<sup>1</sup> en condiciones de servicio; para poder lograrlo, es importante basarse en el análisis de un modelo que represente el problema (estructura y cargas aplicadas en ella).

El análisis es el cálculo que el ingeniero civil realiza, mediante un proceso matemático, para conocer los elementos mecánicos (respuestas) del modelo ante cierta configuración de cargas aplicadas. Tal análisis puede ser de carácter:

- Estático, es decir, se considera que ni la estructura ni las cargas a las cuales está sometida se mueven.

- Dinámico, es decir, se considera el movimiento existente.

En los puentes atirantados, se conoce que el movimiento de secciones transversales, causado por la acción del viento, se traduce a oscilaciones periódicas. El movimiento inducido por la fuerza que ejerce el viento juega un papel importante en los puentes atirantados; (tal movimiento depende de la velocidad) por lo que el análisis de interés es de carácter dinámico.

Basándose en la suposición de que los puentes tienen rigidez limitada a torsión, y con la inquietud de conocer las velocidades críticas máximas, Rocard [Ref. 8-20] propuso una ecuación que predice la velocidad crítica para inestabilidad dinámica en puentes suspendidos en función del ancho de la cubierta y las frecuencias natural a torsión y flexión.

---

<sup>1</sup> Por lo general el "comportamiento aceptable" está delimitado en Reglamentos y Normas locales de resistencia de materiales.



Dicha ecuación fue comprobada posteriormente por Klöppel y Vlasov [Ref. B-20]. De tal modo se llegó a conocer que las oscilaciones acopladas de inestabilidad dinámica ocurren si las oscilaciones de flexión y torsión tienen valores cercanos.

Especialistas norteamericanos e ingenieros consideran que la estabilidad aerodinámica de los puentes suspendidos puede asegurarse incrementando la rigidez de la estructura a torsión para que la frecuencia natural a torsión sea significativamente mayor que la de flexión, evitando así el acoplamiento de oscilaciones máximas.

Por su parte, Leonhardt y Davenport [Ref. B-20] consideran que tal suposición no elimina la causa de las oscilaciones, al contrario, las aumentan. Ellos proponen que para eliminar realmente la causa de las oscilaciones y el límite de las fuerzas aerodinámicas; debe modificarse el peso de la cubierta y adoptar una forma aerodinámica. Con esta teoría se manejan las ecuaciones y características que toman en cuenta la forma de la sección bajo acción del viento.

Tras otros estudios, ha sido posible explicar que las oscilaciones verticales producidas por fuerzas de viento horizontales se deben a la formación de vórtices de Karman en la sección transversal del puente, remitiéndose así a las ecuaciones que predicen tal efecto, pues cuando la frecuencia de vórtices coincide con la frecuencia natural a flexión o torsión, ocurre el fenómeno de resonancia y la amplitud de las oscilaciones alcanza valores realmente grandes si el amortiguamiento del puente no es suficiente.

## Amortiguamiento

Aunque el amortiguamiento es un fenómeno de interacción dinámica que produce disipación de energía, se explica en este apartado por la estrecha relación que guarda con el movimiento que causan las vibraciones en los puentes atirantados; por ello, resulta importante conocer el valor de amortiguamiento con la mayor aproximación posible.

El amortiguamiento se define como la capacidad que tiene una estructura para disipar la energía a través de fuerzas internas o externas a la misma, que se

oponen al movimiento y producen un cambio en las vibraciones; es decir, provoca fuerzas que causan el agotamiento gradual de las vibraciones en un miembro estructural.

Existen diversas formas de disipación de la energía, como son las debidas a:

- La atmósfera o medio ambiente
- El terreno
- Fricción interna en el material (deformaciones del material)
- Fricción local, generada en las superficies de contacto (conexiones o juntas)

El fenómeno de disipación de energía es complejo, por lo que no existe un modelo único aceptado por todos los conocedores sobre el tema.

El estudio más desarrollado es el de disipación de energía por fricción<sup>2</sup>, y es en este marco, donde se le confiere a Jacobsen [Ref. B-37] el mérito de proponer un "método energético" donde considera que el amortiguamiento produce una fuerza que genera velocidad.

La predicción de la respuesta estructural para este tipo de excitación está

<sup>2</sup> Se denomina también como histerético o estructural.

influenciada por muchos parámetros y a menudo sólo las pruebas en túnel de viento proveen datos satisfactorios del comportamiento.

Se considera que el movimiento de una estructura con un grado de libertad<sup>3</sup> sin excitación externa está dada por la expresión:

$$m \ddot{x}(t) + c \dot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad (12)$$

donde:

m = masa de la estructura

x(t) = desplazamiento desde la posición de equilibrio

c = coeficiente de amortiguamiento

k = constante de rigidez

que puede resumirse diciendo que la fuerza inercial, amortiguadora y restauradora deben estar en equilibrio.

Es fácil reconocer que la ecuación (12) es una ecuación diferencial ordinaria lineal de segundo orden con coeficientes

<sup>3</sup> Se nombran así porque sólo interesa el valor en un punto, considerado como representativo de toda la estructura.

constantes<sup>4</sup>, que para resolverse requiere de una ecuación de segundo grado como auxiliar para ser resuelta<sup>5</sup>.

La solución general a esta ecuación, es:

$$x = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t \quad (14)$$

que representa un movimiento armónico simple, donde  $\omega$  representa la frecuencia, dependiente de la rigidez, el amortiguamiento<sup>6</sup> y la masa:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (13)$$

el resultado de esta última expresión puede encontrarse clasificado en alguno de los siguientes casos:

1.  $c > 0$ , es decir, las oscilaciones son amortiguadas y tienden a disminuir

<sup>4</sup> **Ecuación** (expresión que contiene el signo "=", **diferencial** (para resolverla se requiere encontrar una función que contiene las derivadas de una o más de las variables desconocidas), **ordinaria** (la función desconocida depende sólo de una variable), **lineal** (la variable dependiente y todas sus derivadas están elevadas a la potencia 1), **segundo orden** (la función debe derivarse máximo dos veces), **coeficientes constantes** (los valores que multiplican a la función y sus derivadas son conocidos) [Ref. C-3].

<sup>5</sup> Fundamento matemático en [Ref. C-15].

<sup>6</sup> Fundamento matemático en [Ref. B-20].

(converge) (fig. 3-1), por lo que este sistema estructural se considera estable.

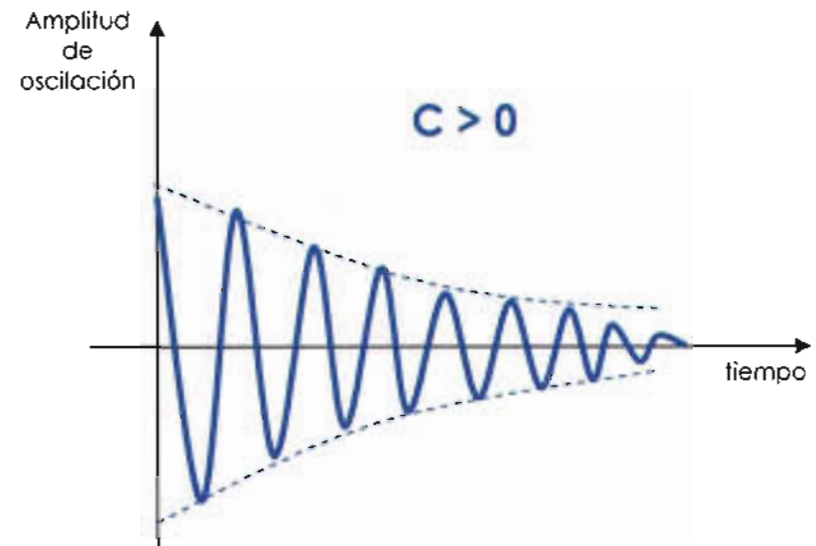


Fig. 3-1 Amortiguamiento positivo [Ref. B-20].

2.  $c = 0$ , es decir, cuando existen valores nulos, la estructura mantiene oscilaciones constantes (fig. 3-2).
3.  $c < 0$ , es decir, se incrementan las oscilaciones en magnitud (diverge) y el sistema estructural se considera inestable (fig. 3-3).

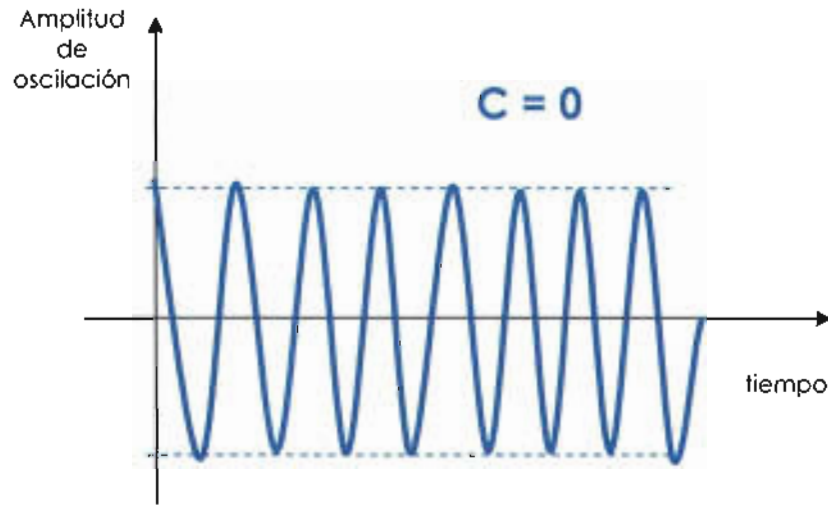


Fig. 3-2 Amortiguamiento nulo [Ref. B-20]

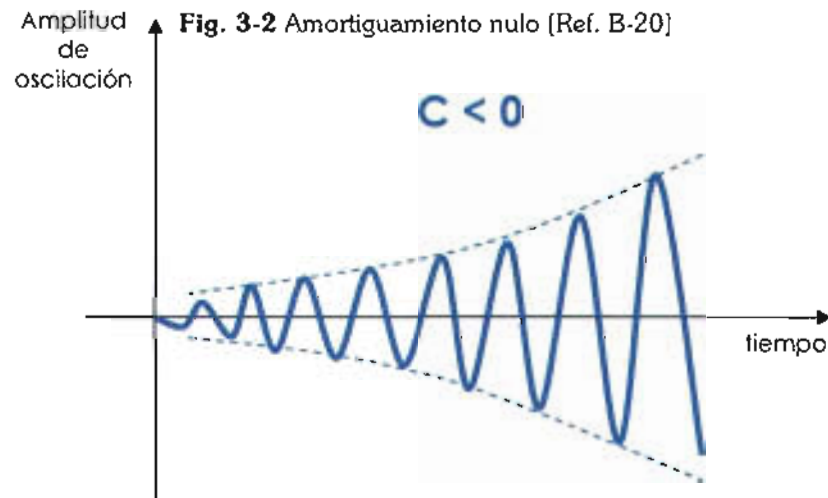


Fig. 3-3 Amortiguamiento negativo [Ref. B-20]

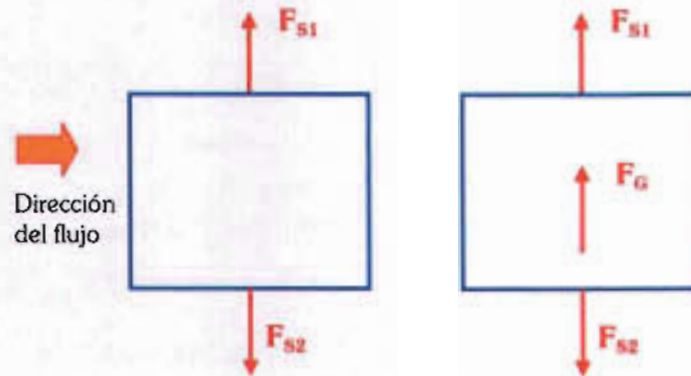
## Galopeo

El galopeo se refiere a las vibraciones en dirección casi perpendicular a la del viento; cuando estas vibraciones se deben principalmente a que la estructura tiene un amortiguamiento aerodinámico negativo.

Cuando la estructura se encuentra estable, como es lógico, se presentan dos fuerzas de succión con igual magnitud y sentidos opuestos, tal como se muestra en la fig. 3-4. Sin embargo, cuando la estructura es inestable y la dirección del viento es perpendicular al eje de simetría vertical de la misma, surge una fuerza adicional que se suma a la de succión que se dirige hacia arriba ( $F_{S1}$ ); que para ciertas secciones transversales sometidas a circunstancias particulares, indica que  $F_{S1}$  es mayor a  $F_{S2}$ .

Este fenómeno se vuelve más

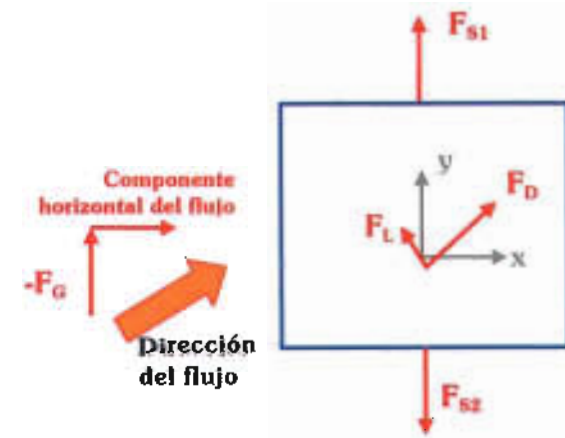
interesante cuando el ángulo de ataque del viento es diferente de cero, ya que para analizar el comportamiento de la estructura, la fuerza ejercida por el viento debe descomponerse en dos direcciones ortogonales (fig. 3-5).



**Fig. 3-4** Diagrama de viento horizontal en sección,  $F_G$  representa la fuerza que provoca el galopeo con  $c > 0$  [Ref. 32]

## Teoría aplicable

Debido a la tendencia de los flujos reales para presentar fenómenos no contemplados en la teoría de flujos perfectos, o más bien, dada la tendencia de la teoría de flujos para ser incapaz de responder a los fenómenos que presentan en la realidad los flujos que se crean en la naturaleza debido al gran número de



**Fig. 3-5** Diagrama de viento con ángulo de ataque diferente de cero [Ref. 32].

variables que en ella coexisten; los ingenieros en aeronáutica han realizado ajustes a la misma, en los que toman en cuenta los efectos de viscosidad en la capa límite y la separación del flujo. Uno de ellos fue Zhukovsky, quien desarrolló la primera aplicación exitosa de la teoría de variable compleja para representar un flujo en dos dimensiones mediante una función analítica, aunque sólo pudo aplicarse a una familia de formas.

Theodore Theodorsen utilizó los trabajos de Zhukovsky para el diseño aeronáutico donde establece mecanismos para analizar procesos inestables. Es este modelo el que se ha ocupado en la Ingeniería Civil para el estudio del aleteo, donde se asocia

la respuesta a tres grados de libertad (dos lineales y uno angular) en flujo laminar; por lo que, según lo descrito en el capítulo anterior, un flujo laminar de velocidad constante produce tres fuerzas en la cubierta de un puente<sup>7</sup>: arrastre, levantamiento y momento; que se presentan por una oscilación armónica de la estructura con una frecuencia  $\omega$ , definida en las ecuaciones 13, 14 y 15.

$$A = \frac{1}{2} \rho V^2 B \left[ KP_1^*(K) \left( \frac{\dot{P}}{V} \right) + KP_2^*(K) \left( \frac{B\alpha}{V} \right) + K^2 \alpha P_3^*(K) + K^2 P_4^*(K) \left( \frac{P}{B} \right) \right] \quad (13)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 B \left[ KH_1^*(K) \left( \frac{h}{V} \right) + KH_2^*(K) \left( \frac{B\alpha}{V} \right) + K^2 \alpha H_3^*(K) + K^2 H_4^*(K) \left( \frac{h}{B} \right) \right] \quad (14)$$

$$M_T = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 \left[ KA_1^*(K) \left( \frac{h}{V} \right) + KA_2^*(K) \left( \frac{B\alpha}{V} \right) + K^2 \alpha A_3^*(K) + K^2 A_4^*(K) \left( \frac{h}{B} \right) \right] \quad (15)$$

Para tales ecuaciones:

B es el ancho de la cubierta del puente,

$\rho$  es la densidad del aire,

V es la velocidad,

K es la frecuencia reducida de oscilación,

$H_i^*$ ,  $P_i^*$  y  $A_i^*$  son coeficientes aerodinámicos adimensionales obtenidos al ensayar un modelo a escala en un túnel de viento,

h y  $\alpha$  son los grados de libertad son (fig. 3-6); de donde puede destacarse que los coeficientes  $H_i$  están asociados a h y los coeficientes  $A_i$  lo están con  $\alpha$ .

$H_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  son conocidos como directos y son los más importantes en la mayoría de

los casos, pues se refieren al flujo laminar;  $A_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$  se denominan

coeficientes de acoplamiento; y de todos ellos, el más significativo es  $A_2$ .

de arrastre (ecuación 13) se calculan mediante criterios estáticos, el caso de análisis se enfoca a las fuerzas de levantamiento y momento torsionante. Lo anterior aunado a que los coeficientes  $P_4^*$ ,  $H_4^*$  y  $A_4^*$  se presentan cuando se genera un flujo turbulento<sup>8</sup>, provocan que las

<sup>7</sup> Dedución matemática de estas ecuaciones en [Ref. B-37].

<sup>8</sup> El modelo matemático y el túnel de viento aplican criterios para flujo laminar.

ecuaciones 14 y 15 se simplifiquen en un término cada una<sup>9</sup>.

Con fundamento en la Segunda Ley de Newton y el principio de D'Alembert<sup>10</sup>, han sido establecidas las siguientes ecuaciones, denominadas "ecuaciones de equilibrio dinámico":

$$L = m \ddot{h} + 2\eta_h \omega_h \dot{h} + \omega_h^2 h \quad (16)$$

$$M_T = I_p \ddot{\alpha} + 2\eta_\alpha \omega_\alpha \dot{\alpha} + \omega_\alpha^2 \alpha \quad (17)$$

donde:

$m$  = masa de la sección transversal por unidad de longitud

$I_p$  = momento másico de inercia

$\eta_i$  = fracción de amortiguamiento

$\omega_i$  = frecuencia circular

$h$  y  $\alpha$  = grados de libertad, vertical y rotación respectivamente

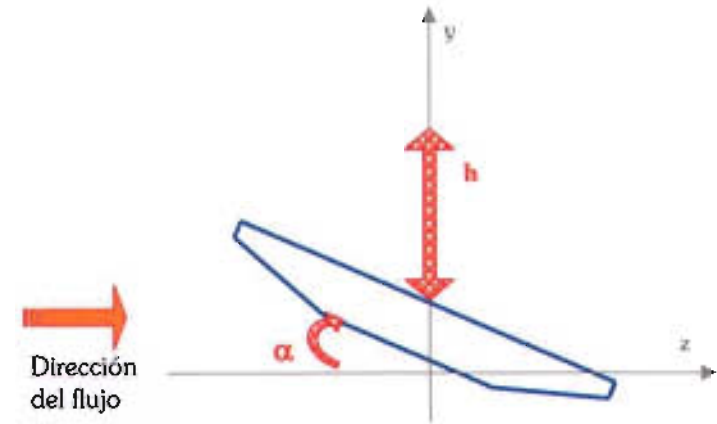


Fig. 3-6 Grados de libertad en la sección de un puente atirantado.

<sup>9</sup> Consultar simplificación en [Ref. B-37].

<sup>10</sup> Físico, matemático y filósofo francés (1717-1783) quien supuso que un sistema en movimiento formado por sólidos de masa constante sin rozamientos entre ellos ni con obstáculos exteriores, el trabajo virtual de las fuerzas aplicadas y de las fuerzas de inercia es nulo. También estableció la norma para determinar la convergencia o divergencia de una serie [Ref. C-3].

# 3.2

## SOLUCIÓN NUMÉRICA A LAS ECUACIONES

Al inicio de la década pasada, se planteó un sistema autónomo convergente de ecuaciones diferenciales de primer orden (R. Reyes, 1993 [Ref. B-37]), que resuelve las ecuaciones de movimiento con el *Método de Euler modificado*, verificado con el *Método de Runge-Kutta*<sup>11</sup> y el corrector de Adams; es decir, es un proceso iterativo para cada intervalo de tiempo que proviene de la igualación entre las ecuaciones que definen las fuerzas dinámicas o externas (ecs. 14 y 15), con las de equilibrio dinámico o internas (ecs. 16 y 17).

Dicho sistema fue planteado en lenguaje BASIC<sup>12</sup>; pero, la codificación en FORTRAN<sup>13</sup>

que aparece en este trabajo (consultar anexo A), obedece a la dificultad en la época actual para conseguir un compilador de lenguaje BASIC.

El programa fuente obedece al diagrama de flujo presentado en la fig. 3-6, consta de 306 líneas y ocupa un espacio en disco de 12 KB; que una vez compilado<sup>14</sup>, genera un archivo ejecutable que ocupa un espacio de 116 KB.

Antes de *correr*<sup>15</sup> el programa es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas del puente que desea estudiarse:

---

<sup>11</sup> **Euler modificado** (también denominado *fórmula de Heun*) y **Runge(1895)-Kutta(1901)** son dos métodos numéricos, es decir, a través de procesos establecidos por tales autores, se puede construir en forma tabular la solución de una ecuación diferencial dada, sujeta a condiciones iniciales conocidas.

<sup>12</sup> Uno de los primeros lenguajes de programación desarrollado cuando surgieron las computadoras.

---

<sup>13</sup> Derivado de las palabras "*formula translation*", y en adelante se le denominará solo FORTRAN a la versión 77, que fue usada en este trabajo.

<sup>14</sup> Generación de un archivo ejecutable después de darle ciertas órdenes a la computadora (ver anexo B).

<sup>15</sup> Expresión coloquial entre los programadores para referirse a la ejecución de las instrucciones contenidas en el programa.



- densidad del aire
- semiancho de la cubierta
- momento másico de inercia
- fracciones de amortiguamiento crítico en flexión y torsión
- frecuencias circulares en flexión, torsión y aleteo

La mayoría de ellas debidas a la geometría y distribución de masa en su sección transversal.

También deben conocerse los datos provenientes de pruebas en un túnel de viento:

- velocidad reducida del viento
- coeficientes aerodinámicos en flexión y torsión

Por su parte, el usuario decidirá:

- la posición inicial del puente (vertical y con respecto al horizonte)
- el intervalo total de tiempo en que desea conocer el comportamiento del puente y fraccionarlo en partes iguales.

Como resultado de correr el programa, se obtendrá un archivo de salida con dos listas de resultados (una por cada método aplicado) que contienen, según el

momento en el tiempo, los valores de desplazamiento, rotación, fuerza vertical aplicada en la sección del puente y su ubicación, además del cálculo de los periodos naturales de la estructura en flexión, torsión y aleteo.

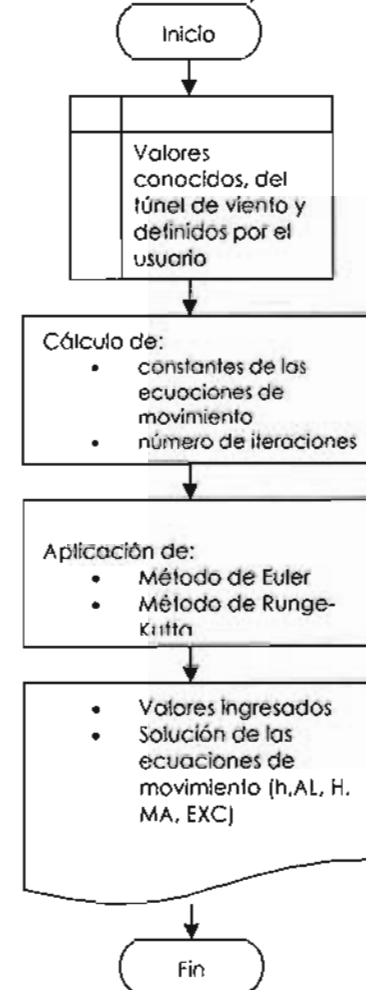
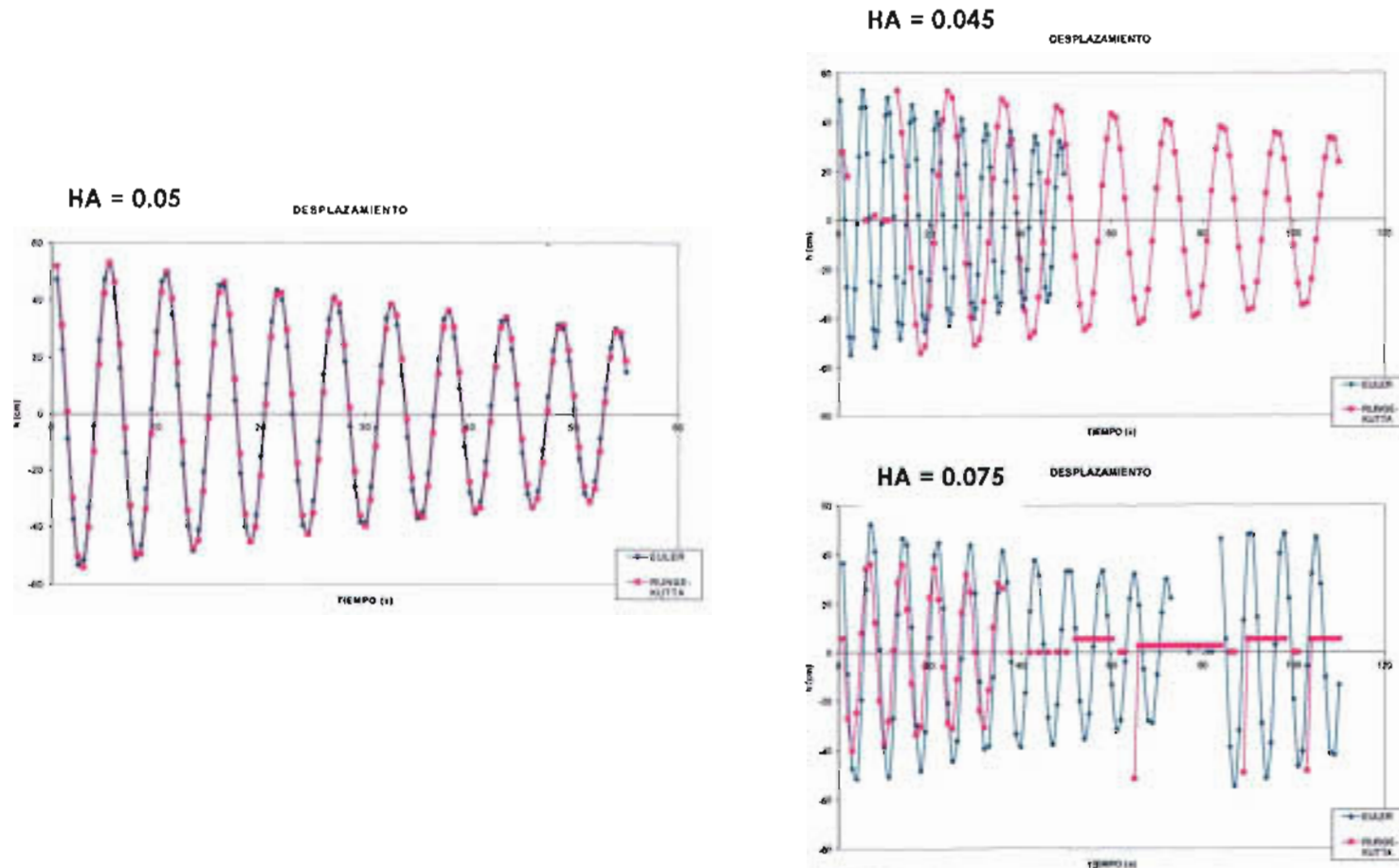


Fig. 3-7 Diagrama de flujo

# Calibración

Previo a la aplicación de la solución numérica del modelo matemático para analizar secciones de puentes con

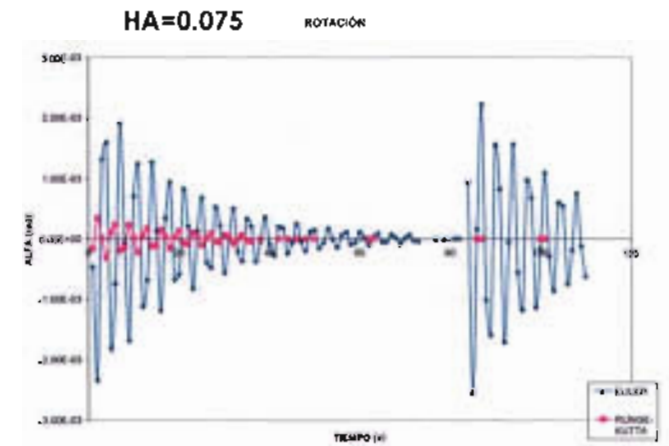
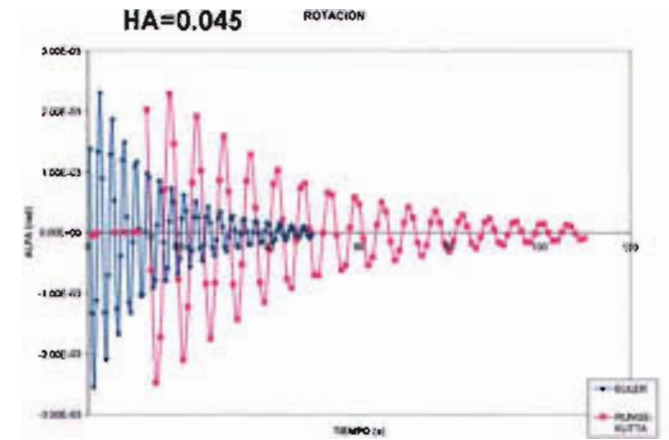
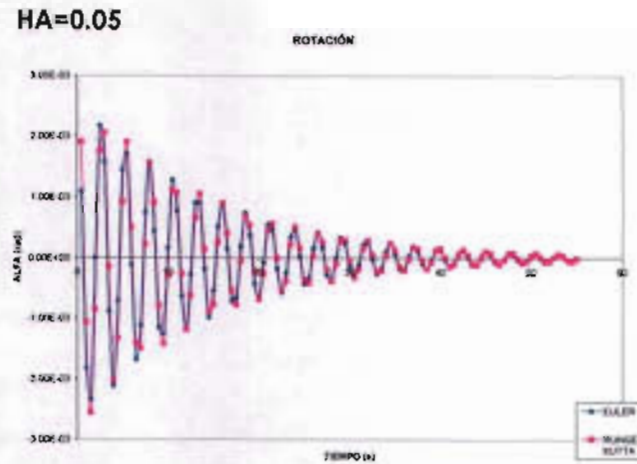
diferentes propiedades mecánicas y geométricas, se realizó la variación de los intervalos de tiempo (HA), incrementando en 5 centésimas desde 0.04 hasta 0.08 para observar el comportamiento del programa.



**Fig. 3-8** Calibración del programa para intervalos de tiempo, se observan desplazamientos.

A partir de los resultados obtenidos<sup>16</sup>, fueron generadas las gráficas de las figuras 3-8 y

3-9.



**Fig. 3-9** Calibración del programa para intervalos de tiempo, se observan rotaciones.

<sup>16</sup> Se incluyen en este trabajo las 3 corridas más significativas en el anexo D.

Para comprobar su buen funcionamiento, también se efectuaron 100 corridas, con la variación de alguna característica mecánica. Se realizó la revisión gráfica de los resultados obtenidos por modificar la fracción de amortiguamiento crítico en flexión (EH) y en torsión (ET); y posterior un análisis de tales valores, se derivó el resumen<sup>17</sup> de la tabla 13.

**Tabla 13**

Comportamiento de la sección del puente al variar las fracciones de amortiguamiento (resumen).

Caso	EH	ET	h (cm)	AL (rad)
1	(+)	(+)	converge	converge
2	(+)	(-)	converge	diverge
3	(-)	(+)	diverge	converge
4	(-)	(-)	diverge hacia valores positivos	diverge
5	0	0	constante	constante

Por cada ejemplo se muestra un par de gráficas<sup>18</sup>, referentes a desplazamiento vertical (h) y angular (AL), en el anexo E.

Cabe mencionar que se variaron los datos de amortiguamiento hasta que el programa presentó dificultades para generar resultados.

Con respecto a los resultados obtenidos, se encontró que:

- El intervalo de tiempo que proporciona mejores resultados es el de 0.05 segundos.
- El programa responde sólo hasta un amortiguamiento de 0.1704
- Después de un valor de 0.1 para el amortiguamiento en torsión (ET), el valor mayor de rotación se presenta antes del segundo 1.0, cuando en los casos en que ET es menor, el valor mayor se registra hasta los 2.5 segundos con el método de Euler.
- Para valores negativos de amortiguamiento a torsión, la respuesta con mayor valor para desplazamiento angular se presenta a los 53 segundos, pero el tiempo de respuesta es muy prolongado.

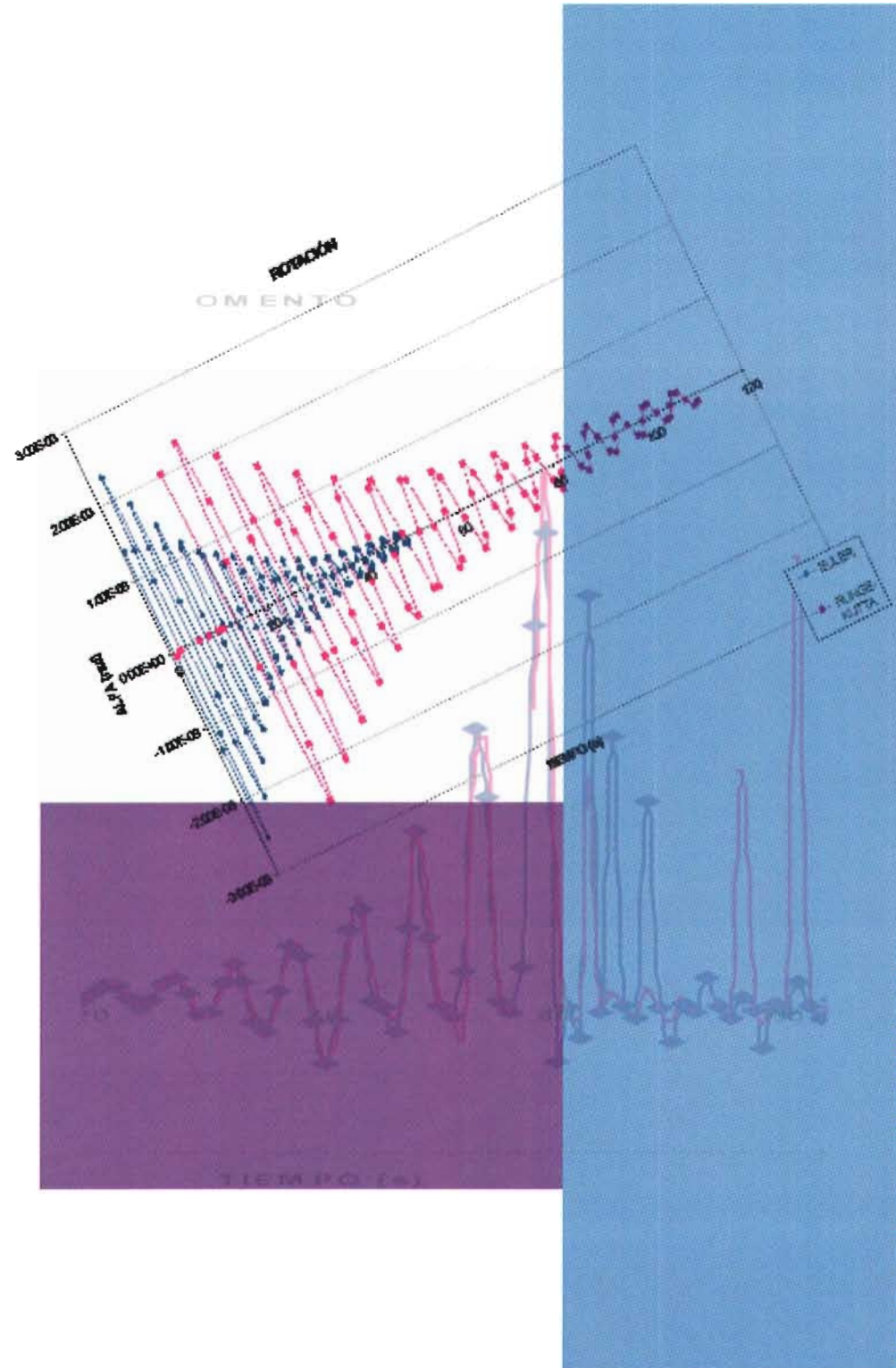
<sup>17</sup> Resultó importante observar que las gráficas presentaran el comportamiento de una serie armónica, como las mostradas en las figuras 3-1 a 3-3.

<sup>18</sup> Las 7 corridas correspondientes de resultados se encuentran en el anexo D.

- Si  $ET$  es menor a  $-0.07$ , los valores de desplazamiento vertical convergen pasada la mitad del intervalo total de tiempo, pero después divergen hacia el final del intervalo. Para este mismo valor, el desplazamiento angular sí diverge.

# Capítulo

# 4



*“En el universo no hay más que materia en movimiento  
y ésta no puede moverse de otro modo  
que en el espacio y en el tiempo”  
Vladimir Ilich Ulianov ‘Lenin’*

# Características del movimiento resultante

# 4.1

## APLICACIÓN A PROBLEMAS ESPECÍFICOS

Se aplicó el programa para resolver 3 problemas:

1. Variación de las fracciones de amortiguamiento crítico para diferentes casos de velocidad reducida ( $V/NB$ )
2. Variación de las fracciones de amortiguamiento crítico para diferentes casos velocidad reducida con valores de coeficientes aerodinámicos conocidos de gráficas<sup>1</sup>
3. Variación de la geometría de la sección al modificar sólo un coeficiente aerodinámico ( $A*2$ )

En términos generales, el programa que resuelve las ecuaciones de movimiento consideró los siguientes valores iniciales:

**Tabla 14**  
Valores iniciales para el análisis

<i>Datos ingresados</i>	<i>Valor</i>
Densidad del aire	0.1259E-08 kg-seg <sup>2</sup> /cm <sup>4</sup>
Semiancho de la cubierta	900 cm
Momento másico de inercia	5645260 kg-seg <sup>2</sup> /cm
Masa por unidad de longitud	14.86 kg-seg <sup>2</sup> /cm
Frecuencia circular en:	
Flexión	1.162 rad/seg
Torsión	2.375 rad/seg
Aleteo	1.765 rad/seg

El análisis<sup>2</sup> consistió en investigar el comportamiento que presenta la sección transversal, generado por la fuerza vertical resultante (LH) y su ubicación respecto a la cubierta del puente; para ello se resolvieron casos particulares donde se tomó en cuenta la variación de los coeficientes aerodinámicos.

<sup>1</sup> Comunicación personal, N. Rodríguez, 2004.

<sup>2</sup> De esta sección en adelante, para conocer los resultados obtenidos, ver anexo D; y para observar las gráficas emanadas consultar anexo E.



## Ejemplo 1

Se ocuparon los siguientes valores de las fracciones de amortiguamiento crítico a flexión (EH) y torsión (ET):

**Tabla 15**  
Fracción de amortiguamiento

EH	ET
0.00	0.00
0.01	0.01
0.01	0.03

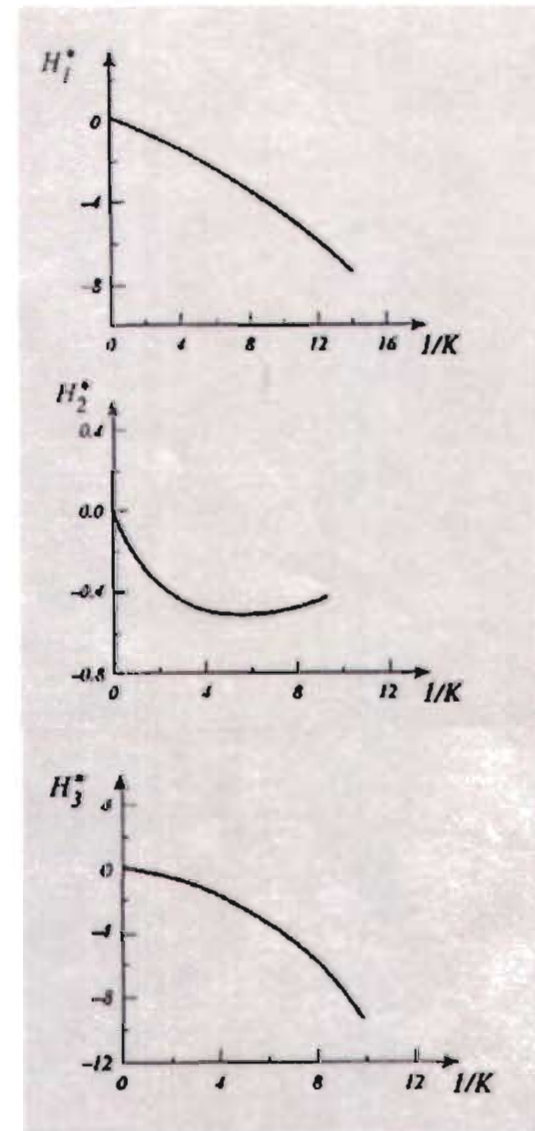
Los coeficientes aerodinámicos que se consideraron se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 16**  
Valores ocupados para el análisis

V/NB	H*1	H*2	H*3	A*1	A*2	A*3
2.019	1.26	0.740	0.30	0.033	0.1523	0.0321
4.002	-3.58	1.040	0.49	0.067	0.1572	0.9110
5.832	-15.54	-0.333	-2.69	0.100	0.4047	0.3854

## Ejemplo 2

Se ocuparon los valores de las tablas 15 y 17, éstos últimos, obtenidos de las figuras (4-1 y 4-2).



**Fig. 4-1** Coeficientes H\*i.

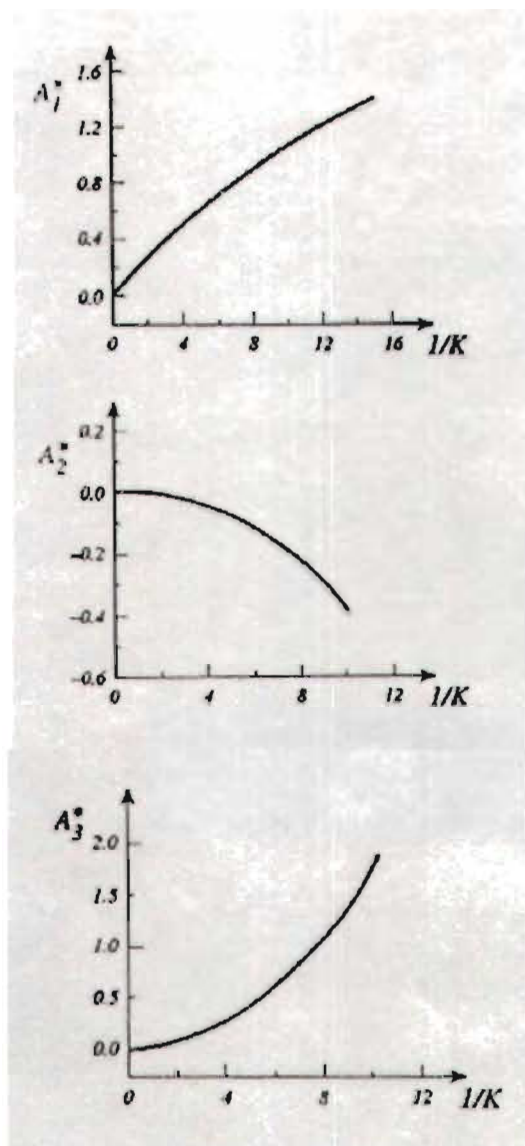


Fig. 4-2 Coeficientes  $A^*i$ .

Tabla 17

Valores ocupados para el análisis

V/NB	H*1	H*2	H*3	A*1	A*2	A*3
2	-0.50	-0.30	-0.65	0.300	-0.015	0.10
4	-0.15	-0.45	-1.90	0.500	-0.045	0.30
6	-2.50	-0.50	-3.50	0.750	-0.125	0.65
8	-3.50	-0.45	-5.70	0.875	-0.220	1.10

### Ejemplo 3

Se ocuparon los valores de la tabla 15 donde EH y ET son iguales, los datos de la tabla 17 referentes a V/NB de 2, 4 y 6; y los que se mencionan en la tabla 18, éstos últimos, obtenidos de las figuras (4-3 a 4-6).

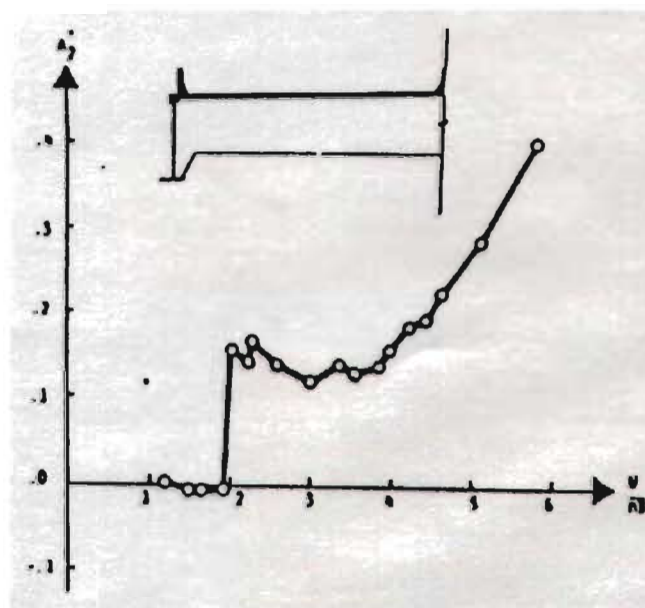


Fig. 4-3 Coeficientes  $A^*2$  para la sección 1.

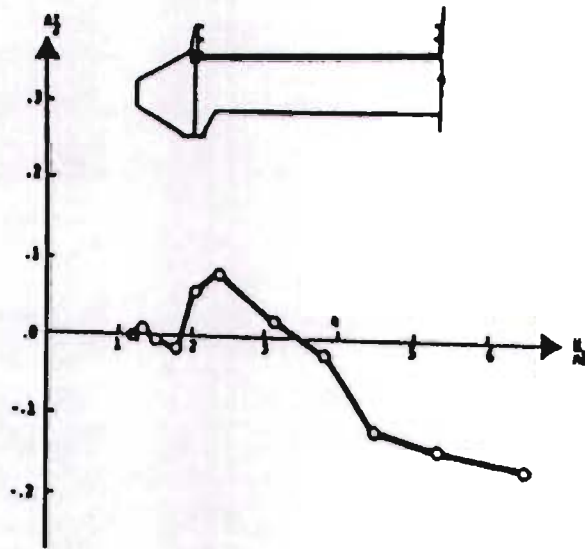


Fig. 4-4 Coeficientes A\*2 para la sección 2.

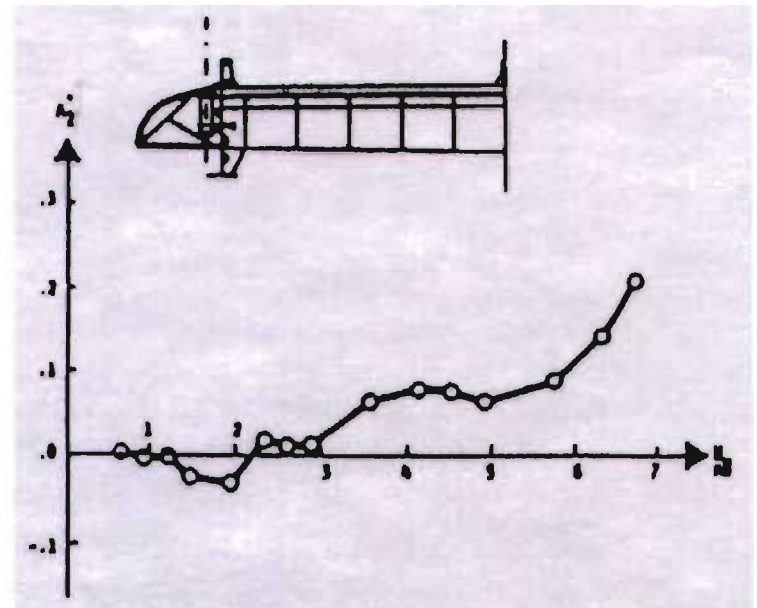


Fig. 4-6 Coeficientes A\*2 para la sección 4.

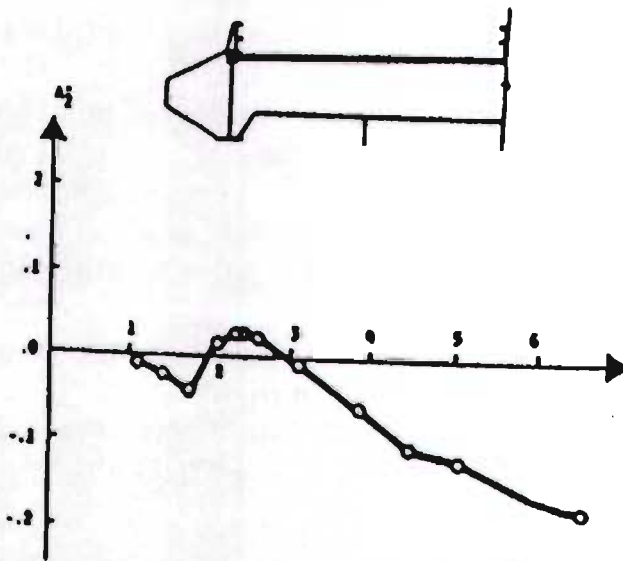


Fig. 4-5 Coeficientes A\*2 para la sección 3.

Tabla 18  
Variación de la geometría del puente

V/NB	Secc. 1	Secc. 2	Secc. 3	Secc. 4
2	1.5	0.550	0.015	-0.035
4	1.5	-0.045	-0.085	0.075
6	0.4	-0.165	-0.175	0.100

Se revisó así la adición de elementos estructurales adicionales (deflectores), comúnmente empleados para alterar las características del flujo alrededor de la sección transversal del puente.

# 4.2

## ANÁLISIS PARAMÉTRICO

Para una comprensión más rápida de los resultados, se elaboraron gráficas con los resultados obtenidos. También se realizaron gráficas adicionales, donde se muestra la comparación entre valores, a fin de obtener conclusiones del análisis.

### Ejemplos 1 y 2

En las gráficas se observa que:

- Cuando el amortiguamiento es cero, las fuerzas resultantes y los giros se mantienen constantes a lo largo del intervalo de tiempo, pero cuando los valores se incrementan, se obtienen gráficas similares a la figura 3-1.
  - Es más notoria la tendencia a la estabilidad en las gráficas de rotación que en las de desplazamiento.
  - Se obtienen resultados muy similares con ambos métodos de solución.
- Para una velocidad reducida igual a 2.019, los valores máximos se obtienen transcurrido un tiempo aproximado de 5 segundos transcurridos, independientemente del valor de amortiguamiento
  - Los valores máximos se obtienen antes de los 2 segundos para una velocidad reducida mayor a 2.019 cuando el amortiguamiento es mayor que cero.
  - Las fuerzas resultantes se incrementan cuando se incrementa la velocidad.
  - Los momentos se incrementan a razón directa de las fuerzas resultantes, pues la excentricidad varía de forma mínima.
  - Cuando aumenta la velocidad, la excentricidad disminuye, la fuerza resultante se acerca más al centroide (por donde pasa el eje de simetría de la sección).

- Para la excentricidad, se observan diferencias en los resultados que cada método utilizado calcula.
- Las rotaciones dependen de los valores de amortiguamiento, independientemente de la velocidad.
- Los valores de excentricidad disminuyen y se parecen más (se dispersan menos) a mayor velocidad.
- Con el método de Euler se observa cierta uniformidad entre los datos, mientras que con Runge-Kutta se observan disparos en la información; estos valores disminuyen su valor y número conforme aumenta la velocidad.
- Sólo en el caso 2, para la misma velocidad e incremento en el amortiguamiento, disminuyen los valores de excentricidad, pero se ubican a una distancia perceptible del eje de simetría del puente (una tercera parte del semiancho de cubierta); pero conforme aumenta la velocidad se dispersan menos, a la par que se van acercando al centroide de la sección.

## Ejemplo 3

- A menor velocidad, se disparan más los valores de excentricidad, pero es más perceptible cuando la sección no tiene ningún deflector.
- El comportamiento de la excentricidad entre las secciones que tienen deflectores, es muy similar a medida que aumenta la velocidad.
- Los valores de momento y fuerza resultante son prácticamente iguales en todas las secciones.
- La posición de la resultante varía menos al final del intervalo para las secciones 1 y 4.
- La sección 2 y 3 se comportan muy similar.
- Para la sección 1 Euler y Kutta se comportan similar, pues calculan los valores máximos de excentricidad en la primera mitad del intervalo de tiempo.
- Las secciones 2 y 3 dan valores máximos en la segunda mitad del intervalo, Euler y Kutta se comportan similar.
- Para la sección 4, Euler y Kutta se comportan de modo inverso, un método da los valores máximos al principio del intervalo y el otro al final.

Con base en los resultados obtenidos, se incluye un ejemplo de la representación del movimiento (ver gráfica final), donde se presenta la rotación y desplazamiento cuando los dos amortiguamientos son negativos e iguales a  $-0.009$ ; para que pueda ser perceptible, la rotación está amplificada 100 veces y las cotas del desplazamiento vertical se presentan en centímetros.

*"Pienso, luego existo"*  
René Descartes

# Comentarios finales

Es notable que durante un periodo de 1200 años prácticamente no se generó gran adelanto en la construcción de puentes de ningún tipo, ni en el incremento de longitud; sin embargo, y a partir del siglo XVIII, la construcción y longitud se desarrolla casi exponencialmente, hecho que coincide con la aparición del hierro, acero y concreto.

De mantenerse la tendencia plasmada en la gráfica que indica la evolución de la longitud de los puentes en el tiempo; podría decirse que durante los próximos 200 años existirá un gran incremento en la longitud de los puentes, sin embargo, según la gráfica que se refiere a los materiales utilizados en la construcción de puentes y con conocimiento de que hace ya algunos años atrás se investiga sobre nuevos materiales (como la tela de araña por ejemplo, elemento muy resistente a tensión que tendría gran aplicación para los puentes atirantados), puede afirmarse que será preciso su uso para lograr construcciones de tales características.

Resulta lógico verificar que durante 30 años la construcción de puentes atirantados de gran longitud se realizó en países europeos, seguramente debido a la guerra mundial; pero en los últimos diez años ha sido en los asiáticos.

Es irrefutable que el reto de enfrentarse a la reconstrucción de un lugar debido a la devastación, impulsa al hombre para idear nuevas formas de optimizar sus recursos. Hasta que no sea necesario, seguirán ocupándose los métodos conocidos, que pueden ser perfeccionados y así obtener innovaciones importantes que cambien radicalmente su uso.

El diseño de los puentes atirantados se enfoca en los cables (tipo y arreglo), los soportes (comportamiento ante sismo) y tipo de sección para el sistema de piso (comportamiento ante la acción del viento), sin embargo, resulta de mayor relevancia este último.

El no tomar en cuenta la acción del viento (efecto aerodinámico y respuesta



aeroelástica), puede ser catastrófico para algunas estructuras. Que el ángulo de ataque del viento sobre la estructura fuera igual a cero sería una gran coincidencia en la realidad, aunque sí puede modelarse en el túnel de viento; es decir, cuando se tiene control sobre la dirección del viento con respecto a las estructuras.

Cuando el ángulo de ataque es diferente de cero se provoca un movimiento de galopeo combinado, pues existe arrastre y levantamiento; para disminuir tal efecto, se han planteado algunas alternativas.

El comportamiento de las secciones que cuentan con deflectores, cualquiera que sea su forma, se comportan de modo similar y, sobre todo, a pesar de que la magnitud de la fuerza resultante y el momento respectivo no cambian significativamente, la excentricidad sí es menor. Lo anterior obliga a que se busquen materiales que resistan mejor las cargas verticales y la torsión.

El movimiento de los tramos seccionales de puentes atirantados ante la acción del viento, depende principalmente de su amortiguamiento a torsión, la masa y de su forma y dimensiones.

Al reflexionar sobre los resultados obtenidos, se puede decir que, un puente atirantado con deflectores, de longitud igual al Tatará, con capacidad para 3 carriles en cada sentido que esté expuesto a un viento de grado 5 en la escala de Beaufort con un amortiguamiento mayor a torsión que a flexión, es factible de analizarse con un programa computacional que considere un flujo laminar, y el movimiento calculado correspondiente sería apenas perceptible para una persona que camine o para un vehículo que transite en cubierta, pues la diferencia de posiciones, apenas es comparable con aquella que provoca un tope sobre una carpeta asfáltica.

Respecto al programa ocupado, con ambos métodos (Euler modificado y Runge-Kutta) se obtienen resultados similares, sin embargo hay casos específicos en los que uno funciona mejor que otro. En este trabajo se encontró que la principal diferencia se hace presente cuando se varía la geometría de la estructura con deflectores.

Para evitar errores y esperas innecesarias de tiempo cuando el programa no responde, se puede restringir el código para que el algoritmo no permita el ingreso

de los datos que provocan tales situaciones según el capítulo 3 de este trabajo.

Al observar las gráficas de excentricidad, puede considerarse que los resultados se disparan porque el modelo matemático no se ajusta correctamente en esos casos específicos, por lo que puede agregarse a este algoritmo una parte donde se recalculen los resultados y las gráficas sean uniformes.

Este algoritmo puede ampliarse también con alguna rutina especial para conocer el comportamiento ante diferentes trenes de carga, dimensionamiento de la sección y diseño de la misma con diferentes materiales.

Un asunto pendiente para los ingenieros será generar un modelo matemático del flujo turbulento y su consecuente solución numérica un algoritmo para ordenador.

Las normas nacionales de diseño por viento no contemplan valores límite, pero una vez que se mejore la forma de análisis se podrá implementar un apartado en las Normas Técnicas relativas a la Construcción; esa sería la principal ventaja de contar con programas confiables de análisis, además de que la experimentación en laboratorio sería sólo requerida para definir los coeficientes aerodinámicos ( $A_i^*$ ,  $H_i^*$  y  $P_i^*$ ), es decir, complementaria.

Los puentes suspendidos seguirán siendo construidos para dar solución al cruce de grandes claros, con preferencia por los colgantes durante algunos años más, y resultará interesante evaluar de modo técnico sus ventajas y desventajas, cuando existan puentes atirantados de mayor longitud.

Pocos ingenieros civiles se involucran en el diseño estético de los puentes, por lo que es un campo en el cual se puede incursionar en el futuro.

*"La síntesis no es tan satisfactoria como el análisis, o, dicho de otro modo,  
el conocimiento de las premisas no nos permite predecir la naturaleza del resultado"*  
Sigmund Freud

# Anexos

# A. Programa en lenguaje FORTRAN

```
C UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
C
C
C INESTABILIDAD AEROINAMICA
C PUENTES ATIRANTADOS
C
C
```

```
C DESCRIPCION: ESTE PROGRAMA RESUELVE LAS ECUACIONES
C DE MOVIMIENTO PARA EL ESTUDIO DE LA INESTABILIDAD
C AEROINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS BAJO FLUJO
C INESTABLE, UTILIZA EL METODO MODIFICADO DE EULER Y EL
C METODO DE RUNGE-KUTTA CON EL CORRECTOR DE ADAMS.
```

```
COMMON/LE/TITULO(20)
DIMENSION H1(1000),A1(1000),TIE(1000),OQAL(1000)
DIMENSION H2(1000),A2(1000),AA(1000)
DIMENSION AH1(1000),AA1(1000),DLH(1000)
DIMENSION AH2(1000),AA2(1000),DMT(1000)
INTEGER X
DATA PI/3.1416/
```

```
OPEN (1,FILE='PUENTEG.DAT',STATUS='OLD')
OPEN (2,FILE='PUENTEG.RES',STATUS='NEW')
```

```
WRITE (2,10)
```

```
10 FORMAT (/,4X,'*****',/
*1 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS',/
*1 '*****',//
*1 ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS',/
*1 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO',/
*1 FES ACATLÁN UNAM',/
*1 MARZO 2005, VERSIÓN 3.1',///
*1'LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES: ',/)
```

```
C CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUBIERTA
```

```
READ (1,11) TITULO
11 FORMAT (20A4)
WRITE (2,12) TITULO
12 FORMAT (/,20A4/)
```

```
C AQUI SE INGRESAN LOS DATOS DE PROPIEDADES FISICAS, FRACCIONES
C DE AMORTIGUAMIENTO Y FRECUENCIAS
```

```
READ (1,*) DE,B,DIP,DMA,EH,ET,WH,WT,W
WRITE (2,13) DE,B,DIP,DMA,EH,ET,WH,WT,W
13 FORMAT (/31X,'DENSIDAD DEL AIRE = ',5X,E9.4,' KG-SEG2/CM4',/25X,
*1 SEMIANCHO CUBIERTA = ',7X,F7.3,' CM',/18X,
*1 MOMENTO MASICO DE INERCIA = ',F14.3,' KG-SEG2-CM',/16X,
*1 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = ',7X,F7.3,' KG-SEG2/CM',/
*1 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = ',F7.3,/
*1 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = ',F7.3,/13X,
*1 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = ',F7.3,' RAD/SEG',/13X,
*1 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = ',F7.3,' RAD/SEG',/14X,
*1 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = ',F7.3,' RAD/SEG)
```

```
YY1 = (1/(W/(2*PI)))
YY2 = (1/(WH/(2*PI)))
YY3 = (1/(WT/(2*PI)))
```

```
C INICIO DE ITERACIONES
C INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO
```

```
WRITE (2,14)
14 FORMAT (///, 3X,' *** INICIO DE ITERACIONES ***',//
*1 INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO')
DNS=W/(2*PI)
```

```

READ (1,*) Y
WRITE (2,15) Y
15 FORMAT (/40X,V/NB= 'F7.4)
READ (1,*) TH1,TH2,TH3,TA1,TA2,TA3
WRITE (2,16) TH1,TH2,TH3,TA1,TA2,TA3
16 FORMAT (5X,COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*1= 'F7.4,/
*   COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*2= 'F7.4,/
*   COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*3= 'F7.4,/
*   COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*1= 'F7.4,/
*   COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*2= 'F7.4,/
*   COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*3= 'F7.4,/

```

```

V=Y*DNS*2.0*B
D=((0.5)*DE*(V**2)*2*B)/DMA
E=((0.5)*DE*(V**2)*(2*(B**2)))/DIP
C=2*EH*WH
T=2*ET*WT
F=WH**2
G=WT**2
DK=B*W/V
H=D*DK*(TH1)/V
DI=E*DK*(TA1)/V
DJ=D*DK*(TH2)*B/V
DL=D*(DK**2)*(TH3)
P=E*DK*(TA2)*B/V
OM=E*(OK**2)*(TA3)
ON=C-H
Q=T-P
R=DM-G
WRITE (2,17)
17 FORMAT (/,'IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS',/
WRITE (2,18) D,E,C,T,F,G,DK,H,DI,DJ,DL,P,DM,DN,Q,R
18 FORMAT (/5X,2E15.6)

```

### C METODOS DE SOLUCION

```

WRITE (2,19)
19 FORMAT(/,'+++++ METODOS DE SOLUCION')
READ (1,*) ITI,HA,HW,AL
WRITE (2,20) ITI,HA,HW,AL
20 FORMAT(/,' TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 'J9,' SEG',/
*   INTERVALOS DE TIEMPO = 'F9.4,' SEG',/
*   CONDICION INICIAL h = 'F9.4,' CMS',/
*   CONDICION INICIAL ALFA = 'F9.4,' RAD',/)
NO=ABS(ITI/HA)+1
WRITE (2,21) NO

```

```

21 FORMAT (/,'NUMERO DE ITERACIONES = ',I5)

```

### C METODO DE EULER MODIFICADO

```

WRITE (2,22)
22 FORMAT (/,'10X,'** METODO DE EULER MODIFICADO **')
WRITE (2,23) Y,EH,ET
23 FORMAT (/,'15X,V/NB= 'F7.4,5X,'EH= 'F7.4,5X,'ET= 'F7.4)
WRITE (2,24)
24 FORMAT (/,'2X,'TIEMPO',10X,'h',11X,'AL',15X,'LH',7X,'MA',8X,'EXC',
*   ',2X,'SEG',10X,' CMS',9X,'RAD',14X,'KG',7X,'KG-CM',
*5X,'CM',/)
H1(1)=HW
A1(1)=AL
H2(1)=0
A2(1)=0
AH2(1)=(OL*A1(1))+(DJ*A2(1)-(F*H1(1))-(DN*H2(1)))
AA2(1)=(R*A1(1))-(Q*A2(1)+(OI*H2(1)))
AA1(1)=A2(1)
AH1(1)=H2(1)
TIE(1)=0
FF=0
DO 27 X=1,NO
H2(X+1)=H2(X)+(HA*((DL*A1(X))+(DJ*A2(X))-
*   (F*H1(X))-(DN*H2(X))))
A2(X+1)=A2(X)+(HA*((R*A1(X))-(Q*A2(X))+
*   (OI*H2(X))))
A1(X+1)=A1(X)+(HA*(A2(X)))
H1(X+1)=H1(X)+(HA*(H2(X)))
25 R1=ABS(H2(X+1))
R2=ABS(A2(X+1))
R3=ABS(A1(X+1))
R4=ABS(H1(X+1))
AH2(X+1)=(OL*A1(X+1))+(DJ*A2(X+1))-(F*H1(X+1))-
*   (DN*H2(X+1))
AA2(X+1)=(R*A1(X+1))-(Q*A2(X+1))+(OI*H2(X+1))
AA1(X+1)=A2(X+1)
AH1(X+1)=H2(X+1)
H2(X+1)=H2(X)+((0.5)*(HA)*(AH2(X)+AH2(X+1)))
A2(X+1)=A2(X)+((0.5)*(HA)*(AA2(X)+AA2(X+1)))
A1(X+1)=A1(X)+((0.5)*(HA)*(AA1(X)+AA1(X+1)))
H1(X+1)=H1(X)+((0.5)*(HA)*(AH1(X)+AH1(X+1)))
P1=ABS((ABS(H2(X+1)))-R1)
P2=ABS((ABS(A2(X+1)))-R2)
P3=ABS((ABS(A1(X+1)))-R3)
P4=ABS((ABS(H1(X+1)))-R4)

```

```

IF ((P1.GT.0.001).OR.(P2.GT.0.001).OR.(P3.GT.0.001).OR.
* (P4.GT.0.001)) GO TO 25
TIE(X+1)=TIE(X)+HA
FF=FF+1
HX=H2(X+1)
ALX=A2(X+1)
W1=(0.5)*DE*(V*V)*(2*B)
W2=DK*TH1*HX/V
W3=DK*TH2*B*ALX/V
W4=DK*DK*TH3*A1(X+1)
DLH(X+1)=W1*(W2+W3+W4)
W5=(0.5)*DE*(V*V)*(2*B*B)
W6=DK*TA1*HX/V
W7=DK*TA2*B*ALX/V
W8=DK*DK*TA3*A1(X+1)
DMT(X+1)=W5*(W6+W7+W8)
QQ=DMT(X+1)/DLH(X+1)

```

#### C IMPRESION DE DATOS POR INCREMENTO DE TIEMPO

```

IF (FF.EQ.10.) WRITE(2,26) TIE(X+1),H1(X+1),A1(X+1),DLH(X+1),
* DMT(X+1),QQ
26 FORMAT (F7.2,F10.6,E14.6,1X,3F12.6)
IF (FF.EQ.10.) FF=0
27 CONTINUE

```

#### C METODO RUNGE-KUTTA

```

WRITE (2,28)
28 FORMAT (///,10X,** METODO DE RUNGE-KUTTA **)
WRITE (2,23) Y,EH,ET
WRITE (2,24)
H1(1)=HW
A1(1)=AL
H2(1)=0
A2(1)=0
TIE(1)=0
FF=0
DO 29 X=1,NO
IF ((X+1).GT.4) GO TO 30
GO TO 9
30 H2(X+1)=H2(X)+((HA/24)*((55*AH2(X))-59*AH2(X-1))+
* (37*AH2(X-2))-9*AH2(X-3)))
A2(X+1)=A2(X)+((HA/24)*((55*AA2(X))-59*AA2(X-1))+
* (37*AA2(X-2))-9*AA2(X-3))))
A1(X+1)=A1(X)+((HA/24)*((55*AA1(X))-59*AA1(X-1))+

```

```

* (37*AA1(X-2))-9*AA1(X-3))))
H1(X+1)=H1(X)+((HA/24)*((55*AH1(X))-59*AH1(X-1))+
* (37*AH1(X-2))-9*AH1(X-3))))
31 R1=ABS(H2(X+1))
R2=ABS(A2(X+1))
R3=ABS(A1(X+1))
R4=ABS(H1(X+1))

```

```

AH2(X+1)=(DL*A1(X+1)+(DJ*A2(X+1))-(F*H1(X+1))-
* (DN*H2(X+1)))
AA2(X+1)=(R*A1(X+1))-(Q*A2(X+1)+(DI*H2(X+1)))
AA1(X+1)=A2(X+1)
AH1(X+1)=H2(X+1)
H2(X+1)=H2(X)+((HA/24)*(((9*AH2(X+1)+(19*AH2(X))-
* (5*AH2(X-1))+AH2(X-2))))
A2(X+1)=A2(X)+((HA/24)*(((9*AA2(X+1)+(19*AA2(X))-
* (5*AA2(X-1))+AA2(X-2))))
A1(X+1)=A1(X)+((HA/24)*(((9*AA1(X+1)+(19*AA1(X))-
* (5*AA1(X-1))+AA1(X-2))))
H1(X+1)=H1(X)+((HA/24)*(((9*AH1(X+1)+(19*AH1(X))-
* (5*AH1(X-1))+AH1(X-2))))

```

```

P1=ABS(ABS(H2(X+1))-R1)
P2=ABS(ABS(A2(X+1))-R2)
P3=ABS(ABS(A1(X+1))-R3)
P4=ABS(ABS(H1(X+1))-R4)

```

```

IF ((P1.GT.0.001).OR.(P2.GT.0.001).OR.(P3.GT.0.001).OR.
*(P4.GT.0.001)) GO TO 31
GO TO 32

```

```

9 DKA1=(HA)*((DL*A1(X)+(DJ*A2(X))-(F*H1(X))-
* (DN*H2(X)))
DKA2=(HA)*((R*A1(X))-(Q*A2(X)+(DI*H2(X)))
DKA3=(HA*A2(X))
DKA4=(HA*H2(X))
DKB1=HA*((DL*(A1(X)+(DKA3/2)))+(DJ*(A2(X)+(DKA2/2)))-
* (F*(H1(X)+(DKA4/2)))-(DN*(H2(X)+(DKA1/2))))
DKB2=HA*((R*(A1(X)+(DKA3/2)))-(Q*(A2(X)+(DKA2/2)))+(
* (DI*(H2(X)+(DKA1/2))))
DKB3=HA*(A2(X)+(DKA2/2))
DKB4=HA*(H2(X)+(DKA1/2))
DKC1=HA*((DL*(A1(X)+(DKB3/2)))+(DJ*(A2(X)+(DKB2/2)))-
* (F*(H1(X)+(DKB4/2)))-(DN*(H2(X)+(DKB1/2))))
DKC2=HA*((R*(A1(X)+(DKB3/2)))-(Q*(A2(X)+(DKB2/2)))+(
* (DI*(H2(X)+(DKB1/2))))
DKC3=HA*(A2(X)+(DKB2/2))
DKC4=HA*(H2(X)+(DKB1/2))

```

```

DKD1=HA*((DL*(A1(X)+(DKC3))+(DJ*(A2(X)+(DKC2))-
* (F*(H1(X)+(DKC4))-(DN*(H2(X)+(DKC1))))))
DKD2=HA*((R*(A1(X)+(DKC3))-(Q*(A2(X)+(DKC2)))+(
* (DI*(H2(X)+(DKC1))))))
DKD3=HA*(A2(X)+(DKC2))
DKD4=HA*(H2(X)+(DKC1))
H2(X+1)=H2(X)+((1/6)*(DKA1+(2*DKB1)+(2*DKC1)+DKD1))
A2(X+1)=A2(X)+((1/6)*(DKA2+(2*DKB2)+(2*DKC2)+DKD2))
A1(X+1)=A1(X)+((1/6)*(DKA3+(2*DKB3)+(2*DKC3)+DKD3))
H1(X+1)=H1(X)+((1/6)*(DKA4+(2*DKB4)+(2*DKC4)+DKD4))
AH2(X+1)=(DL*A1(X+1))+(DJ*A2(X+1))-(F*H1(X+1))-
* (DN*H2(X+1))
AA2(X+1)=(R*A1(X+1))-(Q*A2(X+1))+(DI*H2(X+1))
AA1(X+1)=A2(X+1)
AH1(X+1)=H2(X+1)
32 TIE(X+1)=TIE(X)+HA
FF=FF+1
HX=H2(X+1)
ALX=A2(X+1)
W1=(0.5)*DE*(V*V)*(2*B)
W2=DK*TH1*HX/V
W3=DK*TH2*B*ALX/V
W4=DK*DK*TH3*A1(X+1)
W5=(0.5)*DE*(V*V)*(2*B*B)
W6=DK*TA1*HX/V
W7=DK*TA2*B*ALX/V
W8=DK*DK*TA3*A1(X+1)
DLH(X+1)=W1*(W2+W3+W4)
DMT(X+1)=W5*(W6+W7+W8)
QQ=DMT(X+1)/DLH(X+1)

```

#### C IMPRESION DE DATOS POR INCREMENTO DE TIEMPO

```

IF (FF.EQ.10.) WRITE(2,26) TIE(X+1),H1(X+1),A1(X+1),DLH(X+1),
*DMT(X+1),QQ
IF (FF.EQ.10.) FF=0
29 CONTINUE
WRITE (2,33)
33 FORMAT (//,20X,'*** FIN DEL ANALISIS ***'//
*+++++++'//)

WRITE (2,34) YY2
34 FORMAT (/,15X,'PERIODO FLEXION = ',F10.6)
WRITE (2,35) YY3
35 FORMAT (/,15X,'PERIODO TORSION = ',F10.6)
WRITE (2,36) YY1
36 FORMAT (/,15X,' PERIODO ALETED = ',F10.6)
WRITE (2,37)
37 FDRMAT (///,'+++++++'//,20X,'*** FIN DEL PROGRAMA ***'//
*+++++++'//,8X)

STOP
END

```

# B. ¿Cómo ocupar FORTRAN?

## Guía básica

Para ocupar FORTRAN, hay que revisar que se tenga el paquete completo, es decir, que se encuentren disponibles los 19 archivos necesarios que suman entre sí 656 KB en memoria. Tales archivos y el código del programa que se desea compilar (en archivo con extensión .FOR) deben estar guardados en la misma carpeta de la unidad de lectura que esté ocupando el usuario en la computadora; y, desde ambiente MS-Dos, ejecutar las siguientes instrucciones:

- FOR1  
Se escribe el nombre del archivo que contiene el código fuente (.FOR) sin extensión en todos los campos excepto en el segundo.
- PAS2
- PAS3
- LINK

Se escribe nuevamente el nombre del archivo sin extensión en el primer campo, el nombre de la unidad en que se esté trabajando. El usuario visualizará una ventana como la mostrada en la fig. B-1.

Existen las siguientes observaciones útiles:

- Si el programa fuente tiene algún error de codificación, el compilador indica qué tipo y en qué línea se ubica después de la instrucción FOR1.
- Al existir errores de programación, pueden no ser detectados por el compilador, y el usuario lo notará hasta el momento en que observe los datos de salida.
- Al ejecutar la instrucción "link", se pueden adicionar bibliotecas de rutina preelaboradas.

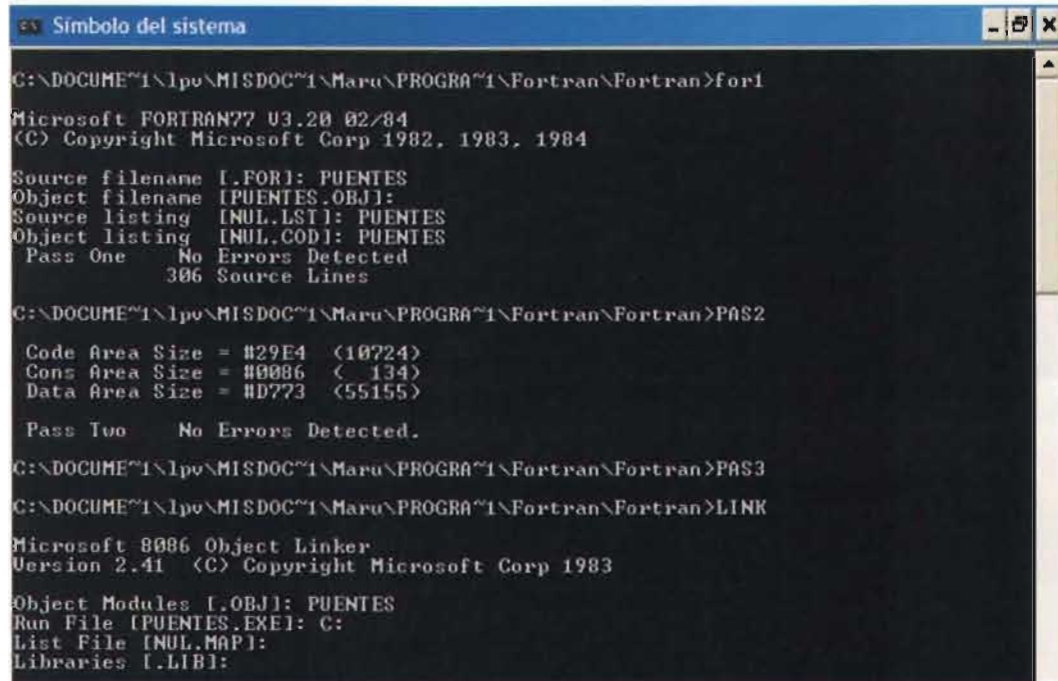
El resultado de los pasos anteriores es la creación de un archivo ejecutable (.EXE) del mismo nombre tecleado durante la compilación.



# Datos de entrada

Los valores de entrada se presentan de modo compatible con el orden y formato que quien programó haya especificado a lo largo del código; por lo que es importante conocer dicho listado. En el caso del programa generado para este trabajo, el usuario deberá generar un archivo con extensión ".DAT".

Cuando hay errores de direccionamiento (*loops*), el ordenador envía un mensaje de memoria insuficiente o de que ha existido un fallo en MS-Dos durante la ejecución del programa.



```
Símbolo del sistema
C:\DOCUMENTOS\1\1po\MISDOC\1\Maru\PROGRAMA\1\Fortran\Fortran>for1
Microsoft FORTRAN77 U3.20 02/84
(C) Copyright Microsoft Corp 1982, 1983, 1984

Source filename [.FOR]: PUENTES
Object filename [PUENTES.OBJ]:
Source listing [INUL.LST]: PUENTES
Object listing [INUL.COD]: PUENTES
Pass One      No Errors Detected
              306 Source Lines

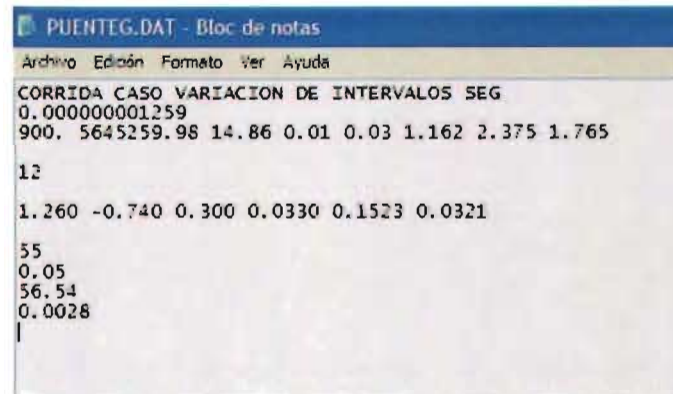
C:\DOCUMENTOS\1\1po\MISDOC\1\Maru\PROGRAMA\1\Fortran\Fortran>PAS2
Code Area Size = #29E4  <10724>
Cons Area Size = #0086  < 134>
Data Area Size = #D773  <55155>

Pass Two      No Errors Detected.

C:\DOCUMENTOS\1\1po\MISDOC\1\Maru\PROGRAMA\1\Fortran\Fortran>PAS3
C:\DOCUMENTOS\1\1po\MISDOC\1\Maru\PROGRAMA\1\Fortran\Fortran>LINK
Microsoft 8086 Object Linker
Version 2.41  (C) Copyright Microsoft Corp 1983

Object Modules [.OBJ]: PUENTES
Run File [PUENTES.EXE]: C:
List File [INUL.MAP]:
Libraries [.LIB]:
```

Fig. B-1 Compilación de programas.



```
PUENTEG.DAT - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
CORRIDA CASO VARIACION DE INTERVALOS SEG
0.000000001259
900.5645259.98 14.86 0.01 0.03 1.162 2.375 1.765

12
1.260 -0.740 0.300 0.0330 0.1523 0.0321

55
0.05
56.54
0.0028
|
```

Fig. B-2 Archivo de datos.

# Resultados

Los resultados dependen completamente de los valores ingresados y la forma en que el programador estructuró la salida de datos; aunque su lectura más sencilla que la entrada de datos, pues el programador por lo general la ordena para que sea de fácil identificación. En el caso de este trabajo, el usuario obtendrá los resultados en un archivo con extensión ".RES", pues así fue programado.

```
PUEBTEG.RES - Bloc de notas
Archivo Edición Formato del Ayuda

*****
INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS
*****

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS
TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO
FES ACATLÁN UNAM
MARZO 2005, VERSION 3.1

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE INTERVALOS SEG

          DENSIDAD DEL AIRE =      .1359E-08 KG-SEG2/CM4
          SEMIANCHO CUBIERTA =      900.000 CM
          MOMENTO MASICO DE INERCIA =  5645280.000 KG-SEG2-CM
          MASA POR UNIDAD DE LONGITUD =  14.860 KG-SEG2/CM
FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION =  .010
FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION =  .030
FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION =  1.162 RAD/SEG
FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION =  2.375 RAD/SEG
FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO =  1.765 RAD/SEG

*** INICIO DE ITERACIONES ***

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

          V/NO = 12.0000
COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*1 =  1.2600
COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*2 =  -.7400
COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*3 =  .3000
COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*1 =  -.0330
COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*2 =  .1523
COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*3 =  .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

          .280727E+01  .065063E-02
          .232400E-01  .142500E+00
          .135024E+01  .564063E+01
```

Fig. B-3 Archivo de salida.



## Archivos de entrada y salida

El primer detalle importante es que, de acuerdo al modo en que se programó, el archivo de entrada deberá llamarse "PUENTEG.DAT", de otra manera no será reconocido.

Los datos deben ingresarse en el siguiente orden y unidades:

- La primera línea escrita debe ser un título que ocupe 80 espacios máximo, y puede ser alfanumérica; resulta útil para identificar los resultados cuando son un número considerable.
- Densidad del aire, en  $[\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{cm}^4]$
- Semiancho de la cubierta del puente, en  $[\text{cm}]$
- Momento másico de inercia, en  $[\text{kg}\cdot\text{s}^2\cdot\text{cm}]$
- Masa por unidad de longitud, en  $[\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{cm}]$
- Fracción de amortiguamiento crítico en flexión
- Fracción de amortiguamiento crítico en torsión
- Frecuencia circular en flexión, en  $[\text{rad}/\text{s}]$
- Frecuencia circular en torsión, en  $[\text{rad}/\text{s}]$
- Frecuencia circular en aleteo, en  $[\text{rad}/\text{s}]$
- Velocidad reducida del viento
- Coeficiente aerodinámico en flexión  $H^*1$
- Coeficiente aerodinámico en flexión  $H^*2$
- Coeficiente aerodinámico en flexión  $H^*3$
- Coeficiente aerodinámico en torsión  $A^*1$
- Coeficiente aerodinámico en torsión  $A^*2$
- Coeficiente aerodinámico en torsión  $A^*3$
- Tiempo total en que se requiere la predicción, en  $[\text{s}]$
- Intervalos de tiempo, en  $[\text{s}]$
- Condición inicial de desplazamiento, en  $[\text{cm}]$

- Condición inicial de rotación, en [rad]

El archivo de salida se llamará "PUENTEG.RES", y todos los valores tienen letreros asociados para que sean de fácil identificación, y donde:

h = desplazamiento vertical

AL = ángulo de rotación

LH = fuerza vertical resultante que actúa en la sección

MA= momento actuante en la sección

EXC = posición de la fuerza resultante respecto al eje de simetría vertical de la sección

# D. Resultados

## Calibración

### INTERVALOS DE TIEMPO

HA=0.045

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 DICIEMBRE 2003 - ENERO 2004

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE INTERVALOS SEG

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .010  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = .030  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= .3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1533  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 .232400E-01 .142500E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 .230874E-01  
 .142461E+00 -.564061E+01

\*\*\*\*\* METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0450 SEG  
 CONOCION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONOCION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1223

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0100 ET= .0300

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.45	49.014290	-.137988E-02	-.066060	-2.883730	43.653100
.90	28.540890	-.133685E-02	-.122409	-4.289249	35.040350
1.35	.694291	-.254412E-02	-.149322	-3.587564	24.025730
1.80	-27.049230	-.112411E-02	-.133942	-1.903661	14.212550
2.25	-47.317970	-.133575E-02	-.077498	-.591358	7.630645
2.70	-54.802690	.230302E-02	.002032	.026741	13.159360
3.15	-47.646290	.899660E-03	.077793	.655074	8.420701
3.60	-27.901740	-.131942E-02	.126965	1.910930	15.050830
4.05	-.946206	-.207716E-02	.139348	3.379086	24.249240
4.50	25.982340	-.703767E-03	.117013	3.861280	32.998800
4.95	45.727880	-.129079E-02	.068477	2.556600	37.335410
5.40	53.117290	-.186678E-02	.004314	-.052151	-12.088310
5.85	46.314510	.534077E-03	-.062773	-2.507620	39.947620
6.30	27.274010	-.125201E-02	-.116708	-3.567574	30.568310
6.75	1.182139	-.167139E-02	-.140730	-3.116193	22.143110
7.20	-24.954430	-.387911E-03	-.124692	-1.985265	15.921320
7.65	-44.189480	-.120521E-02	-.071874	-.991065	13.789010
8.10	-51.482560	.149039E-02	.000799	-.218786	-273.936100
8.55	-45.018800	.262529E-03	.070148	.771854	11.003230
9.00	-26.658030	-.115266E-02	.116715	2.149970	18.420720
9.45	-1.402516	-.132361E-02	.130797	3.348203	25.598490
9.90	23.964830	-.155844E-03	.112264	3.458000	30.802340
10.35	42.701480	.109606E-02	.067155	2.093001	31.166770
10.80	49.896690	.117077E-02	.005383	-.157865	-29.326120
11.25	43.757600	.661615E-04	-.059386	-2.144496	36.110900
11.70	26.053400	-.103647E-02	-.110440	-3.032200	27.455680
12.15	1.608394	-.103097E-02	-.132104	-2.816319	21.318930
12.60	-23.011590	.851963E-05	-.116329	-2.061481	17.721190
13.05	-41.262020	.975007E-03	-.067372	-1.231062	18.272510
13.50	-48.358590	.903328E-03	-.000726	-.321796	443.398500
13.95	-42.530560	-.702648E-04	.063419	.875213	13.800440
14.40	-25.460210	-.913026E-03	.107899	2.249960	20.852450
14.85	-1.800138	-.787442E-03	.123119	3.209171	26.065680
15.30	22.093920	-.120534E-03	.107360	3.092880	28.808590
15.75	39.869710	.851427E-03	.065125	1.772573	27.217970
16.20	46.866550	.682832E-03	.006009	-.163843	-27.266870
16.65	41.336380	-.160438E-03	-.055879	-1.825495	32.668640
17.10	24.878230	-.790357E-03	-.103937	-2.638563	25.386240
17.55	1.978700	-.588520E-03	-.123752	-2.616487	21.142920
18.00	-21.210180	-.191398E-03	-.108804	-2.106806	19.363330
18.45	-38.522990	.730914E-03	-.063649	-1.354236	21.276700



36.00	-25.436720	-.207374E-03	.000004	.000000	.000000
36.45	-8.314598	-.403420E-04	.000005	.000000	.000000
36.90	10.841140	-.156934E-03	.000005	.000000	.000000
37.35	26.916580	-.184308E-03	.000003	.000000	.000000
37.80	35.669630	-.247974E-04	.000001	.000000	.000000
38.25	34.848840	-.149717E-03	-.000002	.000000	.000000
38.70	24.771350	-.162949E-03	-.000004	.000000	.000000
39.15	8.211224	-.116448E-04	-.000005	.000000	.000000
39.60	-10.359300	-.141902E-03	-.000005	.000000	.000000
40.05	-25.984590	-.143236E-03	-.000003	.000000	.000000
40.50	-34.539920	-.486857E-06	-.000001	.000000	.000000
40.95	-33.823780	-.133904E-03	.000001	.000000	.000000
41.40	-24.122400	-.125355E-03	.000004	.000000	.000000
41.85	-8.107924	-.869636E-05	.000005	.000000	.000000
42.30	9.896657	-.125750E-03	.000005	.000000	.000000
42.75	25.083960	-.109219E-03	.000003	.000000	.000000
43.20	33.445290	-.160077E-04	.000001	.000000	.000000
43.65	32.828190	-.117357E-03	-.000001	.000000	.000000
44.10	23.489520	-.944879E-04	-.000003	.000000	.000000
44.55	8.002273	-.218759E-04	-.000005	.000000	.000000
45.00	-9.452460	-.108966E-03	-.000004	.000000	.000000
45.45	-24.213690	-.810751E-04	-.000003	.000000	.000000
45.90	-32.384720	-.266102E-04	-.000001	.000000	.000000

46.35	-31.861250	-.100881E-03	.000001	.000000	.000000
46.80	-22.872320	-.691347E-04	.000003	.000000	.000000
47.25	-7.895288	-.301677E-04	.000004	.000000	.000000
47.70	9.026041	-.930470E-04	.000004	.000000	.000000
48.15	23.372750	-.585685E-04	.000003	.000000	.000000
48.60	31.357130	-.325891E-04	.000001	.000000	.000000
49.05	30.922150	-.853203E-04	-.000001	.000000	.000000
49.50	22.270470	-.490469E-04	-.000003	.000000	.000000
49.95	7.787216	-.342229E-04	-.000004	.000000	.000000
50.40	-8.616719	-.778690E-04	-.000004	.000000	.000000
50.85	-22.560210	-.404876E-04	-.000003	.000000	.000000
51.30	-30.361560	-.353052E-04	-.000164	.000000	-.000002
51.75	-30.010130	-.709241E-04	.000192	.000000	-.000002
52.20	-21.683610	-.330349E-04	.000494	.000000	-.000002
52.65	-7.678190	-.357455E-04	.000661	.000000	-.000002
53.10	8.223862	-.643882E-04	.000651	.000000	-.000002
53.55	21.775100	-.265977E-04	.000468	.000000	-.000002
54.00	29.397400	-.355372E-04	.000162	.000000	-.000002
54.45	29.124410	-.580851E-04	-.000184	.000000	-.000002
54.90	21.111400	-.208726E-04	-.000477	.000000	-.000002

\*\*\* FIN DEL ANALISIS \*\*\*

+++++++

### HA=0.05

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 DICIEMBRE 2003 - ENERO 2004

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE INTERVALOS SEG

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .010  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = .030  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= -.3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 .232400E-01 .142500E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04

.146321E-04 .230874E-01

.142461E+00 -.564061E+01

+++++++ METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

	V/NB= 2.0190	EH= .0100	ET= .0300		
TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	47.303240	.109065E-02	-.073221	-3.147299	42.983410
1.00	22.746600	-.181709E-02	-.131523	-4.293938	32.647910
1.50	-8.946210	-.233411E-02	-.149193	-3.058664	20.501350
2.00	-37.358220	-.635676E-06	-.113218	-1.224487	10.815340
2.50	-53.261730	.217363E-02	-.034531	-.192971	5.588414
3.00	-51.613830	.157275E-02	.054552	.391066	7.168722
3.50	-33.153110	-.880553E-03	.119071	1.579245	13.263000
4.00	-4.092558	-.210781E-02	.139815	3.238808	23.164900
4.50	25.969320	-.708611E-03	.117033	3.860744	32.988610
5.00	47.217590	.144949E-02	.061937	2.312316	37.333560
5.50	52.824160	.171154E-02	-.010818	-.663339	61.316370
6.00	41.140160	-.108684E-03	-.083035	-2.047467	36.700920
6.50	16.174120	-.167318E-02	-.131896	-3.519458	26.683600
7.00	-13.780110	-.111256E-02	-.136923	-2.509727	18.329500
7.50	-38.897120	.751401E-03	-.092812	-1.284730	13.842230
8.00	-51.041510	.158129E-02	-.015972	-.390024	24.418860
8.50	-46.401600	.447098E-03	.063224	.639375	10.112860
9.00	-26.682940	-.114858E-02	.116699	2.146176	18.390730
9.50	1.511107	-.124952E-02	.130297	3.425372	26.288880
10.00	28.889010	.163634E-03	.104281	3.278064	31.434760
10.50	46.531980	.128269E-02	.047881	1.393595	29.105500
11.00	48.798220	.778048E-03	-.023901	-1.135020	47.488230
11.50	35.125080	-.630452E-03	-.090462	-2.793813	30.883980
12.00	10.154220	-.118213E-02	-.128837	-2.984261	23.163130
12.50	-17.841650	-.270343E-03	-.123101	-2.247347	18.256090
13.00	-39.698250	.904931E-03	-.074150	-1.322193	17.831250
13.50	-48.358320	.908169E-03	-.000847	-.320687	378.645100
14.00	-41.149050	-.184167E-03	.069502	1.023676	14.728800
14.50	-20.603420	-.979476E-03	.113962	2.520595	22.117880
15.00	6.425515	-.538838E-03	.121222	3.309707	27.302840
15.50	31.049050	.521612E-03	.091462	2.638306	28.845830
16.00	45.264860	.880362E-03	.033658	.721944	21.449320
16.50	44.556470	.152747E-03	-.035831	-1.345782	37.559150
17.00	29.326070	-.709276E-03	-.095176	-2.540477	26.692530





42.50	16.742120	.137455E-03	.079741	1.887883	23.675180
43.00	30.493030	.529398E-04	.042063	.921553	21.909040
43.50	34.136710	-.897096E-04	-.009273	-.276833	29.854380
44.00	26.600290	-.114147E-03	-.057135	-1.323776	23.169090
44.50	10.471080	.994931E-06	-.085569	-1.946129	22.743440
45.00	-8.889567	.106946E-03	-.085452	-1.984443	23.222840
45.50	-25.127480	.762942E-04	-.057457	-1.398789	24.345040
46.00	-32.980320	-.445040E-04	-.011320	-.326669	28.858920
46.50	-29.982030	-.103225E-03	.037778	.888635	23.522670
47.00	-17.235480	-.331273E-04	.074103	1.801132	24.305930
47.50	.988450	.722521E-04	.086106	2.070720	24.048380
48.00	18.680710	.831450E-04	.069967	1.628210	23.271260
48.50	30.074680	-.713283E-05	.030992	.677085	21.847300
49.00	31.524970	-.825589E-04	-.017869	-.440283	24.639150
49.50	22.672500	-.530423E-04	-.060321	-1.385900	22.975450

50.00	6.523928	.384960E-04	-.082384	-1.898184	23.040590
50.50	-11.567970	.771479E-04	-.077172	-1.820939	23.595790
51.00	-25.677770	.198413E-04	-.046942	-1.148562	24.467890
51.50	-31.247360	-.575458E-04	-.001947	-.074543	36.285390
52.00	-26.557480	-.600700E-04	.043113	1.034734	24.000620
52.50	-13.236130	.102129E-04	.073741	1.778252	24.114850
53.00	4.217833	.633867E-04	.080117	1.900219	23.718000
53.50	20.115030	.363710E-04	.060253	1.391418	23.092940
54.00	29.266550	-.326909E-04	.020789	.458242	22.042580
54.50	28.763810	-.574806E-04	-.025102	-.587839	23.417700
55.00	18.881630	-.111218E-04	-.062190	-1.433539	23.050970

\*\*\* FIN DEL ANALISIS \*\*\*

+++++

## HA=0.075

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUNTES ATRIRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 DICIEMBRE 2003 - ENERO 2004

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0750 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 734

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

CORRIDA CASO VARIACION DE INTERVALOS SEG

V/NB= 2.0190 EH= .0100 ET= .0300

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .010  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = .030  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
7.50	36.532280	-.461989E-03	-.105987	-4.073396	38.433070
1.50	-8.912287	-.234035E-02	-.149182	-3.066091	20.552720
2.25	-47.289140	.131788E-02	-.077692	-.588299	7.572200
3.00	-51.637860	.159656E-02	.054357	.396907	7.301824
3.75	-19.472450	-.180098E-02	-.135303	2.412437	17.829950
4.50	25.883050	-.741174E-03	.117165	3.856795	32.917590
5.25	52.196260	.190585E-02	.026941	.911398	33.829000
6.00	41.225120	-.683625E-04	-.082721	-3.041380	36.766820
6.75	1.350632	-.168791E-02	-.140618	-3.142213	22.345730
7.50	-38.793800	.712239E-03	-.093245	-1.282674	13.755920
8.25	-50.874710	.124330E-02	.024804	.076707	3.092527
9.00	-26.847600	-.112006E-02	.116594	2.121062	18.191910
9.75	15.713500	-.686085E-03	.122015	3.574867	29.298600
10.50	46.456620	.127218E-02	.048268	1.432358	29.675150
11.25	43.889770	.126508E-03	-.058722	-2.126338	36.210370
12.00	10.395160	-.119310E-02	-.128589	-3.009823	23.406590
12.75	-29.861160	.346157E-03	-.103745	-1.786099	17.216190
13.50	-48.355550	.939428E-03	-.001656	-.312348	188.631700
14.25	-32.409760	-.673646E-03	.095639	1.766821	18.473770
15.00	6.133546	-.584980E-03	.121390	3.295225	27.145840
15.75	39.688070	.831683E-03	.065748	1.820927	27.695670
16.50	44.660830	.205487E-03	-.035006	-1.320020	37.707940
17.25	18.032500	-.827332E-03	-.113695	-2.733046	24.038350
18.00	-20.864630	.134079E-03	-.109419	-2.113619	19.316830
18.75	-44.371710	.692239E-03	-.024611	-.711880	28.925940
19.50	-36.164040	-.387602E-03	.07357	1.366023	18.570840
20.25	-2.576973	.473001E-03	.116071	2.996389	25.815150
21.00	32.253040	.531217E-03	.079041	2.093518	26.486410
21.75	43.726140	.220673E-03	-.012467	-.616994	49.489350
22.50	24.146320	-.562911E-03	-.096648	-2.360799	24.426730
23.25	-12.137420	.184682E-04	-.110610	-2.284777	20.656110
24.00	-39.234440	.498994E-03	-.043767	-1.081667	24.714060
24.75	-38.180440	-.209124E-03	.051331	.939240	18.297850
25.50	-10.201550	-.368068E-03	.106891	2.668993	24.969380
26.25	24.496850	.330208E-03	.088055	2.261433	25.682150
27.00	41.313930	.203831E-03	.008154	-.013899	-1.704579
27.75	28.688740	-.375593E-03	-.078207	-1.931184	24.693160
28.50	-3.964993	-.385979E-04	-.107774	-2.321234	21.537940
29.25	-33.261250	.352531E-03	-.058963	-1.395464	23.666800
30.00	-38.583930	.101335E-03	.029806	.507669	17.032240
30.75	-16.587740	-.277941E-03	.094700	2.312483	24.419120
31.50	16.737060	.198484E-03	.092896	2.334062	25.125550
32.25	37.679940	.173580E-03	.026278	.491527	18.704610
33.00	31.674260	-.245423E-03	-.059132	-1.474399	24.933940

+++++ METODOS DE SOLUCION

33.75	3.419816	-.615615E-04	-.101453	-2.245339	22.131780
34.50	-26.763790	-.244320E-03	-.070166	-1.637795	23.341660
35.25	-37.543720	-.389661E-04	.009693	.090925	9.380374
36.00	-21.645320	-.204700E-03	.080340	1.932331	24.051840
36.75	9.255177	-.114119E-03	.093835	2.320694	24.731620
37.50	33.095060	-.140245E-03	.041494	.901378	21.722910
38.25	33.172170	-.156664E-03	-.040144	-1.014617	25.274570
39.00	9.839249	-.657813E-04	-.092254	-2.079237	22.538280
39.75	-20.037180	-.166131E-03	-.077472	-1.801410	23.252410
40.50	-35.261980	-.502741E-05	-.008441	-.294204	34.854340
41.25	-25.342460	-.147493E-03	.064621	1.537750	23.796480
42.00	2.290585	.615072E-04	.091267	2.231369	24.448920
42.75	27.833730	.109079E-03	.053551	1.218310	22.750500
43.50	33.297680	-.973056E-04	-.021894	-.571166	26.088340
44.25	15.170730	-.606148E-04	-.080816	-1.844274	22.819760
45.00	-13.351210	-.110768E-03	-.061090	-1.885304	23.249479
45.75	-31.962840	-.116715E-04	-.024169	-.634390	26.248350
46.50	-27.700240	-.104164E-03	.048295	1.139888	23.602630
47.25	-3.963359	-.297518E-04	.085676	2.077145	24.244270
48.00	22.163630	-.823468E-04	.062348	1.446062	23.193300
48.75	32.202670	-.584207E-04	-.004943	-.159291	32.225310
49.50	19.345130	-.515415E-04	-.067804	-1.560574	23.015970
50.25	-6.943450	.723154E-04	-.081330	-1.893140	23.277320
51.00	-27.881780	-.183402E-04	-.037200	-.919962	24.729950
51.75	-28.785900	-.721720E-04	.032043	.750437	23.419690
52.50	-9.361096	.113901E-04	.077607	1.869980	24.095540
53.25	16.336740	.606415E-04	.067922	1.589723	23.405120
54.00	30.065850	-.335260E-04	.010251	.209387	20.476280
54.75	22.343060	-.415968E-04	-.053848	-1.246708	23.152500

\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*

V/NB= 2.0190						EH= .0100						ET= .0300					
TIEMPO	h	AL	LH	MA	EXC	h	AL	LH	MA	EXC	h	AL	LH	MA	EXC		
SEG	CMS	RAD	KG	KG-CM	CM	CMS	RAD	KG	KG-CM	CM	CMS	RAD	KG	KG-CM	CM		
.75	46.411370	-.938768E-03	-.076796	-3.276342	42.662780	46.411370	-.938768E-03	-.076796	-3.276342	42.662780	46.411370	-.938768E-03	-.076796	-3.276342	42.662780		
1.50	5.524070	-.253875E-02	-.147681	-3.813909	25.825380	5.524070	-.253875E-02	-.147681	-3.813909	25.825380	5.524070	-.253875E-02	-.147681	-3.813909	25.825380		
2.25	-38.564310	-.157920E-03	-.119089	-1.145713	10.407180	-38.564310	-.157920E-03	-.119089	-1.145713	10.407180	-38.564310	-.157920E-03	-.119089	-1.145713	10.407180		
3.00	-54.650090	-.221953E-02	.015817	.100090	6.328006	-54.650090	-.221953E-02	.015817	.100090	6.328006	-54.650090	-.221953E-02	.015817	.100090	6.328006		
3.75	-31.848860	-.101793E-02	.121348	1.665371	13.723930	-31.848860	-.101793E-02	.121348	1.665371	13.723930	-31.848860	-.101793E-02	.121348	1.665371	13.723930		
4.50	13.062690	-.159315E-02	.132063	3.829740	28.999430	13.062690	-.159315E-02	.132063	3.829740	28.999430	13.062690	-.159315E-02	.132063	3.829740	28.999430		
5.25	47.974350	-.154399E-02	.058487	2.169830	37.099410	47.974350	-.154399E-02	.058487	2.169830	37.099410	47.974350	-.154399E-02	.058487	2.169830	37.099410		
6.00	48.392410	-.822759E-03	-.052241	-2.189074	41.864020	48.392410	-.822759E-03	-.052241	-2.189074	41.864020	48.392410	-.822759E-03	-.052241	-2.189074	41.864020		
6.75	14.613720	-.171167E-02	-.135574	-3.482218	26.069560	14.613720	-.171167E-02	-.135574	-3.482218	26.069560	14.613720	-.171167E-02	-.135574	-3.482218	26.069560		
7.50	-28.909970	-.638154E-04	-.118036	-1.790687	15.170630	-28.909970	-.638154E-04	-.118036	-1.790687	15.170630	-28.909970	-.638154E-04	-.118036	-1.790687	15.170630		
8.25	-51.261590	-.156449E-02	-.011345	-.358808	31.627520	-51.261590	-.156449E-02	-.011345	-.358808	31.627520	-51.261590	-.156449E-02	-.011345	-.358808	31.627520		
9.00	-37.012710	-.560128E-03	.097371	1.439986	14.788610	-37.012710	-.560128E-03	.097371	1.439986	14.788610	-37.012710	-.560128E-03	.097371	1.439986	14.788610		
9.75	3.141563	-.118507E-02	.129854	3.480585	26.803750	3.141563	-.118507E-02	.129854	3.480585	26.803750	3.141563	-.118507E-02	.129854	3.480585	26.803750		
10.50	40.387030	-.971415E-03	.075975	2.393905	31.509080	40.387030	-.971415E-03	.075975	2.393905	31.509080	40.387030	-.971415E-03	.075975	2.393905	31.509080		
11.25	48.459350	.681954E-03	-.027979	-1.275126	45.553550	48.459350	.681954E-03	-.027979	-1.275126	45.553550	48.459350	.681954E-03	-.027979	-1.275126	45.553550		
12.00	22.156210	-.114239E-02	-.116787	-3.052105	26.134030	22.156210	-.114239E-02	-.116787	-3.052105	26.134030	22.156210	-.114239E-02	-.116787	-3.052105	26.134030		
12.75	19.349070	-.162303E-03	-.121422	-2.190886	18.043590	19.349070	-.162303E-03	-.121422	-2.190886	18.043590	19.349070	-.162303E-03	-.121422	-2.190886	18.043590		
13.50	-46.471760	-.109074E-02	-.034497	-.809033	23.452020	-46.471760	-.109074E-02	-.034497	-.809033	23.452020	-46.471760	-.109074E-02	-.034497	-.809033	23.452020		
14.25	-40.296140	-.284654E-03	.072947	1.114576	15.279160	-40.296140	-.284654E-03	.072947	1.114576	15.279160	-40.296140	-.284654E-03	.072947	1.114576	15.279160		

15.00	-5.756824	-.867979E-03	.122823	3.130209	25.485500
15.75	32.256880	.598638E-03	.088841	2.545078	28.647470
16.50	46.828300	.544079E-03	-.005051	-.508386	100.657500
17.25	28.065020	-.752850E-03	-.098053	-2.563000	26.138970
18.00	-10.204420	-.192082E-03	-.120534	-2.391881	19.843990
18.75	-40.607570	.752344E-03	.053476	-1.211541	22.655580
19.50	-41.799240	-.124360E-03	.048951	.730702	14.927300
20.25	-13.438820	-.627108E-03	.111943	2.761686	24.670500
21.00	23.929460	.359468E-03	.097120	2.621061	26.987990
21.75	43.749950	.421973E-03	.015786	.130518	8.268144
22.50	32.320520	-.489640E-03	-.078152	-2.045121	26.168540
23.25	-1.747499	-.186176E-03	-.115802	-2.432418	21.004940
24.00	-33.996270	.513426E-03	-.068219	-1.542877	22.616610
24.75	-41.672780	.353951E-04	.026137	.323255	12.367870
25.50	-19.775310	-.447497E-03	.098155	2.370732	24.152900
26.25	15.717760	.208589E-03	.101026	2.627040	25.954180
27.00	39.496880	.320079E-03	.039292	.653427	19.258870
27.75	34.962960	-.313773E-03	-.057854	-1.522362	26.314090
28.50	5.805191	-.163965E-03	-.107760	-2.345954	21.770200
29.25	-26.953600	.346589E-03	-.078773	-1.790784	22.733520
30.00	-40.107150	.104700E-04	.005135	-.079462	-15.475120
30.75	-24.698820	-.315665E-03	.082357	1.961114	23.812470
31.50	7.895002	.115306E-03	.100918	2.551198	25.279990
32.25	34.351490	.238395E-03	.048980	1.666620	21.817710
33.00	36.084250	-.197660E-03	-.037878	-1.013955	26.769200
33.75	12.293390	-.236337E-03	-.057013	-2.161761	22.283270
34.50	-19.774570	.231329E-03	-.085299	-1.951099	22.873530
35.25	-37.321210	.311160E-04	-.013556	-.455355	33.589510
36.00	-28.198860	-.220239E-03	.065384	1.541333	23.573490
36.75	.689677	.590580E-04	.097260	2.414609	24.826450
37.50	28.595120	.174812E-03	.060714	1.382838	22.776600
38.25	35.818890	-.121987E-03	-.018866	-.535391	28.378480
39.00	17.612280	-.109021E-03	-.084205	-1.905683	22.631410
39.75	-12.725110	.152547E-03	-.080662	-2.025506	23.000810
40.50	-33.551400	.376514E-04	-.029572	-.788019	26.647860
41.25	-30.315830	-.152027E-03	.048001	1.122238	23.379240
42.00	-5.717360	.262345E-04	.090590	2.220785	24.514770
42.75	22.498290	.126443E-03	.069067	1.602579	23.203370
43.50	34.334400	-.733781E-04	-.001363	-.098921	72.598960
44.25	21.709780	-.846994E-04	-.069991	-1.606062	22.868840
45.00	-6.036345	.992765E-04	-.067415	-2.019880	23.106890
45.75	-29.041520	.368148E-04	-.042675	-1.066148	24.982760
46.50	-31.133730	-.103834E-03	.030887	.715341	23.160280
47.25	-11.193740	.793877E-05	.081491	1.980047	24.297780
48.00	16.312500	.903299E-04	.074106	1.734859	23.410500
48.75	31.821700	-.426713E-04	.014198	.286166	20.154740
49.50	24.582370	-.643330E-04	-.055004	-1.266700	23.029120
50.25	.099592	.638600E-04	-.083780	-1.943009	23.191880
51.00	-24.033340	.325705E-04	-.052757	-.782927	24.917690
51.75	-30.772280	-.701600E-04	.014622	.331637	22.680970
52.50	-15.654630	-.156226E-05	.070564	1.703858	24.146310
53.25	10.263700	.637937E-04	.076018	1.787567	23.535100
54.00	28.485780	-.236545E-04	.027497	.613363	22.306570
54.75	26.269630	-.479646E-04	-.039843	-.921601	23.131100

\*\*\* FIN DEL ANALISIS \*\*\*

+++++++

# VARIACIÓN DE AMORTIGUAMIENTO

## CASO 1, EH (+), ET = (+)

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 FES ACATLÁN UNAM  
 MARZO 2005, VERSIÓN 3.1

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE AMORTIGUAMIENTO

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .030  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = .100  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= .3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 .697200E-01 .475000E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 .695674E-01  
 .474961E+00 -.564061E+01

\*\*\*\*\* METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0300 ET= .1000

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	47.374110	.117828E-02	-.072763	-3.015906	41.448420
1.00	23.250010	-.141291E-02	-.128822	-4.054424	31.473120
1.50	-7.544865	-.188597E-02	-.143233	-3.038190	21.211520
2.00	-34.855780	-.160842E-03	-.106734	-1.483768	13.901610
2.50	-49.997860	.137966E-02	-.032786	-.341342	10.411250
3.00	-48.505540	.106030E-02	.048755	.626335	12.850780
3.50	-31.428010	-.371578E-03	.108104	1.854042	17.150530
4.00	-4.802695	-.108817E-02	.128437	2.970424	23.127400
4.50	22.461350	-.442797E-03	.108137	3.058232	28.281040
5.00	41.553490	.559397E-03	.056351	1.717829	30.484250
5.50	46.598380	.727983E-03	-.011173	-.401821	35.962760
6.00	36.449630	.509687E-04	-.074460	-2.156280	28.958990
6.50	14.897740	-.540162E-03	-.113231	-2.831157	25.003380
7.00	-10.720400	-.405754E-03	-.113974	-2.479620	21.755950
7.50	-32.007710	.151746E-03	-.076513	-1.535561	20.069240
8.00	-42.249990	.422854E-03	-.014854	-.332135	22.360590
8.50	-38.522800	.166291E-03	.048903	.953404	19.495890
9.00	-22.504790	-.221210E-03	.093679	2.059150	21.980840
9.50	-48.220997	-.280830E-03	.106488	2.566591	24.102180
10.00	22.098780	-.153069E-04	.085188	2.163861	25.400860
10.50	36.105850	.211366E-03	.037789	.951561	25.180750
11.00	37.995480	.155106E-03	-.020262	-.559491	27.612680
11.50	27.572430	-.619111E-04	-.070360	-1.761900	25.041320
12.00	8.617219	-.164363E-03	-.096374	-2.277029	23.627010
12.50	-12.468360	-.624081E-04	-.090199	-2.048124	22.706730
13.00	-28.814450	.874364E-04	-.054757	-1.233696	22.530480
13.50	-35.313640	.108368E-03	-.002786	-.088664	31.819550
14.00	-30.207210	.430028E-05	.048049	1.072065	22.311980
14.50	-15.537670	-.825843E-04	.081415	1.896295	23.291630
15.00	3.639495	-.591994E-04	.087436	2.093358	23.941580
15.50	20.988400	-.252020E-04	.065284	1.578715	24.182230
16.00	30.978940	.638265E-04	.022961	.542647	23.633350
16.50	30.641930	.233065E-04	-.025411	-.629509	24.772850
17.00	20.438770	-.346305E-04	-.064095	-1.532615	23.911480
17.50	3.995528	-.418755E-04	-.080828	-1.895897	23.455920
18.00	-13.174040	-.106129E-05	-.070832	-1.646106	23.239460
18.50	-25.510400	.322773E-04	-.038251	-.893089	23.348040
19.00	-29.201900	.226442E-04	.005531	.117610	21.263720
19.50	-23.353850	-.101514E-04	.045950	1.067736	23.237120
20.00	-10.177260	-.247032E-04	.070131	1.652785	23.567120
20.50	5.829976	-.864382E-05	.070916	1.683526	23.759630
21.00	19.411110	.137064E-04	.048875	1.160350	23.741400
21.50	26.271030	.161339E-04	.011842	.275328	23.250100
22.00	24.427960	.105372E-06	-.027783	-.664026	23.900650
22.50	14.773220	-.126840E-04	-.057134	-1.349923	23.627450
23.00	.686138	-.871060E-05	-.067058	-1.575600	23.496230
23.50	-13.140950	.406477E-05	-.054993	-1.290325	23.463510
24.00	-22.259530	.958049E-05	-.025596	-.603289	23.569810
24.50	-23.891190	.325377E-05	.011033	.255419	23.150600
25.00	-17.765580	-.535094E-05	.042831	1.006421	23.497680
25.50	-6.122290	-.615235E-05	.059731	1.409476	23.597200
26.00	7.096647	.107818E-06	.056815	1.342749	23.633730
26.50	17.576090	.497247E-05	.035697	.842612	23.604410
27.00	22.031930	.330735E-05	.003792	.087365	23.042290
27.50	19.233400	-.168462E-05	-.028260	-.668417	23.652810
28.00	10.330200	-.377155E-05	-.030111	-1.181179	23.501130
28.50	-1.598460	-.126289E-05	-.055057	-1.295958	23.538440
29.00	-12.604010	.207706E-05	-.042077	-.990588	23.542530
29.50	-19.170390	.236792E-05	-.015975	-.377160	23.609210
30.00	-19.332950	-.491994E-07	.014378	.337546	23.477070
30.50	-13.257600	-.188967E-05	.039053	.920105	23.560440
31.00	-3.116340	-.120780E-05	.050296	1.186349	23.587120
31.50	7.682508	.713270E-06	.044947	1.060348	23.590910
32.00	15.635460	.147047E-05	.025295	.596203	23.570110
32.50	18.276590	.452049E-06	-.001841	-.044126	23.963460
33.00	14.935790	-.856139E-06	-.027460	-.647741	23.588670
33.50	6.894579	-.957789E-06	-.043351	-1.021598	23.565910
34.00	-3.093977	-.749910E-08	-.044721	-1.053619	23.559590

34.50	-11.743460	.714545E-06	-.031627	-.745333	23.566060	17.00	24.255270	-.223685E-04	-.054695	-1.316804	24.075400
35.00	-16.311540	-.464258E-06	-.008787	-.207414	23.605150	17.50	9.103500	-.457640E-04	-.078682	-1.853207	23.553110
35.50	-15.465330	-.256038E-06	.016103	.379242	23.551270	18.00	-8.466447	-.132677E-04	-.076395	-1.778037	23.274270
36.00	-9.662848	-.526045E-06	.034949	.823829	23.572120	18.50	-22.705070	.270874E-04	-.049437	-1.151130	23.284870
36.50	-9.944075	-.125817E-06	.041886	.987593	23.578100	19.00	-29.133880	.286811E-04	-.007442	-1.183763	24.692370
37.00	7.780728	.363121E-06	.035085	.827173	23.576330	19.50	-25.946370	-.203604E-05	.035440	-1.815392	23.090300
37.50	13.698930	.372620E-06	.017207	-.405487	23.565180	20.00	-20.499330	-.239621E-04	.065363	1.535980	23.499340
38.00	14.998820	-.208799E-07	-.005607	-.132375	23.609880	20.50	1.232853	-.144921E-04	.073200	1.735499	23.708940
38.50	11.419400	-.312753E-06	-.025833	-.609003	23.574170	21.00	16.029590	.918794E-05	.057222	1.359317	23.754960
39.00	4.281408	-.215946E-06	-.037041	-.872985	23.568330	21.50	25.150470	.176670E-04	.023362	.549808	23.534280
39.50	-3.992481	.709000E-07	-.035924	-.846641	23.567820	22.00	25.847760	.467981E-05	-.016907	-.407395	24.096780
40.00	-10.696330	.189666E-06	-.023265	-.548379	23.571500	22.50	18.184540	-.107926E-04	-.050388	-1.193031	23.676980
40.50	-13.722880	.540702E-07	-.003540	-.083531	23.598950	23.00	4.918228	-.110055E-04	-.066477	-1.536549	23.520180
41.00	-12.222330	-.115486E-06	.016651	.392429	23.568040	23.50	-9.480848	.104029E-05	-.060545	-1.420642	23.464310
41.50	-6.833272	-.107183E-06	.030783	.725651	23.572950	24.00	-20.329830	.933218E-05	-.035264	-.829541	23.523560
42.00	.574111	.432781E-07	.034509	.813519	23.573780	24.50	-24.250950	.544173E-05	.000518	.008242	15.914310
42.50	7.543004	.141300E-06	.026984	.636081	23.572130	25.00	-20.216370	-.369092E-05	.034886	.818315	23.457080
43.00	11.842000	.827981E-07	.011018	.259664	23.566430	25.50	-9.799319	-.675082E-05	.056817	1.339708	23.579390
43.50	12.176660	-.468969E-07	-.007953	-.187534	23.578850	26.00	3.422193	-.159362E-05	.059686	1.410334	23.629380
44.00	8.574746	-.103632E-06	-.023713	-.558944	23.571610	26.50	15.087960	.429744E-05	.043222	1.020778	23.617110
44.50	2.332006	-.522290E-07	-.031289	-.270866	23.571600	27.00	24.488610	.418748E-05	.013382	.314626	23.466460
45.00	-4.448876	.213753E-07	-.028520	-.672220	23.570510	27.50	20.739720	-.564686E-06	-.019766	-.468430	23.698740
45.50	-9.563680	.329937E-07	-.016652	-.392519	23.572030	28.00	13.327250	-.369371E-05	-.045415	-1.071090	23.584680
46.00	-11.420650	-.760020E-08	.000177	.004158	23.445920	28.50	1.869745	-.208732E-05	-.055535	-1.307481	23.543170
46.50	-9.532667	-.307511E-07	.016374	.385947	23.571420	29.00	-9.799129	.146163E-05	-.047389	-1.115500	23.539160
47.00	-4.636431	-.152569E-08	.026738	.630268	23.572320	29.50	-17.908580	.259357E-05	-.024233	-.572143	23.579780
47.50	1.586840	.446504E-07	.028128	.663048	23.572140	30.00	-19.964760	.576400E-06	.005942	.138732	23.347230
48.00	7.085681	.538043E-07	.020405	.480959	23.571170	30.50	-15.511400	-.165167E-05	.033163	.780979	23.549540
48.50	10.112340	.172978E-07	.006367	.150068	23.567810	31.00	-6.207398	-.154091E-05	.048757	1.149851	23.583160
49.00	9.775743	-.258792E-07	-.009242	-.217864	23.573310	31.50	4.780617	.303114E-06	.048097	1.134685	23.591460
49.50	6.299471	-.387413E-07	-.021338	-.502973	23.571420	32.00	13.851110	.145787E-05	.031950	.753313	23.577590
50.00	.911506	-.229644E-07	-.026142	-.616202	23.571080	32.50	18.144120	.768808E-06	.006049	.141952	23.466530
50.50	-4.585948	-.358121E-08	-.023355	-.526935	23.571220	33.00	16.438960	-.627105E-06	-.029211	-.493400	23.599240
51.00	-8.417044	-.358175E-08	-.011491	-.270866	23.571600	33.50	9.489036	-.104607E-05	-.040223	-.948033	23.569210
51.50	-9.403851	-.677455E-08	.002705	.063762	23.571330	34.00	-2.283220	-.242890E-06	-.013400	-1.081180	23.560070
52.00	-7.325577	.616948E-09	.015544	.366393	23.571900	34.50	-9.630059	.624551E-06	-.036560	-.861497	23.563780
52.50	-2.957018	.183270E-07	.022933	.540563	23.571870	35.00	-15.551390	.583467E-06	-.015757	-.371638	23.585260
53.00	2.215273	.302705E-07	.022676	.534519	23.571590	35.50	-16.254510	-.111538E-06	.009415	.221566	23.533360
53.50	6.496517	.240608E-07	.015119	.356378	23.571020	36.00	-11.691020	-.527419E-06	.030689	.723319	23.569490
54.00	8.537147	.431614E-08	.002947	.069456	23.567860	36.50	-3.512830	-.242709E-06	.041338	.974643	23.577500
54.50	7.756025	-.138989E-07	-.009759	-.230034	23.572190	37.00	5.518777	.285497E-06	.038292	.902806	23.577160
55.00	4.501485	-.207676E-07	-.018884	-.445127	23.571530	37.50	12.461670	.414338E-06	.023000	.542085	23.569160
						38.00	15.147940	.722331E-07	.000812	.018920	23.306550
						38.50	12.856730	-.277762E-06	-.020880	-.492294	23.576850
						39.00	6.497153	-.261167E-06	-.035096	-.827189	23.569020
						39.50	-1.740543	.148045E-07	-.037506	-.883933	23.567670
						40.00	-9.135253	.185978E-06	-.027736	-.653752	23.570410
						40.50	-13.330780	.916915E-07	-.009355	-.220589	23.580800
						41.00	-13.083300	-.920522E-07	.011415	.268998	23.565000
						41.50	-8.624525	-.124930E-06	.027793	.655148	23.572440
						42.00	-1.536507	.108173E-07	.034647	.816766	23.573830
						42.50	5.804775	.133563E-06	.030093	.709362	23.572620
						43.00	11.022880	.105433E-06	.015988	.376816	23.568690
						43.50	12.507390	-.217270E-07	-.002791	-.065860	23.594400
						44.00	9.907139	-.100304E-06	-.020029	-.472119	23.572250
						44.50	4.200433	-.667130E-07	-.030217	-.712217	23.573430
						45.00	-2.665953	.987259E-08	-.030310	-.714429	23.570390
						45.50	-8.437758	.350793E-07	-.020625	-.486164	23.571620
						46.00	-11.290820	-.452113E-09	-.004619	-.108888	23.576410
						46.50	-10.404720	-.314112E-07	.012330	.290635	23.570980
						47.00	-6.193080	-.107187E-07	.024723	.582770	23.572280
						47.50	-.127960	.374621E-07	.028718	.676943	23.572240
						48.00	5.771094	.566775E-07	.023314	.549546	23.571340
						48.50	9.607133	.271775E-07	.010576	.249259	23.569430
						49.00	10.213450	-.181349E-07	-.005139	-.121143	23.575280
						49.50	7.504892	-.379946E-07	-.018658	-.439802	23.571600
						50.00	2.468374	-.263996E-07	-.025698	-.605723	23.571110
						50.50	-3.192097	-.844120E-08	-.024208	-.570617	23.571200
						51.00	-7.469508	-.416334E-08	-.014962	-.352674	23.571530
						51.50	-9.454481	-.794693E-08	-.001206	-.028427	23.572530
						52.00	-8.167714	-.282620E-08	.012469	.293909	23.571920
						52.50	-4.290602	.145189E-07	.021654	.510432	23.571920
						53.00	.837818	.294323E-07	.023542	.554918	23.571670
						53.50	5.520700	.272003E-07	.017772	.418902	23.571910
						54.00	8.262903	.921460E-08	.006467	.152430	23.569860
						54.50	8.246328	-.102517E-07	-.006537	-.154093	23.572710
						55.00	5.570632	-.195900E-07	-.016988	-.400436	23.571600

\*\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0300 ET= .1000

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	51.979560	-.193819E-02	-.051155	-2.218850	43.374910
1.00	31.625050	-.761998E-03	-.115525	-4.010596	34.716220
1.50	1.766419	-.204218E-02	-.144300	-3.470249	24.048790
2.00	-27.641230	-.775611E-03	-.122645	-.1922001	15.671220
2.50	-47.128510	.108766E-02	-.057167	-.640108	11.197230
3.00	-50.749290	.134470E-02	.025595	.316006	12.346310
3.50	-37.878070	.485966E-04	.094054	1.465509	15.581560
4.00	-13.229990	-.102764E-02	.126814	2.709287	21.364320
4.50	14.842560	-.730851E-03	.118052	3.186660	26.993650
5.00	37.168220	.317924E-03	.074237	2.242885	20.122640
5.50	46.742770	.790707E-03	.009415	.235605	25.023430
6.00	40.914080	.282220E-03	-.057403	-.1.732683	30.184760
6.50	22.088660	-.433403E-03	-.105350	-.2.749933	26.102730
7.00	-3.217465	-.514765E-03	-.118053	-.2.663046	22.558120
7.50	-26.620770	-.525263E-05	-.090976	-.1.853493	20.373530
8.00	-40.638050	.402345E-03	-.034332	-.707501	20.607410
8.50	-41.069150	.275296E-03	.031221	.575101	18.420310
9.00	-28.239460	-.131724E-03	.083405	1.777945	21.309920
9.50	-6.740273	-.305821E-03	.106369	2.506979	23.568790
10.00	16.197900	-.102157E-03	.094715	2.381140	25.140020
10.50	33.127590	.172400E-03	.053653	1.365038	25.441770
11.00	38.793880	.196803E-03	-.003184	-.1.24591	39.134620
11.50	31.754290				

## CASO 2, EH (+), ET (-)

```

*****
INESTABILIDAD AERODINAMICA DE Puentes ATIRANTADOS
*****
ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS
TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO
DICIEMBRE 2003 - ENERO 2004

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE AMORTIGUAMIENTO

DENSIIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4
SEMIBANCHO CUBIERTA = 900.000 CM
MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM
MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM
FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .100
FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = -.010
FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG
FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG
FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

*** INICIO DE ITERACIONES ***

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190
COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*1= 1.2600
COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*2= -.7400
COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H*3= .3000
COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*1= .0330
COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*2= .1523
COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03
.232400E+00 -.475000E-01
.135024E+01 .564063E+01
.155602E+01 .152619E-03
.946952E-08 -.806698E-04
.577225E-01 .393329E-01
.146321E-04 .232247E+00
-.475393E-01 -.564061E+01

+++++ METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG
INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG
CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS
CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

** METODO DE EULER MODIFICADO **

V/NB= 2.0190 EH= .1000 ET= -.0100

TIEMPO h AL LH MA EXC
SEG CMS RAD KG KG-CM CM
.50 47.615750 .103720E-02 -.068830 -3.118972 45.314410
1.00 24.923420 -.207925E-02 -.118133 -4.100310 34.709280
1.50 -3.001342 -.264166E-02 -.129769 -2.525939 19.464930
2.00 -26.937600 .122223E-03 -.095859 -.507451 5.293720
2.50 -39.909660 .279771E-02 -.028455 .114586 -4.026851
3.00 -39.101270 .200010E-02 -.041910 -.209593 -5.001058
3.50 -26.272200 -.134535E-02 .085050 .290982 1.421313
4.00 -9.712508 .306993E-02 .090588 2.059621 22.736030
4.50 12.783250 -.954403E-03 .069196 3.328381 48.100970
5.00 26.184390 .241855E-02 .036725 2.232514 60.790560
5.50 30.008520 .281455E-02 .000750 -.682022 -909.827100
6.00 24.120660 -.338435E-03 -.036440 -2.790088 76.566920
6.50 11.408140 -.313912E-02 -.066426 -2.316299 34.870580
7.00 -3.444666 -.203814E-02 -.073709 -.330180 4.479488
7.50 -15.603620 .166590E-02 -.049893 .661298 -13.254190
8.00 -21.598540 .335217E-02 -.006378 -.195448 30.643530
8.50 -20.247930 .840603E-03 .031903 -1.163597 -36.473540
9.00 -12.774490 -.279268E-02 .047228 -.294885 -6.243892
9.50 -2.164200 -.297973E-02 .042015 1.881086 44.771260
10.00 7.953311 .595019E-03 .030234 2.829232 93.578320
10.50 14.498950 .349986E-02 -.019167 -1.147261 59.853370
11.00 15.837340 .204799E-02 .004042 -1.542004 -381.469600
11.50 12.124840 .202566E-02 -.019161 -2.405913 125.565600
12.00 5.064631 -.363268E-02 -.041006 -.775144 18.902950
12.50 -2.790239 -.685337E-03 -.044485 1.095883 -24.634770
13.00 -8.920338 .319585E-02 -.024038 .865357 -35.998820
13.50 -11.616280 .312695E-02 .005677 -.972916 -171.388200
14.00 -10.419430 -.895650E-03 .023470 -1.751714 -74.635110
14.50 -6.127036 -.387862E-02 .022644 -.083724 -3.697351
15.00 -4.07742 -.202793E-02 .014825 2.238624 150.998400
15.50 4.810843 .242836E-02 .012836 2.368253 184.498200
16.00 7.967622 .391783E-02 .014422 -.024592 -1.705184
16.50 8.311186 .489809E-03 .007151 -2.221297 -310.647700
17.00 6.043540 .363601E-02 -.012400 -1.729691 141.310400
17.50 2.152957 -.326108E-02 -.029525 .654826 -22.178820
18.00 -1.978076 .124408E-02 -.027716 1.846300 -66.615570
18.50 -5.043953 .428031E-02 -.007510 .338574 -45.081890
19.00 -6.211826 .197642E-02 .012165 -1.878870 -154.446870
19.50 -5.327919 .287835E-02 .015188 -1.813301 -119.389200
20.00 -2.890897 .420669E-02 .005689 .701259 123.237100
20.50 .174151 .248732E-03 .000760 2.669615 3512.477000
21.00 2.849174 .411451E-02 .007813 1.616802 206.948400
21.50 4.348694 .337768E-02 .015123 -1.268632 -83.886120
22.00 4.337375 .164508E-02 .007624 -2.519424 -330.455800
22.50 2.984294 .470399E-02 -.012022 -.669810 55.713120
23.00 .855310 .188784E-02 -.024306 1.894872 -77.959660
23.50 -1.305399 .337899E-02 -.015735 1.897635 -120.596400
24.00 2.825151 .449810E-02 .004342 -.700134 -161.263700
24.50 -3.303355 .437136E-04 .014366 -2.591138 -180.361100
25.00 -2.706011 .463254E-02 .006157 -1.257888 -204.297300
25.50 -1.336150 .347173E-02 -.006032 1.789867 -296.709200
26.00 .297161 .210362E-02 -.004297 2.800537 -651.740500
26.50 1.659289 .514828E-02 .009758 .456297 46.759150
27.00 2.358371 .175601E-02 .016771 -2.401397 -143.190800
27.50 2.250731 .393356E-02 .004501 -2.248284 -499.471900
28.00 1.457995 .478221E-02 -.015390 .711009 -46.199830
28.50 .300495 .393831E-03 -.020458 2.741304 -133.996600
29.00 -.823404 .519098E-02 -.004909 1.232752 -251.096600
29.50 -1.569146 .353744E-02 -.018816 .971865 -153.958900
30.00 -1.747036 .262498E-02 .012381 -2.813707 -227.253700
30.50 -1.364266 .561127E-02 -.003553 -.114920 32.342960
31.00 -.601065 .157412E-02 -.013002 2.846747 -218.951100
31.50 .264391 .454527E-02 -.002644 2.363094 -893.775500
32.00 .953040 .506047E-02 .014867 -1.034122 -69.558680
32.50 1.271260 .808361E-03 .016441 -3.144552 -191.257500
33.00 1.161151 .579030E-02 .002034 -1.312737 645.266400
33.50 .703524 .356836E-02 -.019450 2.194686 -112.837700
34.00 .077961 .321462E-02 .015018 2.953774 -196.681400
34.50 -.503347 .609044E-02 .005773 -.067152 -11.632180
35.00 -.864962 .133467E-02 .017519 -3.125060 -178.384500
35.50 -.918840 .521720E-02 .006299 -2.329252 -369.808200
36.00 -.682201 .532557E-02 -.012887 1.434713 -111.315000
36.50 -.260440 .129405E-02 -.014851 3.504191 -235.953600
37.00 .195517 .643050E-02 .003856 1.238177 321.070700
37.50 .541138 .354198E-02 .020006 -2.610922 -130.506700
38.00 .681319 .389893E-02 .012373 -3.210461 -259.480800
38.50 .595260 .658266E-02 -.010857 .244072 -22.480430
39.00 .333854 .971791E-03 .021579 3.461395 -160.405700
39.50 -.002384 .599720E-02 -.006479 2.330638 -359.722200
40.00 -.301349 .553140E-02 .015804 -1.825354 -115.498900
40.50 -.473783 .202210E-02 .017353 -3.788768 -218.333500
41.00 -.479844 .719115E-02 -.003797 -.961512 253.251100
41.50 -.336242 .328472E-02 -.020432 3.181202 -155.693900
42.00 -.104272 .493924E-02 -.010531 3.379063 -320.875300

```

42.50	.134433	.705805E-02	.014208	-.723672	-50.933330	20.00
43.00	.305325	.188233E-03	.022385	-3.988625	-178.185600	20.50
43.50	.362889	-.711150E-02	.002675	-2.217012	-828.692500	21.00
44.00	.301432	-.549636E-02	-.020949	2.446262	-116.773200	21.50
44.50	.152810	.320821E-02	-.018800	4.091903	-217.653500	22.00
45.00	-.027192	.803962E-02	.006776	.520670	76.835210	22.50
45.50	-.178852	.269873E-02	.023601	-3.834114	-162.453200	23.00
46.00	-.257949	-.624797E-02	.010072	-3.407328	-338.294300	23.50
46.50	-.248085	-.743188E-02	-.016947	1.393690	-82.238480	24.00
47.00	-.162482	.877682E-03	-.022812	4.544248	-199.205000	24.50
47.50	-.036137	.829043E-02	.000862	1.967469	2283.665000	25.00
48.00	.087534	.528029E-02	.024652	-3.188444	-129.336500	25.50
48.50	.170787	-.458064E-02	.017091	-4.387449	-243.867200	26.00
49.00	.192061	-.884101E-02	-.011643	.010710	-17.919843	26.50
49.50	.151170	-.188621E-02	-.027179	4.515636	-166.145000	27.00
50.00	.067444	.767726E-02	-.008564	3.350137	-391.196500	27.50
50.50	-.028139	.766285E-02	.021140	-2.150892	-101.745300	28.00
51.00	-.104172	-.217398E-02	.024163	-5.055448	-209.222300	28.50
51.50	-.139152	-.949438E-02	-.003978	-1.566335	393.713200	29.00
52.00	-.127120	.484616E-02	-.027873	4.024386	-144.381600	29.50
52.50	-.077312	.614137E-02	-.016578	4.613091	-278.266300	30.00
53.00	-.009193	.955879E-02	.016536	-.688853	-41.657380	30.50
53.50	.054524	.817856E-03	.029668	-5.246275	-176.834000	31.00
54.00	.094706	-.921141E-02	.005382	-3.198449	-594.340100	31.50
54.50	.101120	-.770915E-02	-.026347	3.008184	-114.176000	32.00
55.00	.075050	.371573E-02	-.025204	5.528789	-219.364700	32.50

\*\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*\*

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM	V/NB=	EH=	ET=
.50	52.063760	.188450E-02	-.049071	-2.280475	46.472730	2.0190	.1000	-.0100
1.00	32.704300	-.126433E-02	-.106663	-4.126080	38.683280			
1.50	5.334418	-.288710E-02	-.131057	-3.158603	24.100910			
2.00	-20.687610	-.890932E-03	-.110532	-1.007253	9.112749			
2.50	-37.447060	.228207E-02	-.050457	.091562	-1.814654			
3.00	-40.766690	.263991E-02	.022705	-.131737	-5.802032			
3.50	-31.091290	-.338540E-03	.076135	-.021997	-.288923			
4.00	-12.843330	-.295969E-02	.092439	1.486736	16.083400			
4.50	7.383343	-.189376E-02	.077292	3.158241	40.860940			
5.00	23.104720	.159741E-02	.046947	2.827091	60.219040			
5.50	29.943730	.314868E-02	.011796	-.211946	17.967950			
6.00	26.755350	.747745E-03	-.025560	-2.414463	94.461420			
6.50	15.626880	-.265846E-02	-.059289	-2.701554	45.565760			
7.00	8.767500	-.277831E-02	-.074838	-.895624	11.967510			
7.50	-12.528000	.619177E-03	-.059848	.582124	-9.726707			
8.00	-20.581620	.331389E-02	-.019702	.154880	-7.860966			
8.50	-21.375340	.187457E-02	.022614	-1.038938	-45.942790			
9.00	-15.459050	-.197458E-02	.045183	-.759175	-16.802220			
9.50	-5.401532	-.341446E-02	.044667	1.281754	28.695510			
10.00	5.226851	-.562646E-03	.033660	2.834808	84.218990			
10.50	13.070380	.307078E-02	.022692	1.845865	81.344010			
11.00	16.004280	.290085E-02	.009537	-.873321	-91.573710			
11.50	13.657930	-.948712E-03	-.011860	-2.453399	206.869800			
12.00	7.337230	-.368891E-02	-.036058	-1.371038	38.023120			
12.50	-.563865	-.182105E-02	-.046219	.742246	-16.059200			
13.00	-7.424169	.239912E-02	-.031751	-1.171860	-36.907670			
13.50	-11.232150	.368105E-02	-.002288	-.476035	208.093600			
14.00	-11.142440	.329730E-03	.020343	-1.806536	-88.803160			
14.50	-7.610071	-.352006E-02	.024020	-.732121	-30.479940			
15.00	-2.107074	-.300240E-02	.016567	1.748778	105.555500			
15.50	3.445313	.133196E-02	.012728	2.657804	208.817900			
16.00	7.321350	.408303E-02	.014731	.741154	50.312870			
16.50	8.504061	.172691E-02	.010920	-1.858957	-170.235800			
17.00	6.922406	-.287404E-02	-.006227	-2.152321	345.628800			
17.50	3.369428	-.394420E-02	-.026361	.027717	-1.051451			
18.00	-.838097	-.426137E-04	-.030643	1.822872	-59.486450			
18.50	-4.324825	.400688E-02	-.013858	.935402	-67.500690			
19.00	-6.089315	.307691E-02	.008180	-1.458249	-178.267000			
19.50	-5.773509	-.177408E-02	.016014	-2.164843	-135.184100			

20.00	-3.703346	-.449400E-02	.008156	-.041502	-5.088258
20.50	-.712775	-.158524E-02	.000637	2.441575	3835.528000
21.00	2.170586	.340216E-02	.005369	2.202910	410.273500
21.50	4.065225	.419891E-02	.014668	-.567406	-38.681930
22.00	4.492720	-.305410E-03	.011607	-2.544028	-219.180700
22.50	3.481518	-.453121E-02	-.006771	-1.357457	200.469900
23.00	1.502483	-.311745E-02	-.023204	1.431722	-61.702350
23.50	-.725285	.228033E-02	-.019939	2.254582	-113.074300
24.00	-2.484232	.491875E-02	-.000531	.023741	-44.748610
24.50	-3.280555	.138835E-02	.013766	-2.438250	-177.123700
25.00	-2.972936	-.398617E-02	.009274	-1.909961	-205.954300
25.50	-1.777846	-.443938E-02	-.004183	1.119302	-267.604000
26.00	-1.630900	.721457E-03	.006584	2.946584	-447.552200
26.50	1.324972	.509243E-02	.006331	1.250124	197.448000
27.00	2.239379	.311624E-02	.017237	-1.936773	-112.363800
27.50	2.359898	-.285598E-02	.009315	-2.681576	-287.888900
28.00	1.736165	-.535331E-02	-.011330	-.063802	5.631220
28.50	.642787	-.112781E-02	-.021718	2.612936	-120.312400
29.00	-.530100	.462842E-02	-.009881	1.924503	-194.762900
29.50	-1.410218	.465876E-02	.009997	-1.331255	-133.170700
30.00	-1.756730	-.121309E-02	.014648	-3.050260	-208.243100
30.50	-1.520752	-.568926E-02	.000289	-.959041	-3314.944000
31.00	-.839491	-.306458E-02	-.012923	2.440540	-188.264500
31.50	.026955	.350630E-02	-.006736	2.909185	-431.870100
32.00	.789914	.579270E-02	.011889	-.209464	-17.617710
32.50	1.224609	.794463E-03	.018764	-3.070255	-163.621800
33.00	1.232460	-.533075E-02	.003252	-2.080916	-639.899300
33.50	.857644	-.484907E-02	-.017373	1.554296	-89.465080
34.00	.257984	.178826E-02	-.018549	3.258932	-175.694800
34.50	-.356077	.631956E-02	.001034	.811346	784.521900
35.00	-.792438	.295271E-02	.017327	-2.780985	-160.504400
35.50	-.935176	-.423646E-02	.010600	-2.970488	-280.232500
36.00	-.772737	-.623088E-02	-.009840	.596390	-60.611210
36.50	-.388266	-.378431E-03	-.017197	3.519588	-204.665900
37.00	.073766	.609442E-02	-.001084	2.097424	-1934.111000
37.50	.462249	.500113E-02	.018739	-1.970584	-105.156900
38.00	.665159	-.245520E-02	.016724	-3.606038	-215.615100
38.50	.639953	-.698018E-02	-.006009	-.699535	-116.410100
39.00	.419152	-.276981E-02	-.022124	3.152733	-142.500300
39.50	.092405	.505144E-02	-.011767	3.075428	-261.367300
40.00	-.227286	.666053E-02	.012296	-.934742	-76.019280
40.50	-.441317	-.130916E-03	.021005	-3.886640	-193.318700
41.00	-.494864	-.692000E-02	.001940	-2.001211	-1031.378000
41.50	-.389194	-.510450E-02	-.019090	2.465969	-129.175100
42.00	-.174796	.322241E-02	-.015779	3.931715	-249.166600
42.50	.070026	.766683E-02	.008620	-4.749711	-55.103500
43.00	.266419	.250394E-02	.023702	-3.642829	-153.691300
43.50	.359049	-.595589E-02	.009820	-3.227489	-328.650100
44.00	.330405	-.707294E-02	-.016631	1.292157	-77.694730
44.50	.202305	.744938E-03	-.022946	4.276327	-186.361400
45.00	.025265	.780717E-02	-.000997	1.898482	-1903.868000
45.50	-.140190	-.514730E-02	.021971	-2.960328	-134.739700
46.00	-.243759	-.409854E-02	.017017	-4.200217	-246.824600
46.50	-.260214	-.837390E-02	-.009935	-.155520	-15.653900
47.00	-.194384	-.214198E-02	-.024883	4.185147	-168.195900
47.50	-.075890	.695400E-02	-.008277	3.336583	-403.109300
48.00	.053009	.745786E-02	.019767	-1.747064	-88.383230
48.50	.151619	-.147569E-02	.023968	-4.727031	-197.219600
49.00	.192762	-.875455E-02	-.001755	-1.781219	1015.218000
49.50	.169640	-.511613E-02	-.025800	3.494154	-135.430400
50.00	.096141	.509232E-02	-.017925	4.464758	-249.081200
50.50	.900676	.909429E-02	-.012486	-2.70005	-16.578930
51.00	-.084350	.166962E-02	.027400	-4.738605	-172.944500
51.50	-.133541	-.804932E-02	.007635	-3.382782	-443.082000
52.00	-.135863	-.780331E-02	-.022422	2.288505	-102.064000
52.50	-.096146	.233587E-02	-.024732	5.198088	-210.173200
53.00	-.031333	.975949E-02	.004461	1.596678	357.899200
53.50	.036145	.499600E-02	.029002	-4.107517	-141.626400
54.00	.085420	-.621240E-02	.017659	-4.738169	-268.313800
54.50	.103061	-.981919E-02	-.016167	.623434	-38.562360
55.00	.086610	-.107134E-02	-.030304	5.324654	-175.710600

\*\*\* FIN DEL ANALISIS \*\*\*

\*\*\*\*\*

# CASO 2, EH (+), ET (-)

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 FES ACATLAN UNAM  
 MARZO 2005, VERSIÓN 3.1

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE AMORTIGUAMIENTO

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMTANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .010  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = -.080  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= .3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 .232400E-01 -.380000E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 .230874E-01  
 -.380039E+00 -.564061E+01

+++++ METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0100 ET= -.0800

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	47.303240	.937237E-03	-.072350	-3.345805	46.245010
1.00	22.746610	-.260319E-02	-.130595	-4.655558	35.648800

1.50	-8.946181	-.330063E-02				-151321	-2.898029	19.151580
2.00	-37.358220	.396923E-03				-117637	-.309895	2.634326
2.50	-53.261810	.431906E-02				-035029	.417272	-11.912340
3.00	-51.613990	.311717E-02				.061344	-.495245	-8.073217
3.50	-33.153180	-.262333E-02				.126114	-.145916	-1.357016
4.00	4.092422	-.595147E-02				136302	2.961570	21.727990
4.50	25.969560	-.178604E-02				104018	6.011250	57.790520
5.00	47.217670	.570471E-02				.055288	4.571077	82.676970
5.50	52.823970	.690920E-02				.000803	-1.560991	-1944.054000
6.00	41.139920	-.113990E-02				-.064234	-6.778862	105.533800
6.50	16.174190	-.929873E-02				-.130825	-5.558969	42.491760
7.00	-13.779750	-.636651E-02				-.160159	.525610	-3.281808
7.50	-38.896930	.593486E-02				-.113974	3.886302	-34.098240
8.00	-51.041840	.126359E-01				-.004579	.168635	-36.828490
8.50	-46.402170	.335112E-02				.099445	-5.368436	-53.984060
9.00	-26.683040	-.124789E-01				.133064	-3.620539	-27.208990
9.50	1.511733	-.144418E-01				.099052	6.027706	60.853940
10.00	28.889680	.305316E-02				.057713	12.601270	218.343900
10.50	46.531820	.199948E-01				-.047023	6.034348	127.080500
11.00	48.797300	-.129619E-01				.032970	-8.272302	-264.704700
11.50	35.124530	-.133680E-01				-.042098	-14.827210	352.210400
12.00	10.154910	-.267964E-01				-.158030	-3.761043	23.799500
12.50	-17.840410	-.616151E-02				-.206708	11.816210	-57.163860
13.00	-39.698060	.272505E-01				-.108420	11.386020	-105.017700
13.50	-48.359720	.301396E-01				.072495	-6.847886	-94.460270
14.00	-41.150480	-.783060E-02				.172535	-19.906590	-115.377100
14.50	-20.602930	-.429430E-01				.110741	-7.014232	-63.338840
15.00	6.427649	-.262995E-01				-.006762	20.795890	-3075.471000
15.50	31.050250	.299922E-01				-.011435	28.812460	-2519.658000
16.00	45.263310	.567586E-01				.103216	1.328930	12.875190
16.50	44.553760	.110242E-01				.147060	-32.596830	-221.656100
17.00	29.325710	-.594084E-01				-.027023	29.335910	1085.610000
17.50	4.709908	-.627969E-01				.288125	-12.888540	-44.732500
18.00	-21.161990	.194948E-01				-.328953	43.316320	-131.679300
18.50	-39.839290	.921210E-01				-.041121	17.779280	-432.368600
19.00	-45.310210	.531590E-01				.291774	-39.224070	-134.432900
19.50	-35.938300	-.670525E-01				.287845	-54.264420	-188.519900
20.00	-14.951120	-.120080E+00				-.050233	3.685771	-73.373970
20.50	10.668620	-.189722E-01				-.280755	71.212130	-253.645300
21.00	32.509780	.129309E+00				-.053960	57.659050	-1068.551000
21.50	43.497020	.130614E+00				.384737	-35.906850	-93.328250
22.00	40.178930	-.474885E-01				.418115	-98.814120	-236.332400
22.50	23.802890	-.197387E+00				-.152059	-39.732810	261.298100
23.00	-.148622	-.106995E+00				-.727262	84.179970	-116.469800
23.50	-23.785810	-.149426E+00				-.542811	115.381400	-215.956300
24.00	-39.401370	.253737E+00				.325236	-8.071344	-24.818680
24.50	-41.983280	.307369E-01				.859677	-147.492400	-171.567100
25.00	-30.832490	-.281028E+00				.330489	-112.897300	-341.606900
25.50	-9.751509	-.271180E+00				-.694856	85.837230	-123.532500
26.00	14.256010	.113769E+00				-.871195	210.432300	-241.544300
26.50	33.325370	.422450E+00				.223800	74.100740	331.102600
27.00	41.311070	.214329E+00				1.315795	-190.778000	-144.990600
27.50	35.752310	-.332015E+00				.844350	-247.975600	-293.688200
28.00	18.610800	-.535501E+00				-.931027	22.991940	-24.695260
28.50	-4.415697	-.447399E-01				-1.887863	316.638000	-167.722900
29.00	-25.763690	.609861E+00				-.556701	233.324700	-419.119900
29.50	-38.471410	.561950E+00				1.726665	-190.474500	-110.813500
30.00	-38.461920	.268994E+00				2.067600	-441.598800	-213.580000
30.50	-25.880900	-.903097E+00				-.346272	-137.147400	396.068600
31.00	-5.011125	-.427026E+00				-2.713731	421.155900	-155.194400
31.50	17.212740	.735715E+00				-1.738016	518.907600	-298.563100
32.00	33.543000	.112873E+01				1.931665	-74.451010	-38.542410
32.50	38.775310	.509271E-01				3.772364	-687.575100	-182.266400
33.00	31.356890	-.132159E+01				.814155	-482.473100	-592.606300
33.50	13.809160	-.116215E+01				-3.931911	427.885900	-108.823900
34.00	-8.096619	.629237E+01				-4.350315	937.208400	-215.434600
34.50	-27.171150	.192840E+01				1.026296	261.011500	254.323900
35.00	-37.148800	.845557E+01				6.032685	-917.055500	-152.014500
35.50	-34.810110	-.162619E+01				3.753369	-1079.845000	-287.700300
36.00	-21.094670	-.237607E+01				-4.136666	209.573600	-50.662930
36.50	-7.19959	-.136195E-01				-7.904614	1481.251000	-187.390700
37.00	19.541250	.285999E+01				-1.484890	982.645000	-661.762700
37.50	33.177720	.239823E+01				8.405148	-969.556000	-115.352600
38.00	35.960300	-.145891E+01				8.844969	-1993.702000	-225.405200
38.50	27.109660	-.411307E+01				-2.795042	-488.775700	174.872400
39.00	9.477025	-.166232E+01				-13.073080	2000.880000	-153.053400
39.50	-11.231360	.358604E+01				-7.600030	2254.830000	-296.687000
40.00	-28.143980	.499522E+01				9.374415	-542.369000	-57.856300
40.50	-35.545080	-.173547E+01				16.923680	-3178.090000	-187.789600
41.00	-31.027450	-.618094E+01				2.746707	-1991.698000	-725.122200
41.50	-16.410240	-.493769E+01				-18.128310	2182.699000	-120.402800

42.00	3.125546	.335723E+01	-18.338770	4226.397000	-230.462400	20.00	-21.848880	-.122111E+00	.045107	-16.087000	-356.641500
42.50	21.157090	.876276E+01	6.728396	884.247700	131.420300	20.50	3.297044	-.570941E-01	-.264011	59.636360	-225.885500
43.00	32.185660	.324052E+01	27.843870	-4369.081000	-156.913600	21.00	27.073060	.100265E+00	-.153054	71.814010	-469.206500
43.50	32.993130	-.789059E+01	15.096280	-4706.157000	-311.742800	21.50	41.739240	.152292E+00	.294851	-10.072510	-34.161360
44.00	23.241480	-.104872E+02	-21.088980	1360.218000	-64.498990	22.00	42.622040	.519518E-02	.481231	-93.997670	-195.327700
44.50	5.711842	.801710E+00	-35.866460	6818.439000	-190.106300	22.50	29.595120	-.179853E+00	.026840	-66.244700	-2468.108000
45.00	-13.991180	.133407E+02	-4.472425	4032.503000	-901.636800	23.00	7.062722	-.155611E+00	-.637263	56.840450	-89.194710
45.50	-28.956470	.101412E+02	39.531750	-4883.471000	-123.532900	23.50	-17.523200	.882948E-01	-.637263	124.639400	-184.766000
46.00	-33.731160	-.767599E+01	38.270090	-8941.251000	-233.635500	24.00	-36.117510	.261490E+00	.099399	32.128710	323.229600
46.50	-26.909940	-.186475E+02	-15.909160	-1544.969000	97.111910	24.50	-42.711280	.110336E+00	.825255	-125.772100	-152.403900
47.00	-11.636880	-.625341E+01	-59.454170	9519.316000	-160.111800	25.00	-35.281420	-.224610E+00	.553453	-143.551500	-259.374400
47.50	6.397508	.173271E+02	-30.209040	9796.387000	-324.286600	25.50	-16.418190	-.319919E+00	-.485435	34.157780	-70.365350
48.00	21.720540	.219863E+02	46.778550	-3343.551000	-71.476160	26.00	7.576818	.59836E-02	-.972793	204.303700	-210.017800
48.50	30.473680	-.262933E+01	75.531930	*****	-193.578800	26.50	28.808710	.391858E+00	-.107605	130.987500	-1217.305000
49.00	30.268030	-.287595E+02	6.397864	-8134.907000	-1271.504000	27.00	40.394740	.318099E+00	1.176572	-136.197800	-115.758100
49.50	20.260160	-.207723E+02	-85.969510	1010894.150000	-126.721100	27.50	38.684450	-.209762E+00	1.144056	-270.612500	-236.537800
50.00	2.510845	.174562E+02	-79.388690	18901.660000	-238.090100	28.00	24.388440	-.558838E+00	-.499852	-60.615240	-121.266300
50.50	-16.973940	.396395E+02	37.695980	2573.200000	68.261930	28.50	2.292500	-.210329E+00	-1.879880	275.006000	-146.289100
51.00	-30.123100	.119150E+02	127.252300	*****	-162.676300	29.00	-20.323490	.501171E+00	-1.064988	290.074000	-280.824000
51.50	-31.464050	-.379810E+02	60.371230	*****	-337.076400	29.50	-36.062200	.67046E+00	1.289955	-86.609360	-67.193460
52.00	-21.698650	-.460277E+02	-103.506000	8070.344000	-77.969830	30.00	-39.833940	-.493919E-01	2.299004	-434.972700	-189.200500
52.50	-6.494153	.756948E+01	-159.105200	31313.860000	-196.812300	30.50	-30.532390	-.851799E+00	.350877	-256.394800	-730.725500
53.00	8.380439	.619269E+02	-7.333926	16325.660000	-2226.047000	31.00	-11.372050	-.647504E+00	-.242915	314.539800	-129.485800
53.50	20.301340	.424222E+02	186.248800	*****	-130.174900	31.50	11.242010	.492470E+00	-.2.342714	573.535900	-244.816900
54.00	28.170600	-.395100E+02	164.021100	*****	-243.369900	32.00	29.893800	.119191E+01	1.097115	98.290950	89.590350
54.50	29.076600	-.841683E+02	-88.470310	-3941.772000	44.554740	32.50	38.593510	.394082E+00	3.820589	-610.161000	-159.703400
55.00	19.147280	-.223444E+02	-271.918000	44956.550000	-165.331300	33.00	34.655960	-.111418E+01	1.869342	-624.905200	-334.291500
						33.50	19.482380	-.140165E+01	-3.104151	218.171100	-70.283670
						34.00	-1.918419	.183616E+00	-4.921392	934.873100	-189.961100
						34.50	-22.516720	.184747E+01	-.435472	509.941900	-1171.011000
						35.00	-35.535200	.131187E+01	5.500888	-709.243300	-128.932500
						35.50	-36.729000	-.114492E+01	5.047983	1206.626000	-239.031400
						36.00	-25.853830	.253705E+01	-2.449337	-143.878700	58.741890
						36.50	-6.706237	-.721919E+00	-8.073436	1341.239000	-166.129900
						37.00	14.291760	.246865E+01	3.645149	1289.864000	-353.857600
						37.50	30.334140	.292269E+01	6.832445	-548.751300	-80.315510
						38.00	36.394800	-.558681E+01	10.145090	-2013.937000	-198.513400
						38.50	30.656040	-.399827E+01	-.172823	-1008.248000	-5833.982000
						39.00	14.980200	-.264408E+01	-12.168430	1597.297000	-131.265700
						39.50	-5.579420	.263978E+01	-10.396350	2543.498000	-244.652900
						40.00	-24.228210	.538924E+01	5.986506	177.926500	29.721260
						40.50	34.665880	.128231E+01	17.464940	-2929.956000	-167.762200
						41.00	-33.420500	-.545253E+01	7.227686	-2648.649000	-366.458800
						41.50	-21.186330	-.607784E+01	-15.098300	1344.563000	-89.053940
						42.00	-2.403124	.154742E+01	-21.208070	4320.983000	-203.742400
						42.50	16.644080	.863472E+01	.742277	1963.837000	2645.692000
						43.00	30.059190	.529795E+01	26.349700	-3592.784000	-136.350100
						43.50	33.895070	-.604316E+01	11.032290	-3356.658000	-254.687400
						44.00	26.924270	.114243E+02	14.400600	-102.754600	7.135436
						44.50	11.032280	-.217743E+01	-37.340300	6391.322000	-170.707000
						45.00	-8.815438	.120076E+02	-13.754840	5428.893000	-394.689600
						45.50	-25.744610	.126028E+02	73.766240	-3223.627000	-95.468950
						46.00	-33.582350	-.405683E+01	44.602310	-9243.253000	-207.237100
						46.50	-29.735580	-.186089E+02	3.823370	-3776.701000	987.794000
						47.00	-16.302790	-.105447E+02	-57.083040	8042.181600	-140.896800
						47.50	1.464848	.137486E+02	-42.701160	11246.620000	-263.379800
						48.00	17.948360	.241670E+02	33.664630	-386.223900	-11.472690
						48.50	28.890520	.343916E+01	79.666690	*****	-174.720300
						49.00	31.427390	-.263696E+02	25.476180	*****	-435.269000
						49.50	24.023440	-.260532E+02	-75.196540	7625.529000	-101.408000
						50.00	7.763559	.102573E+02	-93.296590	19739.980000	-211.581300
						50.50	-12.172460	.400255E+02	13.300980	7366.274000	535.156700
						51.00	-27.678770	.208259E+02	123.859400	*****	-144.708100
						51.50	-37.177730	-.311079E+02	86.588170	*****	-271.965800
						52.00	-24.910130	-.510130E+02	-77.902520	2122.218000	-27.241970
						52.50	-10.763230	-.473627E+01	-169.355600	30240.560000	-178.562500
						53.00	4.295534	.577572E+02	-46.334320	22543.380000	-486.537400
						53.50	17.164920	.536820E+02	166.413700	*****	-107.266500
						54.00	26.723200	-.252747E+02	194.267400	*****	-216.612100
						54.50	30.219650	-.859019E+02	-39.916680	*****	334.477100
						55.00	23.165990	-.407572E+02	-268.083800	39802.340000	-148.469800

\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0100 ET= -.0800

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	51.955020	.184802E-02	-.050831	-2.399475	47.205350
1.00	31.302890	-.164649E-02	-.116106	-4.616035	39.757050
1.50	.674212	-.360199E-02	-.150395	-3.652599	24.286720
2.00	-29.822980	-.999709E-03	-.133749	-.969407	7.247963
2.50	50.239530	.352572E-02	-.063187	.453405	-7.175578
3.00	-54.029430	.413623E-02	.034095	-.223415	-6.552767
3.50	-40.146710	-.829391E-03	.112218	-.557027	-4.963784
4.00	-13.323840	-.569048E-02	.138726	1.853358	13.359800
4.50	17.538540	-.372158E-02	.116322	5.438070	46.750260
5.00	42.323910	.379166E-02	.070498	5.613472	79.625540
5.50	53.014950	.764874E-02	.018098	.447098	24.704340
6.00	46.285450	.176537E-02	-.043672	-5.791241	132.608100
6.50	24.531300	-.778392E-02	-.113086	-6.644100	58.752550
7.00	-4.977232	-.859783E-02	-.158656	-1.284561	8.096535
7.50	-32.523420	.227433E-02	-.136101	3.641583	-26.756450
8.00	-49.141980	.122856E-01	-.039502	1.787023	-45.239000
8.50	-49.535500	.745011E-02	.074551	-4.269175	-57.264850
9.00	-33.761270	-.867122E-02	.131528	-5.190348	-39.461790
9.50	-7.151866	-.162089E-01	.111969	3.043498	27.181690
10.00	21.485370	-.297170E-02	.066751	11.934940	178.798800
10.50	42.782830	.171341E-01	.048982	9.268727	189.225700
11.00	49.876200	.178199E-01	.042999	-4.779644	-111.157100
11.50	40.615020	-.592475E-02	-.012966	-14.928070	1151.331000
12.00	18.208970	-.264689E-01	-.127297	-8.135662	63.910810
12.50	-9.881349	-.148120E-01	-.207728	8.522877	-41.029010
13.00	-34.426320	.197106E-01	-.150411	13.806280	91.790510
13.50	-47.457650	.342773E-01	-.023473	-1.267877	-54.014040
14.00	-44.853970	.462384E-02	.160786	-18.705460	-116.337400
14.50	-27.643380	-.376124E-01	.139302	-13.191610	-94.697580
15.00	-1.610219	-.368204E-01	.018183	13.953300	767.375700
15.50	24.647980	.149135E-01	-.025986	30.540190	-1175.245000
16.00	42.560660	.569094E-01	.072314	11.214680	155.082700
16.50	46.381200	.292161E-			



# CASO 3, EH (-), ET (+)

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 DICIEMBRE 2003 - ENERO 2004

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE AMORTIGUAMIENTO

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = -.009  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = .030  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= .3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 -.209160E-01 .142500E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 -.210686E-01  
 .142461E+00 -.564061E+01

\*\*\*\*\* METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = .55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= -.0090 ET= .0300  
 TIEMPO h AL LH MA EXC  
 SEG CMS RAD KG KG-CM CM  
 .50 47.235130 .109065E-02 -.074123 -3.168549 42.747320  
 1.00 22.257390 -.181709E-02 -.134536 -4.364974 32.444600  
 1.50 -10.323380 -.233411E-02 -.154046 -3.173058 20.598080

2.00	-39.845090	-.640868E-06	-.118009	-1.337439	11.333320
2.50	-56.541400	.217362E-02	-.036458	-.238411	6.539266
3.00	-54.771350	.157725E-02	.057870	.469280	8.109249
3.50	-34.923080	-.880545E-03	.128241	1.795385	14.000100
4.00	-3.349760	-.210780E-02	.152912	3.547512	23.199730
4.50	23.662080	-.708597E-03	.129878	4.163532	32.057200
5.00	53.242860	.144930E-02	.069432	2.488997	35.847790
5.50	59.517670	.171153E-02	-.012730	-.708394	55.649770
6.00	46.234550	-.108695E-03	-.095513	-3.341597	34.985710
6.50	17.566330	-.167319E-02	-.152237	-3.998940	26.267790
7.00	-17.197250	-.111258E-02	-.158992	-3.029942	19.057140
7.50	-46.658390	.751384E-03	-.108879	-1.663453	15.277930
8.00	-61.046930	.158129E-02	-.019408	-.471000	24.268510
8.50	-55.459080	.447106E-03	.075327	.924673	12.275440
9.00	-31.525880	-.114856E-02	.141989	2.742315	19.313550
9.50	3.055414	-.124948E-02	.161405	4.158627	25.765170
10.00	36.995110	.163662E-03	.130932	3.906254	29.834190
10.50	59.095710	.128270E-02	.060289	1.686060	27.966410
11.00	61.944900	.778043E-03	-.031481	-1.313693	41.730090
11.50	44.399600	-.630475E-03	-.117300	-3.426435	29.210950
12.00	12.029090	-.118217E-02	-.167393	-3.893096	23.257210
12.50	-24.650220	-.270380E-03	-.161083	-3.142643	19.509410
13.00	-53.589920	.904905E-03	-.098429	-1.894476	19.247080
13.50	-65.165990	.908164E-03	-.001983	-.347442	175.253700
14.00	-55.377740	-.184147E-03	.093680	1.593615	17.011210
14.50	-27.226540	-.979435E-03	.157055	3.536364	22.516770
15.00	10.199760	-.538790E-03	.169855	4.456059	26.234470
15.50	44.658920	.521651E-03	.129424	3.533116	27.298720
16.00	64.757550	.880378E-03	.047302	1.043541	22.061160
16.50	63.716790	.152733E-03	-.052720	-1.743890	33.078460
17.00	41.656110	-.709316E-03	-.138772	-3.568114	25.712100
17.50	5.627028	-.656909E-03	-.180350	-3.999753	22.179760
18.00	-32.638660	.184056E-03	-.160979	-3.325478	20.210010
18.50	-60.547540	.745271E-03	-.086582	-1.942025	22.429790
19.00	-68.787730	.369080E-03	.016270	.035946	2.166270
19.50	-54.434170	-.426472E-03	-.113430	2.323574	20.484620
20.00	-21.980490	-.653045E-03	.172901	4.153027	24.019740
20.50	18.064050	-.762997E-04	.177161	4.558330	25.729900
21.00	52.576120	.553109E-03	.124797	3.146826	25.215510
21.50	70.117770	.472390E-03	.030907	.521135	16.861240
22.00	64.725560	-.172527E-03	-.075665	-2.125129	28.086100
22.50	37.934780	-.565236E-03	-.159667	-3.818226	23.913720
23.00	-1.647473	.249440E-03	-.191424	-4.233610	22.116450
23.50	-41.105350	.345406E-03	-.158881	-3.492114	21.970490
24.00	-67.427330	.482761E-03	-.072959	-1.795704	24.612410
24.50	-71.795430	.283795E-04	.036982	.581072	15.712260
25.00	-52.537080	-.429066E-03	.134604	3.032779	22.531090
25.50	-15.752230	-.337551E-03	.188823	4.620025	24.467500
26.00	26.615680	.154981E-03	.182517	4.555381	24.958660
26.50	60.656060	.427000E-03	.116857	2.780531	23.794320
27.00	75.056880	.165473E-03	.011538	.054973	4.764644
27.50	64.862070	-.277705E-03	-.099847	-2.535235	25.391280
28.00	33.172840	-.355663E-03	-.179915	-4.170588	23.180890
28.50	-9.789558	.533540E-06	-.200750	-4.511779	22.474590
29.00	-49.978700	.331508E-03	-.154666	-3.551438	22.961950
29.50	-74.113950	.239837E-03	-.057116	-1.483008	25.964830
30.00	-74.067400	-.134872E-03	.059403	1.213284	20.424750
30.50	-49.598600	.321184E-03	.156935	3.690980	23.519180
31.00	-8.517068	-.107211E-03	.204130	4.979838	24.395450
31.50	35.807400	.221587E-03	.185380	4.499331	24.270910
32.00	68.794320	.260759E-03	.105582	2.426090	22.978180
32.50	79.447160	-.171661E-04	-.010476	-.413182	39.442660
33.00	64.017130	-.255355E-03	-.125001	-3.008770	24.069890
33.50	27.315870	-.169346E-03	-.199465	-4.592045	23.021850
34.00	-18.780400	.114846E-03	-.208259	-4.771427	22.911070
34.50	-59.172080	.240870E-03	-.148033	-3.491692	23.587320
35.00	-80.480700	.676156E-04	-.038678	-1.041482	26.926740
35.50	-75.478380	-.175353E-03	.083940	1.886695	22.476660
36.00	-45.536140	-.190106E-03	.180007	4.297114	23.872980
36.50	-26.2750	.255970E-04	.218216	5.268669	24.144320
37.00	45.576290	.195837E-03	.185383	4.409882	23.787910
37.50	76.872770	.118372E-03	.091001	2.057664	22.611460
38.00	83.153640	-.964772E-04	-.034913	-.932740	26.458480
38.50	62.083260	-.180275E-03	-.150958	-3.550089	23.517100
39.00	20.319620	-.410307E-04	-.218190	-5.043264	23.114090
39.50	-28.585780	.137971E-03	-.213709	-4.972709	23.268600
40.00	-68.583210	.138115E-03	-.138614	-3.313323	23.903270
40.50	-86.390350	-.284521E-04	-.017395	-.503638	28.952990
41.00	-75.900970	-.149305E-03	.110475	2.579044	23.345120
41.50	-40.274250	-.817029E-04	.203354	4.862475	23.911330
42.00	9.008784	.799866E-04	.230569	5.508297	23.890050

42.50	55.842870	.134325E-03	.182261	4.285070	23.510600	20.00	-32.693780	-.680945E-03	.160908	3.746129	23.281220
43.00	84.759800	.230866E-04	.073128	1.647220	22.525310	20.50	6.497262	-.270629E-03	.182077	4.635961	25.461590
43.50	86.035380	-.108312E-03	-.061632	-1.497960	24.305070	21.00	43.959830	.438705E-03	.145236	3.371568	25.583530
44.00	58.956580	-.100126E-03	-.177551	-4.146734	23.355150	21.50	67.316500	.569226E-03	.060790	1.323586	21.773210
44.50	12.151890	.281083E-04	-.235861	-5.489652	23.274970	22.00	68.712390	.290526E-03	-.045808	-1.430949	31.238010
45.00	-39.154810	.113451E-03	-.216753	-5.094258	23.502550	22.50	47.454440	-.528043E-05	-.139943	-3.450719	24.658090
45.50	-78.094120	.559243E-04	-.126056	-3.025618	24.002100	23.00	10.315840	-.384468E-03	-.188885	-4.235194	22.422040
46.00	-91.695950	-.953197E-04	.006858	.108416	15.808290	23.50	-30.619360	.213713E-03	-.174601	-3.817078	21.861750
46.50	-75.207390	-.993945E-04	.138772	3.283055	23.657980	24.00	-61.886560	.512352E-03	-.101548	-2.380058	23.437740
47.00	-33.746720	-.112261E-04	.226503	5.707371	23.829100	24.50	-73.068120	.171188E-03	.005180	-.146039	-28.191460
47.50	19.279720	.846377E-04	.240746	5.705906	23.700950	25.00	-60.262430	-.353407E-03	.109952	2.385323	21.694280
48.00	66.510250	.720591E-04	.175786	4.117776	23.390850	25.50	-27.440150	-.414749E-03	.179121	4.322726	24.133010
48.50	92.310540	-.264174E-04	.051949	1.172404	22.568400	26.00	14.782390	.295139E-04	.190896	4.764640	24.959290
49.00	87.946850	-.862404E-04	-.090517	-2.141907	23.662980	26.50	52.575260	.407740E-03	.140925	3.419623	24.265470
49.50	54.538850	-.380283E-04	-.204570	-4.779552	23.363860	27.00	73.423460	.267329E-03	.043833	8.571130	19.554660
50.00	2.794604	.525692E-04	-.252147	-5.904990	23.418850	27.50	70.269590	-.186468E-03	-.069853	-1.864910	26.697760
50.50	-50.418580	.733368E-04	-.216990	-5.126422	23.625180	28.00	43.899950	-.383785E-03	-.162401	-3.821941	23.534000
51.00	-87.570600	.404186E-05	-.110059	-2.638513	23.973710	28.50	2.768162	-.103869E-03	-.201833	-4.549769	22.542230
51.50	-96.241630	-.654747E-04	.034097	.782506	22.949670	29.00	-39.712480	.782506E-03	-.174067	-3.958538	22.741520
52.00	-73.271280	-.512281E-04	.168527	3.998347	23.725280	29.50	-69.541610	.300510E-03	-.088319	-2.170824	24.579420
52.50	-25.898610	.239757E-04	.248989	5.907649	23.726510	30.00	-76.744420	-.456516E-04	.026704	.430608	16.125540
53.00	30.514680	.653253E-04	.248341	5.857651	23.587090	30.50	-58.705020	-.312826E-03	.133334	3.082121	23.115830
53.50	77.463460	.252670E-04	.165736	3.873482	23.371400	31.00	-21.107410	-.183463E-03	.197245	4.790647	24.287840
54.00	99.367480	-.423788E-04	.027435	.618965	22.561300	31.50	23.851830	.158899E-03	.197606	4.816585	24.374670
54.50	88.739460	-.542535E-04	-.121440	-2.851811	23.483200	32.00	61.418320	.285869E-03	.133262	3.124291	23.444760
55.00	48.739490	.151606E-07	-.231733	-5.428768	23.426780	32.50	79.120370	.587476E-04	.023833	.401719	16.855840
						33.00	70.907580	-.223741E-03	-.095384	-2.348355	24.619880
						33.50	39.214950	-.216501E-03	-.184541	-4.273173	23.155710
						34.00	-5.750583	.517273E-04	-.213151	-4.875729	22.874540
						34.50	-49.295170	.238822E-03	-.171169	-3.998795	23.361660
						35.00	-77.038120	.124287E-03	-.072425	-1.819513	25.128220
						35.50	-79.659510	-.132641E-03	.050614	1.078437	21.307260
						36.00	-56.028470	-.211566E-03	.157932	3.744556	23.709890
						36.50	-13.663020	-.292461E-04	.214651	5.182192	24.142460
						37.00	33.658610	.176074E-03	.201722	4.823123	23.909740
						37.50	70.377190	.154667E-03	.122176	2.815037	23.040770
						38.00	84.266760	-.520815E-04	.001003	-.086806	-86.529460
						38.50	70.503270	-.181679E-03	-.122194	-2.899798	23.731080
						39.00	33.334550	.829122E-04	-.206234	-4.772532	23.141300
						39.50	-15.225080	.109088E-03	-.222637	-5.165630	23.202010
						40.00	-59.276130	.155863E-03	-.165549	-3.925401	23.711390
						40.50	-84.238110	.109163E-04	-.053541	-1.355357	25.314180
						41.00	-81.673740	-.137307E-03	.076899	1.766807	22.975730
						41.50	-52.137540	-.109336E-03	.183329	4.375179	23.865340
						42.00	-5.080027	.490067E-04	.230778	5.521395	23.925120
						42.50	44.138320	.137441E-03	.202884	4.791138	23.615120
						43.00	79.324490	.538722E-04	.107624	2.467238	22.924510
						43.50	88.713630	-.889661E-04	-.024520	-.636589	25.962210
						44.00	68.935030	-.114492E-03	-.150113	-3.515970	23.421140
						44.50	26.204830	-.278651E-07	-.227269	-5.286327	23.260190
						45.00	-25.623030	.106405E-03	-.229960	-5.390253	23.440000
						45.50	-69.546560	.767302E-04	-.156819	-3.704485	23.852170
						46.00	-90.991410	-.437705E-04	-.031458	-8.140400	25.476420
						46.50	-82.644700	-.103118E-03	.105406	2.482318	23.550040
						47.00	-46.944580	-.336736E-04	.209068	4.982273	23.830870
						47.50	4.620932	.718748E-04	.245132	5.819467	23.740090
						48.00	55.208050	.835191E-04	.200795	4.712397	23.468740
						48.50	88.117430	-.639801E-05	.089548	2.057341	22.974760
						49.00	92.304830	-.823260E-04	-.052642	-1.260307	23.941250
						49.50	66.084610	-.535891E-04	-.178948	-4.182445	23.372360
						50.00	17.784980	.377804E-04	-.247334	-5.786187	23.394250
						50.50	-36.893540	.769966E-04	-.234706	-5.533878	23.577940
						51.00	-79.979710	.202619E-04	-.144619	-3.450777	23.861180
						51.50	-97.136350	-.571851E-04	-.006075	-1.172006	28.315280
						52.00	-82.428780	-.602039E-04	.135889	3.221368	23.705800
						52.50	-40.371670	.986134E-05	.234682	5.175189	23.742280
						53.00	15.449700	.633973E-04	.257259	6.075968	23.618130
						53.50	66.765270	.368597E-04	.195174	4.571871	23.424630
						54.00	96.598010	-.322310E-04	-.067872	1.567899	23.100970
						54.50	94.878400	-.575632E-04	-.083266	-3.959158	23.528860
						55.00	61.839570	-.116610E-04	-.208445	-4.881117	23.416810

\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
1.00	51.931610	-.192047E-02	-.051831	-2.291487	44.210790
1.50	30.990920	-.104597E-02	-.119632	-4.305098	35.986320
2.00	-.395547	-.254448E-02	-.153756	-3.701417	24.073320
2.50	-31.983960	-.865060E-03	-.134584	-1.844989	13.708810
3.00	-53.355290	.174426E-02	-.063966	-.476541	7.449967
3.50	-57.350750	.206620E-02	.030719	.233309	7.594961
4.00	-42.468070	-.131005E-03	.111500	1.313195	11.777580
4.50	-13.417210	-.201878E-02	-.150839	3.062158	20.300820
5.00	20.367740	-.133693E-02	-.141293	4.198560	29.715290
5.50	47.790950	.913886E-03	.090498	3.219996	35.580800
6.00	59.737980	.190563E-02	.012831	.279507	21.783170
6.50	52.103620	.526220E-03	-.072436	-2.736169	37.773570
7.00	27.199180	-.139439E-02	-.139828	-4.018148	28.736280
7.50	-6.942170	-.149796E-02	-.163134	-3.409250	20.898470
8.00	-39.154870	.215764E-03	-.129061	-2.054455	15.918450
8.50	-58.791350	.155084E-02	-.048060	-.825503	17.167020
9.00	-59.240130	.919886E-03	.048992	.457505	9.338264
9.50	-40.149890	-.779360E-03	.126717	2.196322	17.332470
10.00	-7.611748	-.141983E-02	.161046	3.874108	24.055960
10.50	27.782120	-.300242E-03	.144767	4.205027	29.046810
11.00	54.385270	.110537E-02	.084366	2.488846	29.500450
11.50	63.328090	-.107858E-02	-.003765	-.465429	123.616800
12.00	51.473320	-.249826E-03	-.094599	-2.967951	31.373990
12.50	22.511670	-.118512E-02	-.158054	-3.908272	24.727490
13.00	-14.183440	-.623988E-03	-.169306	-3.435476	20.291570
13.50	-46.588010	.652532E-03	-.121622	-2.295310	18.872450
14.00	-63.966100	.105261E-02	-.031679	-.850781	26.856160
14.50	-60.425390	.153060E-03	.067867	.992331	14.621760
15.00	-36.912400	-.869580E-03	.143257	3.034737	21.183870
15.50	-.972762	-.770900E-03	.171823	4.368579	25.424880
16.00	35.668380	.252797E-03	.146371	3.998887	27.320160
16.50	60.930300	.900750E-03	.074407	1.853867	24.915160
17.00	66.358470	.415655E-03	-.023591	-.994828	42.170640
17.50	49.952080	-.538449E-03	-.117272	-3.174541	27.069900
18.00	16.892450	-.776351E-03	-.174338	-3.997345	22.928740
18.50	-22.090240	-.598149E-04	-.173012	-3.615117	20.895140
19.00	-54.198090	.679611E-03	-.112518	-2.421904	21.524510
19.50	-68.765680	.546792E-03	-.014141	-.598041	42.291160
20.00	-60.801280	-.237720E-03	.088098	1.670829	1

# CASO 4, EH (-), ET (-)

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUNTES ATRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 DICIEMBRE 2003 - ENERO 2004

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE AMORTIGUAMIENTO

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = -.010  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = -.010  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.362 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION A\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION A\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION A\*3= .3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 -.232400E-01 -.475000E-01  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 -.233926E-01  
 -.475393E-01 -.564061E+01

\*\*\*\*\* METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= -.0100 ET= -.0100

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	47.231530	.103720E-02	-.073872	-3.237836	43.830210
1.00	22.231350	-.207925E-02	-.134416	-4.484137	33.360070
1.50	-10.397110	-.264168E-02	-.155022	-3.121212	20.133950

2.00	-39.979030	.122191E-03	-.119604	-1.067147	8.922369
2.50	-56.719090	.279769E-02	-.036633	-.078163	2.133682
3.00	-54.943450	.200010E-02	.059984	.216471	3.608790
3.50	-35.020120	-.134530E-02	.130533	1.363097	10.442590
4.00	-3.308825	-.306986E-02	.152612	3.521622	23.075600
4.50	29.866810	-.954341E-03	.127461	4.701763	36.887910
5.00	53.578770	.241858E-02	.068516	2.981853	43.520750
5.50	59.892940	.281454E-02	-.010156	-.939100	92.468760
6.00	46.521830	-.338484E-03	-.092447	-4.110280	44.460800
6.50	-17.645400	-.313919E-02	-.153455	-4.367725	28.462340
7.00	-17.391950	-.203822E-02	-.164629	-2.473292	15.023440
7.50	-47.103420	.166593E-02	-.113231	-.831460	7.343024
8.00	-61.624100	.335248E-02	-.017422	-.455707	26.156500
8.50	-55.984680	.840834E-03	.081571	.006976	.085524
9.00	-31.808590	-.279400E-02	.145408	2.018328	13.880470
9.50	3.145865	-.298330E-02	.158655	4.630959	29.188910
10.00	37.473230	.594832E-03	.126789	5.108548	40.291570
10.50	59.840970	.350676E-02	.061543	2.148454	34.909700
11.00	62.729180	.205487E-02	-.025316	-2.237420	88.380490
11.50	44.956180	-.202984E-02	-.114290	-4.654877	40.728720
12.00	12.142630	-.364617E-02	-.173225	-3.892790	22.472470
12.50	-25.062760	-.691490E-03	-.171060	-1.879661	10.988290
13.00	-19.437090	-.383100E-02	-.102118	-.967114	9.469556
13.50	-66.197060	.314499E-02	.004383	-1.006657	-229.673000
14.00	-56.255730	-.895884E-03	.102483	.097825	.954547
14.50	-27.637780	-.390081E-02	.158534	3.112741	19.634510
15.00	10.434680	-.204575E-02	.164221	5.770219	35.136830
15.50	45.511950	.244038E-02	.126385	5.060957	40.043950
16.00	65.986340	.394871E-02	.053141	.889279	16.734460
16.50	64.931600	.500816E-03	-.044225	-3.450235	78.016210
17.00	42.442700	-.366293E-02	-.139389	-4.742704	34.024880
17.50	5.686977	-.329547E-02	-.192363	-3.175714	16.508930
18.00	-33.377170	.124712E-02	-.173016	-1.554203	8.983013
18.50	-61.889030	.432166E-02	-.086416	-1.530692	17.481550
19.00	-70.317860	.200585E-02	-.027557	-1.335132	-35.707910
19.50	-55.648630	-.290145E-02	.121960	.676954	5.545711
20.00	-22.444170	.425788E-02	.170464	4.585138	26.897960
20.50	18.553150	-.263360E-03	.170257	6.695078	39.423330
21.00	53.911220	.416000E-02	.126097	4.428913	35.123160
21.50	71.898750	.342992E-02	.041974	-.650239	-15.491400
22.00	66.377370	-.165412E-02	-.067858	-4.336623	63.907720
22.50	38.892350	-.476871E-02	-.167062	-4.338284	25.968040
23.00	-1.747001	-.192894E-02	-.209137	-2.431145	11.624650
23.50	-42.287900	.341747E-02	-.169573	-1.689120	9.961030
24.00	-69.354030	.457108E-02	-.066876	-2.381498	35.610440
24.50	-73.857220	-.270155E-04	.030747	-1.778641	-35.049300
25.00	-54.046530	-.470108E-02	.139789	1.859679	13.303490
25.50	-16.172130	-.354338E-02	.182259	6.251879	34.402750
26.00	27.482700	.212218E-02	.177497	7.139314	40.221900
26.50	62.583550	.524055E-02	.125075	3.190659	25.509910
27.00	77.449810	.180805E-02	.026399	-2.219861	-84.088690
27.50	66.939150	-.399262E-02	-.095687	-4.686378	48.469620
28.00	34.220780	-.488445E-02	-.195888	-3.535909	18.050690
28.50	-10.172300	.377655E-03	-.221728	-1.939956	8.749266
29.00	-51.731440	.528817E-02	-.160476	-2.393429	14.914600
29.50	-76.712100	.363029E-02	-.044877	-3.367897	75.043600
30.00	-76.677690	-.265718E-02	.072820	-1.460679	-20.058810
30.50	-51.345550	-.573573E-02	.156490	3.640469	23.263310
31.00	-8.776037	.163614E-02	.193270	7.839471	40.044460
31.50	37.188970	.463046E-02	.385113	36.961600	36.961600
32.00	71.424980	.519303E-02	.121732	1.469377	12.070610
32.50	82.499410	-.796430E-03	.004792	-3.503264	-731.036200
33.00	66.486430	-.592246E-02	-.130380	-4.386806	33.646200
33.50	28.350320	-.368359E-02	-.223814	-2.570639	11.485510
34.00	-19.587530	.326595E-02	-.228624	-1.989182	8.700665
34.50	-61.626840	.625261E-02	-.146321	-3.636118	24.850270
35.00	-83.828540	.140544E-02	-.022118	-4.144746	187.388900
35.50	-78.634620	-.533481E-02	.093240	-.363036	-3.893571
36.00	-47.436780	-.549161E-02	.173339	5.850779	33.753360
36.50	-.222318	.129111E-02	.210769	8.931087	42.373740
37.00	47.620240	.660418E-02	.195411	5.809359	29.728940
37.50	80.314540	.369497E-02	-.113889	-.459960	-4.033415
38.00	86.896440	-.395545E-02	-.024014	-4.186988	174.394300
38.50	64.887430	-.678828E-02	-.167627	-3.482156	20.773810
39.00	21.212200	-.110662E-02	-.248464	-1.793375	7.217844
39.50	-29.974960	.611007E-02	-.229034	-2.792220	12.191270
40.00	-71.874700	.577443E-02	-.128565	-5.211101	40.532830
40.50	-90.554130	-.187007E-02	-.000222	-4.33060219522	.810000
41.00	-79.577670	-.733338E-02	-.112384	1.596245	14.203480
41.50	-42.218340	-.365580E-02	-.192180	8.159252	42.456390
42.00	9.508322	.473216E-02	.229480	9.244234	40.283410

42.50	58.705890	.733838E-02	.203666	3.997745	19.628920	20.00	-33.407750	-.448484E-02	.161278	3.541939	21.961640
43.00	89.113980	.729218E-03	.099142	-2.200011	-22.190410	20.50	6.708270	-.162352E-02	.175032	6.534653	37.333960
43.50	90.479760	-.696018E-02	-.060285	-4.045330	67.103870	21.00	45.081680	.336396E-02	.143622	5.474843	38.119690
44.00	62.011000	-.603403E-02	-.206141	-2.207038	10.706440	21.50	69.025080	.420933E-02	.070255	10.972360	10.972360
44.50	12.748920	.254304E-02	-.267611	-1.606228	6.002101	22.00	70.465250	-.258356E-03	-.035511	-3.646929	102.698600
44.50	-41.298580	.811018E-02	-.223220	-4.405508	19.736200	22.50	48.662080	-.450630E-02	-.143079	-4.593294	32.103270
45.00	-82.356290	-.355670E-02	-.109291	-6.740198	61.671850	23.00	10.539110	-.314691E-02	-.205432	-2.868979	14.062750
46.00	-96.725660	.560278E-02	-.019780	-3.173420	-180.818700	23.50	-31.511520	-.223235E-02	-.189699	-1.719054	9.110044
46.50	-79.352480	-.789804E-02	.131688	4.299160	32.646540	24.00	-63.655120	.491245E-02	-.099622	-2.282850	27.931220
47.00	-35.595690	-.262578E-03	.215004	10.112420	47.033560	24.50	-75.164380	.143262E-02	.018554	-2.307667	-124.375500
47.50	20.418660	.788802E-02	.251108	8.527306	33.958720	25.00	-61.997170	-.394620E-02	.118241	.642191	5.431183
48.00	70.354960	.626121E-02	.208200	1.723655	8.278859	25.50	-28.209800	-.445436E-02	.174608	5.303173	30.371800
48.50	97.667390	-.332053E-02	.075401	-3.312193	-43.927650	26.00	15.286950	.669352E-03	.183951	7.431482	40.399210
49.00	93.079200	-.893360E-02	-.103047	-3.035057	29.453270	26.50	54.249050	.506849E-02	.145808	4.564260	31.301390
49.50	57.728710	-.338638E-02	-.242996	-.976824	4.019911	27.00	75.762020	.315161E-02	.058832	-.929868	-15.805500
50.00	2.916707	.657499E-02	-.279738	-2.364207	8.451508	27.50	72.519400	-.280466E-02	-.062222	-4.374932	70.311670
50.50	-53.502060	.846194E-02	-.212626	-6.663684	31.339900	28.00	45.300240	-.535073E-02	-.174223	-3.935950	22.591300
51.00	-92.932620	-.304636E-03	-.090741	-7.724605	85.127590	28.50	2.807130	-.117857E-02	-.223685	-2.165081	9.679153
51.50	-77.802390	-.644601E-02	.037951	-1.657186	-43.666460	29.00	-41.112680	.458717E-02	-.184784	-2.178033	11.786940
52.00	-27.484170	.421282E-02	.243364	7.400072	48.199810	29.50	-71.978120	.467936E-02	-.079489	-3.407495	42.867490
52.50	32.492660	.980094E-02	.274013	6.754035	24.548620	30.00	-60.777610	-.566661E-02	.041551	-2.431687	-58.041940
53.00	82.454820	-.313174E-02	.205735	-.543054	-2.639586	31.00	-21.826340	-.310645E-02	.188734	7.167303	37.975660
54.00	105.801600	-.765658E-02	.041501	-3.420437	-82.417220	31.50	24.787790	.345159E-02	.194807	7.670208	39.373430
54.50	94.517400	-.902305E-02	-.149976	-1.354971	9.034560	32.00	63.767800	.579435E-02	.146792	3.006429	20.480860
55.00	51.917510	.985578E-03	-.275124	-.324883	1.180861	32.50	82.156880	.851860E-03	.041685	-2.513345	-60.293390
						33.00	73.642720	-.528897E-02	-.094920	-4.419399	46.558650
						33.50	40.719090	-.487630E-02	-.206025	-2.928041	14.212050
						34.00	-6.033417	.172468E-02	-.236730	1.885885	7.966408
						34.50	-51.344590	.629912E-02	-.174953	-3.302033	18.873860
						35.00	-80.240040	.300219E-02	-.057600	-4.518538	78.449080
						35.50	-82.988050	-.417814E-02	.062898	-1.751873	-27.852510
						36.00	-56.374020	-.623736E-02	.133965	4.417719	28.692990
						36.50	-14.201380	-.442966E-03	.205309	-8.748575	42.612650
						37.00	35.178540	.605245E-02	.207407	7.040812	33.946900
						37.50	73.526990	.503558E-02	.144360	1.028352	7.123529
						38.00	88.055710	-.238603E-02	.017061	-3.599133	-210.962200
						38.50	73.688580	-.696308E-02	-.132748	3.726576	28.072550
						39.00	34.827830	-.282782E-02	-.235902	-1.915336	8.119185
						39.50	15.987050	.498982E-02	-.243169	-2.360487	9.707170
						40.00	-62.122630	.667309E-02	-.160402	-4.961210	30.932960
						40.50	-88.294230	-.584699E-04	-.035949	-5.193758	144.476900
						41.00	-85.627660	-.687807E-02	.082485	-1.657481	-1.657481
						41.50	-54.664120	-.534687E-02	.172967	6.952813	40.197440
						42.00	5.292023	.314756E-02	.225630	9.626570	42.665350
						42.50	46.407590	.765378E-02	.220389	5.511267	25.007020
						43.00	83.396490	.257090E-02	.135764	-.972444	-7.161298
						43.50	93.291880	-.589174E-02	-.015988	-3.859504	241.393600
						44.00	72.508300	-.709298E-02	-.173654	-2.456914	14.148320
						44.50	-27.545090	.663931E-03	-.261143	-1.350331	5.170852
						45.00	-27.040040	.776614E-02	-.242691	-3.758757	15.487830
						45.50	-73.341510	.519898E-02	-.143252	-6.812391	47.535300
						46.00	-95.977480	-.401755E-02	-.016125	-4.990009	309.465600
						46.50	-87.197490	-.836555E-02	.101425	2.419446	23.854600
						47.00	-49.530590	-.221849E-02	.195733	9.356446	47.801990
						47.50	4.929083	.688773E-02	.250036	9.454681	37.813260
						48.00	58.402280	.748628E-02	.231158	3.287544	14.222050
						48.50	93.226370	-.138611E-02	.118291	-2.494513	-21.087990
						49.00	97.686650	.871575E-02	-.057099	-3.131911	54.850850
						49.50	69.953170	-.517855E-02	-.214586	-1.000218	4.661162
						50.00	18.801580	.500517E-02	-.279565	-1.688915	6.041219
						50.50	-39.158450	.909200E-02	-.236361	-6.016934	25.456580
						51.00	-84.874080	.175691E-02	-.126102	-8.328538	66.046020
						51.50	*****	-.798104E-02	.001327	-3.567086	2690.359000
						52.00	-87.524490	-.784101E-02	.122072	5.638565	46.190470
						52.50	-42.863880	.223753E-02	.224455	11.066020	49.301660
						53.00	16.471110	.972388E-02	.777409	8.083333	29.138710
						53.50	17.067160	.507000E-02	.236165	8.21559	3.478754
						54.00	102.846800	-.611972E-02	.089966	-3.052481	-33.917390
						54.50	101.051000	-.982475E-02	-.104320	-1.516291	14.534990
						55.00	65.877070	-.117053E-02	-.252026	-.071343	-283080

\*\*\* FIN DEL ANALISIS \*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*

V/NB= 2.0190 EH= -.0100 ET= -.0100

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	51.930360	.190107E-02	-.051691	-2.327121	45.019910
1.00	30.974340	-.123616E-02	-.119360	-4.427372	37.092720
1.50	-.452726	-.288269E-02	-.154342	-3.724376	24.130660
2.00	-32.100140	-.916463E-03	-.136166	-1.622215	11.913510
2.50	-53.523820	.225819E-02	-.064782	-.236909	3.656994
3.00	-57.531470	.264797E-02	.032231	.110762	3.436519
3.50	-42.595120	-.307980E-03	.114085	.876738	7.684970
4.00	-13.422350	-.294477E-02	.151470	2.862958	18.901200
4.50	20.524350	-.191371E-02	.139208	4.601872	33.057570
5.00	48.095270	.156709E-02	.088744	3.815322	42.993260
5.50	60.114290	.314619E-02	-.014457	-.293581	20.407270
6.00	52.431140	.776917E-03	-.068969	-3.427083	49.689960
6.50	27.350290	-.263387E-02	-.139466	-4.602805	33.003060
7.00	-7.053888	-.278964E-02	-.167881	-3.108250	18.514610
7.50	-39.534470	.585330E-03	-.134511	-1.180896	8.779167
8.00	-59.347050	.329980E-02	-.048072	-.496222	10.322570
8.50	-59.802350	.189854E-02	.054655	-.267166	-4.888270
9.00	-40.522200	-.194198E-02	.131620	1.272786	9.670148
9.50	-7.638804	-.341425E-02	.159898	3.978663	24.871190
10.00	28.152960	-.595770E-03	.140218	5.336221	38.056670
10.50	55.074240	.304558E-02	.083713	3.297953	39.396140
11.00	64.129270	-.291576E-02	-.001648	-1.038333	-630.050300
11.50	52.123750	-.911836E-03	-.089779	-4.288327	47.765480
12.00	22.771200	-.367617E-02	-.161395	-4.345565	26.925066
12.50	-14.443460	-.184949E-02	-.179159	-2.408390	13.442760
13.00	-47.328360	.236443E-02	-.127958	-1.088149	8.503946
13.50	-64.977240	.368383E-02	-.027773	-1.053417	37.929600
14.00	-61.384780	.367339E-03	.077134	-.458101	-5.939031
14.50	-37.486870	-.349438E-02	.147264	2.156473	14.643570
15.00	-.933402	-.302136E-02	.167382	5.281240	31.552010
15.50	36.358100	.129145E-02	.141602	5.695420	40.221240
16.00	62.086450	.407190E-02	.077959	2.254398	28.917880
16.50	67.622900	.176003E-02	-.014555	-2.442003	167.780900
17.00	50.902450	-.283758E-02	-.114562	-4.716203	41.167260
17.50	17.182550	-.395062E-02	-.181971	-3.713048	20.182790
18.00	-22.606120	.849482E-04	-.186562	-1.861274	9.976706
18.50	-55.400830	.398127E-02	-.116184	-1.457050	12.540860
19.00	-70.293670	.310078E-02	-.005057	-1.746313	345.327300
19.50	-62.157730	-.172979E-02	.098545	-.221300	-2.245682

# CASO 5, EH = ET = 0.0

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 FES ACATLAN UNAM  
 MARZO 2005, VERSION 3.1

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION DE AMORTIGUAMIENTO

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .000  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = .000  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2600  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= -.3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 .000000E+00 .000000E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 -.152619E-03  
 -.393329E-04 -.564061E+01

\*\*\*\*\* METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0000 ET= .0000

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	47.267490	.105081E-02	-.073472	-3.209153	43.678470
1.00	22.490470	-.201137E-02	-.132892	-4.416034	33.230280

1.50	-9.665342	-.256068E-02	-.152248	-3.074865	20.196400
2.00	-38.653410	.892080E-04	-.116672	-1.080832	9.263864
2.50	-54.965330	.262758E-02	-.035553	-.098878	2.781179
3.00	-53.249660	.188303E-02	.057696	.245507	4.255187
3.50	-34.067650	-.121416E-02	.125102	1.373197	10.976600
4.00	-3.709780	-.279430E-02	.145820	3.369016	23.103960
4.50	27.867190	-.883100E-03	.121387	4.385761	36.130510
5.00	50.305890	.213159E-02	.064805	2.740005	42.280620
5.50	56.245740	.248315E-02	-.009957	-.849195	85.282150
6.00	43.737300	-.267770E-03	-.086817	-3.720153	42.850280
6.50	16.882020	-.268426E-02	-.142308	-3.996257	28.081790
7.00	-15.512680	-.174717E-02	-.151097	-2.369611	15.682720
7.50	-42.821740	.137273E-02	-.103205	-.896121	8.682952
8.00	-56.087270	.277748E-02	-.016139	-.419030	25.963410
8.50	-50.956920	.712015E-03	.073096	.157463	2.154192
9.00	-29.111990	-.224301E-02	.130695	1.944230	14.876080
9.50	2.283482	-.239552E-02	.142805	4.078665	28.561110
10.00	32.932270	.445089E-03	.113772	4.353081	38.261320
10.50	52.781370	.272975E-02	.054321	1.822343	33.547430
11.00	55.319500	.160391E-02	-.023469	-1.817794	77.455360
11.50	39.712920	-.152591E-02	-.100857	-3.868513	38.356400
12.00	11.079250	-.274989E-02	-.130124	-2.393230	22.280620
12.50	-11.190700	-.378905E-03	-.146583	-1.854923	12.654460
13.00	-46.512590	.234554E-02	-.087326	-1.002560	11.480630
13.50	-56.580130	.229840E-02	.002738	-.743178	-271.453100
14.00	-48.089840	-.620391E-03	.085897	.362620	4.221582
14.50	-23.825150	-.276402E-02	.134214	2.723798	20.294490
15.00	8.256114	-.145417E-02	.139516	4.620608	33.118780
15.50	37.631670	.167269E-02	.106485	3.949641	37.090950
16.00	54.666050	.270981E-02	.043095	.764359	17.736530
16.50	53.771130	.361316E-03	-.038432	-2.534331	65.942780
17.00	35.239120	-.243868E-02	-.114931	-3.679976	32.018940
17.50	5.147159	-.219191E-02	-.155424	-2.763896	17.782950
18.00	-26.635490	.793326E-03	-.138634	-1.621628	18.691770
18.50	-49.684120	.278729E-02	-.069951	-1.312899	18.768710
19.00	-56.437890	.129875E-02	.020193	-.918021	-45.462320
19.50	-44.680220	-.181247E-02	.096185	-.884956	9.200563
20.00	-18.266310	-.265913E-02	.136465	3.573199	26.183980
20.50	14.140970	-.183331E-03	.136394	4.864913	35.668030
21.00	41.912300	.252168E-02	.099062	3.216933	32.473890
21.50	55.938340	.207621E-02	.030439	-.270496	-8.886400
22.00	51.617550	-.963287E-03	-.054745	-2.913960	53.227700
22.50	30.365780	-.279933E-02	-.128118	-3.250581	25.371830
23.00	-.847730	-.113800E-02	-.157508	-2.262286	14.363030
23.50	-31.785670	.194505E-02	-.127623	-1.688937	13.233760
24.00	-52.300200	.259786E-02	-.052127	-1.688803	32.398100
24.50	-55.661550	.484382E-05	.035675	-.823766	-23.091090
25.00	-40.765840	-.259424E-02	.104430	1.672198	16.012690
25.50	-12.497630	-.195199E-02	.138217	4.330211	31.328990
26.00	19.871890	-.112923E-02	.133484	4.740608	35.514450
26.50	45.725730	.279975E-02	.090799	2.264625	24.941080
27.00	56.583370	.972335E-03	.015894	-1.126257	-70.860660
27.50	48.882390	-.206994E-02	-.071890	-2.945524	40.972920
28.00	25.147260	-.252612E-02	-.139414	-2.724309	19.541070
28.50	-6.838146	.173732E-02	-.156045	-2.005462	12.851850
29.00	-36.583170	.265642E-03	-.114296	-2.000465	17.502480
29.50	-54.331040	.182008E-02	-.034825	-1.972941	56.653460
30.00	-54.259360	-.129093E-02	.049051	-.402167	-8.198878
30.50	-36.390310	-.278959E-02	.111348	2.606906	23.411370
31.00	-6.583785	.802675E-03	.140012	4.845495	34.607810
31.50	25.384400	.218627E-02	.130433	4.251954	32.598750
32.00	49.028790	.244383E-02	.080938	1.246374	15.399160
32.50	56.593440	-.351887E-03	-.000632	-1.688887	2671.991000
33.00	45.595910	-.270799E-02	-.089013	-2.693252	30.256810
33.50	19.641900	-.168082E-02	-.147945	-2.259965	15.257560
34.00	-12.756820	.144627E-02	-.151147	-2.046462	13.539550
34.50	-40.973800	.276629E-02	-.099623	-2.437432	24.466650
35.00	-55.753310	.629997E-03	-.018759	-2.025412	107.967600
35.50	-52.246530	-.229347E-02	.060605	.329387	5.435007
36.00	-31.602390	-.235144E-02	.117690	3.532368	30.014290
36.50	-.591056	.528611E-03	.142028	5.016149	35.318020
37.00	30.616400	.274838E-02	.126582	3.477725	27.474090
37.50	51.783950	-.153444E-02	.068857	.32715	4.723624
38.00	55.967880	-.159660E-02	-.018802	-1.911209	101.647400
38.50	41.794540	-.273289E-02	-.105088	-2.281412	21.709560
39.00	13.911280	-.454784E-03	-.153135	-1.994754	13.026110
39.50	-18.537170	.239144E-02	-.143346	-2.362432	16.480630
40.00	-44.907870	.224968E-02	-.084601	-2.846100	33.641430
40.50	-56.550520	-.702929E-03	-.004259	-1.756286	412.338500
41.00	-49.645170	-.277734E-02	.070927	1.280916	18.059650
41.50	-26.455510	-.138168E-02	.124089	4.287463	34.551550

42.00	5.413309	.174040E-02	.144038	4.808861	33.385960	20.00	-26.965490	-.280289E-02	.128735	2.885942	22.417750
42.50	35.508900	.268818E-02	.121128	2.553753	21.083010	20.50	4.799024	-.100707E-02	.140427	4.802504	34.199220
43.00	53.959790	.277438E-03	.054292	-.360220	-6.634903	21.00	34.990890	.204989E-02	.113715	3.945243	34.694220
43.50	54.713180	-.247993E-02	-.037891	-1.822705	48.104140	21.50	53.701550	.254047E-02	.053088	.704889	13.277870
44.00	37.520520	-.213892E-02	-.119111	-1.865427	15.661200	22.00	54.789170	-.149733E-03	-.030099	-2.383120	79.176440
44.50	8.019568	-.874379E-03	-.154832	-2.012846	13.000210	22.50	37.896950	-.265260E-02	-.110659	-3.113792	29.945930
45.00	-24.114170	.279513E-02	-.133478	-2.859939	21.426250	23.00	8.565772	-.183443E-02	-.151286	-2.512311	16.186800
45.50	-48.340790	.122352E-02	-.070057	-.073188	43.867080	23.50	-23.579010	-.128048E-02	-.141773	-1.779151	12.549310
46.00	-56.713170	-.187685E-02	-.008770	-1.146841	-130.774400	24.00	-47.988020	.279215E-02	-.076274	-1.775197	23.273820
46.50	-46.483990	-.263230E-02	.080752	2.309367	28.598230	24.50	-56.649940	-.807838E-03	-.011378	-1.277494	-112.275990
47.00	-21.007170	-.988603E-04	.130849	4.742603	36.244740	25.00	-46.720790	-.218802E-02	.087601	.886074	10.114950
47.50	11.361910	.255826E-02	.145455	4.267395	29.338270	25.50	-21.457800	-.244437E-02	.132201	3.780260	28.594760
48.00	40.006680	.201923E-02	.113328	1.642593	14.494210	26.00	10.849150	.359917E-03	.138969	4.951284	35.628700
48.50	55.531390	-.104255E-02	.037335	-.730962	-19.578660	26.50	39.597950	.271381E-02	.071660	3.115082	29.069500
49.00	52.842860	-.280177E-02	-.056908	-1.521948	26.743900	27.00	55.353520	.167001E-02	.039888	-.294780	-7.390218
49.50	32.821450	-.106050E-02	-.130303	-1.595970	12.248140	27.50	52.944260	-.146477E-02	-.047729	-2.638003	55.270910
50.00	2.032815	.200568E-02	-.153322	-2.326027	15.170840	28.00	33.159430	-.276574E-02	-.124818	-2.838783	22.743450
50.50	-29.424990	.256585E-02	-.122506	-3.396361	27.723980	28.50	2.490623	-.603967E-03	-.157537	-2.123070	13.476640
51.00	-51.233590	-.798863E-04	-.056485	-3.001270	53.134110	29.00	-28.998040	.231397E-02	-.130876	-1.998791	15.272420
51.50	-56.238930	-.262590E-02	.020785	-.254713	-12.254830	29.50	-30.972450	.233466E-02	-.058928	-2.466962	36.775340
52.00	-42.98050	.189111E-02	.090755	3.250190	35.812370	30.00	-56.220100	-.567868E-03	.026428	-1.040855	-39.543920
52.50	-15.318340	.120655E-02	-.137860	4.828609	35.020420	30.50	-43.017490	-.275948E-02	.096343	1.801329	18.697000
53.00	17.187850	-.279690E-02	.145464	3.502721	24.079590	31.00	-15.696220	-.149603E-02	.135515	4.511171	33.289500
53.50	44.058880	-.892923E-03	.102682	-.897248	8.738085	31.50	16.778280	.164074E-02	.137642	4.699058	34.139800
54.00	56.480600	-.212662E-02	.018544	-.780096	-42.066960	32.00	43.748830	.272345E-02	.099280	2.111270	21.265750
54.50	50.377450	-.248917E-02	-.074788	-1.153403	15.422220	32.50	56.363830	.396339E-03	.024411	-1.050538	-43.034700
55.00	27.749770	.258209E-03	-.138255	-1.584213	11.458640	33.00	50.482190	-.242709E-02	-.066093	-2.545178	38.509280
						33.50	28.032660	-.221181E-02	-.136688	-2.334420	17.078410
						34.00	-3.618565	.772708E-03	-.156140	-2.029316	12.996740
						34.50	-34.084770	.278973E-02	-.117871	-2.430940	20.623810
						35.00	-53.367200	.131379E-02	-.042358	-2.389751	56.418000
						35.50	-55.136700	-.180722E-02	.039501	-.456976	-11.568610
						36.00	-38.811290	-.265566E-02	.104192	-.269130	36.960090
						36.50	-9.747433	-.186370E-03	.139104	4.931201	35.449830
						37.00	22.517490	.252640E-02	.135877	4.085544	30.067930
						37.50	47.394970	.207617E-02	.089265	1.111941	12.456690
						38.00	56.720180	-.973513E-03	.006745	-1.465900	-217.329900
						38.50	47.431530	-.280442E-02	-.084144	-2.206612	26.224220
						39.00	22.575850	-.112414E-02	-.145417	-1.969720	13.545340
						39.50	-9.690894	.196339E-02	-.151318	-2.253074	14.889640
						40.00	-38.779770	.259276E-02	-.103845	-2.923178	28.149430
						40.50	-55.143880	-.244554E-04	-.027162	-2.309576	85.030530
						41.00	-53.411770	-.261119E-02	.051081	.430892	8.435504
						41.50	-34.150630	-.192859E-02	.111934	3.729589	33.319560
						42.00	-3.680410	-.116888E-02	.142945	4.958791	34.690090
						42.50	27.999910	.280309E-02	.132831	3.228632	24.306320
						43.00	50.493570	.927822E-03	.075660	.288202	3.764393
						43.50	56.417880	-.210916E-02	-.012542	-1.527532	121.790900
						44.00	43.827220	-.250547E-02	-.100732	-1.779380	17.664410
						44.50	16.852110	.235148E-03	-.150561	-1.871961	12.433260
						45.00	-15.655770	.268132E-02	-.143812	-2.730604	18.987300
						45.50	-43.028160	.177027E-02	-.089814	-3.300976	36.753560
						46.00	-56.281370	-.135742E-02	-.013466	-1.862224	138.228700
						46.50	-51.064850	-.278566E-02	.061921	1.488122	24.032560
						47.00	-29.089290	-.726063E-03	.120095	4.397079	36.613300
						47.50	-2.434478	.224282E-02	.146566	4.597774	31.699900
						48.00	33.161660	-.240379E-02	.127601	2.296329	17.996230
						48.50	53.008160	-.444838E-03	.061041	-.236341	-3.871851
						49.00	55.459830	-.273657E-02	-.032493	-1.307495	40.238700
						49.50	39.710640	-.160204E-02	-.114844	-1.436923	12.511990
						50.00	10.927720	.153830E-02	-.152179	-2.095496	-13.769990
						50.50	-21.443790	.275258E-02	-.134617	-3.327645	24.719310
						51.00	-46.780210	.520362E-03	-.076500	-3.410421	44.580610
						51.50	-56.765920	-.236356E-02	-.000940	-1.069746	1137.723000
						52.00	-48.122680	-.228826E-02	.072824	2.540303	34.882990
						52.50	-23.685770	.652177E-03	.128783	4.699406	36.490840
						53.00	8.526216	.277628E-02	.149148	3.936345	26.392240
						53.50	37.942520	.142451E-02	.119462	1.466697	12.277560
						54.00	54.990550	-.171081E-02	.043076	-.415441	-9.623472
						54.50	53.856670	-.270417E-02	-.051951	-.944892	18.187990
						55.00	35.129230	-.311801E-03	-.125810	-1.326400	10.542910

\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	51.942730	.189636E-02	-.051464	-2.320289	45.085860
1.00	31.139440	-.120290E-02	-.118252	-4.366307	36.923840
1.50	.115156	-.279625E-02	-.151938	-3.655138	24.056770
2.00	-30.949340	-.888699E-03	-.133102	-1.613559	12.122710
2.50	-51.859240	.213153E-02	-.062891	-.268869	4.275178
3.00	-55.751410	.248301E-02	.031058	.115911	3.732061
3.50	-41.347060	-.274383E-03	.109442	.905259	8.271586
4.00	-13.372030	-.268825E-02	.144798	2.776907	19.177740
4.50	18.993630	-.173621E-02	.132694	4.326463	32.604790
5.00	45.128250	.138985E-02	.084200	3.517503	41.775560
5.50	56.454400	.277593E-02	.013367	.262803	19.661310
6.00	49.254030	.686410E-03	-.065056	-3.105444	47.735110
6.50	25.888810	-.226269E-02	-.129823	-4.183683	32.226070
7.00	-5.974447	-.237899E-02	-.154543	-2.911181	18.837300
7.50	-35.879520	.483243E-03	-.122768	-1.222971	9.961631
8.00	-54.011900	.274043E-02	-.043823	-.514865	11.748730
8.50	-54.419800	.156646E-02	.048875	-.131310	-2.686678
9.00	-36.967900	-.156884E-02	.118187	1.307838	11.065830
9.50	-7.382291	-.273987E-02	.143854	3.568779	24.808380
10.00	24.628270	-.480303E-03	.126027	4.581797	36.335780
10.50	48.558560	.238085E-02	.074481	2.782768	37.362240
11.00	56.554490	.226120E-02	.000489	-.831458	-1700.173000
11.50	45.990830	-.689646E-03	-.079815	-3.539105	44.341560
12.00	20.333000	-.277721E-02	-.140529	-3.709443	26.396270
12.50	-11.999790	-.138772E-02	-.153918	-2.267186	14.729820
13.00	-40.397020	.173922E-02	-.109290	-1.161243	10.625290
13.50	-55.538840	.268857E-02	-.024390	-.877521	35.979240
14.00	-52.454770	.271654E-03	.064310	-.125379	-1.949595
14.50	-32.155310	-.248544E-02	.124359	2.006366	16.133720
15.00	-1.301742	-.213059E-02	.142162	3.304481	30.250660
15.50	29.981490	.892056E-03	.119789	4.458803	37.222220
16.00	51.427570	.279802E-02	.064384	1.751134	27.839480
16.50	55.997610	.120080E-02	-.013933	-1.739166	126.254900
17.00	42.190570	-.189999E-02	-.095298	-3.590015	37.671480
17.50	14.536250	-.262208E-02	-.149309	-3.093724	20.720250
18.00	-17.890830	-.612970E-04	-.149638	-1.865034	12.463600
18.50	-44.449020	.257621E-02	-.093439	-1.384956	14.822090
19.00	-56.421800	.198815E-02	-.005705	-1.185182	207.759500
19.50	-49.878630				

EH = 0.01, ET = -0.17

\*\*\*\*\*  
 INESTABILIDAD AERODINAMICA DE PUENTES ATIRANTADOS  
 \*\*\*\*\*

ASESOR: ING. NEFTALI RODRIGUEZ CUEVAS  
 TRADUCCION A FORTRAN: MARIA EUGENIA ESPINOSA TREJO  
 PES ACATLAN UNAM  
 MARZO 2005, VERSION 3.1

LOS DATOS INGRESADOS SON LOS SIGUIENTES:

CORRIDA CASO VARIACION ET, EH=0.01

DENSIDAD DEL AIRE = .1259E-08 KG-SEG2/CM4  
 SEMIANCHO CUBIERTA = 900.000 CM  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD = 5645260.000 KG-SEG2-CM  
 MOMENTO MASICO DE INERCIA = 14.860 KG-SEG2/CM  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN FLEXION = .010  
 FRACCION AMORTIGUAMIENTO CRITICO EN TORSION = -.170  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN FLEXION = 1.162 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR EN TORSION = 2.375 RAD/SEG  
 FRECUENCIA CIRCULAR DE ALETEO = 1.765 RAD/SEG

\*\*\* INICIO DE ITERACIONES \*\*\*

INFORMACION DE PRUEBA DE TUNEL DE VIENTO

V/NB= 2.0190  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*1= 1.2800  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*2= -.7400  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN FLEXION H\*3= .3000  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*1= .0330  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*2= .1523  
 COEFICIENTE AERODINAMICO EN TORSION A\*3= .0321

IMPRESION DE CONSTANTES UTILIZADAS

.794685E-01 .188266E-03  
 .232400E-01 -.808925E+00  
 .135024E+01 .564063E+01  
 .155602E+01 .152619E-03  
 .946952E-08 -.806698E-01  
 .577225E-01 .393329E-04  
 .146321E-04 .230874E-01  
 -.808964E+00 -.564061E+01

\*\*\*\*\* METODOS DE SOLUCION

TIEMPO TOTAL DE INTEGRACION = 55 SEG  
 INTERVALOS DE TIEMPO = .0500 SEG  
 CONDICION INICIAL h = 56.5400 CMS  
 CONDICION INICIAL ALFA = .0028 RAD

NUMERO DE ITERACIONES = 1100

\*\* METODO DE EULER MODIFICADO \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0100 ET= -.1703

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	47.303240	.794906E-03	-.071500	-3.537503	49.475450
1.00	22.746620	-.342934E-02	-.129364	-5.083138	39.293410

1.50	-8.946143	-.447140E-02	-.153424	-2.791195	18.192740
2.00	-37.358200	.852593E-03	-.123673	.918031	-7.423069
2.50	-53.261910	.750682E-02	-.037044	1.560183	-42.117470
3.00	-51.614190	.590785E-02	.071593	-1.719777	-24.021530
3.50	-33.153260	-.557964E-02	.140815	-3.582705	-25.442570
4.00	-4.092151	-.141799E-01	.132797	1.624143	12.230290
4.50	25.970020	-.522004E-02	.074532	10.643680	142.807800
5.00	47.217730	.162379E-01	.031578	11.502400	364.249300
5.50	52.823300	-.026617	-.026617	-2.376004	-89.267520
6.00	41.139160	-.194492E-02	.000488	-18.961140	*****
6.50	16.174520	-.367828E-01	-.109029	-16.231740	148.875500
7.00	-13.778200	-.322894E-01	-.242896	9.591616	-39.488580
7.50	-38.895920	.241423E-01	-.229555	29.690450	-129.339400
8.00	-51.043330	.714213E-01	.013618	10.991120	807.082800
8.50	-46.405260	.322205E-01	.298554	-35.277770	-118.162100
9.00	-26.683780	-.760416E-01	.297615	-49.445480	-166.139200
9.50	1.515788	-.120984E+00	-.050954	8.089075	-158.751000
10.00	28.894800	-.198706E-02	-.341506	85.328780	-249.860200
10.50	46.530560	.179140E+00	-.106584	72.945330	-684.398900
11.00	48.788250	.174403E+00	.497524	-55.795250	-112.145900
11.50	35.117700	-.101170E+00	.640386	-162.477200	-245.672000
12.00	-17.162150	-.577294E+00	-.211200	-7.827810	349.263500
12.50	-17.823000	-.191003E+00	-1.297319	169.194500	-130.418600
13.00	-39.692300	.352623E+00	-.107464	268.876400	-250.242300
13.50	-48.380640	.623265E+00	.800720	1.470811	1.836859
14.00	-41.179410	.687712E-01	2.334585	-401.872800	-172.138800
14.50	-20.599120	-.866848E+00	1.081309	-385.706700	-356.703400
15.00	6.475054	-.932449E+00	-2.344178	234.960400	-100.231400
15.50	31.090030	.404844E+00	-3.715829	805.453300	-216.762800
16.00	45.229990	.178274E+01	.080662	422.223500	5234.504000
16.50	44.461830	.110020E+01	5.707693	-799.584200	-140.088900
17.00	29.287760	-.161486E+01	5.330638	-1397.241000	-262.115100
17.50	4.811923	-.319171E+01	3.526911	-142.651100	40.446460
18.00	-21.007080	-.878844E+00	-11.486110	1951.169000	-169.872000
18.50	39.847290	.416577E+01	-5.851084	2077.426000	-355.052200
19.00	-45.547800	.494009E+01	11.493600	-933.975700	81.260480
19.50	-36.158560	-.150537E+01	19.731800	-4002.990000	-202.870000
20.00	-14.805360	-.883419E+01	1.739727	-2431.763000	-1397.785000
20.50	11.138830	-.620131E+01	-27.745960	3665.746000	-132.118200
21.00	32.741340	.728516E+01	-29.017880	7150.120000	-246.403900
21.50	43.013390	.162513E+02	13.863790	1359.595000	98.068030
22.00	39.368660	.465027E+01	56.742620	-9397.179000	-165.610600
22.50	23.752360	-.198689E+02	33.530290	*****	-328.893300
23.00	1.017703	-.259726E+02	-52.918640	3507.129000	-66.273980
23.50	-22.593680	.487819E+01	-100.946100	19855.630000	-196.695300
24.00	-40.008230	.435352E+02	-17.535950	13749.970000	-784.101700
24.50	-44.350420	.343609E+02	134.204500	*****	-123.374500
25.00	-32.188840	-.322680E+02	154.661800	*****	-235.490600
25.50	-7.503533	-.822993E+02	-52.756980	*****	190.919200
26.00	18.439150	-.304679E+02	-281.827300	44866.340000	-159.198000
26.50	33.962070	.940033E+02	-190.603300	58013.480000	-304.367600
27.00	35.656060	.135551E+03	239.450000	*****	-48.541870
27.50	29.387330	-.109586E+02	514.413400	*****	-190.388200
28.00	20.987260	-.213337E+03	133.899500	*****	-570.044900
28.50	7.388192	-.187753E+03	-641.771200	3517.820000	-114.554600
29.00	-18.026520	.139584E+03	-814.645300	*****	-226.570400
29.50	-48.739510	.414544E+03	180.712900	66607.820000	368.583700
30.00	-59.870820	.187812E+03	1391.972000	*****	-152.642200
30.50	-30.996380	-.440618E+03	1061.616000	*****	-285.416900
31.00	72.141520	-.702718E+03	-1067.077000	28006.270000	26.245790
31.50	50.853350	-.130682E+02	-2609.712000	*****	-184.021100
32.00	25.091840	.103910E+04	-900.376100	*****	-463.870200
32.50	-19.664250	.101392E+04	3043.855000	*****	-104.799700
33.00	-11.915180	-.584726E+03	4260.222000	*****	-218.363500
33.50	59.869480	-.207686E+04	-478.311600	*****	863.153300
34.00	100.743900	-.111241E+04	-6833.155000	*****	-145.914700
34.50	8.041562	.204346E+04	-5823.294000	*****	-269.943200
35.00	*****	.362018E+04	4653.007000	12199.860000	2.621930
35.50	*****	.406319E+03	13167.070000	*****	-177.771600
36.00	3.532166	-.502871E+04	5637.061000	*****	-400.600700
36.50	286.752400	-.542025E+04	*****	*****	-93.773060
37.00	257.773900	.233848E+04	*****	*****	-210.736800
37.50	*****	.103491E+05	237.866400	*****	10319.250000
38.00	*****	.640404E+04	33343.860000	*****	-138.852200
38.50	*****	-.935889E+04	31552.330000	*****	-256.836900
39.00	618.630200	-.185395E+05	*****	*****	41.939100
39.50	906.447300	-.373588E+04	*****	*****	-171.571300
40.00	*****	.241689E+05	*****	*****	-358.162400
40.50	*****	.287190E+05	66589.130000	*****	-81.094090
41.00	*****	-.868575E+04	*****	*****	-203.583100
41.50	847.753500	-.512893E+05	9649.073000	*****	-1468.569000

42.00	*****	-.360830E+05	*****	-131.342700	20.00	-21.818930	-.762974E+01	9.081413-3502.435000	-385.670700
42.50	*****	.422239E+05	*****	-245.485400	20.50	3.729291	-.839205E+01	-21.494820 1979.698000	-92.101130
43.00	*****	.944035E+05	80080.030000	99.398720	21.00	27.441100	.342009E+01	-33.997870 7142.171000	-210.077000
43.50	*****	.271518E+05	*****	-165.344800	21.50	41.441530	.158417E+02	-.127870 3856.231000	*****
44.00	*****	-.115290E+06	*****	-327.421400	22.00	41.784920	.100018E+02	50.898790-7018.913000	-137.899400
44.50	*****	-.150959E+06	*****	-66.191500	22.50	29.242570	-.141890E+02	48.792430	-255.799100
45.00	*****	.280702E+05	*****	-196.788800	23.00	7.982748	-.285371E+02	-29.758620-1401.572000	47.098000
45.50	*****	.252768E+06	*****	-780.589500	23.50	-16.115290	-.598680E+01	-101.65760017362.240000	-170.791300
46.00	*****	.199879E+06	*****	-123.255500	24.00	-36.153590	.370476E+02	-52.60765018676.200000	-355.009300
46.50	*****	-.186989E+06	*****	-235.461100	24.50	-44.858370	.443478E+02	102.009300-8186.805000	-80.255450
47.00	*****	-.478054E+06	*****	192.623300	25.00	-37.277790	-.131711E+02	176.212500	-203.194100
47.50	*****	-.177646E+06	*****	-159.023900	25.50	-15.103860	-.790338E+02	15.441120	-1419.601000
48.00	*****	.545400E+06	*****	-303.906800	26.00	11.826330	-.557300E+02	-249.21370032727.410000	-131.322700
48.50	*****	.787762E+06	*****	-48.211590	26.50	30.895390	.652211E+02	-260.97600064101.910000	-245.623700
49.00	*****	-.623349E+05	*****	-190.258900	27.00	36.014540	.145791E+03	124.37240012167.660000	-97.832440
49.50	*****	-.123852E+07	*****	-567.266800	27.50	31.372940	.414737E+02	509.899100	-165.600700
50.00	*****	-.109191E+07	*****	-114.423300	28.00	23.974800	-.178872E+03	300.490500	-329.003100
50.50	*****	.808519E+06	*****	-226.452700	28.50	12.859930	-.232948E+03	-477.26030032134.670000	-67.331540
51.00	*****	.240774E+07	*****	372.898200	29.00	-9.613138	.456143E+02	-906.136100	-197.355300
51.50	*****	.109414E+07	*****	-152.536600	29.50	-41.677970	.392639E+03	-150.159500	-816.469200
52.00	*****	-.255610E+07	*****	-285.159200	30.00	-61.252010	.306561E+03	1214.422000	1214.273700
52.50	*****	-.408341E+07	*****	-25.823590	30.50	-42.564710	-.295663E+03	1384.611000	-236.767600
53.00	*****	-.824538E+05	*****	-183.909500	31.00	9.244623	-.741711E+03	-497.695800	174.546200
53.50	*****	.603184E+07	*****	-462.537600	31.50	48.963080	-.265168E+03	-2550.024000	-160.124600
54.00	*****	.589553E+07	*****	-104.627700	32.00	35.008560	.858287E+03	-1688.981000	-307.921400
54.50	*****	-.338482E+07	*****	-218.229100	32.50	-13.061300	.121691E+04	2208.674000	-52.197370
55.00	*****	-.120616E+08	*****	879.121600	33.00	-22.331450	-.124197E+03	4640.029000	-191.687200
					33.50	42.489250	-.194218E+04	1120.767000	-603.626300
					34.00	105.459800	-.166840E+04	-5883.186000	-116.750500
					34.50	45.529530	.131735E+04	-7297.261000	-228.806200
					35.00	*****	.375806E+04	1848.217000	305.697100
					35.50	*****	.161432E+04	12699.970000	-154.532800
					36.00	-66.903140	.409015E+04	9357.083000	-290.757500
					36.50	244.245800	-.632465E+04	*****	-33.986040
					37.00	315.427900	.900955E+02	*****	-186.142700
					37.50	-58.217300	.956378E+04	-7464.305000	-494.569600
					38.00	*****	.899707E+04	28332.350000	-108.553300
					38.50	*****	-.574076E+04	38239.070000	-221.469500
					39.00	456.175200	-.189641E+05	-5944.224000	585.046900
					39.50	983.570000	-.950534E+04	*****	-148.782500
					40.00	259.080400	.193422E+05	*****	-276.381200
					40.50	*****	.327133E+05	45460.150000	-11.483900
					41.00	*****	.225153E+04	*****	-180.699200
					41.50	284.575300	-.468723E+05	46627.640000	-427.926100
					42.00	*****	-.481306E+05	*****	-99.504350
					42.50	*****	-.242821E+05	*****	-214.635700
					43.00	*****	.953117E+05	12828.220000	1608.617000
					43.50	*****	.546218E+05	*****	-142.810100
					44.00	*****	-.906723E+05	*****	-264.060500
					44.50	*****	-.168432E+06	*****	17.287540
					45.00	*****	-.249534E+05	*****	-175.311300
					45.50	*****	-.228576E+06	*****	-382.669800
					46.00	*****	.255652E+06	*****	-89.380730
					46.50	*****	-.984181E+05	*****	-208.207800
					47.00	*****	-.477081E+06	22040.780000	-5411.212000
					47.50	*****	-.308062E+06	*****	-136.550400
					48.00	*****	.420768E+06	*****	-253.303500
					48.50	*****	.863420E+06	*****	55.733980
					49.00	*****	.193908E+06	*****	-169.934100
					49.50	546.692300	-.110872E+07	*****	-349.697200
					50.00	*****	-.134925E+07	*****	-77.880420
					50.50	*****	.373111E+06	*****	-202.102600
					51.00	*****	.237817E+07	*****	1232.859000
					51.50	*****	-.171707E+07	*****	-129.927800
					52.00	*****	-.192935E+07	*****	-243.758200
					52.50	*****	-.440732E+07	*****	110.250400
					53.00	*****	-.131717E+07	*****	-164.524000
					53.50	*****	.534684E+07	*****	-324.425500
					54.00	*****	.707932E+07	*****	-64.587010
					54.50	*****	-.125269E+07	*****	-196.250400
					55.00	*****	-.118048E+08	*****	-760.306500

\*\*\* FIN DEL ANALISIS \*\*\*

+++++++

\*\* METODO DE RUNGE-KUTTA \*\*

V/NB= 2.0190 EH= .0100 ET= -.1703

TIEMPO SEG	h CMS	AL RAD	LH KG	MA KG-CM	EXC CM
.50	51.955070	-.181197E-02	-.050405	-2.487000	49.340250
1.00	31.302920	-.220499E-02	-.114646	-5.021350	43.798710
1.50	.674249	-.482094E-02	-.151037	-3.828032	25.345010
2.00	-29.822960	-.129933E-02	-.139058	-.058483	.420567
2.50	-50.239620	.598357E-02	-.067686	1.880061	-27.776320
3.00	-54.029660	.766068E-02	.040462	-5.51790	-13.637260
3.50	-40.146890	-.165158E-02	.127761	-3.634299	-28.446180
4.00	-13.323700	-.130569E-01	.143011	-.718832	-5.026392
4.50	17.539010	-.999270E-02	.092989	8.245667	88.673230
5.00	42.324190	.100247E-01	.039593	12.842720	324.367600
5.50	53.014530	.245471E-01	.026720	2.930074	109.659900
6.00	46.284630	.841721E-02	.018170	-15.289330	-944.293700
6.50	24.531230	-.287476E-01	-.068298	-20.001400	292.855700
7.00	-4.975934	-.400644E-01	-.211499	.905878	-4.283136
7.50	-32.522010	.482263E-02	-.259290	27.074210	-104.416600
8.00	-49.142720	.646435E-01	-.075429	21.082680	-279.504800
8.50	-49.538520	.545002E-01	-.233727	-22.392350	-95.805690
9.00	-33.763170	-.448301E-01	.341687	-52.846600	-154.663600
9.50	-7.149086	-.124479E+00	.066972	-14.762520	-220.428100
10.00	21.491020	-.516828E-01	-.302311	68.532880	-226.696500
10.50	42.784050	.137187E+00	-.236630	91.155830	-385.225100
11.00	49.868750	.208447E+00	.336304	-13.081860	-38.898920
11.50	40.606010	-.653810E-02	.706647	-148.364700	-209.956100
12.00	18.211740	-.318612E+00	.114205	-123.401600	-1080.525000
12.50	-9.864900	-.294440E+00	-1.074521	101.559900	-94.516410
13.00	-34.414730	.196299E+02	-1.348406	278.337200	-206.439300
13.50	-47.471590	.628676E+00	-.194486	110.566400	568.503900
14.00	-44.885070	.306151E+00	2.142812	-313.021800	-146.079900
14.50	-27.652180	-.649764E+00	1.775743	-464.093700	-261.351800
15.00	-1.571597	-.107923E+01	-1.417666	28.228120	-19.911680
15.50	24.698300	-.568398E-01	-3.872967	725.764600	-187.392400
16.00	42.550530	.156301E+01	-1.434812	653.997200	-455.806900
16.50	46.295570	.157767E+01	4.524627	-460.960100	-101.878000
17.00	34.960370	-.835751E+00	6.484301	-1419.890000	-218.973500
17.50	12.441440	-.316227E+01	-.655736	-666.643600	1016.633000
18.00	-13.891800	-.176719E+01	-10.468280	1488.260000	-142.168500
18.50	-35.542520	.305135E+01	-9.154919	2416.781000	-263.987200
19.00	-45.473360	.556192E+01	6.833690	74.885570	10.958290
19.50	-40.344500	.738395E+01	20.198830	-3551.238000	-175.814000



**COMPARACIÓN DE EXCENTRICIDADES OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE  
EULER MODIFICADO**

V/NB	V/NB=2.019			V/NB=4.002			V/NB=5.832		
	TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01
0.5	43.67847	43.52859	35.97417	-22.73763	-22.67005	-22.4687	-8.405966	-8.366266	-8.258756
1	33.23028	33.10462	30.26637	-21.37282	-21.30366	-21.06956	-8.506172	-8.463573	-8.322328
1.5	20.1964	20.2613	21.32793	-16.76623	-16.77517	-16.79774	-6.255126	-6.253014	-6.235324
2	9.263864	9.601264	12.32069	-11.4253	-11.57236	-12.07425	-2.805163	-2.897202	-3.197536
2.5	2.781179	3.412248	6.456548	-4.981484	-5.334348	-6.552748	3.576458	3.255875	2.174546
3	4.255187	4.88096	6.683813	-11.56582	-11.78142	-12.51289	-4.035434	-4.128659	-4.413964
3.5	10.9766	11.48318	14.64429	-11.53048	-11.75944	-12.54206	-2.571385	-2.721448	-3.221402
4	23.10396	23.12058	23.04703	-15.40495	-15.4694	-15.69141	-4.463043	-4.524445	-4.737095
4.5	36.13051	35.40907	30.15912	-20.74016	-20.5086	-19.75232	-7.595949	-7.484253	-7.128199
5	42.28062	41.12156	33.39812	-25.91485	-25.32854	-23.44641	-11.11505	-10.78939	-9.73005
5.5	85.28215	79.36339	42.11018	-20.35069	-20.02842	-19.01185	-2.672695	-2.798215	-3.33949
6	42.85028	41.38928	32.62356	-23.75881	-23.23081	-21.55643	-9.347045	-9.079915	-8.231834
6.5	28.08179	27.74721	26.1033	-19.8217	-19.59164	-18.86348	-7.863539	-7.706645	-7.20502
7	15.68272	16.3066	19.39764	-14.69308	-14.88023	-15.46255	-5.001997	-5.078379	-5.304863
7.5	8.682952	9.921768	15.18364	-10.4275	-10.98331	-12.71186	-1.801642	-2.171141	-3.287522
8	25.96341	25.59464	22.87955	-8.219108	-8.970143	-11.22663	4.003408	3.017065	0.185895
8.5	2.154192	4.039715	11.66635	-9.229376	-9.966361	-12.2428	-1.887305	-2.296651	-3.512979
9	14.87608	15.74966	19.23198	-12.5328	-12.97221	-14.29495	-2.89922	-3.207585	-4.117719
9.5	28.56111	27.98448	25.47968	-17.48405	-17.40212	-17.16757	-5.653254	-5.659042	-5.685942
10	38.26132	36.48126	29.25851	-22.28609	-21.62582	-19.75862	-8.666511	-8.323491	-7.345566
10.5	33.54743	32.38614	28.06705	-24.29026	-23.36162	-20.79349	-10.89537	-10.29533	-8.577867
11	77.45536	68.96336	38.03469	-28.9301	-27.26476	-22.6834	-10.29124	-9.67178	-7.957216
11.5	38.3564	36.36254	28.97507	-23.17037	-22.30969	-19.95595	-9.395952	-8.921816	-7.598341
12	22.60353	22.74631	23.38278	-17.77385	-17.65648	-17.33083	-6.825887	-6.693387	-6.32065
12.5	12.65446	14.12493	19.26205	-13.00453	-13.54884	-15.03282	-3.820188	-4.11243	-4.887744
13	11.48063	13.19721	18.72412	-10.67713	-11.55638	-13.93396	-1.495979	-2.14456	-3.838889
13.5	-271.4531	-391.4642	75.11976	-68.00373	-55.18132	-32.86359	-7.454391	-6.487235	-5.11958
14	4.221582	7.008345	16.06407	-9.033004	-10.21194	-13.38659	-1.155778	-1.901485	-3.827621
14.5	20.29449	20.80742	22.31396	-14.29916	-14.6982	-15.73644	-3.789558	-4.112817	-4.941691
15	33.11878	31.44453	26.29325	-19.49937	-19.03499	-17.88002	-6.888538	-6.692294	-6.209805
15.5	37.09095	34.69337	27.54798	-22.78568	-21.72379	-19.1438	-9.238486	-8.64162	-7.15546
16	17.73653	18.75671	22.24929	-19.29825	-18.89725	-17.91188	-9.022529	-8.489296	-7.142517
16.5	65.94278	57.09116	33.04703	-30.08018	-27.4957	-21.45748	-12.02145	-10.87132	-8.053824
17	32.01894	30.45348	26.03023	-21.42656	-20.55805	-18.49698	-8.740042	-8.197335	-6.876416
17.5	17.78295	18.86485	22.03221	-15.6625	-15.90089	-16.46187	-5.598098	-5.646314	-5.749241
18	11.69717	13.93152	20.14907	-12.03175	-12.96425	-15.18023	-2.954116	-3.526493	-4.844261
18.5	18.76871	19.71616	22.04364	-12.56711	-13.40155	-15.35016	-2.209714	-2.942253	-4.596766
19	-45.48232	-36.61907	-10.17256	11.26973	6.547651	-6.644566	8.842185	5.946381	-1.181434
19.5	9.200563	12.07837	19.67262	-10.27505	-11.61067	-14.72377	-1.489697	-2.410331	-4.467153
20	26.18398	25.58471	24.02525	-16.47093	-16.53773	-16.69542	-5.022654	-5.179868	-5.537735
20.5	35.66803	32.88299	26.12034	-21.02831	-20.07318	-18.02956	-7.92155	-7.440326	-6.398609
21	32.47389	30.4765	25.6532	-21.92126	-20.75297	-18.28747	-9.111208	-8.371112	-6.759493
21.5	-8.8864	-2.601301	14.81231	-8.123466	-10.16255	-14.52873	-3.583911	-4.162726	-5.312754
22	53.2277	45.76319	28.99951	-28.34585	-25.51064	-19.77279	-11.88878	-10.47201	-7.429264
22.5	25.37183	24.97678	24.08679	-19.0646	-18.54277	-17.45178	-7.601735	-7.182189	-6.287757
23	14.36303	16.52239	21.69557	-13.88512	-14.60849	-16.1087	-4.412154	-4.76027	-5.462888
23.5	13.23376	15.72137	21.40741	-12.01715	-13.19108	-15.62116	-2.625108	-3.424741	-5.021891
24	32.3981	29.92283	24.76363	-16.65495	-16.66637	-16.71752	-4.292307	-4.655887	-5.389374
24.5	-23.09109	-13.41648	11.93823	2.319235	-2.07838	-11.9724	6.039738	2.984876	-3.136151
25	16.01269	17.93546	22.07529	-12.46231	-13.57248	-15.80918	-2.579955	-3.423839	-5.065888
25.5	31.32899	29.17193	24.73073	-18.63163	-18.13572	-17.20036	-6.337015	-6.178328	-5.888501
26	35.51445	32.18795	25.46375	-21.7061	-20.3538	-17.84615	-8.538434	-7.790471	-6.368796
26.5	24.94108	24.61485	23.97245	-19.58262	-18.83798	-17.44409	-8.14367	-7.514428	-6.307207

V/NB	V/NB=2.019			V/NB=4.002			V/NB=5.832			
TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	(...CONTINUACIÓN DE TABLA)
27	-70.86066	-54.59721	-11.21128	27.58698	17.10649	-5.865282	23.00723	14.24282	-0.392501	
27.5	40.97292	35.95266	26.16529	-25.19071	-22.75849	-18.42091	-10.76816	-9.384637	-6.777832	
28	19.54107	20.69045	23.05923	-16.61055	-16.69442	-16.8314	-6.230052	-6.117528	-5.895737	
28.5	12.85185	15.86799	21.95458	-12.75401	-13.93623	-16.09193	-3.497687	-4.180367	-5.386348	
29	17.50248	19.2684	22.61194	-13.10319	-14.18803	-16.14458	-2.993756	-3.83123	-5.291298	
29.5	56.65346	45.08677	26.89539	-24.17142	-21.79813	-17.95483	-8.287899	-7.467905	-6.145391	
30	-8.198878	0.478506	18.56112	-2.915218	-6.849061	-14.31855	3.549309	0.670063	-4.27267	
30.5	23.41337	23.42488	23.43529	-15.12508	-15.63401	-16.53099	-4.098926	-4.614582	-5.501823	
31	34.60781	31.0115	24.80627	-20.35861	-19.22655	-17.36807	-7.47501	-6.934969	-6.041075	
31.5	32.59875	29.71353	24.67889	-21.31396	-19.86997	-17.52213	-8.590641	-7.706667	-6.226032	
32	15.39916	17.95296	22.70473	-15.87362	-16.2173	-16.74863	-6.243327	-6.122138	-5.892182	
32.5	2671.991	427.7585	44.14055	-171.3719	-99.52128	-29.11548	-46.04321	-34.45016	-11.98098	
33	30.25681	28.12293	24.42389	-21.52467	-19.97973	-17.5156	-9.098939	-8.038249	-6.278652	
33.5	15.27576	17.95614	22.6982	-14.50668	-15.29344	-16.54479	-4.882329	-5.198224	-5.684654	
34	13.53955	16.82715	22.46172	-12.47235	-13.92443	-16.2525	-3.048199	-3.986053	-5.436392	
34.5	24.46665	24.10746	23.54888	-15.3229	-15.82113	-16.61662	-4.125504	-4.689888	-5.563311	
35	107.9676	70.86918	28.86348	-39.64385	-30.76184	-19.22911	-15.78797	-12.17748	-6.943064	
35.5	5.435007	11.47196	21.61711	-7.720154	-10.74928	-15.65567	0.805648	-1.518997	-5.004298	
36	30.01429	27.63475	24.05272	-17.78054	-17.42813	-16.92637	-5.715389	-5.72727	-5.765302	
36.5	35.31802	30.99618	24.55848	-21.29978	-19.67075	-17.33103	-8.224591	-7.348843	-6.061461	
37	27.47409	26.10622	23.98273	-19.8408	-18.75745	-17.18838	-8.013545	-7.223057	-6.049417	
37.5	4.729624	11.16854	21.89031	-11.02493	-13.14905	-16.2446	-3.317106	-4.255007	-5.558402	
38	101.6474	69.25487	28.60682	-49.37423	-36.23822	-19.75978	-21.55806	-16.06909	-7.52505	
38.5	21.70956	22.42887	23.51194	-18.00833	-17.59854	-16.99018	-7.218794	-6.71032	-5.955813	
39	13.02611	16.85795	22.73428	-13.07403	-14.48168	-16.47818	-3.798847	-4.560596	-5.607291	
39.5	16.48063	19.12358	22.98644	-13.12388	-14.51306	-16.47244	-3.186312	-4.184227	-5.543139	
40	33.64143	29.53247	24.15534	-18.58463	-17.87842	-16.97079	-5.969363	-5.87868	-5.786904	
40.5	412.3385	162.2307	32.93163	-108.3686	-60.55098	-21.95191	-36.78975	-24.51576	-8.559726	
41	18.05965	20.15535	23.08855	-12.32473	-14.02724	-16.40871	-2.009995	-3.486939	-5.452688	
41.5	34.55155	30.04144	24.2109	-19.96483	-18.70046	-17.08533	-7.13197	-6.587209	-5.891634	
42	33.38596	29.42301	24.20323	-21.25386	-19.46761	-17.19949	-8.448956	-7.392281	-6.010465	
42.5	21.08301	22.10402	23.47776	-17.49094	-17.2509	-16.91678	-6.833224	-6.430504	-5.888711	
43	-6.634903	4.593487	21.45751	-5.187607	-9.782309	-15.91177	0.881604	-1.903435	-5.30896	
43.5	48.10414	38.09418	25.09955	-30.93065	-25.0001	-17.8699	-14.37362	-11.01567	-6.483958	
44	15.6612	18.83369	23.14831	-15.10415	-15.83776	-16.73686	-5.425302	-5.592963	-5.779467	
44.5	13.00021	17.27176	22.95093	-12.50181	-14.28427	-16.53142	-3.172569	-4.273956	-5.612048	
45	21.42625	22.29613	23.40748	-14.66512	-15.55992	-16.67786	-3.934903	-4.713586	-5.658052	
45.5	43.86708	34.64703	24.45728	-22.64926	-20.09	-17.19069	-8.359316	-7.23534	-5.942375	
46	-130.7744	-95.05293	3.408124	58.07169	40.3289	-7.303236	126.7806	66.09278	0.792526	
46.5	28.59823	26.31248	23.72939	-16.4564	-16.59197	-16.79374	-4.613938	-5.10241	-5.702936	
47	36.24474	30.57295	24.12924	-21.30442	-19.32904	-17.10074	-8.120905	-7.101737	-5.926804	
47.5	29.33827	26.84148	23.87064	-20.22215	-18.73736	-17.04872	-8.101577	-7.101656	-5.933697	
48	14.49421	18.39192	23.18421	-14.63671	-15.62809	-16.73422	-5.165287	-5.459794	-5.768468	
48.5	-19.57866	-2.179832	21.24938	2.094781	-5.872484	-15.6744	7.381877	1.283964	-5.104822	
49	26.7439	25.47168	23.8184	-21.74653	-19.58558	-17.13802	-9.840838	-8.105944	-6.038317	
49.5	12.24814	17.16802	23.0979	-13.10018	-14.77689	-16.65445	-3.975425	-4.806116	-5.705618	
50	15.17084	18.90291	23.20537	-12.84882	-14.63326	-16.63118	-3.118509	-4.339514	-5.656219	
50.5	27.72398	25.73763	23.68368	-16.91518	-16.86136	-16.83236	-5.202705	-5.459848	-5.753582	
51	53.13411	38.47766	24.52156	-27.10675	-22.15649	-17.29117	-11.0429	-8.589128	-6.030965	
51.5	-12.25483	3.466969	21.95697	3.001446	-5.27098	-15.71757	12.11655	3.676795	-4.981763	
52	35.81297	29.84111	23.93151	-19.72538	-18.34317	-16.95515	-6.744783	-6.278389	-5.822796	
52.5	35.02042	29.54052	23.95657	-21.59387	-19.32536	-17.04643	-8.5468	-7.2526	-5.911578	
53	24.07959	23.88049	23.62233	-18.40762	-17.68034	-16.9208	-7.22856	-6.56222	-5.859875	
53.5	8.738085	15.53773	23.07308	-11.74315	-14.16132	-16.63873	-3.209872	-4.464097	-5.69494	
54	-42.06696	-13.04793	20.88507	14.7451	0.831647	-15.28921	23.03231	7.883754	-4.77646	
54.5	15.42222	19.2349	23.36339	-16.10344	-16.49679	-16.83831	-6.49009	-6.187101	-5.835038	
55	11.45864	17.15314	23.19292	-12.13383	-14.39053	-16.66427	-3.064476	-4.400126	-5.693388	

**COMPARACIÓN DE EXCENRICIDADES OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE  
RUNGE KUTTA CON CORRECTOR DE ADAMS**

V/NB	V/NB=2.019			V/NB=4.002			V/NB=5.832		
	TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01
0.5	45.08586	45.03538	36.44986	-22.73763	-22.67005	-21.43668	-7.300592	-7.28123	-8.258756
1	36.92384	36.76474	32.45447	-21.37282	-21.30386	-21.95347	-8.810699	-8.767266	-8.322328
1.5	24.05677	24.0268	24.15674	-16.76623	-16.77517	-18.20005	-7.090379	-7.066714	-6.235324
2	12.12271	12.3602	14.79517	-11.4253	-11.57236	-13.44295	-3.932126	-3.984286	-3.197536
2.5	4.275178	4.839392	7.857672	-4.981484	-5.334348	-8.787273	0.586696	0.375891	2.174546
3	3.732061	4.204752	8.081532	-11.56582	-11.78142	-15.20446	-7.449384	-7.409523	-4.413964
3.5	8.271586	8.847456	12.40688	-11.53048	-11.75944	-12.02053	-2.460303	-2.609191	-3.221402
4	19.17774	19.39778	20.58018	-15.40495	-15.4694	-14.60551	-3.718111	-3.819667	-4.737095
4.5	32.60479	32.12508	28.38132	-20.74016	-20.5086	-18.56257	-6.620679	-6.570632	-7.128199
5	41.77565	40.64365	32.96487	-25.91485	-25.32854	-22.40168	-10.00482	-9.748517	-9.73005
5.5	19.66131	19.68088	23.81364	-20.35069	-20.02842	-30.39094	-20.54608	-19.66899	-3.33949
6	47.73511	45.90763	34.39569	-23.75881	-23.23081	-21.96818	-9.28626	-9.029258	-8.231834
6.5	32.22607	31.55651	28.08486	-19.8217	-19.59164	-19.78764	-8.496938	-8.290322	-7.20502
7	18.8373	19.19142	21.19664	-14.69308	-14.88023	-16.41586	-5.895188	-5.890958	-5.304863
7.5	9.961631	11.07178	15.97071	-10.4275	-10.98331	-13.38993	-2.725481	-3.003913	-3.287522
8	11.74873	12.89915	16.92235	-8.219108	-8.970143	-11.70071	0.733409	0.093971	0.185895
8.5	-2.686678	-0.568402	8.056772	-9.229376	-9.966381	-11.83016	-2.346833	-2.697129	-3.512979
9	11.06583	12.29719	17.20754	-12.5328	-12.97221	-13.57248	-2.331485	-2.699016	-4.117719
9.5	24.80838	24.68324	23.91467	-17.48405	-17.40212	-16.34402	-4.796195	-4.903012	-5.685942
10	36.35578	34.82882	28.52407	-22.28609	-21.62582	-19.1219	-7.861759	-7.616578	-7.345566
10.5	37.36224	35.66036	29.19785	-24.29026	-23.36162	-20.6986	-10.30933	-9.769256	-8.577867
11		<b>3392.384</b>	66.20248	-28.9301	-27.26476	-30.40413	-8.553143	-8.026512	-7.957216
11.5	44.34156	41.47408	30.77433	-23.17037	-22.30969	-20.69156	-9.946742	-9.40215	-7.598341
12	26.39627	26.01241	24.82782	-17.77385	-17.65648	-18.05488	-7.629044	-7.383849	-6.32065
12.5	14.72982	15.90599	20.15249	-13.00453	-13.54884	-15.58152	-4.625271	-4.796539	-4.887744
13	10.62529	12.44383	18.39817	-10.67713	-11.55638	-14.09319	-2.039743	-2.603286	-3.838889
13.5	35.97924	33.82539	26.37178	-68.00373	-55.18132	-15.54524	-1.444668	-2.129501	-5.11958
14	-1.949595	1.543937	13.11038	-9.033004	-10.21194	-12.53708	-0.459643	-1.305612	-3.827621
14.5	16.13372	17.3144	20.87461	-14.29916	-14.6982	-15.10034	-2.963792	-3.426011	-4.941691
15	30.25066	29.10603	25.45644	-19.49937	-19.03499	-17.36086	-6.080411	-6.025481	-6.209805
15.5	37.22222	34.78321	27.50884	-22.78568	-21.72379	-18.92116	-8.732836	-8.222362	-7.15546
16	27.81948	27.07916	25.21457	-19.29825	-18.89725	-18.7227	-9.491421	-8.850893	-7.142517
16.5	126.2549	100.449	40.26972	-30.08018	-27.4957	-24.49315	-14.89416	-13.21734	-8.053824
17	37.67148	34.97779	27.42611	-21.42656	-20.55805	-19.15081	-9.611777	-8.906209	-6.876416
17.5	20.72025	21.24592	22.90372	-15.6625	-15.90089	-16.9375	-6.416612	-6.303524	-5.749241
18	12.4636	14.54074	20.39787	-12.03175	-12.96425	-15.42223	-3.542725	-3.993764	-4.844261
18.5	14.82209	16.56791	21.03887	-12.56711	-13.40155	-15.12847	-2.164919	-2.910833	-4.596766
19	207.7595	137.2954	40.80096	11.26973	6.547651	-22.7613	-11.79424	-10.31556	-1.181434
19.5	2.784073	6.82269	17.72884	-10.27505	-11.61067	-13.98238	-0.29653	-1.470156	-4.467153
20	22.41775	22.66691	23.15179	-16.47093	-16.53773	-16.2435	-4.132554	-4.489331	-5.537735
20.5	34.19922	31.76342	25.79082	-21.02831	-20.07318	-17.76647	-7.294209	-6.954165	-6.398609
21	34.69422	32.13672	26.03512	-21.92126	-20.75297	-18.33488	-9.003446	-8.281696	-6.759493
21.5	13.27787	15.47231	21.44494	-8.123466	-10.16255	-16.79498	-7.0692	-6.797648	-5.312754
22	79.17644	64.02411	32.35954	-28.34585	-25.51064	-21.35259	-14.5435	-12.5188	-7.429264
22.5	29.94593	28.43695	24.99924	-19.0646	-18.54277	-17.91561	-8.574553	-7.921544	-6.287757
23	16.1868	17.9128	22.10896	-13.88512	-14.60849	-16.37111	-5.111842	-5.284912	-5.462888
23.5	12.54931	15.18928	21.28043	-12.01715	-13.19108	-15.65935	-2.898325	-3.628261	-5.021691
24	23.27382	23.34138	23.30517	-16.65495	-16.66637	-16.19326	-3.337141	-3.963934	-5.389374
24.5	-112.2759	-103.3181	-195.5626	2.319235	-2.07838	15.10792	69.83523	55.41017	-3.136151
25	10.11495	13.50362	20.92864	-12.46231	-13.57248	-15.28666	-1.256322	-2.455471	-5.065888
25.5	28.59476	27.21493	24.2847	-18.63163	-18.13572	-16.93104	-5.54613	-5.603879	-5.888501
26	35.6287	32.24958	25.44405	-21.7061	-20.3538	-17.76091	-8.179513	-7.527102	-6.368796
26.5	29.0695	27.57046	24.58045	-19.58262	-18.83798	-17.64971	-8.520468	-7.778402	-6.307207

V/NB	V/NB=2.019			V/NB=4.002			V/NB=5.832			
TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	(...CONTINUACIÓN DE TABLA)
27	-7.390218	0.105425	17.73894	27.58698	17.10649	-14.90077	-1.845004	-2.991762	-0.392501	
27.5	55.27091	45.70374	27.87889	-25.19071	-22.75849	-19.27746	-13.02367	-11.01704	-6.777832	
28	22.74345	22.98594	23.56406	-16.61055	-16.69442	-17.11313	-7.134512	-6.759639	-5.895737	
28.5	13.47664	16.30968	22.06786	-12.75401	-13.93623	-16.20209	-3.977412	-4.516496	-5.386348	
29	15.27242	17.69074	22.30811	-13.10319	-14.18803	-16.06463	-2.887971	-3.760817	-5.291298	
29.5	36.77334	32.46789	24.9756	-24.17142	-21.79813	-17.11083	-5.727218	-5.727998	-6.145391	
30	-39.54392	-24.85612	11.03896	-2.915218	-6.849061	-11.34019	14.01497	7.976401	-4.27267	
30.5	18.697	20.18794	22.82705	-15.12508	-15.63401	-16.21108	-2.885497	-3.786781	-5.501823	
31	33.28905	30.12721	24.63853	-20.35861	-19.22655	-17.23855	-6.897742	-6.540528	-6.041075	
31.5	34.1398	30.71274	24.81851	-21.31396	-19.86997	-17.54133	-8.541195	-7.668026	-6.226032	
32	21.26575	22.00486	23.41905	-15.87362	-16.2173	-17.04195	-7.220257	-6.773634	-5.892182	
32.5	-43.0347	-26.2326	11.87145	-171.3719	-99.52128	-12.14679	12.37663	6.115541	-11.98098	
33	38.50928	33.5625	25.27633	-21.52467	-19.97973	-17.97024	-10.92038	-9.271581	-6.278652	
33.5	17.07841	19.17602	22.92	-14.50668	-15.29344	-16.68948	-5.596054	-5.671147	-5.684654	
34	12.99674	16.4536	22.41296	-12.47235	-13.92443	-16.2693	-3.248887	-4.118475	-5.436392	
34.5	20.62381	21.6242	23.1915	-15.3229	-15.82113	-16.47968	-3.609631	-4.360808	-5.563311	
35	56.418	43.59549	26.06835	-39.64385	-30.76184	-17.82011	-9.506001	-8.166881	-6.943064	
35.5	-11.56861	-0.4651	19.5326	-7.720154	-10.74928	-14.65271	6.006442	1.829044	-5.004298	
36	26.96103	25.71368	23.77619	-17.78054	-17.42813	-16.7568	-4.763238	-5.118796	-5.765302	
36.5	35.44983	31.05559	24.54741	-21.29978	-19.67075	-17.29119	-7.918916	-7.150309	-6.061461	
37	30.06793	27.72065	24.18087	-19.8408	-18.75745	-17.25738	-8.275955	-7.384335	-6.049417	
37.5	12.45669	16.34202	22.65681	-11.02493	-13.14905	-16.59305	-5.124117	-5.384851	-5.558402	
38	-217.3299	-197.6456	316.9604	-49.37423	-36.23822	62.16981	-476.0565		-7.52505	
38.5	26.22422	25.28771	23.89575	-18.00833	-17.59854	-17.21548	-8.585864	-7.573833	-5.955813	
39	13.54534	17.183	22.7894	-13.07403	-14.48168	-16.53441	-4.248316	-4.838777	-5.607291	
39.5	14.86964	18.12537	22.87187	-13.12388	-14.51306	-16.4415	-3.0942	-4.130771	-5.543139	
40	28.14943	26.30972	23.80847	-18.58463	-17.87842	-16.81462	-5.031415	-5.315873	-5.786904	
40.5	85.03053	57.02765	26.76427	-108.3686	-60.55098	-18.37157	-15.17271	-11.45404	-8.559726	
41	8.435504	14.2029	22.37188	-12.32473	-14.02724	-16.00892	1.014979	-1.673517	-5.452688	
41.5	33.31956	29.31355	24.12024	-19.96483	-18.70046	-17.01238	-6.513471	-6.214741	-5.891634	
42	34.69009	30.15379	24.26375	-21.25386	-19.46761	-17.20782	-8.420874	-7.370709	-6.010465	
42.5	24.30632	24.03511	23.67604	-17.49094	-17.2509	-17.00117	-7.385025	-6.753908	-5.888711	
43	3.764393	11.32955	22.28056	-5.187607	-9.782309	-16.31788	-2.316671	-3.758723	-5.30896	
43.5	121.7909	77.36027	28.31365	-30.93065	-25.0001	-19.82011	-27.90163	-19.68505	-6.483958	
44	17.66441	20.03684	23.28664	-15.10415	-15.83776	-16.83433	-6.334907	-6.127793	-5.779467	
44.5	12.43326	16.92497	22.9251	-12.50181	-14.28427	-16.53851	-3.334222	-4.368543	-5.612048	
45	18.9873	20.89497	23.28317	-14.66512	-15.55992	-16.62938	-3.577297	-4.513581	-5.658052	
45.5	36.75356	30.85961	24.14696	-22.64926	-20.09	-17.03482	-6.982111	-6.455922	-5.942375	
46	138.2887	77.89828	27.52959	58.07169	40.3289	-19.03887	-25.3827	-16.99544	0.792526	
46.5	24.03256	23.78048	23.49528	-16.4564	-16.59197	-18.63763	-2.882662	-4.129284	-5.702936	
47	36.61332	30.74347	24.12972	-21.30442	-19.32904	-17.0819	-7.841481	-6.940835	-5.926804	
47.5	31.3699	27.93864	23.95097	-20.22215	-18.73736	-17.07692	-8.317546	-7.217763	-5.933697	
48	17.99623	20.41418	23.35499	-14.63671	-15.62809	-16.81557	-5.974519	-5.905996	-5.768468	
48.5	-3.871851	7.543112	22.21102	2.094781	-5.872484	-16.19194	1.107677	-2.033742	-5.104822	
49	40.2387	33.07793	24.4565	-21.74653	-19.58558	-17.56	-14.54922	-10.84068	-6.038317	
49.5	12.51199	17.30518	23.11959	-13.10018	-14.77689	-16.68525	-4.452703	-5.067412	-5.705618	
50	13.76999	18.12111	23.15185	-12.84882	-14.63326	-16.61611	-3.01523	-4.286758	-5.656219	
50.5	24.71931	24.16062	23.5762	-16.91518	-16.86136	-16.7834	-4.636322	-5.161387	-5.753582	
51	44.58061	34.30586	24.25351	-27.10675	-22.15649	-17.14285	-9.169168	-7.584814	-6.030965	
51.5	1137.723	257.206	34.0872	3.001446	-5.27098	-24.32349	-81.07726	-48.59932	-4.981763	
52	34.88299	29.3433	23.88255	-19.72538	-18.34317	-16.90486	-5.892471	-5.82568	-5.822796	
52.5	36.49084	30.2526	23.99195	-21.59387	-19.32536	-17.05294	-8.561975	-7.255736	-5.911578	
53	26.39224	25.08467	23.69593	-18.40762	-17.68034	-16.95252	-7.631119	-6.769268	-5.859875	
53.5	12.27756	17.49921	23.20768	-11.74315	-14.16132	-16.70918	-4.248249	-4.999807	-5.69494	
54	-9.623472	5.479982	22.34882	14.7451	0.831647	-16.17125	5.211122	-0.266615	-4.77646	
54.5	18.18799	20.71448	23.48442	-16.10344	-16.49679	-16.94672	-8.439908	-7.224656	-5.835038	
55	10.54291	16.64898	23.16895	-12.13383	-14.39053	-16.66433	-3.168237	-4.454181	-5.693388	

## COMPARACIÓN DE EXCENTRICIDADES OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE EULER MODIFICADO

V/NB	V/NB=2			V/NB=4			V/NB=6			V/NB=8		
TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03
0.5	-511.0789	-511.784	-513.4907	-291.1412	-291.4136	-292.0511	-261.1258	-261.3367	-261.8556	-215.1608	-215.3052	-215.7072
1	-493.2283	-493.9451	-496.2759	-282.815	-283.088	-283.9695	-256.6866	-256.8919	-257.5623	-215.5518	-215.6866	-216.1393
1.5	-521.4103	-521.5912	-522.499	-292.3196	-292.3979	-292.7798	-265.0367	-265.0828	-265.3177	-223.1167	-223.1261	-223.1959
2	-589.1744	-587.3146	-581.6296	-315.8234	-315.2173	-313.3922	-283.1424	-282.6644	-281.2007	-236.1359	-235.7682	-234.6005
2.5	-870.7329	-852.0073	-794.6847	-412.8654	-406.9212	-388.4232	-357.7054	-352.9192	-338.1556	-287.7513	-284.0285	-272.7889
3	-539.6554	-538.9144	-537.5244	-296.7076	-296.5435	-296.415	-270.2596	-270.0595	-269.6573	-229.8322	-229.5713	-228.8047
3.5	-602.068	-598.7094	-588.0161	-321.0005	-319.8826	-316.3242	-286.6628	-285.791	-282.9984	-237.7928	-237.1428	-235.0335
4	-576.3668	-574.5455	-568.308	-314.0378	-313.3339	-310.92	-280.1212	-279.6089	-277.8583	-230.7997	-230.5025	-229.4945
4.5	-518.5341	-520.0013	-524.4564	-293.2751	-293.7744	-295.2436	-263.6061	-264.0517	-265.4028	-218.3778	-218.7944	-220.1228
5	-454.8691	-459.3293	-474.4286	-268.113	-269.6458	-275.6592	-245.4645	-246.7842	-251.2295	-207.9309	-208.8195	-211.8463
5.5	-852.427	-821.7212	-728.5585	-467.3037	-446.5883	-390.5817	-418.9751	-394.1728	-338.0382	-331.9289	-298.9888	-254.9488
6	-489.4663	-493.1193	-504.7853	-282.2074	-283.5594	-287.8011	-255.0001	-256.1258	-259.6877	-212.3456	-213.2604	-216.2158
6.5	-499.2046	-502.0712	-511.4911	-284.6448	-285.7344	-289.3056	-258.633	-259.4332	-262.0602	-217.7909	-218.2894	-219.9319
7	-542.9937	-542.4543	-541.1834	-299.8629	-299.7622	-299.6107	-270.9379	-270.7841	-270.4095	-227.4876	-227.2478	-226.5385
7.5	-620.3033	-611.7008	-587.3355	-327.1043	-324.2881	-316.2073	-291.3851	-289.186	-282.8485	-241.2405	-239.5885	-234.8046
8			-781.3661	-544.8181	-492.2807	-394.7511	-487.8206	-432.0228	-342.7627	-426.9559	-352.189	-271.0467
8.5	-594.2516	-587.7093	-569.6518	-315.9399	-314.051	-308.8016	-284.1203	-282.5316	-278.0051	-238.4777	-237.0671	-232.9046
9	-602.8988	-595.3867	-574.4031	-322.3035	-319.686	-312.3065	-287.1439	-285.1319	-279.4616	-237.0763	-235.6545	-231.6582
9.5	-554.3606	-552.9597	-548.5818	-306.4558	-305.8021	-303.7904	-273.9651	-273.5685	-272.3436	-225.8966	-225.8294	-225.5954
10	-497.7923	-502.6218	-516.6901	-285.1461	-286.9072	-291.946	-257.6366	-259.0952	-263.282	-214.7904	-215.9706	-219.399
10.5	-449.2762	-458.159	-486.0577	-265.3672	-268.8169	-279.5754	-244.7584	-247.2343	-255.0003	-209.5464	-211.0149	-215.6712
11	-510.8596	-515.8884	-528.3943	-294.6772	-296.0111	-298.7798	-259.4537	-261.4286	-266.0573	-204.954	-208.3099	-216.5961
11.5	-482.8283	-489.7356	-509.9615	-279.1123	-281.7115	-289.2042	-253.4477	-255.5006	-261.429	-212.6767	-214.1799	-218.5604
12	-512.8936	-516.216	-525.8792	-289.3427	-290.6476	-294.4504	-262.6277	-263.5194	-266.1295	-221.2231	-221.669	-222.9808
12.5	-567.5949	-563.1772	-552.0025	-308.5588	-307.1945	-303.7288	-277.5083	-276.3448	-273.3393	-231.991	-230.952	-228.2029
13	-640.9882	-623.1376	-581.1436	-335.5694	-329.4483	-314.7639	-297.3003	-292.5866	-281.3132	-244.1541	-240.8058	-232.8829
13.5	-472.2435	-472.8727		-128.8936	-91.22655		-201.8293	-191.0589	4.757181	-221.2754	-220.059	-209.0704
14	-625.7956	-609.9813	-572.925	-327.7986	-322.8735	-310.984	-292.4144	-288.5089	-278.9745	-243.0081	-239.9242	-232.3156
14.5	-589.318	-580.6365	-559.6171	-318.4448	-315.2151	-307.3568	-283.6814	-281.2687	-275.4326	-233.6131	-232.0758	-228.3999
15	-530.9346	-532.7488	-536.9399	-297.8549	-298.3385	-299.3803	-267.2359	-267.7953	-269.0711	-221.0556	-221.7876	-223.5411
15.5	-484.5516	-493.3857	-516.7718	-279.6942	-283.0132	-291.6488	-254.0143	-256.6213	-263.412	-213.2611	-215.1506	-220.1126
16	-461.0838	-472.2048	-503.8088	-268.9539	-273.2842	-285.6934	-249.3047	-252.0993	-260.2505	-215.2872	-216.5254	-220.2283
16.5	-463.6193	-476.6797	-510.7191	-273.1411	-278.0785	-290.2889	-245.8416	-250.3192	-261.3093	-202.3932	-206.5599	-216.8123
17	-487.4923	-496.368	-519.4473	-280.4034	-283.767	-292.4198	-255.1677	-257.6992	-264.2328	-215.0513	-216.7239	-221.0802
17.5	-532.4459	-533.5938	-536.7322	-296.1847	-296.7889	-298.4082	-268.0618	-268.3435	-269.1347	-225.3629	-225.2546	-225.0328
18	-590.5176	-579.4663	-555.6771	-316.9011	-313.2784	-305.3332	-283.6217	-280.7305	-274.3415	-235.817	-233.5475	-228.4936
18.5	-639.0665	-615.5037	-568.7252	-337.1395	-328.3781	-310.8361	-297.6986	-291.0617	-277.9773	-242.4486	-238.1506	-229.9204
19	-703.424	-663.3071	-581.5151	-332.7454	-325.6793	-309.2263	-301.7812	-295.8592	-280.5331	-260.0349	-254.4834	-238.4829
19.5	-631.6304	-609.2579	-564.9152	-331.4204	-323.9706	-308.7761	-294.4955	-288.7051	-276.868	-243.0252	-238.7532	-230.0562
20	-566.7331	-560.8659	-548.1295	-310.9068	-308.4901	-303.2766	-277.4831	-275.8118	-272.238	-228.4955	-227.7133	-226.0588
20.5	-510.8935	-517.3528	-531.6241	-290.1411	-292.3909	-297.2426	-261.4577	-263.4018	-267.5964	-217.3745	-219.0899	-222.8205
21	-480.9986	-492.9545	-521.3604	-277.8634	-282.4176	-293.1034	-253.3607	-256.7631	-264.7821	-214.0272	-216.2361	-221.5026
21.5	-514.291	-518.1309	-529.1048	-285.6024	-287.8687	-294.2167	-264.4152	-265.0767	-267.3159	-229.3977	-228.4111	-226.0813
22	-454.4076	-472.061	-514.4367	-268.5223	-275.3166	-290.9891	-244.3004	-249.8669	-262.6568	-204.8076	-209.1401	-219.1658
22.5	-500.9835	-509.4745	-528.7402	-285.0304	-288.2983	-295.697	-259.2486	-261.574	-266.8753	-218.7484	-220.0772	-223.1423
23	-555.049	-551.0116	-543.257	-304.1779	-303.0419	-300.8685	-274.1651	-273.076	-270.9259	-229.6445	-228.4884	-226.1178
23.5	-605.3978	-587.2908	-554.3719	-322.8397	-316.6333	-305.1132	-287.7511	-282.9349	-273.9861	-237.8898	-234.3857	-227.9004
24	-604.6063	-586.6104	-554.4979	-327.357	-319.5586	-305.9581	-288.8782	-283.3633	-274.0272	-233.3245	-230.8347	-226.7829
24.5	-783.4718	-702.0613	-580.4418	-367.1439	-347.2496	-312.8624	-323.7082	-308.4708	-280.8654	-269.6747	-257.4645	-234.5047
25	-615.6506	-593.5235	-555.1235	-327.4381	-319.5188	-305.5568	-290.7962	-284.7614	-274.1901	-238.9904	-234.8815	-227.7927
25.5	-541.7856	-541.6045	-540.8295	-301.9289	-301.516	-300.5713	-270.3727	-270.3529	-270.1967	-223.2052	-223.7572	-224.7055
26	-497.4018	-508.417	-530.5891	-284.6985	-288.7391	-296.6981	-257.6736	-260.9282	-267.3335	-215.4711	-217.9684	-222.9146
26.5	-489.1868	-501.7023	-527.995	-280.3817	-285.2249	-295.3846	-256.0938	-259.4858	-266.6794	-217.1926	-219.0555	-223.0793

V/NB	V/NB=2			V/NB=4			V/NB=6			V/NB=8			
TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	(...CONTINUACIÓN DE TABLA)
27		-865.8959	-603.3246	-396.2234	-365.724	-316.5554	-345.8475	-325.026	-285.8404	-293.0279	-276.7816	-241.8971	
27.5	-461.4833	-480.9383	-522.466	-270.6723	-278.1292	-293.6315	-247.3224	-253.0695	-265.0483	-209.0579	-213.0406	-221.453	
28	-520.9872	-525.9671	-535.8383	-292.0471	-294.1243	-298.2641	-264.9165	-266.2209	-268.8576	-223.1961	-223.6324	-224.5486	
28.5	-576.5586	-565.0745	-545.986	-311.9557	-308.2544	-301.9821	-279.9189	-276.8803	-271.6719	-233.3523	-230.8285	-226.4451	
29	-605.8957	-584.3275	-550.4901	-324.1377	-316.313	-303.8801	-288.2048	-282.2723	-272.9123	-237.0493	-233.0805	-226.914	
29.5	-535.0844	-537.7335	-540.584	-302.8852	-302.3696	-300.9677	-267.9262	-268.9718	-270.0916	-214.9588	-218.7673	-223.8685	
30	-764.0233	-676.8481	-566.6439	-369.9706	-344.6259	-309.1793	-324.7867	-305.1819	-277.3247	-267.0404	-251.9934	-230.6553	
30.5	-587.072	-571.6296	-547.2407	-318.3038	-312.2871	-302.7965	-283.2204	-278.8343	-271.9997	-232.5303	-229.9999	-226.1324	
31	-519.8918	-526.3632	-537.1025	-293.6288	-295.7358	-299.1231	-264.0484	-266.0046	-269.1597	-218.9834	-220.9372	-224.1204	
31.5	-492.2438	-506.3916	-532.0368	-282.3369	-287.6441	-297.1066	-256.4151	-260.4857	-267.7617	-215.5344	-218.3439	-223.4158	
32	-512.3976	-520.3145	-534.9572	-288.215	-291.5701	-297.8513	-262.8019	-264.7975	-268.631	-223.0225	-223.5152	-224.5459	
32.5	-239.7254	-290.2218	-460.18	-167.9114	-195.1516	-271.2324	-150.1468	-176.2364	-245.3355	-119.6227	-143.0171	-203.7739	
33	-478.8352	-496.7797	-530.0267	-276.7974	-283.6703	-296.2639	-252.9057	-257.9271	-267.2098	-214.2947	-217.3852	-223.203	
33.5	-544.5837	-542.7328	-540.2515	-300.3837	-300.1323	-299.9091	-271.3512	-270.8213	-270.0796	-227.8185	-226.8597	-225.3308	
34	-591.7432	-572.8724	-546.0806	-317.8073	-311.4119	-302.1294	-284.0611	-279.0294	-271.693	-235.6217	-231.8298	-226.2925	
34.5	-588.8057	-571.0064	-545.9188	-319.2282	-312.1878	-302.3077	-283.7826	-278.6852	-271.6377	-232.5832	-229.7423	-225.9008	
35	-431.9004	-467.1827	-526.1813	-261.0616	-274.9834	-295.6653	-232.8441	-246.4974	-265.9713	-187.2193	-201.3914	-220.941	
35.5	-706.2179	-636.2621	-555.196	-357.0903	-333.8559	-305.4806	-314.0732	-296.0654	-274.2108	-256.5187	-243.4314	-227.9548	
36	-555.6517	-550.27	-542.0697	-307.2455	-304.6962	-300.9099	-274.3681	-272.8304	-270.5557	-225.7438	-225.5197	-225.1349	
36.5	-504.4012	-516.7906	-535.9026	-287.4846	-291.9236	-298.599	-259.6349	-263.3138	-268.8336	-216.511	-219.5099	-224.0309	
37	-496.4142	-511.027	-534.5745	-283.4567	-289.035	-297.9588	-257.8663	-261.9317	-268.4843	-217.5092	-219.9868	-224.0409	
37.5	-558.0025	-550.6282	-541.2213	-303.4327	-301.9326	-300.1206	-274.9035	-272.9923	-270.369	-232.4125	-229.7602	-225.7556	
38	-358.2947	-406.1503	-511.8243	-228.7874	-248.9135	-289.8614	-213.2788	-229.3585	-261.9337	-183.4176	-194.9903	-218.9247	
38.5	-503.3216	-515.7916	-535.6187	-285.5055	-290.4218	-298.2685	-260.0546	-263.3856	-268.7805	-220.0336	-221.657	-224.3546	
39	-567.7477	-556.7037	-542.3436	-308.6907	-305.2659	-300.732	-277.557	-274.6168	-270.656	-231.9363	-229.2845	-225.6341	
39.5	-595.6794	-572.8973	-544.7552	-320.0082	-311.9032	-301.7281	-285.3127	-279.1001	-271.321	-235.6095	-231.2848	-225.9159	
40	-556.3348	-550.2609	-541.8127	-308.1672	-305.0217	-300.8342	-274.593	-272.8313	-270.4887	-224.9006	-225.0267	-225.068	
40.5	-276.429	-344.8163	-499.9435	-189.3161	-222.4095	-285.9008	-174.6142	-204.0634	-258.3222	-146.6772	-170.9713	-215.4228	
41	-640.8897	-596.6105	-547.4205	-337.6754	-321.2569	-302.7896	-298.2245	-285.7872	-272.0534	-243.0167	-234.9185	-226.2788	
41.5	-528.3097	-533.2406	-539.2641	-297.0108	-298.3337	-299.8442	-266.4536	-267.9739	-269.7738	-220.2602	-222.2399	-224.6569	
42	-496.9427	-513.2619	-536.2149	-284.2833	-290.3229	-298.6467	-257.6523	-262.3926	-268.9297	-215.9649	-219.412	-224.2045	
42.5	-510.6107	-521.618	-537.2402	-288.2442	-292.6363	-298.8973	-262.045	-264.9836	-269.2339	-221.256	-222.607	-224.6156	
43	-647.7844	-598.1602	-546.4531	-332.0004	-317.9634	-302.0599	-296.7375	-285.2805	-271.8151	-248.3996	-238.609	-226.6912	
43.5	-414.2424	-455.3868	-527.0113	-251.803	-268.0057	-295.208	-233.8119	-245.8643	-266.3396	-201.2685	-208.9822	-222.4987	
44	-531.8492	-534.7454	-539.0803	-295.6139	-297.2121	-299.5454	-267.9281	-268.6355	-269.7447	-225.7944	-225.418	-224.9989	
44.5	-585.4874	-565.3712	-542.8217	-315.3398	-308.649	-300.9653	-282.3463	-276.9889	-270.7852	-234.753	-230.543	-225.6338	
45	-586.0244	-565.6036	-542.9581	-317.4706	-309.7311	-301.1186	-282.8708	-277.138	-270.8178	-232.8775	-229.3401	-225.5005	
45.5	-515.0647	-526.1184	-538.6962	-292.8239	-296.1449	-299.6768	-262.2963	-265.8309	-269.6169	-215.6712	-219.9105	-224.492	
46	139.8087	374.797	-684.1472	53.96786	266.6656	-348.145	10.06928	184.0056	-307.5755	-42.997	53.58842	-252.9696	
46.5	-583.7559	-564.1791	-542.723	-318.1711	-309.9515	-301.0951	-282.5252	-276.7945	-270.7421	-230.7385	-228.088	-225.346	
47	-508.6519	-522.0838	-538.1462	-289.2996	-293.9718	-299.3881	-260.7812	-264.8103	-269.4655	-216.8585	-220.4049	-224.5181	
47.5	-498.0851	-515.3744	-537.2328	-284.3045	-290.8274	-298.9757	-258.1969	-263.0837	-269.22	-217.2236	-220.4149	-224.4744	
48	-535.4606	-537.0255	-539.4688	-296.7973	-298.0168	-299.7067	-268.9184	-269.2653	-269.8565	-226.6348	-225.8813	-225.052	
48.5	-889.7346	-685.0685	-551.1979	-400.6945	-346.4475	-303.8562	-348.3468	-306.8288	-273.1294	-285.9431	-253.7591	-227.4901	
49	-461.5949	-491.8858	-534.4646	-269.7186	-281.4559	-297.8767	-248.527	-256.7302	-268.4465	-212.8451	-217.3686	-224.0668	
49.5	-560.2825	-550.6617	-540.8167	-305.7353	-303.019	-300.2132	-275.5447	-272.9731	-270.2262	-230.9644	-228.272	-225.2784	
50	-593.0628	-567.4648	-542.3968	-318.7092	-309.7784	-300.8547	-284.5318	-277.5986	-270.6642	-235.4975	-230.4816	-225.4835	
50.5	-564.5591	-553.1663	-541.2859	-310.3786	-305.5165	-300.5245	-276.9384	-273.6697	-270.3498	-227.8023	-226.489	-225.1525	
51	-472.3544	-502.1519	-536.6611	-275.9637	-286.9221	-298.8913	-249.3465	-258.829	-269.0507	-207.0522	-215.3009	-224.1645	
51.5		-645.6057	-556.4138	-664.7609	-405.1867	-306.0336	-581.9252	-581.8876	-274.5456	-523.5112	-283.6176	-228.0253	
52	-540.4256	-540.6707	-540.2296	-302.1	-301.2613	-300.1623	-269.9386	-270.0908	-270.0466	-221.784	-223.4395	-224.8992	
52.5	-497.9778	-516.9644	-538.0531	-284.8624	-291.8008	-299.3148	-257.8329	-263.4113	-269.4437	-215.6452	-219.9167	-224.5652	
53	-507.8023	-522.2144	-538.4035	-287.5143	-293.1075	-299.3817	-261.1266	-265.0747	-269.55	-220.0349	-222.216	-224.7372	
53.5	-571.3692	-555.5581	-541.0182	-309.1422	-304.585	-300.2887	-278.4314	-274.304	-270.2879	-233.5152	-229.4412	-225.3248	
54			-558.9711		-445.5975	-306.7909		-383.4673	-275.2931		-310.9429	-228.827	
54.5	-507.3927	-521.6356	-538.2865	-286.2877	-292.2315	-299.2785	-261.43	-265.0674	-269.5164	-222.2398	-223.3379	-224.8004	
55	-583.3426	-561.1953	-541.3907	-314.1864	-307.0347	-300.4581	-281.7079	-275.847	-270.384	-234.7715	-229.92	-225.3335	

COMPARACIÓN DE EXCENRICIDADES OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE RUNGE-KUTTA CON CORRECTOR DE ADAMS

V/NB	V/NB=2			V/NB=4			V/NB=6			V/NB=8		
TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03
0.5	-541.0331	-541.4353	-542.7916	-303.6927	-303.8527	-304.3508	-269.8855	-270.0077	-270.4213	-219.2228	-219.3006	-219.6355
1	-492.1971	-492.8862	-495.1684	-282.7616	-283.0234	-283.8854	-256.1619	-256.364	-257.0341	-214.388	-214.5281	-215.0018
1.5	-509.2335	-509.7256	-511.3982	-288.1107	-288.2982	-288.9464	-261.5828	-261.7172	-262.1704	-220.3206	-220.3994	-220.6445
2	-563.4872	-562.6487	-559.85	-306.9203	-306.6536	-305.7836	-276.41	-276.41	-275.4505	-231.4854	-231.299	-230.6463
2.5	-700.4412	-693.4485	-670.9551	-354.4293	-352.1813	-344.8621	-312.08	-310.3403	-304.6854	-255.4178	-254.1408	-250.0184
3	-465.5081	-467.1129	-472.9423	-269.5727	-270.1995	-272.5334	-251.7005	-252.0557	-253.3212	-219.5592	-219.6528	-219.8734
3.5	-596.9362	-593.9778	-584.2535	-318.432	-317.488	-314.3849	-285.1398	-284.3881	-281.8971	-237.5704	-236.9772	-234.9821
4	-589.214	-586.5858	-577.9869	-318.1369	-317.1801	-314.0277	-283.5818	-282.8593	-280.4908	-233.8384	-233.3594	-231.811
4.5	-536.5654	-536.9373	-538.1196	-300.0287	-300.1057	-300.3189	-268.8465	-268.9631	-269.3345	-222.0499	-222.2379	-222.8818
5	-474.743	-478.3281	-490.3853	-276.1297	-277.4937	-282.0374	-250.9676	-252.049	-255.6565	-210.6625	-211.4568	-214.1238
5.5	-330.1186	-336.8138	-360.1845	-218.9037	-221.4716	-230.4198	-216.5106	-218.1214	-223.636	-198.8192	-199.5658	-201.9576
6	-497.301	-500.4632	-510.7954	-285.8878	-287.0123	-290.6004	-256.9246	-257.9436	-261.2223	-212.0434	-213.0073	-216.1649
6.5	-492.2081	-495.5611	-506.5237	-282.3059	-283.5699	-287.683	-256.4633	-257.4259	-260.5572	-215.6746	-216.3284	-218.4555
7	-527.3683	-528.2263	-530.975	-294.4086	-294.7884	-296.0245	-266.679	-266.898	-267.6027	-224.3449	-224.3791	-224.4649
7.5	-593.3774	-587.9835	-572.137	-317.5412	-315.8082	-310.6657	-284.2939	-282.9064	-278.7626	-236.6473	-235.5441	-232.2211
8	-745.3096	-717.8942	-648.3852	-374.1464	-364.5791	-339.8066	-326.6801	-319.1278	-299.9549	-263.1847	-257.7817	-244.551
8.5	-564.2096	-561.1548	-552.1502	-304.1815	-303.5345	-301.6803	-276.4323	-275.6918	-273.4175	-235.0472	-234.1166	-231.0852
9	-609.8566	-601.4794	-578.0802	-323.9127	-321.1206	-313.2081	-288.7729	-286.5938	-280.4061	-239.042	-237.4179	-232.8088
9.5	-570.3948	-566.9442	-557.139	-312.062	-310.6892	-306.776	-278.482	-277.5049	-274.7464	-229.4179	-228.8981	-227.4683
10	-512.8918	-516.0967	-525.4334	-291.0287	-292.1324	-295.2883	-261.9949	-262.9694	-265.7647	-217.4846	-218.377	-220.9619
10.5	-464.0161	-471.8959	-495.9936	-271.4777	-274.5092	-283.6817	-248.3732	-250.6587	-257.5811	-210.4377	-211.9496	-216.5483
11			-832.4122	92.50455	354.2386	-524.8069	-166.101	-140.1527	-570.217	-225.6007	-225.0371	-203.4592
11.5	-479.597	-486.8878	-508.3925	-278.3008	-281.0293	-288.9075	-252.109	-254.36	-260.8515	-210.5729	-212.3647	-217.5605
12	-501.704	-506.4492	-520.0973	-285.436	-287.2483	-292.4565	-259.4024	-260.7126	-264.4815	-218.5941	-219.3775	-221.6281
12.5	-550.5441	-548.8304	-544.3323	-302.5493	-302.1086	-300.9678	-272.963	-272.496	-271.2464	-228.8678	-228.3119	-226.7738
13	-617.9819	-604.7461	-572.6301	-326.8051	-322.3811	-311.4267	-290.9447	-287.5008	-278.9603	-240.4791	-237.9312	-231.6339
13.5	-739.337	-696.4576	-611.1565	-383.8495	-365.1459	-328.918	-333.3084	-318.0622	-290.489	-260.7284	-250.9752	-235.4325
14	-625.957	-610.3603	-572.9573	-326.0014	-321.5197	-310.335	-291.8446	-288.1959	-278.91	-244.1845	-241.0943	-233.0685
14.5	-604.1091	-592.4962	-564.9797	-323.0858	-318.9685	-309.0872	-287.5713	-284.4247	-276.9021	-237.0076	-234.8342	-229.6936
15	-546.2932	-545.405	-543.0898	-303.5451	-303.0063	-301.6213	-271.6634	-271.4238	-270.8093	-224.1889	-224.3581	-224.7766
15.5	-495.1865	-502.5159	-521.6504	-283.9868	-286.6783	-293.5766	-256.9634	-259.1548	-264.7642	-214.7032	-216.4182	-220.8271
16	-466.9883	-477.9418	-507.8947	-271.9697	-276.2014	-287.7408	-249.9706	-252.9529	-261.14	-213.3984	-215.0856	-219.7554
16.5	-454.141	-469.4854	-509.5652	-271.9377	-277.7694	-291.4173	-238.0484	-244.8809	-260.2764	-183.6411	-192.8191	-212.5661
17	-478.0366	-488.4148	-515.6335	-277.1196	-281.0475	-291.1718	-252.164	-255.2196	-263.0983	-212.2002	-214.3671	-219.9897
17.5	-518.8278	-522.5419	-531.782	-291.3854	-292.8885	-296.656	-264.303	-265.2851	-267.7555	-222.582	-222.9893	-224.0065
18	-574.8212	-567.3958	-550.9276	-311.2208	-308.8652	-303.558	-279.4382	-277.4855	-273.0408	-233.1634	-231.5074	-227.6921
18.5	-627.244	-606.861	-565.6691	-331.4677	-324.2475	-309.398	-293.9021	-288.3806	-277.1048	-241.1866	-237.3864	-229.7611
19	-580.152	-572.2687	-556.8875	-346.2479	-332.0567	-311.8842	-287.8642	-281.6998	-274.8044	-139.0132	-189.598	-219.1326
19.5	-651.0609	-623.4806	-569.5264	-336.3647	-327.7355	-310.0828	-298.8393	-292.0695	-278.0929	-247.3683	-242.1457	-231.3363
20	-584.0048	-573.8343	-552.738	-316.8748	-312.98	-304.8769	-282.284	-279.422	-273.5257	-232.2416	-230.5278	-227.0643
20.5	-523.103	-526.9857	-535.4357	-294.8643	-296.0874	-298.6774	-264.9759	-266.1571	-268.6677	-219.5799	-220.8298	-223.5087
21	-486.2806	-497.3993	-523.3828	-280.1664	-284.3506	-293.9729	-254.6498	-257.8813	-265.3189	-214.1482	-216.4059	-221.65
21.5	-490.5968	-500.3136	-523.466	-279.7472	-283.6599	-293.1642	-257.2604	-259.6503	-265.5617	-220.496	-221.2935	-223.289
22	-432.0004	-453.6592	-507.3932	-260.1857	-268.7921	-288.7998	-235.5647	-243.1253	-260.4242	-195.1403	-201.7108	-216.67
22.5	-488.0497	-499.252	-524.9187	-280.4226	-284.6874	-294.3752	-255.4513	-258.6008	-265.7858	-215.6826	-217.6727	-222.2529
23	-541.0254	-540.5594	-539.781	-299.1932	-299.2989	-299.6056	-270.3929	-270.2396	-269.965	-227.0556	-226.5449	-225.4599
23.5	-594.3918	-579.5813	-552.0999	-318.5532	-313.5995	-304.2046	-284.7157	-280.8068	-273.3597	-236.2537	-233.2753	-227.593
24	-612.0305	-591.5321	-555.6309	-327.9922	-320.0181	-306.0472	-290.3812	-284.4822	-274.3402	-236.7796	-233.2815	-227.467
24.5	2554.247		-852.6392	-631.9347	-547.1497	-365.7156	-461.1803	-426.8206	-324.6981	-365.9836	-346.4287	-275.8917
25	-642.8951	-611.7627	-559.7059	-335.8568	-325.2936	-307.0653	-297.6769	-289.5107	-275.4507	-244.7658	-238.8752	-228.8663
25.5	-557.3187	-552.7272	-544.0359	-307.6453	-305.5871	-301.7314	-274.8272	-273.5191	-271.0968	-226.371	-226.0083	-225.3482
26	-505.3341	-514.4712	-532.5685	-287.8983	-291.16	-297.4737	-259.8892	-262.617	-267.8825	-216.5735	-218.835	-223.2135
26.5	-488.0335	-501.0441	-527.9796	-280.3305	-285.2968	-295.4963	-255.5044	-259.1403	-266.6495	-215.9167	-218.1643	-222.8578

V/NB	V/NB=2			V/NB=4			V/NB=6			V/NB=8			
TIEMPO	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	EH00ET00	EH01ET01	EH01ET03	(...CONTINUACIÓN DE TABLA)
27	-560.773	-553.9742	-542.3705	-301.9866	-301.0963	-299.7443	-275.5323	-273.8893	-270.7613	-235.5967	-232.9081	-227.2173	
27.5	-438.102	-462.4681	-516.5837	-261.8576	-271.3793	-291.6286	-239.5719	-247.1852	-263.3211	-202.2504	-207.8831	-219.9277	
28	-506.6606	-515.4885	-532.8895	-286.931	-290.3849	-297.2148	-260.9166	-263.293	-268.0314	-220.2593	-221.4787	-223.9354	
28.5	-564.4856	-556.8917	-543.9669	-307.5577	-305.2355	-301.222	-276.6885	-274.6653	-271.1145	-231.317	-229.447	-226.1021	
29	-602.5802	-582.1638	-549.9525	-322.3097	-315.134	-302.602	-287.1273	-281.6094	-272.7644	-236.9922	-233.1045	-226.9325	
29.5	-569.7646	-560.5698	-545.4968	-314.1752	-309.6485	-302.466	-278.5883	-275.805	-271.5026	-226.2332	-225.8833	-225.3311	
30		-884.7009	-593.7302	-457.8427	-394.7447	-317.5804	-389.2624	-343.9337	-284.3654	-318.4748	-283.8412	-236.7915	
30.5	-613.0725	-588.0781	-550.5841	-327.1926	-317.9624	-303.9639	-290.3154	-283.359	-272.9319	-237.9919	-233.47	-226.8488	
31	-531.4531	-534.3668	-539.0073	-298.0917	-298.792	-299.8354	-267.3836	-268.2885	-269.6926	-221.0856	-222.3896	-224.4657	
31.5	-495.5821	-508.9143	-532.7523	-283.8243	-288.7609	-297.4161	-257.2427	-261.1343	-267.9543	-215.5829	-218.4375	-223.4703	
32	-502.2777	-513.4068	-533.4866	-285.0609	-289.4517	-297.4203	-259.8171	-262.7733	-268.2046	-220.0216	-221.4369	-224.0805	
32.5	-941.5992	-755.1718	-573.8462	-392.7655	-357.0368	-310.4116	-342.9375	-316.713	-279.1487	-286.5828	-265.7338	-233.5475	
33	-456.4418	-480.2079	-525.9701	-268.4754	-277.6254	-294.8379	-246.1499	-253.0326	-266.0545	-209.0526	-213.5814	-222.2936	
33.5	-530.8848	-533.6039	-538.3486	-295.4723	-296.8327	-299.2135	-267.6463	-268.3268	-269.5503	-225.2983	-225.1648	-224.9695	
34	-583.9909	-568.096	-545.1798	-314.7737	-309.5193	-301.7679	-281.9325	-277.7145	-271.4443	-234.5016	-231.1639	-226.1716	
34.5	-594.6071	-574.4127	-546.4291	-320.5893	-313.0039	-302.427	-285.2381	-279.5837	-271.7827	-234.466	-230.9099	-226.1004	
35	-506.1103	-518.4644	-536.6255	-290.4793	-294.1902	-299.2121	-259.0586	-263.3028	-269.0009	-210.7421	-216.2644	-223.5915	
35.5	-889.9171	-722.294	-565.4636	-407.5198	-380.0241	-308.9572	-353.4956	-316.7701	-277.02	-287.9527	-259.8048	-230.1882	
36	-575.7288	-562.5721	-544.1495	-314.6245	-309.1961	-301.6637	-280.1062	-276.315	-271.1375	-229.7873	-227.97	-225.5457	
36.5	-511.3578	-521.4924	-536.8385	-290.2988	-293.8024	-298.9641	-261.5905	-264.6305	-269.0931	-217.4858	-220.1922	-224.1741	
37	-495.1135	-510.2915	-525.5135	-283.2152	-288.9435	-297.9756	-267.3538	-261.6537	-268.461	-216.621	-219.4441	-223.9607	
37.5	-531.902	-534.3989	-538.6073	-295.1449	-296.6959	-299.2619	-268.0359	-268.6081	-269.6329	-226.6299	-226.017	-225.105	
38	-19.6931	7.93247	264.1177	-31.62366	-8.674386	297.2487	-29.49985	-4.895851	398.5248	-33.02935	-11.31871	387.3578	
38.5	-483.0383	-502.054	-533.1285	-278.0845	-285.4229	-297.372	-254.322	-259.5167	-268.081	-215.9522	-218.8946	-223.8477	
39	-556.7643	-550.1071	-541.3189	-304.6671	-300.3441	-300.3441	-274.6175	-272.8249	-270.3716	-230.1083	-228.183	-225.4602	
39.5	-593.8751	-571.8462	-544.5682	-318.9389	-311.2932	-301.6298	-284.7239	-278.7837	-271.2702	-235.6729	-231.3586	-225.9258	
40	-570.6247	-558.4354	-542.8824	-312.8535	-307.6856	-301.1769	-278.6778	-275.156	-270.791	-228.6636	-227.1684	-225.3506	
40.5	-428.694	-467.7356	-528.8769	-258.9319	-274.3121	-296.2935	-234.0347	-247.7426	-266.8151	-193.1587	-205.3976	-222.1775	
41	-730.1367	-639.6172	-552.0308	-367.1231	-335.9775	-304.4246	-321.549	-297.3585	-273.3349	-260.7413	-243.5206	-227.2221	
41.5	-541.3819	-541.1147	-540.3859	-302.0892	-301.3501	-300.2645	-270.2402	-270.2193	-270.0867	-222.609	-223.6472	-224.8572	
42	-499.525	-515.017	-536.5281	-285.4547	-291.1102	-298.7821	-258.2964	-262.8496	-269.0144	-215.9749	-219.472	-224.2292	
42.5	-504.4956	-517.9147	-536.7662	-286.262	-291.4584	-298.7529	-260.2326	-263.9005	-269.0973	-219.5115	-221.5465	-224.4747	
43	-582.6787	-564.0997	-542.6504	-312.1661	-306.9848	-300.7573	-281.2283	-276.56	-270.7543	-236.3797	-231.7825	-225.841	
43.5	-311.9445	-369.3264	-508.2692	-208.9205	-233.546	-288.3839	-199.8741	-218.7088	-260.9539	-177.0999	-189.5327	-218.5206	
44	-515.0112	-524.5228	-537.724	-289.4902	-293.4639	-299.0442	-263.3681	-265.8342	-269.386	-222.7865	-223.5719	-224.7463	
44.5	-579.0523	-561.8842	-542.4	-312.8011	-307.2517	-300.7949	-280.5845	-276.0298	-270.6684	-233.8574	-230.0788	-225.578	
45	-590.2949	-567.7807	-543.1505	-318.5564	-310.297	-301.1664	-283.9571	-277.7215	-270.8725	-234.1576	-230.0368	-225.5717	
45.5	-536.0804	-538.133	-540.0403	-300.4767	-300.4094	-300.1371	-268.6555	-269.355	-269.9961	-220.8535	-222.7803	-224.8033	
46	-334.2906	-399.5928	-519.4475	-218.0845	-246.2943	-292.7071	-203.602	-226.6964	-264.1591	-175.0158	-192.2154	-220.5087	
46.5	-627.9852	-586.2172	-544.8292	-334.4976	-318.0756	-301.8677	-295.2146	-283.0275	-271.3294	-239.5235	-232.3361	-225.7448	
47	-515.48	-526.1649	-538.6439	-292.1033	-295.6195	-299.5833	-262.7082	-265.9546	-269.6032	-217.7607	-220.9726	-224.592	
47.5	-496.8297	-514.7374	-537.2014	-284.0227	-290.7167	-298.9801	-257.7324	-262.8614	-269.2089	-216.4911	-220.0252	-224.4408	
48	-523.9064	-530.5601	-538.8208	-292.935	-295.8457	-299.4892	-267.4645	-265.7358	-269.6729	-224.0135	-224.3821	-224.8946	
48.5	-668.5443	-603.3609	-545.441	-340.0964	-320.6219	-301.8292	-302.3275	-286.8432	-271.5275	-251.2842	-238.8251	-226.2903	
49	-406.2219	-452.9309	-529.2597	-248.3806	-266.7102	-295.9618	-232.562	-245.6404	-266.9809	-202.3139	-209.9889	-223.0578	
49.5	-548.4174	-544.2921	-540.1879	-301.3375	-300.6126	-299.9718	-272.3842	-271.243	-270.0509	-229.0799	-227.2571	-225.175	
50	-592.0867	-566.9511	-542.3234	-318.0031	-309.4241	-300.8142	-284.1867	-277.4411	-270.6442	-235.6524	-230.5903	-225.49	
50.5	-573.5074	-557.5911	-541.6321	-313.3081	-306.966	-300.6365	-279.4383	-274.9117	-270.4472	-230.0225	-227.5956	-225.2415	
51	-498.7621	-517.6052	-538.155	-286.1774	-292.6727	-299.4203	-257.5194	-263.4126	-269.4706	-213.0947	-218.7213	-224.4824	
51.5	-164.1921	-225.0263	-465.3547	-141.6978	-170.4935	-272.0939	-152.0629	-173.0055	-248.7169	-150.2799	-162.5656	-210.4326	
52	-561.052	-551.2678	-541.1259	-310.3105	-305.3953	-300.5027	-276.0065	-273.1242	-270.2954	-225.3387	-225.2364	-225.0502	
52.5	-499.8839	-518.1531	-538.1943	-285.7858	-292.3651	-299.3775	-258.2849	-263.7158	-269.4817	-215.5119	-219.9001	-224.5733	
53	-503.2625	-519.7768	-538.2185	-286.0116	-292.3199	-299.3247	-259.7712	-264.3615	-269.4967	-218.7562	-221.5323	-224.6831	
53.5	-552.9653	-546.4064	-540.3336	-303.0005	-301.4544	-300.0495	-273.5976	-271.8193	-270.095	-229.8374	-227.5386	-225.174	
54	-837.4567	-656.8108	-547.2341	-392.7742	-339.4166	-302.5594	-342.2327	-300.8661	-272.0266	-279.5526	-248.0353	-226.5237	
54.5	-474.0775	-501.9267	-536.5113	-273.875	-284.8303	-298.6078	-252.5065	-259.7003	-269.019	-216.8008	-220.0607	-224.4872	
55	-577.6372	-558.4832	-541.1753	-311.8552	-305.9038	-300.3684	-280.1431	-275.1004	-270.324	-234.0752	-229.6176	-225.3082	



**COMPARACIÓN DE EXCENRICIDADES OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE  
EULER MODIFICADO**

VNB TIEMPO	VNB=2				VNB=4				VNB=6			
	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4
0.5	-916.642	-530.4888	-519.8004	-506.4397	-435.2362	-291.4136	-287.6904	-302.5834	-291.3167	-259.0526	-258.4816	-274.1851
1	-661.9744	-501.7076	-497.2719	-491.7272	-341.3921	-283.088	-281.5788	-287.6157	-268.7807	-255.9861	-255.7597	-261.9869
1.5	-426.9798	-517.2209	-519.7183	-522.8398	-260.5151	-292.3979	-293.2231	-289.9223	-258.6584	-265.5722	-265.6945	-262.3296
2	-227.9597	-570.7176	-580.2017	-592.0565	-197.6914	-315.2173	-318.2587	-306.0926	-258.9998	-284.4672	-284.9178	-272.5233
2.5	-243.1768	-823.8991	-839.9613	-860.038	-215.408	-406.9212	-411.8756	-392.0573	-312.445	-356.002	-356.7727	-335.5759
3	-39.93466	-515.8718	-529.0391	-545.4977	-135.1583	-296.5435	-300.7193	-284.0151	-238.2431	-272.4831	-273.089	-256.4253
3.5	-298.3523	-584.8417	-592.7662	-602.6714	-221.1527	-319.8826	-322.4367	-312.2196	-265.784	-287.3149	-287.6959	-277.2178
4	-590.8694	-575.2991	-574.8685	-574.3303	-318.8635	-313.3339	-313.1909	-313.763	-280.7419	-279.5227	-279.5011	-280.0944
4.5	-770.3472	-531.5591	-524.9546	-516.6993	-381.224	-293.7744	-291.5124	-300.561	-282.0978	-262.6772	-262.3336	-271.7844
5	-733.7891	-472.0011	-464.7599	-455.709	-366.3647	-269.8458	-267.349	-277.3366	-266.4262	-245.2882	-244.9142	-255.2009
5.5		-910.8643	-859.9236	-796.2549		-446.5883	-425.9076	-508.6469	-612.1343	-377.5864	-373.4401	-487.5258
6	-826.2453	-508.4957	-499.709	-488.7263	-401.197	-283.5594	-280.5173	-292.6869	-280.3841	-254.2783	-253.8165	-266.5199
6.5	-564.8839	-504.9703	-503.3136	-501.2429	-307.3056	-285.7344	-285.1766	-287.4081	-263.8116	-259.0997	-259.0164	-261.3092
7	-359.0826	-533.9927	-538.828	-544.8717	-238.5668	-299.7622	-301.3444	-295.0152	-258.4658	-271.7222	-271.9568	-265.5062
7.5	-264.8905	-595.7022	-604.8445	-616.2714	-210.8346	-324.2881	-327.2204	-315.4895	-266.1932	-290.9368	-291.3745	-279.3351
8					-661.7231	-492.2807	-487.9111	-505.3961	-472.9807	-428.9075	-428.1287	-449.5616
8.5	-54.7403	-563.1257	-577.174	-594.7325	-142.6606	-314.051	-318.4805	-300.7603	-248.4326	-285.128	-285.777	-267.9225
9	-420.4593	-587.3192	-591.9293	-597.6913	-261.4193	-319.686	-321.1915	-315.1685	-273.2358	-286.0377	-286.2641	-280.0355
9.5	-672.8566	-558.4892	-555.3293	-551.3801	-347.0317	-305.8021	-304.7369	-308.9985	-282.0602	-272.922	-272.7604	-277.2064
10	-752.1272	-514.1302	-507.5537	-499.334	-374.1917	-286.9072	-284.6517	-293.6747	-277.0181	-257.7306	-257.3894	-266.7736
10.5	-568.0682	-463.2297	-460.3321	-456.7104	-306.8457	-268.8169	-267.834	-271.7662	-254.888	-246.6514	-246.5058	-250.5134
11		-556.233	-533.178	-504.3629	-623.3635	-296.0111	-287.5572	-321.3792	-332.3682	-256.0289	-254.679	-291.8159
11.5	-719.155	-500.3157	-494.2697	-486.713	-361.907	-281.7115	-279.6397	-287.9283	-271.8961	-254.2524	-253.9404	-262.5244
12	-477.3271	-514.4232	-515.4477	-516.7281	-277.4771	-290.6476	-290.9878	-289.6269	-260.8685	-263.7212	-263.7717	-262.3839
12.5	-328.8283	-552.3754	-558.5481	-566.263	-229.4457	-307.1945	-309.2022	-301.1698	-260.6718	-277.5378	-277.8361	-269.6311
13	-381.2352	-611.9922	-618.3614	-626.3215	-249.4778	-329.4483	-331.5125	-323.2538	-276.2162	-293.8325	-294.144	-285.5747
13.5		1072.578	729.9341	301.4568	1852.985	-91.22655	-141.7206	60.20724	70.72191	-211.0187	-216.0091	-78.82468
14	-169.4891	-589.6885	-601.2851	-615.7781	-180.0646	-322.8735	-326.5595	-311.8123	-259.7867	-290.6948	-291.2413	-276.2065
14.5	-539.6218	-578.7468	-579.8267	-581.1764	-301.3294	-315.2151	-315.5735	-314.1395	-278.412	-281.4861	-281.5405	-280.0451
15	-712.1324	-541.0141	-536.2908	-530.3878	-360.5215	-298.3385	-296.7337	-303.1547	-280.5888	-266.8217	-266.5782	-273.2749
15.5	-693.9985	-502.6311	-497.3477	-490.7445	-352.9115	-283.0132	-281.2087	-288.428	-270.8873	-255.5355	-255.2641	-262.7319
16	-311.0002	-464.7752	-469.0209	-474.3271	-219.1479	-273.2842	-274.6819	-269.0898	-241.397	-252.9139	-253.1176	-247.5149
16.5		-503.6434	-488.2347	-468.9772	-490.761	-278.0785	-272.5899	-294.5499	-294.7944	-246.9346	-246.0885	-269.3682
17	-612.0535	-501.6982	-498.6522	-494.8452	-323.7492	-283.767	-282.7351	-286.8638	-265.8258	-257.0808	-256.9262	-261.18
17.5	-411.2679	-527.9598	-531.1794	-535.2031	-255.6844	-296.7889	-297.8494	-293.6063	-260.0672	-268.9733	-269.1308	-264.7989
18	-345.0029	-568.6719	-574.8406	-582.5497	-235.5261	-313.2784	-315.2837	-307.2602	-264.9973	-281.9276	-282.2269	-273.9926
18.5	-566.6441	-613.2546	-614.5399	-616.1462	-311.8125	-328.3781	-328.8052	-327.0961	-287.6067	-291.3246	-291.3903	-289.5822
19	1701.794	-554.4549	-616.6611	-694.4003	318.3519	-325.6793	-342.2962	-275.8114	-177.4948	-304.8675	-307.1194	-245.1613
19.5	-328.3788	-596.3335	-603.7195	-612.9496	-231.4115	-323.9706	-326.3565	-316.8098	-269.899	-290.1357	-290.4934	-280.652
20	-629.2712	-564.0138	-562.2148	-559.9667	-331.8775	-308.4901	-307.8873	-310.2993	-280.6099	-275.4469	-275.3556	-277.8664
20.5	-710.5169	-526.2452	-521.1635	-514.8127	-359.5465	-292.3909	-290.6594	-297.5876	-277.1745	-262.354	-262.0921	-269.2997
21	-605.2679	-498.1262	-495.1707	-491.4771	-321.2247	-282.4176	-281.4167	-285.4215	-264.6372	-256.164	-256.0142	-260.1353
21.5	197.3601	-485.1896	-504.0145	-527.5405	-60.73556	-287.8687	-293.7278	-270.2851	-221.153	-268.4191	-269.2546	-246.2646
22	-852.8886	-489.5951	-479.5749	-467.0523	-410.8268	-275.3166	-271.8224	-285.8035	-277.7274	-247.7473	-247.2174	-261.7979
22.5	-517.0202	-509.8221	-509.6235	-509.3751	-290.9164	-288.2983	-288.2307	-288.5011	-262.117	-261.5327	-261.5223	-261.8066
23	-376.6574	-542.9905	-547.5744	-553.3027	-244.7836	-303.0419	-304.5432	-298.536	-261.3359	-273.9691	-274.1923	-268.049
23.5	-407.2308	-579.0107	-583.7427	-589.6558	-256.5789	-316.6333	-318.1801	-311.9903	-270.713	-283.8644	-284.0967	-277.702
24	-791.2848	-596.0186	-590.6418	-583.9232	-390.3932	-319.5586	-317.7352	-325.0318	-298.1229	-282.2411	-281.9607	-289.6818
24.5	585.2762	-642.9285	-676.7228	-718.9503	36.61844	-347.2496	-357.132	-317.5855	-233.5954	-314.1646	-315.5879	-276.4141
25	-480.2015	-588.3143	-591.2913	-595.0115	-281.469	-319.5188	-320.4985	-316.5781	-276.9662	-285.3541	-285.5023	-281.4241
25.5	-678.8813	-547.9074	-544.3054	-539.8043	-348.8214	-301.516	-300.2978	-305.1723	-280.0647	-269.6144	-269.4298	-274.5108
26	-675.7486	-516.1137	-511.7152	-506.2185	-346.8221	-288.7391	-287.243	-293.23	-272.79	-260.026	-259.8005	-266.0069
26.5	-494.0435	-501.3505	-501.5515	-501.8027	-282.6503	-285.2249	-285.2911	-285.0261	-258.9818	-259.5241	-259.5337	-259.2701

V/NB	V/NB=2				V/NB=4				V/NB=6				
TIEMPO	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	(...CONT.)
27	3564.309	-662.6493	-778.8071	-923.9408	657.9863	-365.724	-392.0876	-286.5906	-144.568	-338.7523	-342.1834	-247.7547	
27.5	-690.927	-490.5981	-485.0777	-478.179	-351.5304	-278.1292	-276.2382	-283.6049	-268.0151	-251.9327	-251.6486	-259.4688	
28	-444.2112	-522.2087	-524.3566	-527.0405	-266.5342	-294.1243	-294.8347	-291.9921	-260.6744	-266.6426	-266.7481	-263.8463	
28.5	-379.1052	-556.5292	-561.4128	-567.5151	-246.2011	-308.2544	-309.8514	-303.4604	-264.3427	-277.8335	-278.0718	-271.513	
29	-503.0709	-580.5947	-582.728	-585.3936	-288.8851	-316.313	-317.0187	-314.1947	-276.6457	-282.7	-282.807	-279.8638	
29.5		-559.9686	-547.2614	-531.3829	-475.6651	-302.3696	-297.9126	-315.7495	-305.4301	-266.2008	-265.5082	-284.5764	
30	10.07494	-645.3339	-663.3447	-685.8483	-127.7007	-344.6259	-350.2017	-327.8865	-281.6087	-308.4933	-309.321	-286.5329	
30.5	-593.8916	-572.6513	-572.0674	-571.3378	-319.8334	-312.2871	-312.0932	-312.8694	-280.3686	-278.7177	-278.6885	-279.4909	
31	-689.1885	-533.8439	-529.5688	-524.2266	-352.166	-295.7358	-294.2841	-300.0939	-277.5663	-265.1257	-264.906	-270.9536	
31.5	-617.542	-511.4998	-508.5805	-504.9326	-326.0355	-287.6441	-286.656	-290.61	-268.2939	-259.8921	-259.7437	-263.8284	
32	-366.7845	-513.2607	-517.2919	-522.329	-240.0722	-291.5701	-292.8952	-287.5922	-254.5034	-265.5801	-265.7757	-260.3907	
32.5		-369.9583	-324.3915	-267.4444	-925.459	-195.1516	-176.3267	-251.6511	-336.2859	-164.0623	-161.0193	-244.7681	
33	-562.8694	-499.8172	-498.0813	-495.9121	-306.4644	-283.6703	-283.0836	-285.4314	-262.5555	-257.5752	-257.4872	-259.9085	
33.5	-401.6647	-536.2554	-539.9573	-544.5829	-252.8032	-300.1323	-301.3494	-296.4785	-261.2968	-271.5453	-271.7262	-266.7445	
34	-417.0127	-565.7192	-569.8073	-574.9153	-259.2333	-311.4119	-312.7531	-307.3855	-268.4439	-279.8339	-280.0349	-274.499	
34.5	-610.5829	-572.8217	-571.7843	-570.488	-325.6268	-312.1878	-311.8427	-313.224	-281.4213	-278.4774	-278.4255	-279.8561	
35		-503.0485	-482.5513	-456.939	-565.2964	-274.9834	-267.5193	-297.3913	-307.8725	-241.8332	-240.6675	-272.7649	
35.5	-341.3275	-622.7424	-630.4692	-640.123	-326.8054	-333.8559	-336.3476	-326.3746	-276.2525	-297.5704	-297.9466	-287.5877	
36	-659.8382	-555.2971	-552.424	-548.8343	-342.3928	-304.6962	-303.7278	-307.6037	-280.558	-272.2432	-272.0965	-276.1373	
36.5	-688.3455	-523.7479	-519.7717	-514.8036	-344.449	-291.9236	-290.5735	-295.9768	-274.041	-262.4986	-262.2949	-267.9048	
37	-545.9177	-512.6294	-511.7136	-510.5694	-301.0192	-289.035	-288.7268	-289.9602	-264.3683	-261.7465	-261.7002	-262.9746	
37.5	-227.8031	-535.8162	-544.2814	-554.8585	-195.5653	-301.9326	-304.666	-293.726	-251.7984	-274.6029	-275.0055	-263.9217	
38		-433.6228	-417.9226	-398.3035	-467.824	-248.9135	-243.2795	-265.8255	-274.2944	-225.942	-225.0881	-248.5949	
38.5	-468.7219	-513.632	-514.8663	-516.4084	-274.5056	-290.4218	-290.8307	-289.1941	-260.2042	-263.6273	-263.6878	-262.0241	
39	-393.468	-549.2175	-553.498	-558.8416	-250.6257	-305.2659	-306.6692	-301.0526	-263.5977	-275.4539	-275.6831	-269.9014	
39.5	-480.4179	-568.6575	-571.0806	-574.1082	-280.7054	-311.9032	-312.7041	-309.4984	-272.7371	-279.5834	-279.7042	-276.3774	
40	-705.9016	-557.3961	-553.3182	-548.2232	-358.8106	-305.0217	-303.6412	-309.1669	-283.8829	-271.9919	-271.7821	-277.5598	
40.5		-399.979	-368.4544	-329.0601	-694.4811	-222.4095	-210.2602	-258.8795	-303.9625	-196.4688	-194.5705	-246.8269	
41	-548.1483	-594.3895	-595.6588	-597.2447	-304.8126	-321.2569	-321.6789	-319.9898	-282.3858	-286.0455	-286.11	-284.332	
41.5	-682.1365	-540.0673	-536.1658	-531.2911	-349.8669	-298.3337	-297.011	-302.3054	-278.5268	-267.1723	-266.972	-272.4892	
42	-625.8173	-518.4246	-515.474	-511.7875	-329.2121	-290.3229	-289.3242	-293.3214	-270.3086	-261.7913	-261.641	-265.78	
42.5	-471.0065	-519.2976	-520.6238	-522.2807	-275.4971	-292.6363	-293.0762	-291.3151	-261.5453	-265.2447	-265.31	-263.5123	
43	-76.05676	-574.2474	-587.9142	-604.9886	-149.602	-317.9634	-322.2827	-304.9934	-251.7791	-287.825	-288.4609	-270.947	
43.5	-670.927	-465.2822	-459.6269	-452.5607	-343.6654	-268.0057	-266.0609	-273.8442	-261.1886	-244.6996	-244.4086	-252.4229	
44	-411.4659	-529.0951	-532.3243	-536.3589	-255.7589	-297.2121	-298.2759	-294.0177	-260.3166	-269.2674	-269.4254	-265.0761	
44.5	-417.6225	-558.6035	-562.4714	-567.3038	-259.103	-308.649	-309.9198	-304.8329	-266.9636	-277.7501	-277.9404	-272.6999	
45	-553.34	-565.0414	-565.3627	-565.7641	-305.5086	-309.7311	-309.8394	-309.4056	-276.2573	-277.2049	-277.2216	-276.7611	
45.5	-770.6707	-537.3233	-530.9194	-522.9186	-381.6617	-296.1449	-293.9518	-302.7307	-283.4185	-264.4955	-264.1617	-273.3548	
46		208.2224	303.3923	422.4135		266.6656	321.7713	101.605	-260.7756	218.0867	226.6104	-7.174161	
46.5	-654.8663	-568.3299	-565.9576	-562.9938	-341.0612	-309.9515	-309.1544	-312.3452	-283.1683	-276.3108	-276.1898	-279.5207	
47	-670.6846	-528.8919	-525.0008	-520.1396	-345.4711	-293.9718	-292.651	-297.9379	-275.3283	-264.0116	-263.812	-269.3099	
47.5	-571.484	-517.9459	-516.4762	-514.6401	-310.1277	-290.8274	-290.3322	-292.3143	-267.0057	-262.7859	-262.7114	-264.7617	
48	-403.4745	-530.9091	-534.4048	-538.772	-253.1273	-298.0168	-299.1679	-294.56	-260.2546	-269.9495	-270.1205	-265.4104	
48.5	114.4893	-648.5509	-669.4232	-695.4949	-96.34863	-346.4475	-352.8476	-327.2248	-256.9214	-310.6159	-311.5623	-285.4864	
49	-494.8695	-492.024	-491.9449	-491.8463	-282.6104	-281.4559	-281.4259	-281.5456	-257.0074	-256.7091	-256.7038	-256.849	
49.5	-392.3059	-543.4131	-547.556	-552.7316	-249.9535	-303.019	-304.3791	-298.9347	-262.3004	-273.7834	-273.9859	-268.4078	
50	-465.4072	-562.7951	-565.4641	-568.7982	-275.3649	-309.7784	-310.66	-307.1308	-270.6056	-278.1294	-278.2621	-274.6076	
50.5	-618.8803	-556.1724	-554.4543	-552.3079	-328.0027	-305.5165	-304.9407	-307.2459	-278.2498	-273.3222	-273.2353	-275.6285	
51	-794.593	-515.545	-507.8904	-498.3274	-389.9257	-286.9221	-284.2819	-294.8505	-279.9631	-257.2246	-256.8236	-267.8691	
51.5	-232.1999	-543.7178	-533.6591	-533.5659	-817.12371	-405.1867	-410.1264	-390.343	-311.176	-354.9706	-355.7411	-334.4959	
52	-693.696	-547.6714	-543.6702	-538.8717	-354.2466	-301.2613	-299.9046	-305.3361	-280.9486	-269.2668	-269.0609	-274.7343	
52.5	-636.5714	-522.4397	-519.3104	-515.4009	-333.1716	-291.8008	-290.7407	-294.9844	-271.8354	-262.7718	-262.6119	-267.0145	
53	-514.8972	-521.8799	-522.071	-522.3098	-290.651	-293.1075	-293.1704	-292.9188	-264.5934	-265.1112	-265.1204	-264.8689	
53.5	-354.9315	-546.3822	-551.6266	-558.1782	-237.6163	-304.585	-306.2999	-299.4343	-260.8547	-275.3248	-275.5799	-268.5518	
54	660.3661	-945.364	-988.8867	32.75838	-445.5975	-457.7525	-409.0641	-286.0553	-390.8402	-392.6822	-341.8686		
54.5	-400.2548	-516.0817	-519.256	-523.2215	-251.4051	-292.2315	-293.2773	-289.0905	-256.924	-265.6856	-265.84	-261.5843	
55	-407.6221	-554.1745	-558.1873	-563.2	-255.5348	-307.0347	-308.3528	-303.0757	-265.4559	-276.8354	-276.8325	-271.4033	

**COMPARACIÓN DE EXCENTRICIDADES OBTENIDAS POR EL MÉTODO DE RUNGE-KUTTA CON CORRECTOR DE ADAMS**

V/NB TIEMPO	V/NB=2				V/NB=4				V/NB=6			
	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4
0.5		-563.8766	-551.053	-535.0235	-477.547	-303.8527	-299.356	-317.3427	-306.7408	-267.209	-266.5094	-285.7502
1	-734.1246	-504.0309	-497.6625	-489.7019	-367.3694	-283.0234	-280.84	-289.5736	-273.647	-255.0472	-254.7181	-263.7708
1.5	-495.628	-509.0744	-509.4465	-509.9117	-283.5162	-288.2982	-288.422	-287.9269	-260.7543	-261.7906	-261.8089	-261.3046
2	-279.2711	-549.5602	-557.0394	-566.3883	-213.1468	-306.6536	-309.0735	-299.3934	-257.3828	-277.6218	-277.98	-268.1299
2.5	-172.3843	-669.3871	-663.1366	-700.3229	-185.4326	-352.1813	-356.4958	-339.2371	-276.2409	-312.9378	-313.5871	-295.728
3	39.27419	-443.7256	-457.0899	-473.7948	-105.8782	-270.1995	-274.4518	-257.4419	-220.2313	-254.48	-255.0861	-238.4178
3.5	-212.2474	-576.3523	-586.4241	-599.0134	-192.9841	-317.488	-320.7091	-307.8242	-259.324	-286.2972	-286.7745	-273.6478
4	-510.8513	-583.0892	-585.0872	-587.5847	-291.6876	-317.1801	-317.8395	-315.2016	-277.6254	-283.258	-283.3576	-280.6166
4.5	-736.2275	-546.1379	-540.8803	-534.3087	-369.269	-300.1057	-305.4732	-305.4732	-283.2442	-267.8754	-267.6035	-275.0825
5	-773.7301	-491.9664	-484.1729	-474.4316	-381.4701	-277.4937	-274.8041	-285.5631	-273.3447	-250.427	-250.0215	-261.1742
5.5	-111.1623	-326.3934	-332.348	-339.7909	-145.5584	-221.4716	-223.4358	-215.5786	-203.6359	-219.2249	-219.5007	-211.914
6	-932.5432	-520.407	-509.0103	-494.7654	-441.1235	-287.0123	-298.9695	-290.0222	-255.5006	-254.8899	-254.8899	-271.6884
6.5	-633.3924	-501.9229	-498.2876	-493.7436	-331.2652	-283.5699	-282.3365	-287.2705	-267.1336	-256.6865	-256.5017	-261.5854
7	-411.2371	-522.8275	-525.9126	-529.7686	-255.4594	-294.7884	-295.8052	-291.7374	-258.9767	-267.5013	-267.6521	-263.5041
7.5	-272.5374	-573.4302	-581.7465	-592.1411	-212.163	-315.8082	-318.4873	-307.7696	-261.9831	-284.4997	-284.898	-273.942
8	-494.8086	-707.6074	-713.4857	-720.8328	-291.054	-364.5791	-366.4786	-358.8794	-303.6641	-320.3051	-320.5994	-312.5033
8.5	110.4521	-530.1721	-547.8771	-570.006	-90.1132	-303.5345	-309.0511	-286.9821	-233.8543	-278.8777	-279.6741	-257.7667
9	-326.0858	-588.7785	-596.0364	-605.1077	-230.3514	-321.1206	-323.466	-314.0831	-268.1646	-287.997	-288.3477	-278.6985
9.5	-617.6124	-569.2808	-567.9455	-566.2767	-327.9615	-310.6892	-310.243	-312.0281	-281.0533	-277.2348	-277.1672	-279.0251
10	-749.165	-526.8465	-520.7036	-513.0256	-373.4497	-292.1324	-290.0313	-298.437	-279.7041	-261.6953	-261.3768	-270.1387
10.5	-662.8661	-480.7055	-475.6714	-469.3792	-341.0575	-274.5092	-272.7894	-279.6696	-264.1641	-249.6304	-249.3733	-256.4448
11					7211.236	354.2386	174.3214	893.2421	368.6779	-178.9871	-188.6969	78.11555
11.5	-812.181	-501.8895	-493.3168	-482.6021	-395.8984	-281.0293	-278.0617	-289.9339	-277.9868	-252.5613	-252.1116	-264.4816
12	-534.8238	-507.7578	-507.0099	-506.0753	-296.977	-287.2483	-286.997	-288.0026	-262.6899	-260.5621	-260.5245	-261.5597
12.5	-357.4575	-540.0086	-545.0499	-551.3505	-238.2991	-302.1086	-303.7566	-297.1637	-259.6444	-273.4743	-273.7188	-266.9907
13	-334.2734	-592.2828	-599.4051	-608.3064	-233.1524	-322.3811	-324.6847	-315.4687	-269.362	-288.8813	-289.2264	-279.7313
13.5		-716.8134	-705.1806	-690.6429	-520.8237	-365.1459	-361.1322	-377.1926	-352.1716	-315.4674	-314.8189	-332.6683
14	11.43806	-581.7135	-598.0839	-618.5435	-123.4554	-321.5197	-326.6323	-306.1772	-248.8156	-291.1932	-291.9425	-291.3279
14.5	-461.1614	-586.4458	-589.9034	-594.2245	-274.9971	-318.9685	-320.1033	-315.563	-275.4278	-285.1094	-285.2806	-280.5712
15	-684.5835	-551.8173	-548.153	-543.5733	-351.0051	-303.0063	-301.7676	-306.7237	-281.2998	-270.6722	-270.4843	-275.6538
15.5	-717.0166	-512.4007	-506.7519	-499.6921	-361.4726	-286.6783	-284.7477	-292.4721	-274.4685	-257.9893	-257.698	-265.7141
16	-502.3283	-479.0663	-478.4237	-477.6206	-284.5834	-276.2014	-275.9848	-276.8511	-254.6484	-252.8238	-252.7915	-253.6792
16.5		-523.8829	-492.7969	-453.9461	-736.9	-277.7694	-265.9248	-313.3162	-345.7573	-237.2056	-235.287	-288.0823
17	-688.4269	-497.6308	-492.3643	-485.7822	-350.7902	-281.0475	-279.2475	-286.4493	-269.4416	-254.1372	-253.8666	-261.3111
17.5	-452.2311	-519.3034	-521.1541	-523.4669	-269.1376	-292.8885	-293.5012	-291.0494	-260.5045	-265.6489	-265.7398	-263.2376
18	-345.9153	-557.1981	-563.0258	-570.3088	-235.2826	-308.8652	-310.7632	-303.1693	-262.6308	-278.6158	-278.8983	-271.1237
18.5	-460.7226	-600.1348	-603.9786	-608.7823	-275.3795	-324.2475	-325.5074	-320.4661	-278.3481	-289.1439	-289.3347	-284.0844
19		-665.85	-612.3703	-545.5391		-332.0567	-309.6393	-399.3507	-499.9042	-265.1194	-260.9754	-375.0816
19.5	-175.9468	-602.8892	-614.6567	-629.3622	-182.7961	-327.7355	-331.4716	-316.5224	-262.85	-294.2924	-294.848	-279.5572
20	-577.7571	-574.0144	-573.9115	-573.7828	-314.2842	-312.98	-312.9465	-313.0807	-279.6794	-279.4025	-279.3976	-279.5322
20.5	-707.0334	-535.2736	-530.5373	-524.6183	-358.5529	-296.0874	-294.477	-300.9209	-278.9851	-265.1812	-264.9373	-271.6504
21	-650.0903	-504.4297	-500.4121	-495.3911	-337.2992	-284.3506	-282.985	-288.4487	-268.6609	-257.0611	-256.8561	-262.4977
21.5	-276.0822	-489.9902	-495.8897	-503.2625	-208.9207	-283.6599	-285.5875	-277.8751	-244.8328	-260.7778	-261.0596	-253.3045
22		-483.2379	-466.3347	-445.2101	-504.1879	-268.7921	-262.7223	-287.0088	-292.2483	-239.3881	-238.4539	-264.1615
22.5	-574.5919	-502.7204	-500.7384	-498.2614	-310.8431	-284.6874	-284.0181	-286.696	-263.8708	-258.1999	-258.0997	-260.8576
23	-397.5605	-533.9802	-537.7401	-542.4387	-251.3486	-299.2989	-300.5346	-295.5899	-260.5852	-270.974	-271.1576	-266.1056
23.5	-380.977	-570.4478	-575.6674	-582.1901	-247.4723	-313.5995	-315.303	-308.4866	-267.3974	-281.8266	-282.0816	-275.0653
24	-627.5463	-593.187	-592.2412	-591.0594	-332.1947	-320.0181	-319.7048	-320.9588	-286.9688	-284.2931	-284.2459	-285.5466
24.5					2718.031	-547.1497	-631.2166	-294.8096	26.70831	-461.3282	-469.9535	-232.5923
25	-375.1306	-600.8871	-607.1024	-614.8688	-246.9401	-325.2936	-327.3107	-319.2388	-273.5364	-290.7253	-291.0289	-282.6719
25.5	-654.1302	-557.3891	-554.7249	-551.3956	-340.4177	-305.5871	-304.6903	-308.279	-280.6676	-272.9755	-272.8397	-276.5795
26	-690.4974	-522.5672	-517.9405	-512.1587	-352.2856	-291.16	-289.5856	-295.8858	-275.1245	-261.6658	-261.4281	-267.9721
26.5	-559.1014	-503.7152	-502.1887	-500.2813	-305.2586	-285.2968	-284.7825	-286.8407	-263.1886	-258.8323	-258.7553	-260.8737

VNB	VNB=2				VNB=4				VNB=6				
TIEMPO	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	SECCIÓN 3	SECCIÓN 4	(...CONT.)
27	96.87461	-524.0496	-541.1511	-562.5214	-93.54943	-301.0963	-306.4425	-285.0493	-233.2862	-276.9775	-277.7495	-256.504	
27.5	-825.7384	-479.1815	-469.6302	-457.6942	-400.5456	-271.3793	-268.0514	-281.3678	-273.638	-245.1732	-244.6703	-258.5116	
28	-481.554	-513.9287	-514.8201	-515.9341	-278.9016	-290.3849	-290.6805	-289.4975	-260.9936	-263.4679	-263.5115	-262.3086	
28.5	-379.3206	-548.7316	-553.395	-559.2223	-245.9179	-305.2355	-306.7623	-300.6525	-262.7015	-275.575	-275.8024	-269.5436	
29	-455.4952	-576.345	-579.6703	-583.8256	-272.6154	-315.134	-316.2279	-311.8502	-272.9345	-282.2689	-282.4337	-277.8961	
29.5	-798.0123	-571.4756	-565.243	-557.455	-392.3125	-309.6485	-307.5226	-316.0305	-292.9125	-274.5012	-274.1754	-283.1474	
30	1336.431	-783.0175	-841.1327	-913.7352	211.3326	-394.7447	-410.3095	-348.013	-227.0493	-352.8147	-355.0345	-293.9135	
30.5	-534.9359	-585.6374	-587.0322	-588.775	-299.9716	-317.9624	-318.4251	-316.5733	-279.6546	-283.6406	-283.711	-281.7734	
31	-686.0764	-541.3361	-537.3533	-532.3764	-351.2755	-298.792	-297.4419	-302.8448	-279.0518	-267.4703	-267.2658	-272.8957	
31.5	-644.8862	-515.1628	-511.5919	-507.1297	-335.8277	-288.7609	-287.5496	-292.3967	-270.7252	-260.4051	-260.2228	-265.2399	
32	-454.3884	-510.6954	-512.2449	-514.1812	-269.4785	-289.4517	-289.9655	-287.9091	-258.7709	-263.0776	-263.1536	-261.06	
32.5	1276.807	-662.048	-715.2701	-781.7642	209.7587	-357.0368	-371.6039	-313.3032	-209.1901	-324.8853	-326.9279	-270.6917	
33	-641.6332	-487.6277	-483.3874	-478.0887	-333.8198	-277.6254	-276.1789	-281.9672	-264.4404	-252.1652	-251.9484	-257.9163	
33.5	-418.6987	-528.3272	-531.3428	-535.111	-258.1753	-296.8327	-297.8269	-293.8481	-260.5566	-268.9174	-269.065	-265.0009	
34	-399.519	-560.3585	-564.7805	-570.3057	-253.1541	-309.5193	-310.9682	-305.1694	-266.3075	-278.5814	-278.7981	-272.8324	
34.5	-550.8807	-573.3323	-573.9497	-574.7213	-304.9639	-313.0039	-313.2106	-312.3833	-277.9182	-279.7103	-279.7419	-278.8708	
35	-939.428	-537.7901	-526.7454	-512.9451	-444.1575	-294.1902	-290.3361	-305.761	-294.5287	-260.9301	-260.3371	-276.6661	
35.5	22.30383	-688.2018	-707.6865	-732.0287	-126.6057	-360.0241	-366.0121	-342.0436	-269.5749	-320.3542	-321.25	-296.5786	
36	-636.2141	-565.95	-564.0195	-561.6075	-334.4017	-309.1961	-308.5488	-311.1397	-281.4775	-275.9229	-275.8248	-278.5241	
36.5	-679.8686	-528.7622	-524.6075	-519.4163	-348.7078	-293.8024	-292.3913	-298.0388	-275.8596	-263.7772	-263.5639	-269.4362	
37	-581.2332	-513.5488	-511.6873	-509.3613	-313.3619	-288.9435	-288.3157	-290.8282	-266.6143	-261.2767	-261.1824	-263.7768	
37.5	-346.6105	-525.7812	-530.7063	-536.86	-233.9399	-296.6959	-298.3088	-291.8537	-256.049	-269.5625	-269.8011	-263.233	
38		-133.1334	-52.52521	48.23868		-8.674386	32.48925	-132.155	-370.8804	23.00003	29.97438	-161.7789	
38.5	-510.1049	-502.4244	-502.2127	-501.9482	-288.2578	-285.4229	-285.3498	-285.6421	-260.1158	-259.4711	-259.4597	-259.7732	
39	-392.3024	-542.8691	-547.0056	-552.1739	-249.9539	-302.8121	-304.1698	-298.7358	-262.1827	-273.6334	-273.8355	-268.2708	
39.5	-451.2972	-566.3195	-569.478	-573.4244	-270.7627	-311.2932	-312.3338	-308.1689	-270.5433	-279.4097	-279.5662	-275.2578	
40	-643.2277	-562.3219	-560.1006	-557.3255	-336.7349	-307.6856	-306.9402	-309.924	-281.0974	-274.7048	-274.5921	-277.6981	
40.5		-493.7775	-478.8944	-460.2983	-480.4374	-274.3121	-269.0164	-290.2116	-290.5742	-244.4884	-243.675	-266.0717	
41	-433.731	-630.1914	-635.5786	-642.3085	-267.5669	-335.9775	-337.7314	-330.7108	-283.2861	-298.4268	-298.6938	-291.3388	
41.5	-681.6705	-547.5579	-543.8755	-539.2747	-349.922	-301.3501	-300.1035	-305.0929	-280.1757	-269.4632	-269.2742	-274.4792	
42	-645.917	-521.0208	-517.5895	-513.3026	-336.4098	-291.1102	-289.947	-294.6027	-272.0827	-262.1482	-261.9729	-266.8005	
42.5	-510.674	-517.5832	-517.7727	-518.0095	-289.0265	-291.4584	-291.5207	-291.2712	-263.4236	-263.9367	-263.9457	-263.6964	
43	-248.2149	-549.6245	-557.8974	-568.2332	-202.8609	-306.9848	-309.657	-298.961	-255.7416	-278.1414	-278.5366	-267.6524	
43.5	-963.6425	-396.6492	-381.0346	-361.5225	-451.8586	-233.546	-227.9271	-250.4124	-263.1021	-215.3336	-214.4899	-237.7132	
44	-425.2388	-519.9717	-522.5727	-525.8224	-260.006	-293.4639	-294.3227	-290.8853	-259.1351	-266.343	-266.4702	-262.9678	
44.5	-402.8336	-554.5982	-558.7623	-563.9647	-253.9787	-307.2517	-308.6182	-303.1483	-265.2721	-276.8467	-277.0509	-271.4274	
45	-519.8765	-565.5864	-566.8405	-568.4073	-294.0284	-310.297	-310.7143	-309.0441	-274.3905	-277.9744	-278.0377	-276.2965	
45.5	-711.7449	-546.0858	-541.5406	-535.8621	-360.6102	-300.4094	-298.8658	-305.0449	-281.7039	-268.4174	-268.183	-274.6376	
46		-431.162	-413.1203	-390.5767	-500.611	-248.2943	-239.7574	-265.919	-279.0862	-222.7152	-221.7201	-249.1181	
46.5	-630.3696	-588.2363	-587.0823	-585.6406	-333.0828	-318.0756	-317.6915	-319.2294	-286.0897	-282.7951	-282.7371	-284.3371	
47	-683.37	-533.3664	-529.2505	-524.1085	-350.1288	-295.6195	-294.2218	-299.817	-277.1023	-265.1081	-264.8966	-270.7234	
47.5	-595.3899	-518.4333	-516.321	-513.6821	-318.5122	-290.7167	-290.0036	-292.8579	-268.5114	-262.4324	-262.3251	-265.2787	
48	-444.5176	-526.6194	-528.8716	-531.6854	-266.7888	-295.8457	-296.5909	-293.6082	-261.6279	-267.9077	-268.0185	-264.9677	
48.5	-175.7388	-583.8009	-594.9803	-608.9458	-181.4111	-320.6219	-324.1883	-309.9115	-258.9467	-288.9607	-289.4899	-274.9111	
49	-570.92	-458.3453	-455.2509	-451.3846	-307.8479	-266.7102	-265.6533	-269.8835	-253.951	-245.0089	-244.8511	-249.197	
49.5	-386.3076	-537.0596	-541.1932	-546.3573	-247.6672	-300.6126	-301.9697	-296.537	-260.6162	-272.0499	-272.2515	-266.6972	
50	-443.209	-561.2892	-564.5252	-568.5677	-267.805	-309.4241	-310.4904	-306.2221	-269.0029	-278.0816	-278.2417	-273.832	
50.5	-587.3113	-558.9503	-558.1734	-557.203	-317.0685	-306.966	-306.7074	-307.7427	-276.9568	-274.7566	-274.7178	-275.7863	
51	-743.7453	-527.9584	-522.0411	-514.6488	-371.6828	-292.6727	-290.6481	-298.7527	-279.6037	-262.1836	-261.8764	-270.3379	
51.5		-266.8765	-242.9608	-213.0713	-519.1075	-170.4935	-161.4981	-197.4875	-242.7715	-167.6962	-166.369	-202.8865	
52	-704.1753	-558.2612	-554.2642	-549.2711	-358.2913	-305.3953	-304.0413	-309.462	-283.9859	-272.3	-272.0941	-277.7691	
52.5	-655.2114	-524.4269	-520.8412	-516.3617	-339.8465	-292.3651	-291.1485	-296.0186	-273.3955	-262.981	-262.7974	-267.856	
53	-539.0366	-520.6589	-520.1547	-519.5249	-298.9473	-292.3199	-292.15	-292.8302	-265.7157	-264.2587	-264.233	-264.9408	
53.5	-394.4267	-539.4543	-543.4278	-548.3915	-250.4609	-301.4544	-302.7604	-297.5321	-261.5722	-272.597	-272.7914	-267.4365	
54	-155.8338	-633.9495	-647.0164	-663.3373	-177.7967	-339.4166	-343.5475	-327.0082	-268.2121	-303.3427	-303.9616	-286.9055	
54.5	-403.7104	-497.4314	-500.0007	-503.2104	-251.7511	-284.8303	-285.6779	-282.2848	-253.1475	-260.1978	-260.3221	-256.8973	
55	-389.7359	-550.7682	-555.1777	-560.8859	-249.407	-305.9038	-307.35	-301.5604	-263.7248	-275.9636	-276.1794	-270.2356	

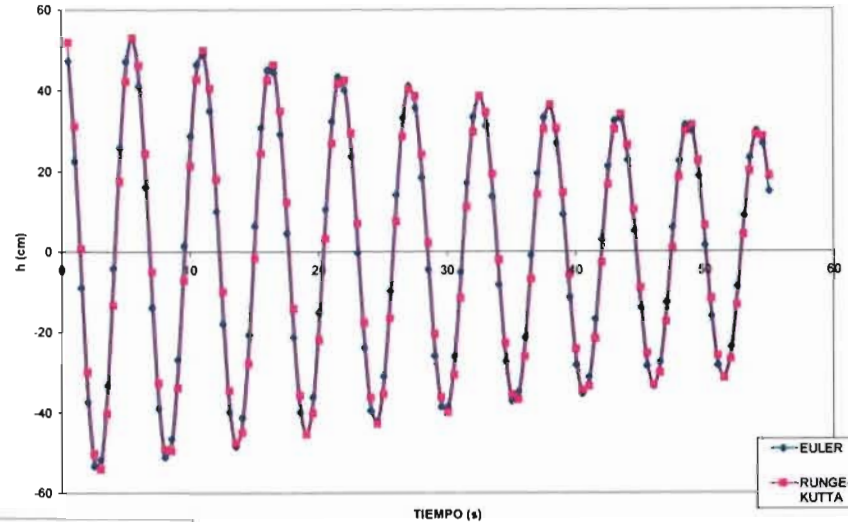


# Gráficas generadas

## CALIBRACIÓN

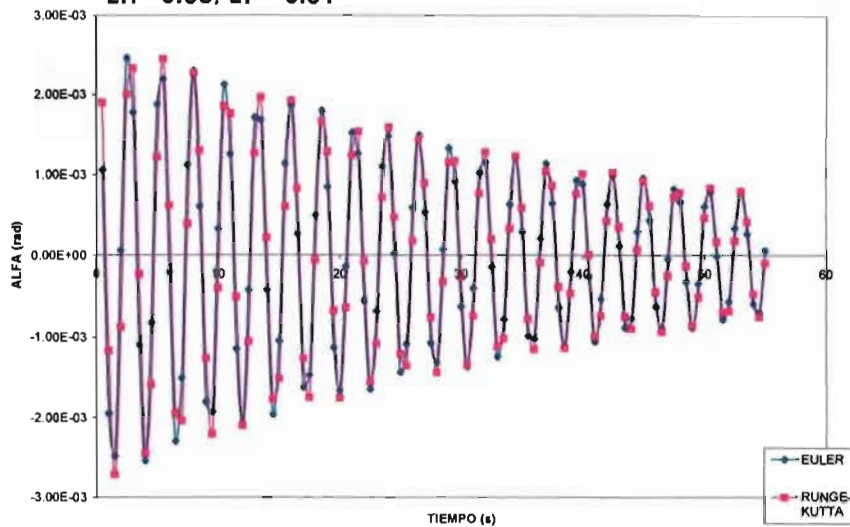
\* Variación del amortiguamiento  
CASO 1, ambos positivos

EH = 0.03, ET = 0.01 DESPLAZAMIENTO

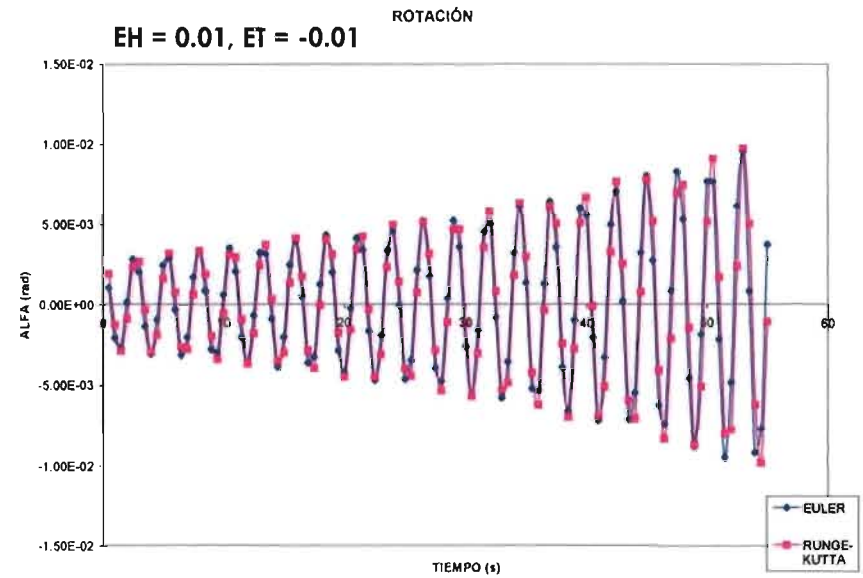
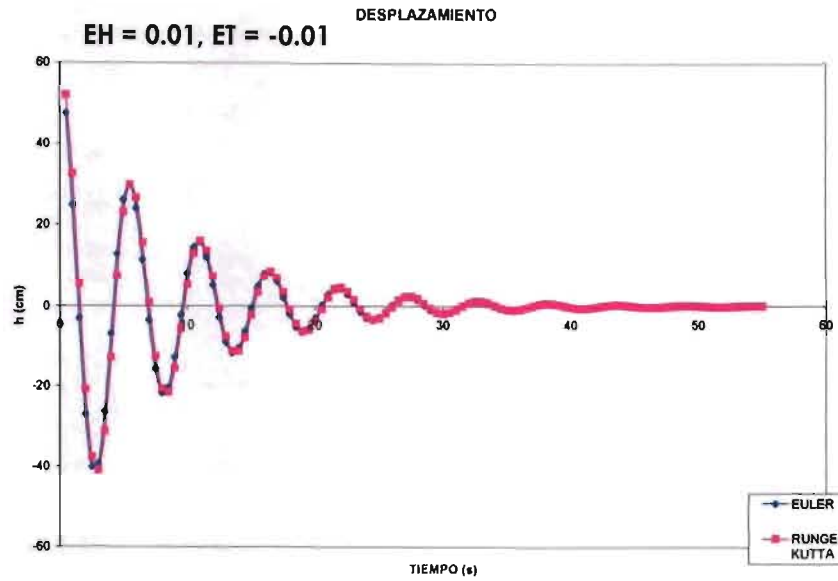


ROTACIÓN

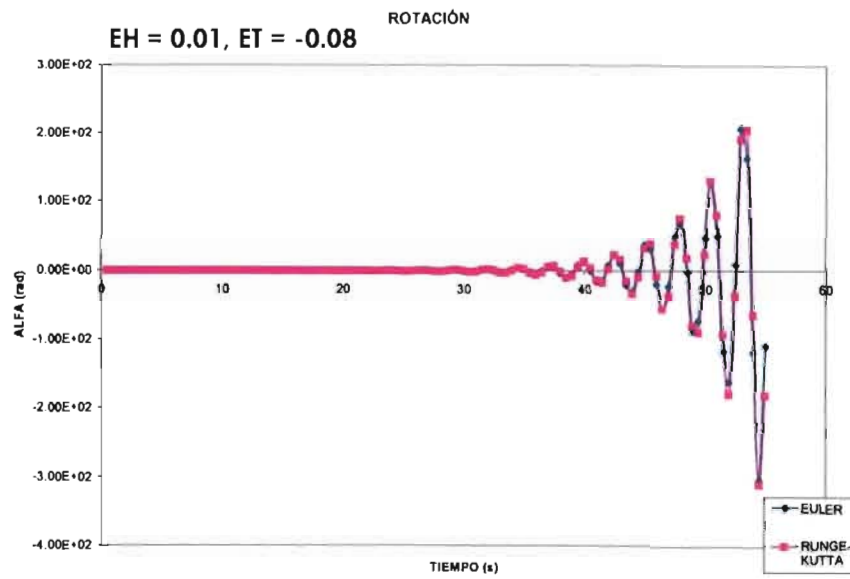
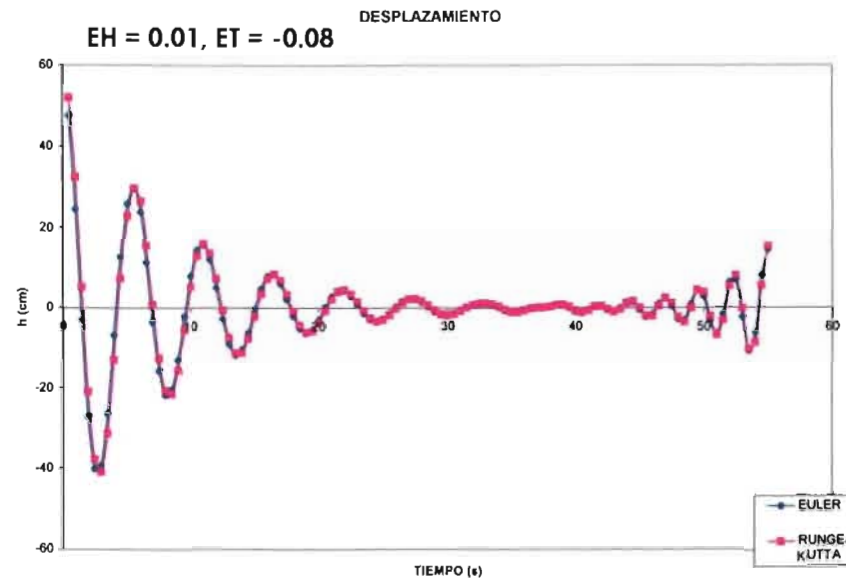
EH = 0.03, ET = 0.01



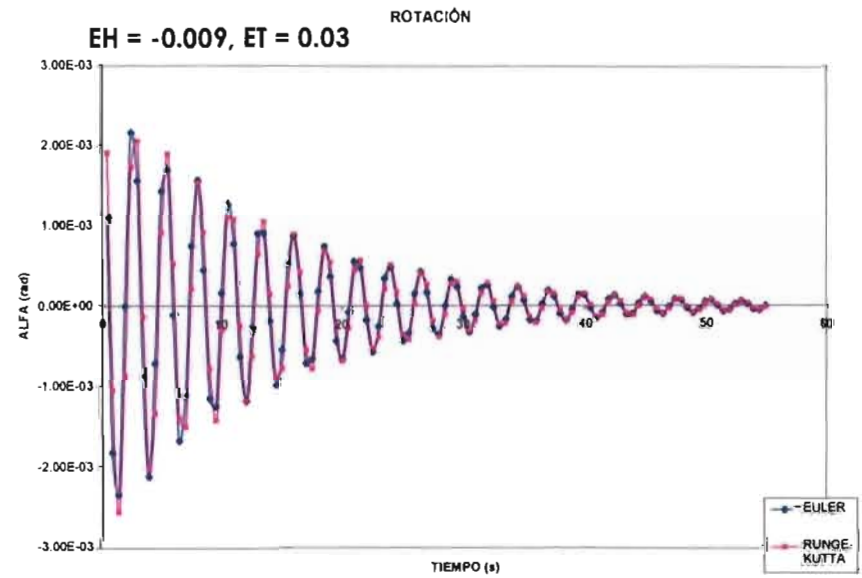
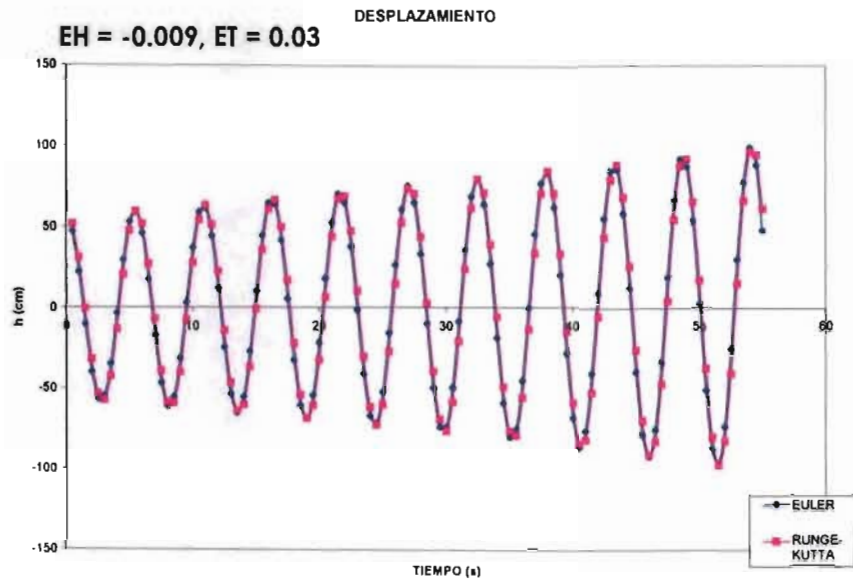
## CASO 2, EH (+), ET (-)



## CASO 2, EH (+), ET (-)

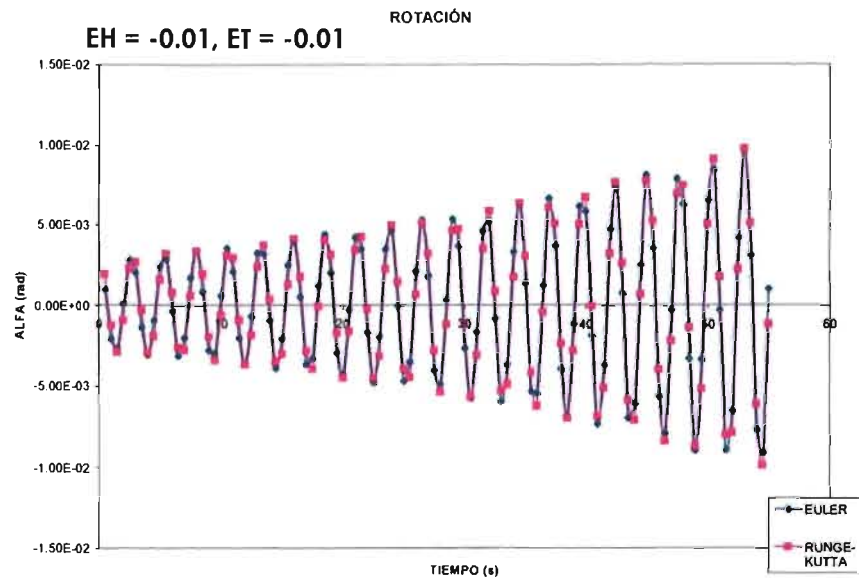
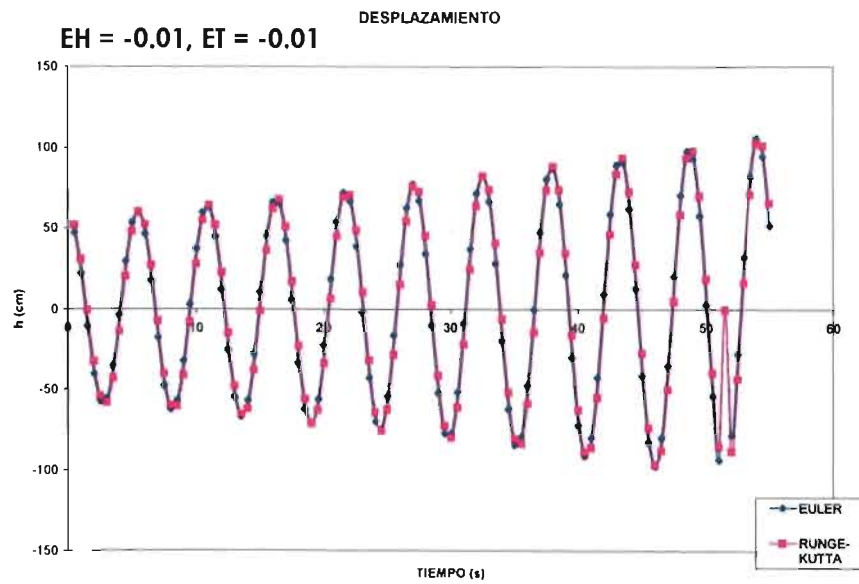


### CASO 3, EH (-), ET (+)

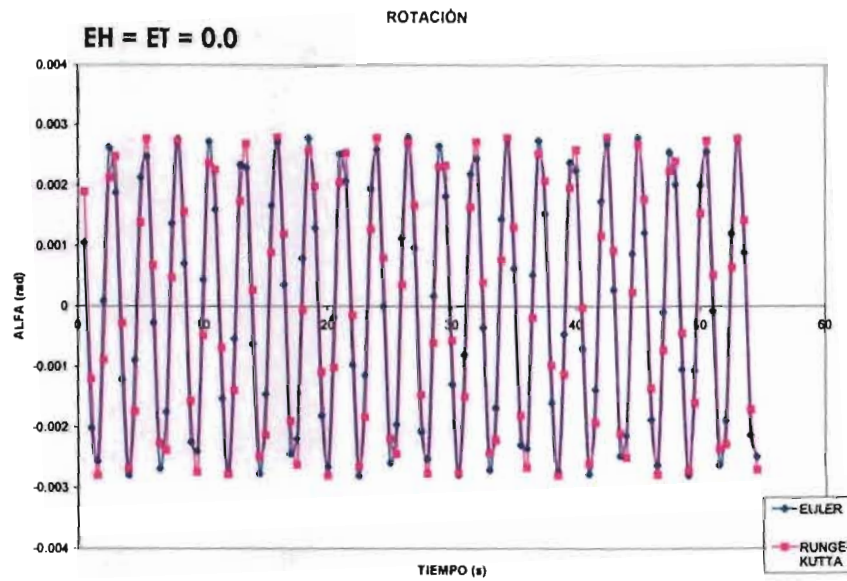
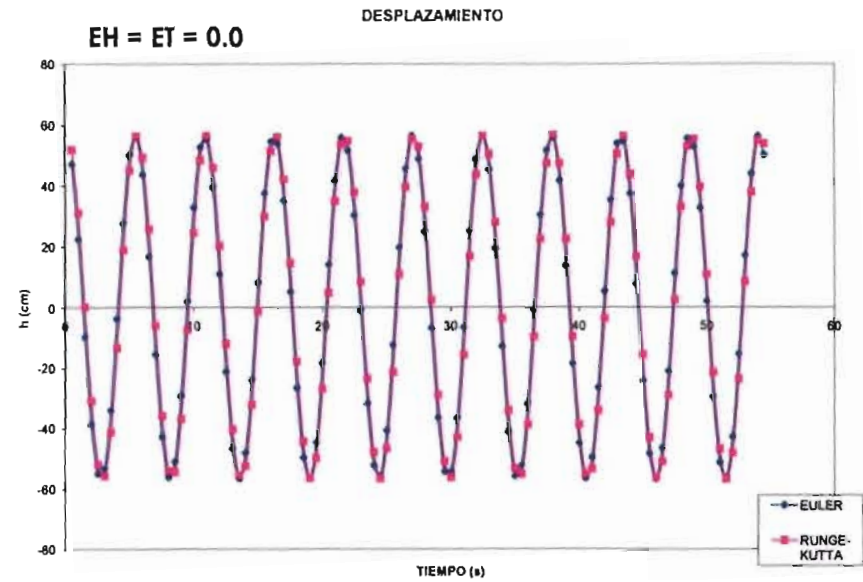




## CASO 4, EH (-), ET (-)

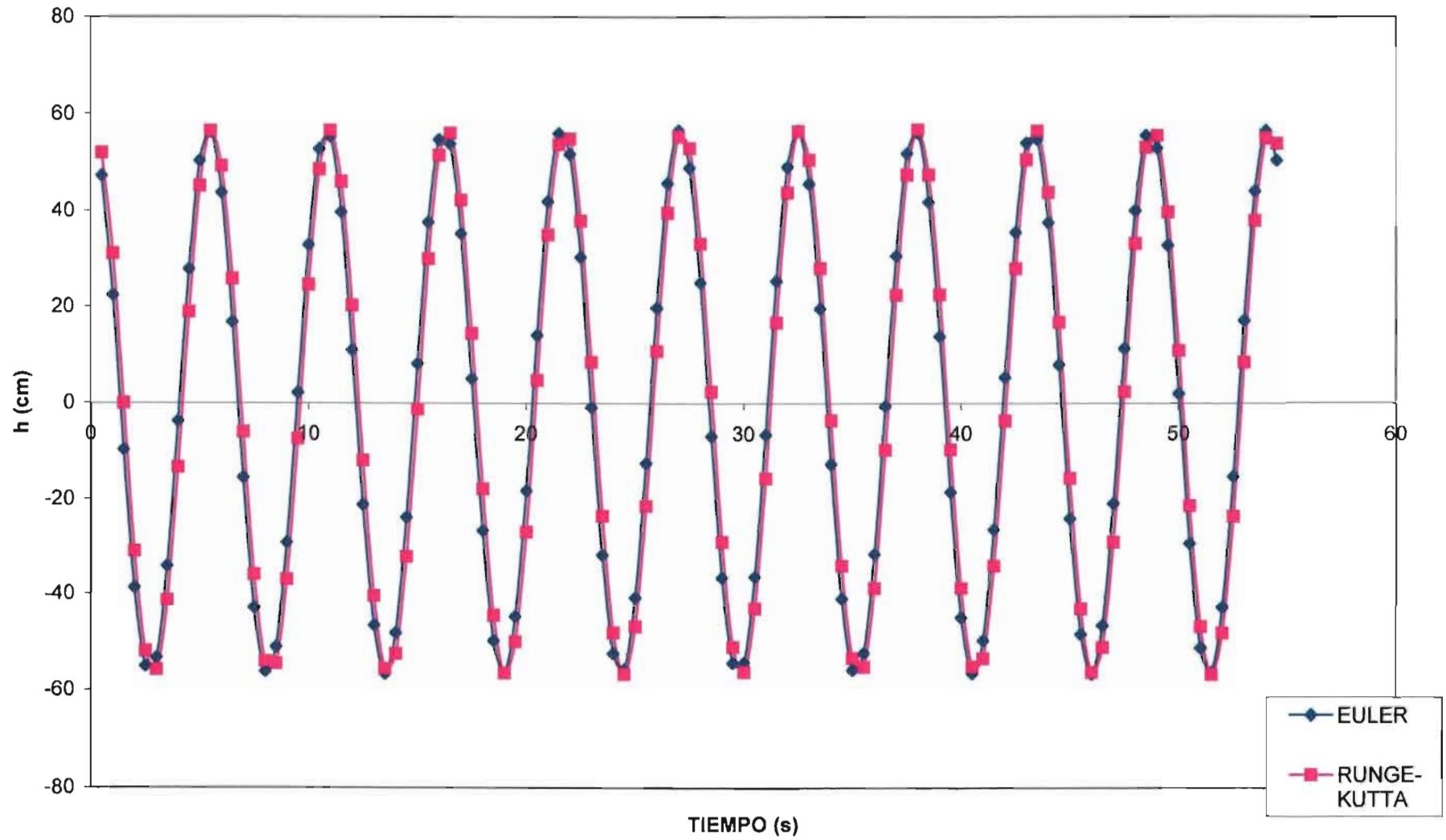


CASO 5,  $E_H = E_T = 0.0$



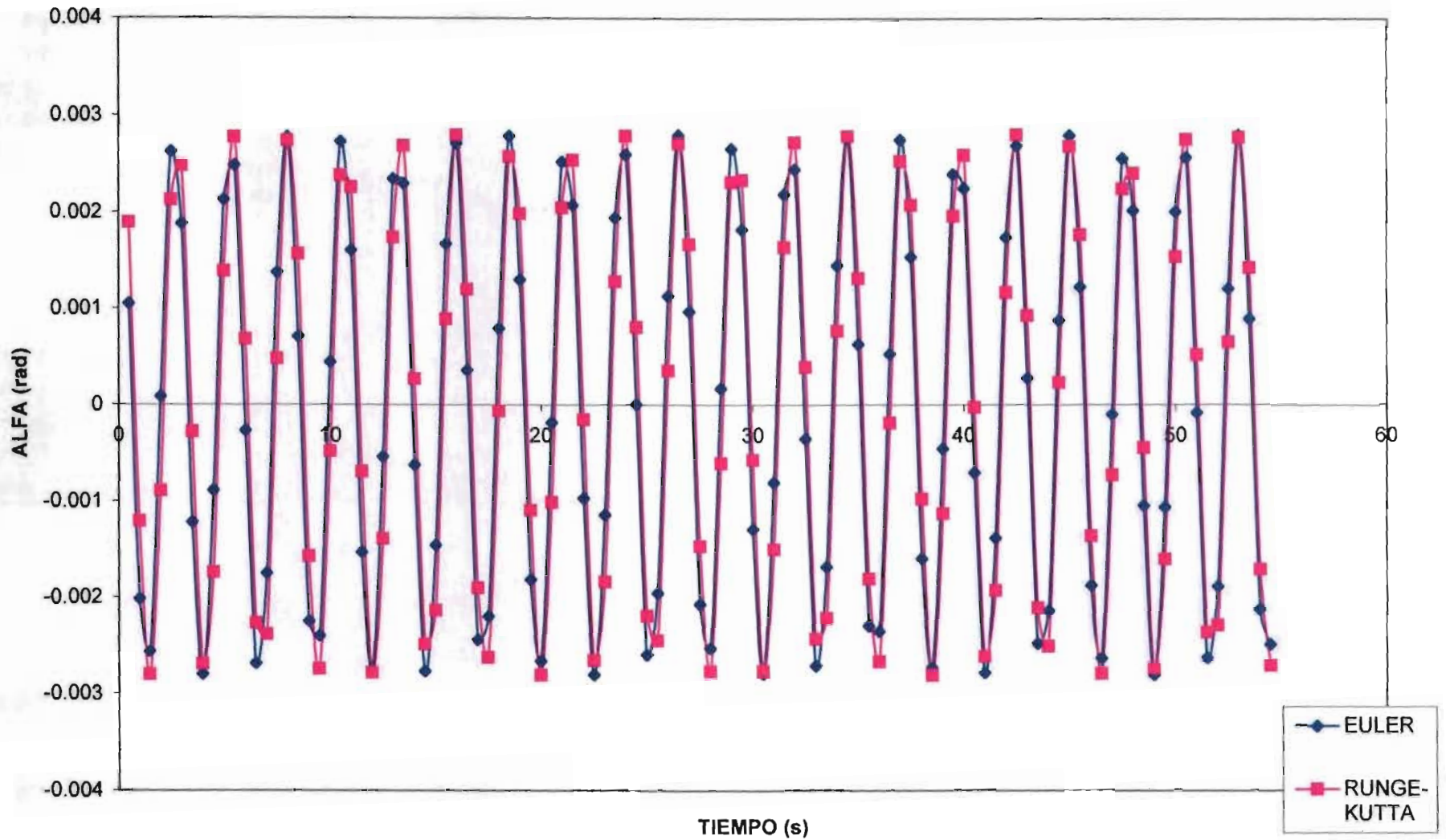
V/NB=2.019  
EH=0.00; ET=0.00

### DESPLAZAMIENTO VERTICAL



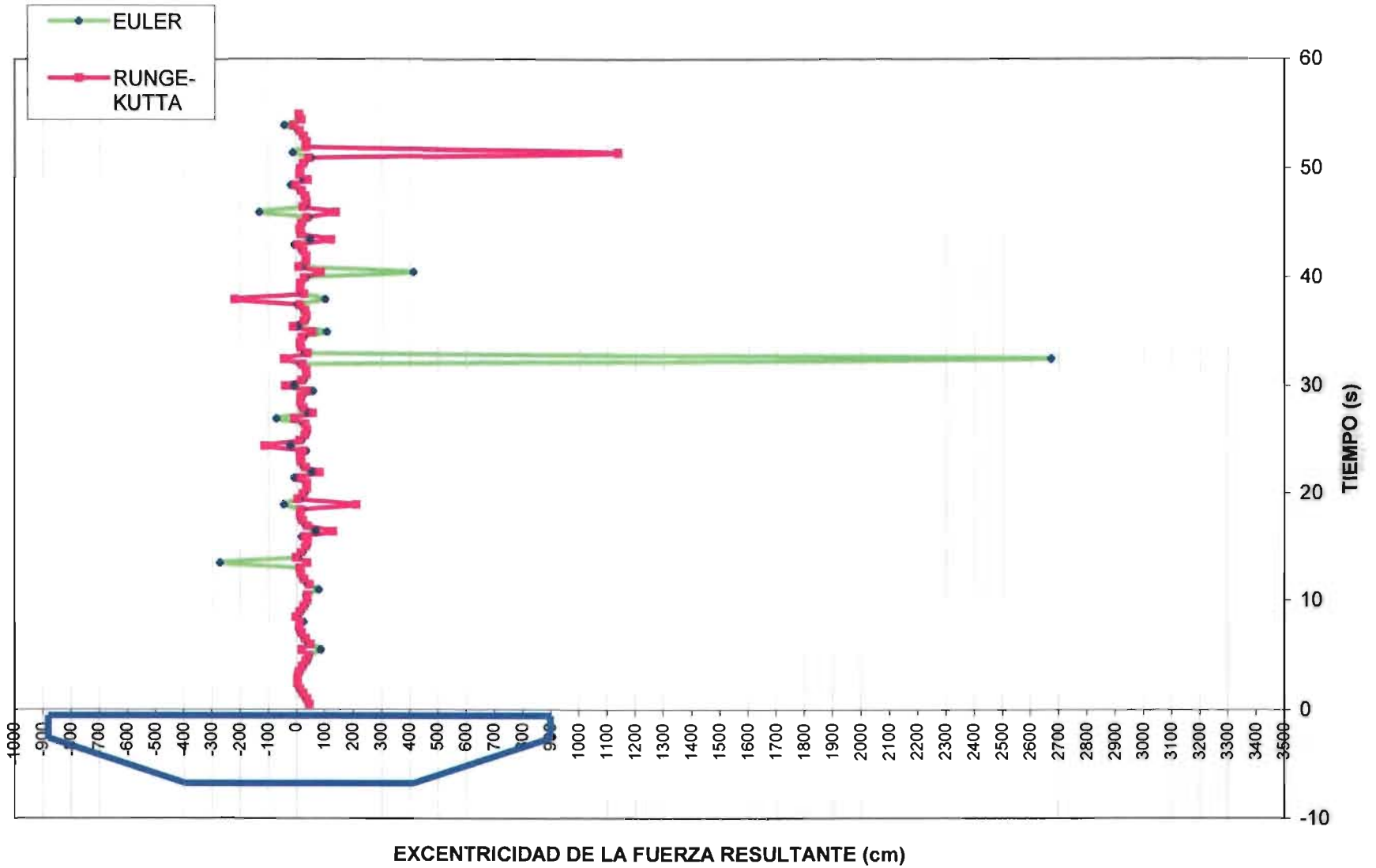
$V/NB=2.019$   
 $EH=0.00; ET=0.00$

DESPLAZAMIENTO ANGULAR (ROTACIÓN)



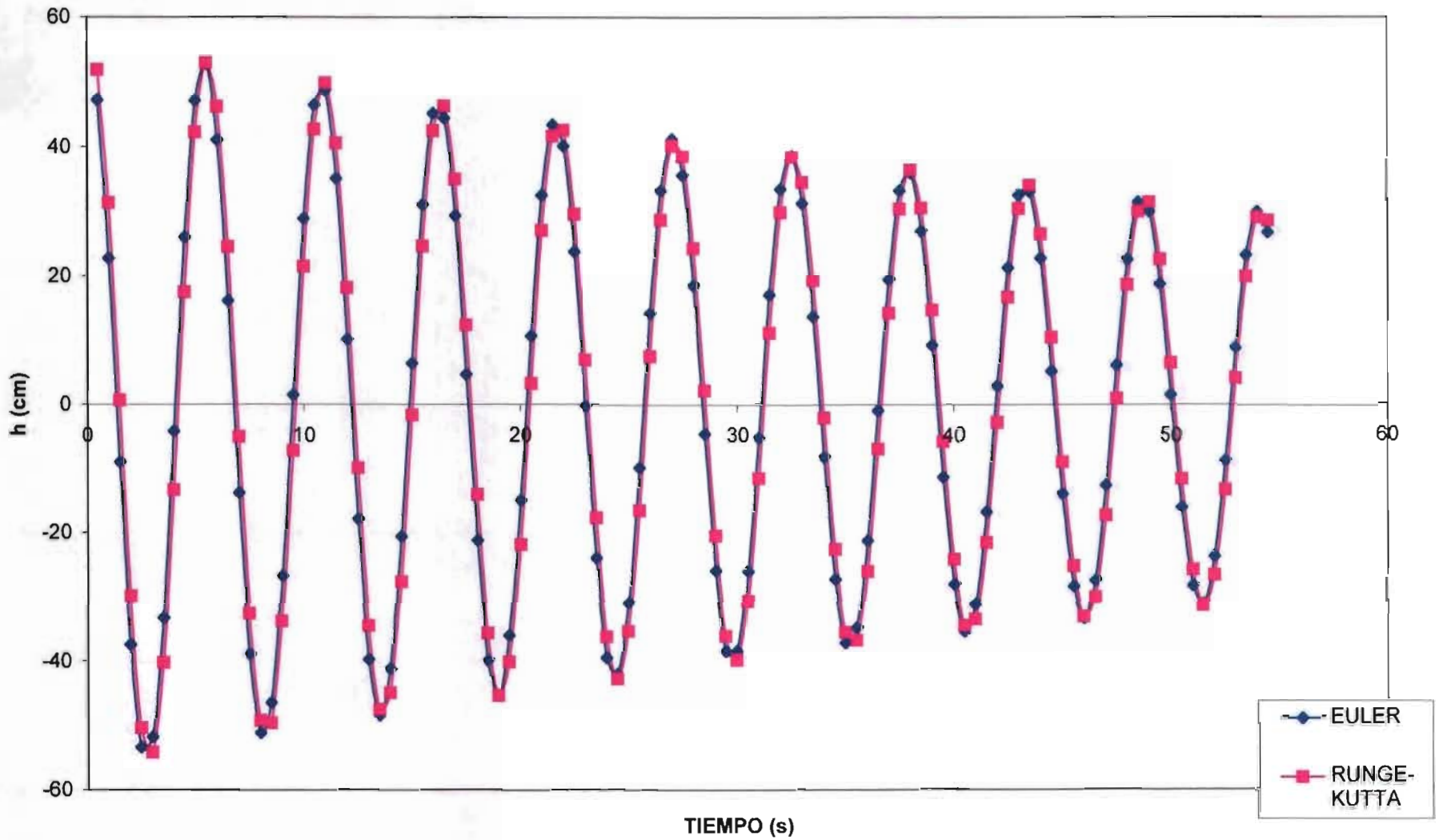
V/NB=2.019  
EH=0.00; ET=0.00

### EXCENTRICIDAD



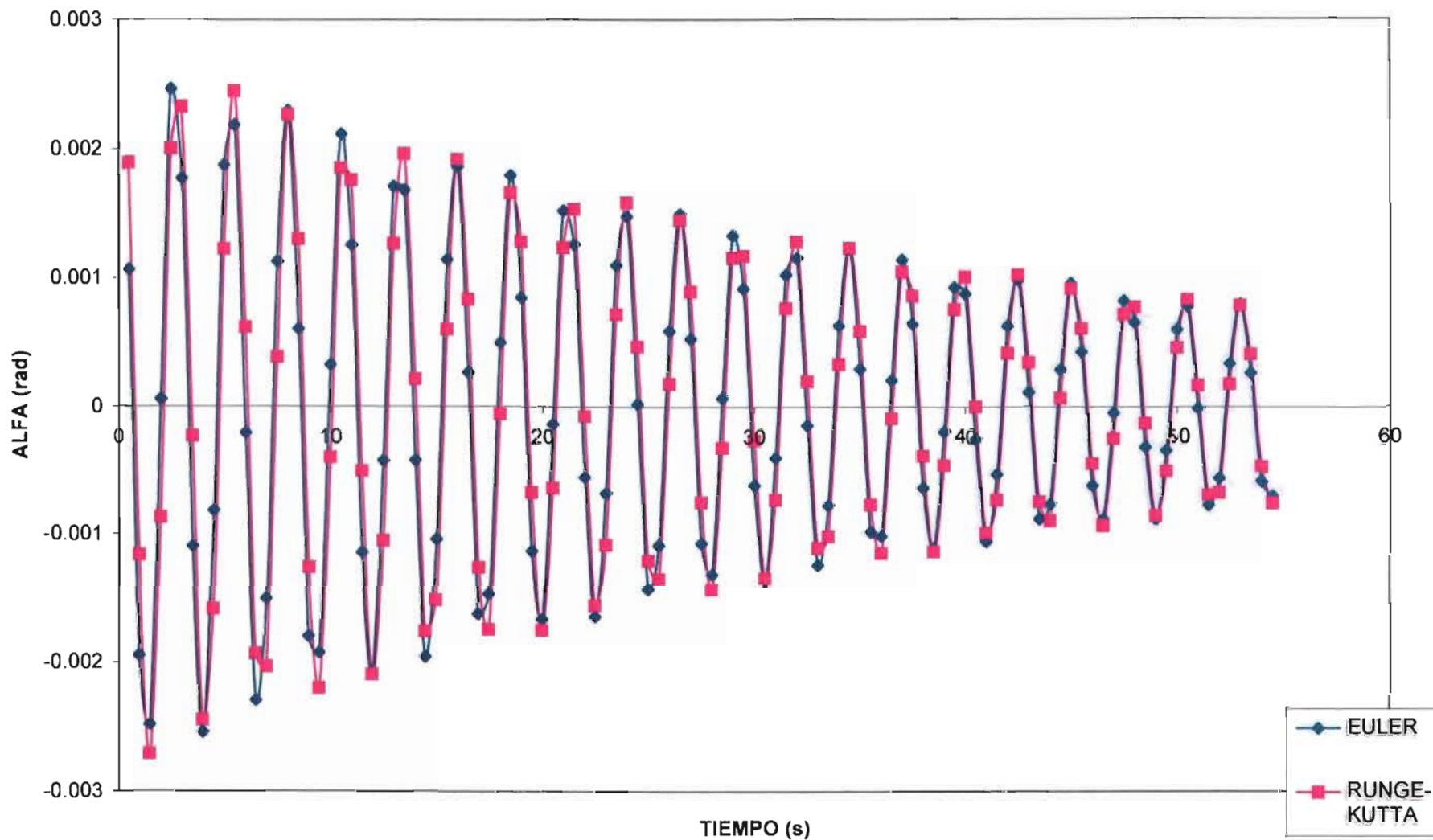
$V/NB=2.019$   
 $EH=0.1; ET=0.1$

### DESPLAZAMIENTO VERTICAL



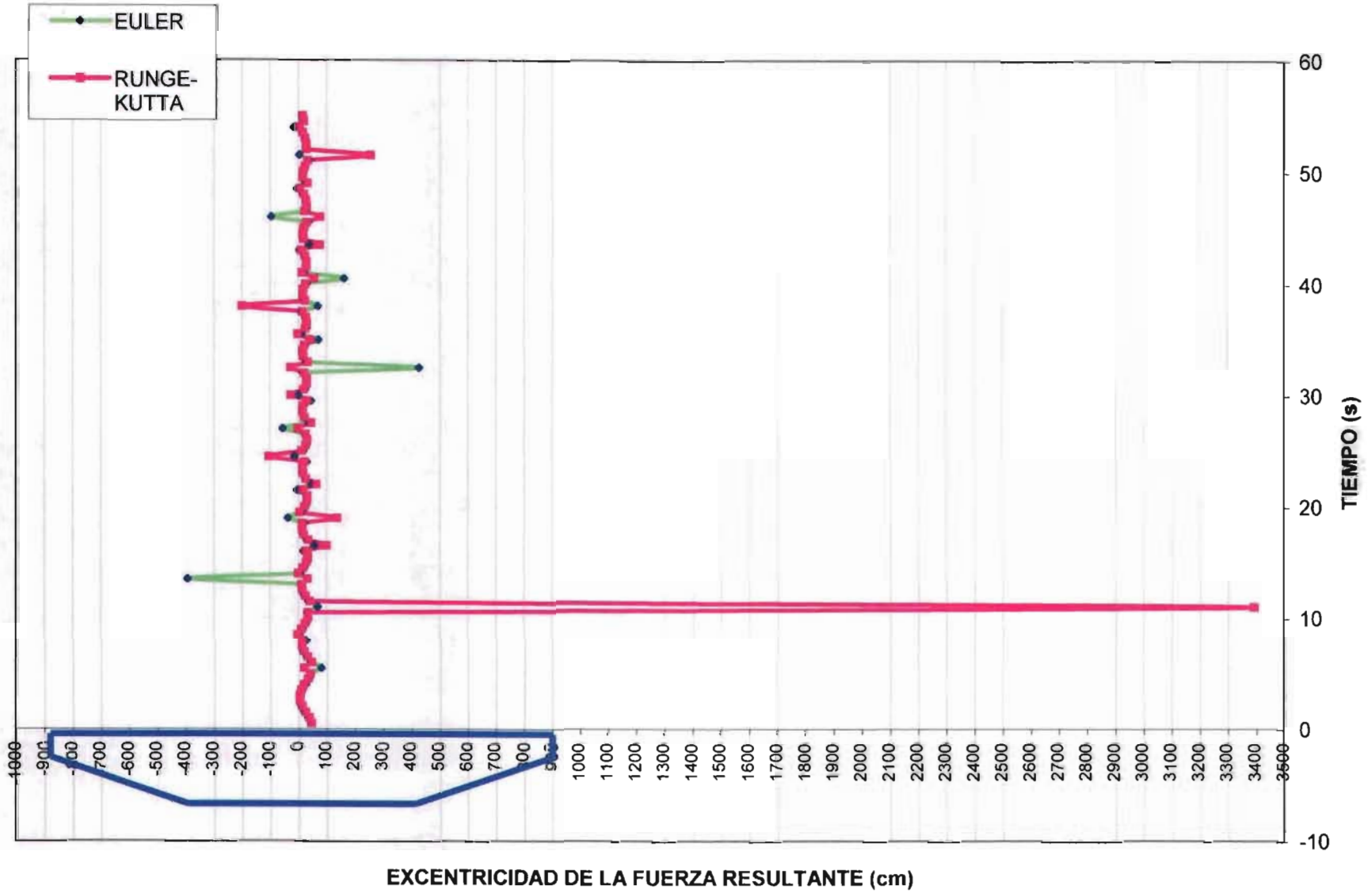
V/NB=2.019  
EH=0.1; ET=0.1

### ROTACIÓN



V/NB=2.019  
EH=0.1; ET=0.1

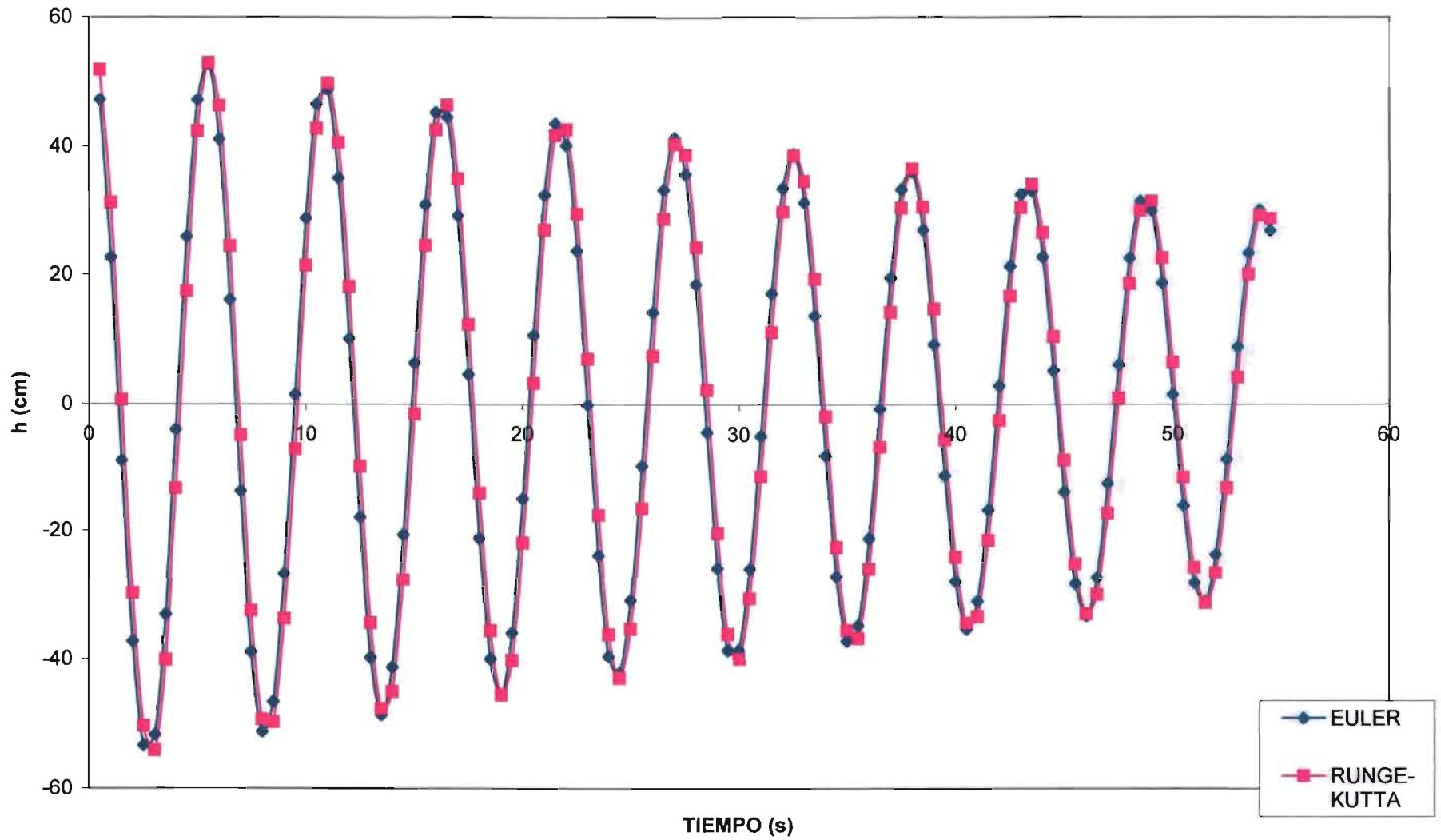
### EXCENTRICIDAD





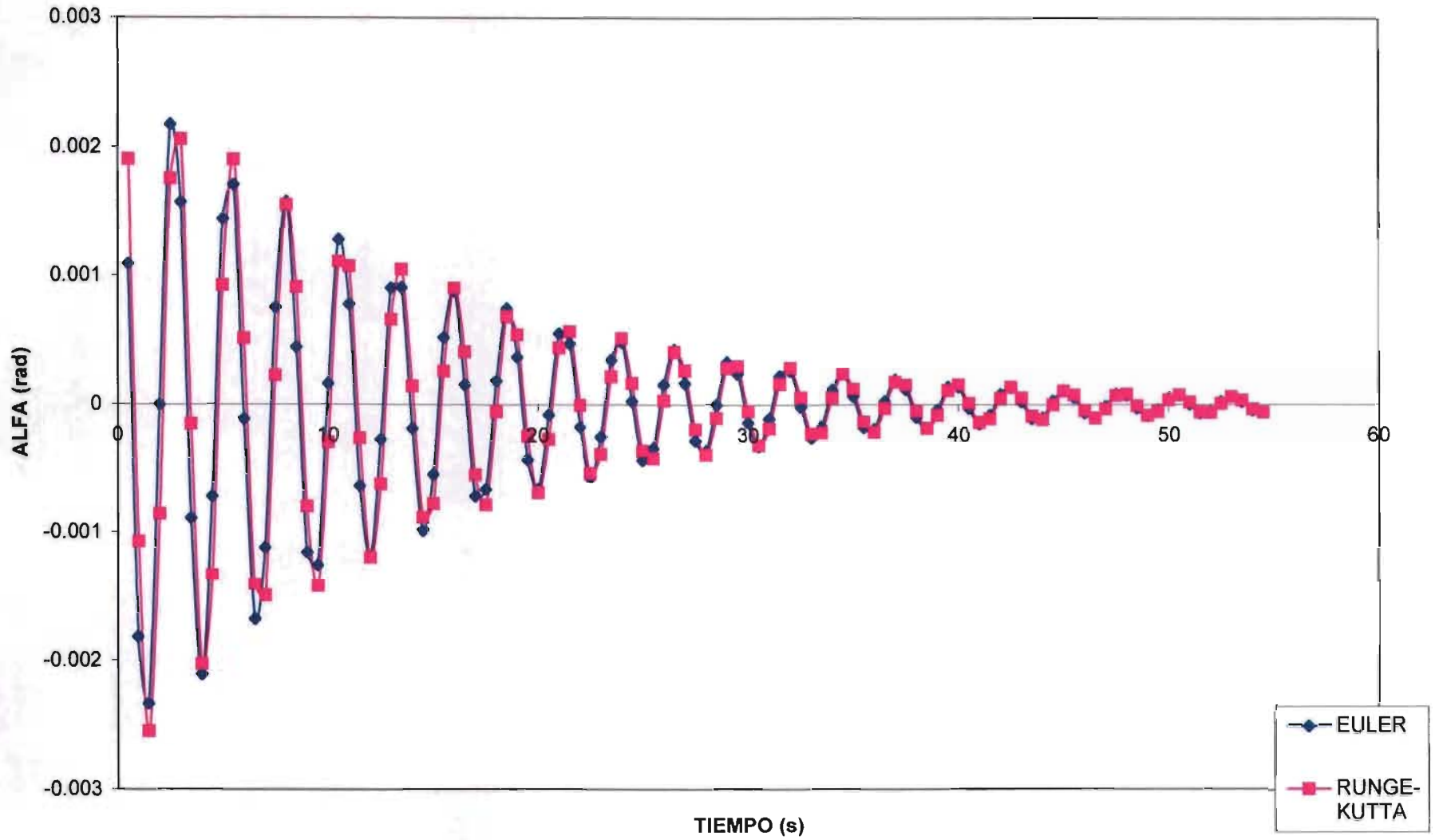
V/NB=2.019  
EH=0.1; ET=0.3

### DESPLAZAMIENTO VERTICAL



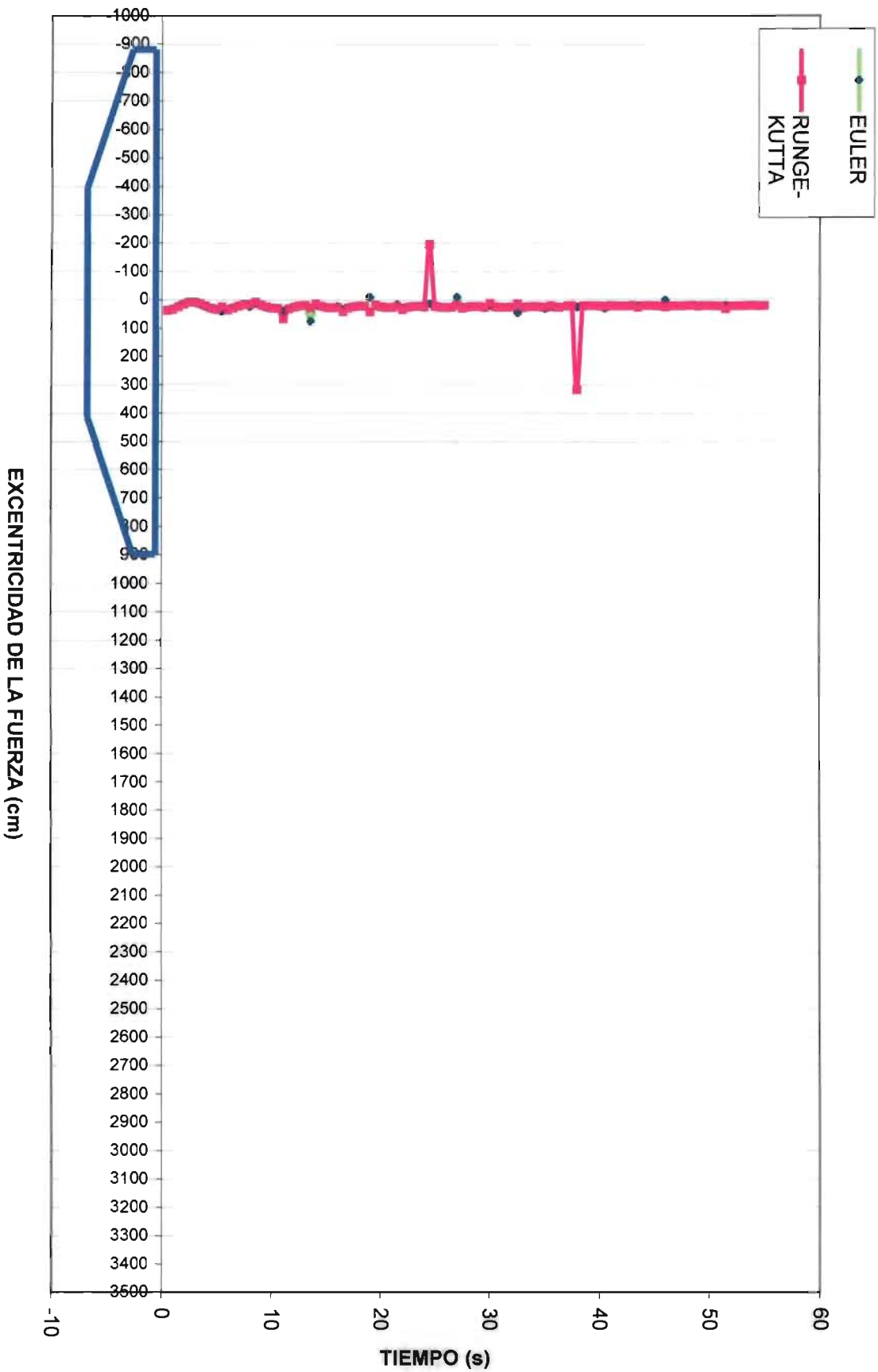
V/NB=2.019  
EH=0.1; ET=0.3

ROTACIÓN



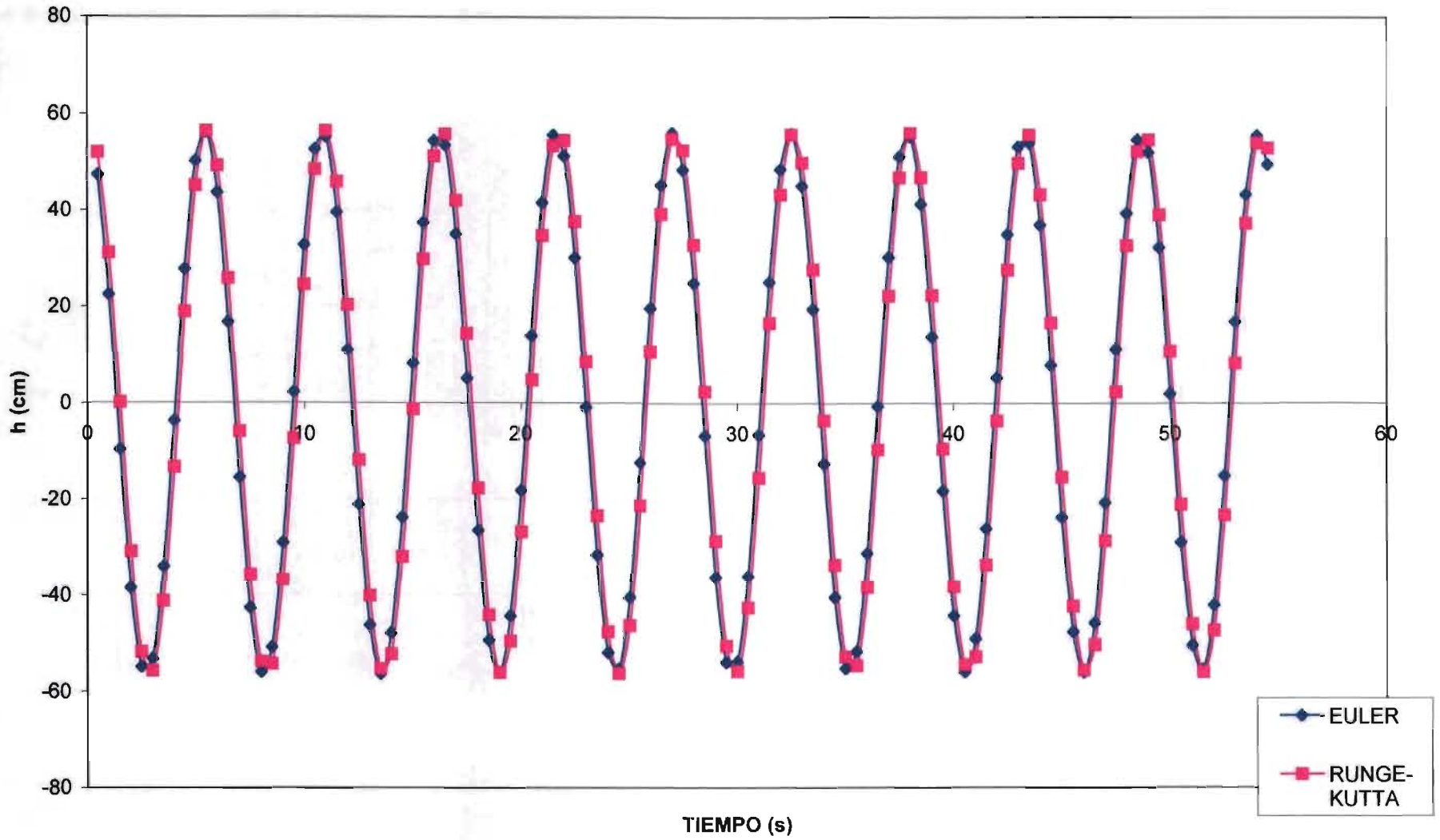
V=2.019  
EH=0.1; ET=0.3

### EXCENRICIDAD



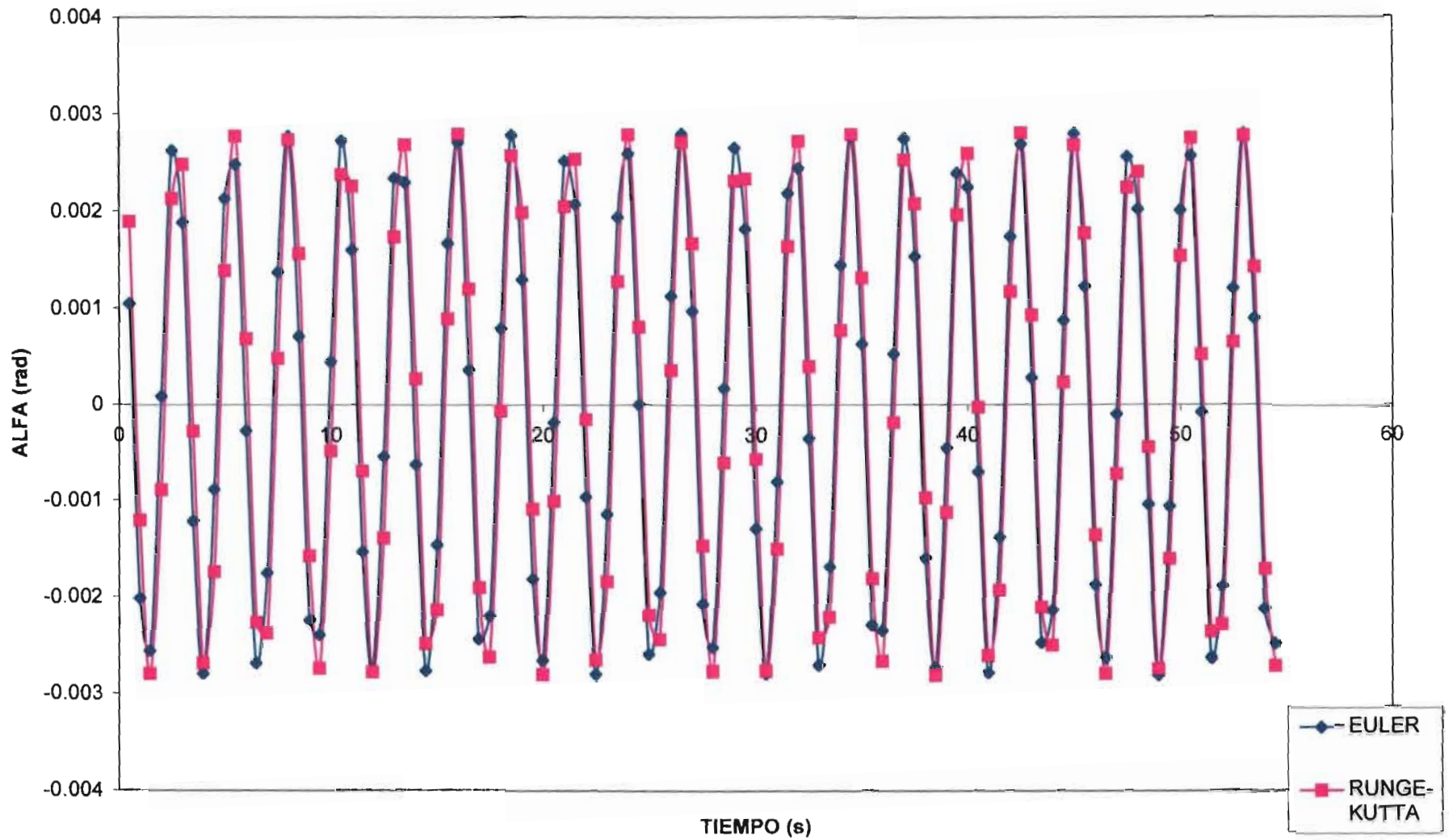
$V/NB=4.002$   
 $EH=0.00; ET=0.00$

DESPLAZAMIENTO VERTICAL



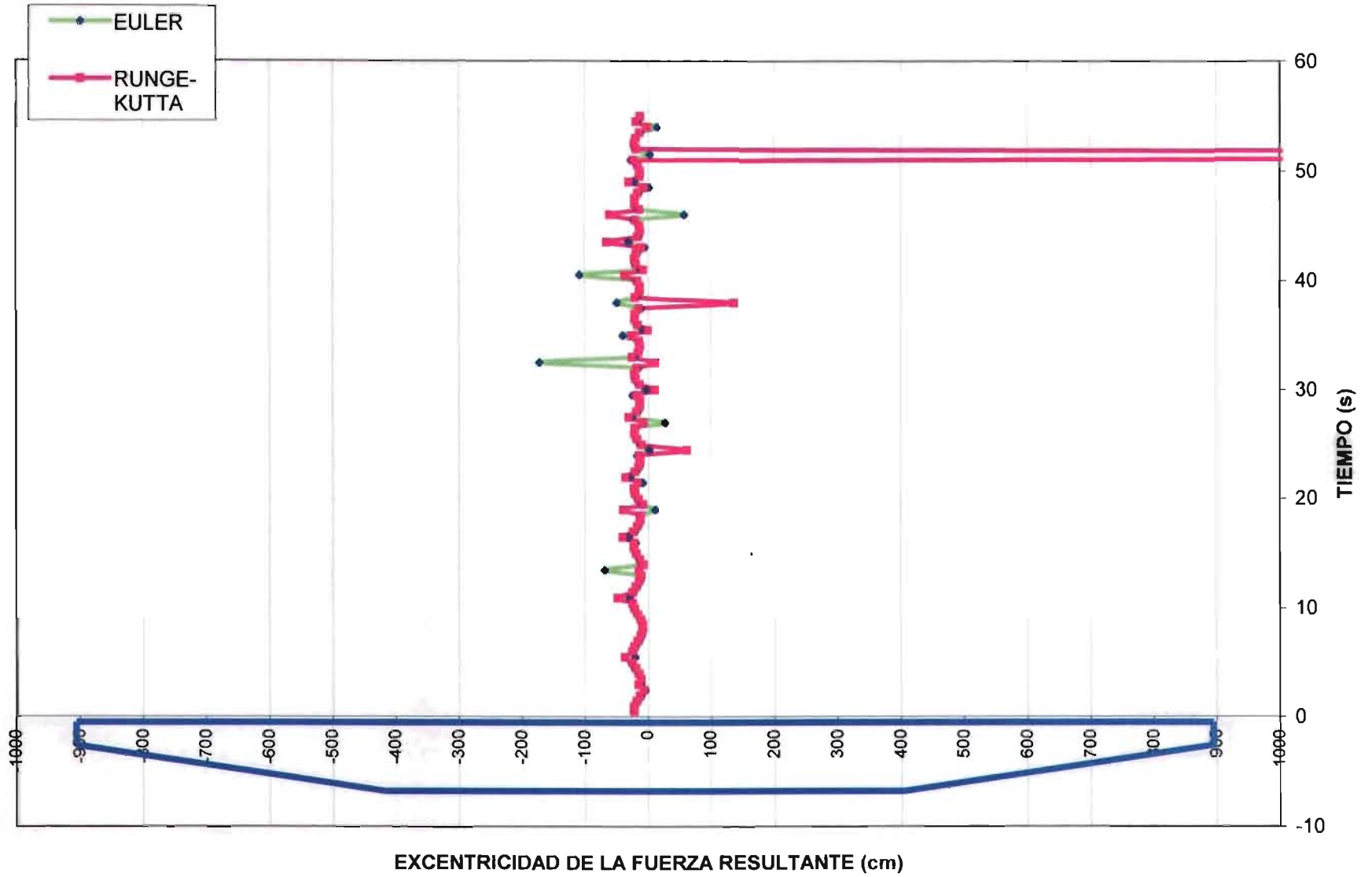
V/NB=4.002  
EH=0.00; ET=0.00

### ROTACIÓN



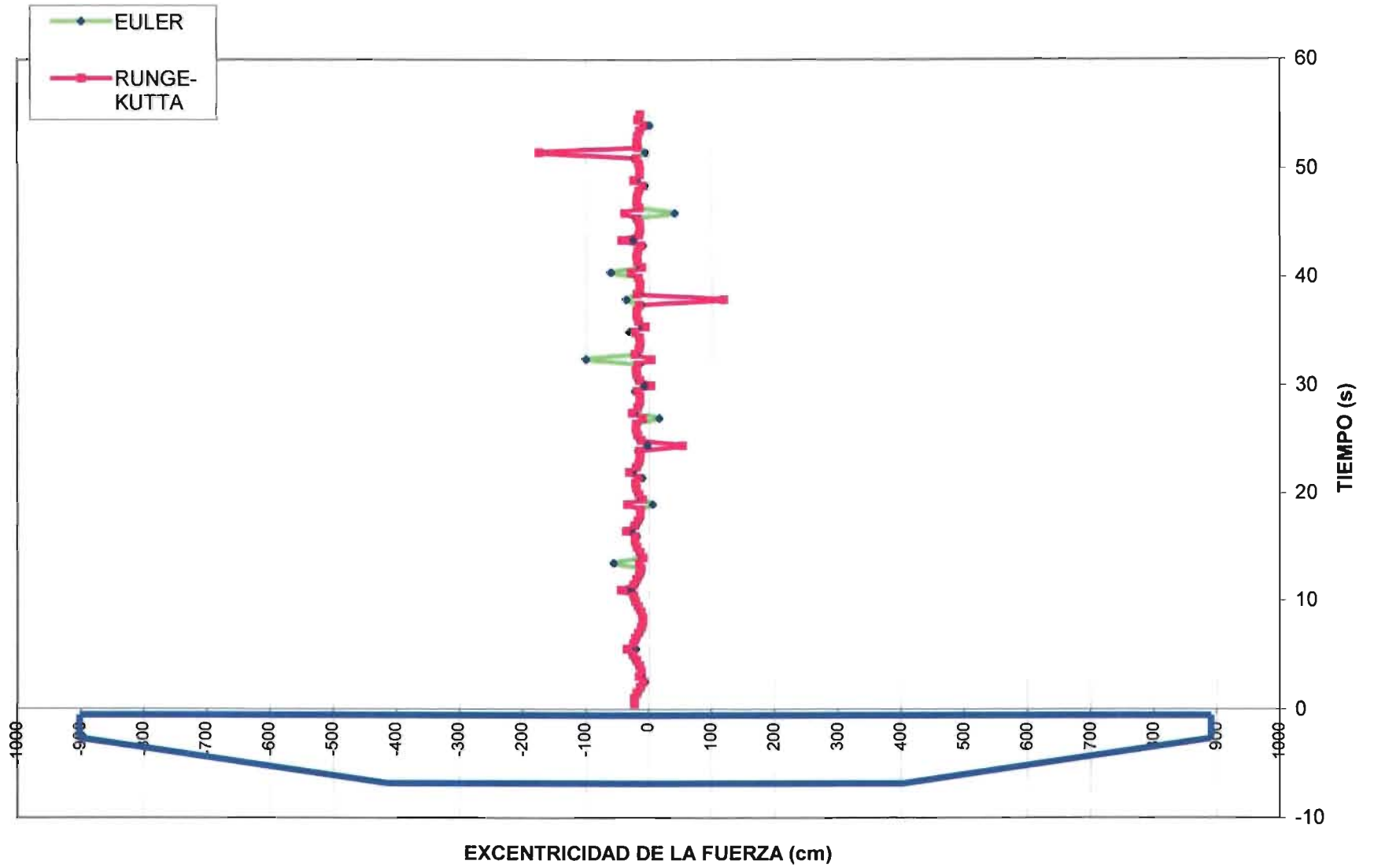
V/NB=4.002  
EH=0.00; ET=0.00

### EXCENTRICIDAD



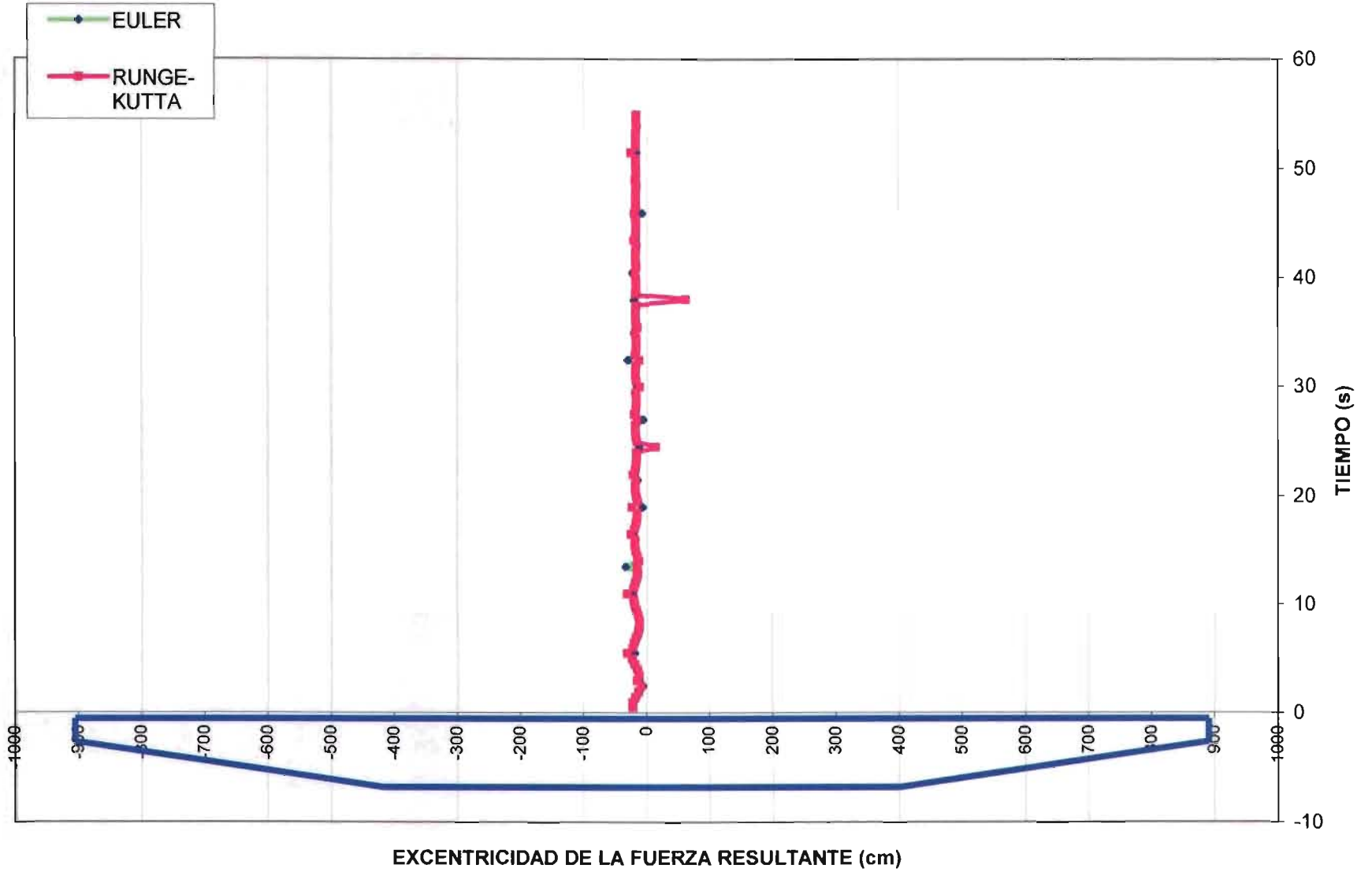
V/NB=4.002  
EH=0.1; ET=0.1

### EXCENTRICIDAD



V/NB=4.002  
EH=0.1; ET=0.3

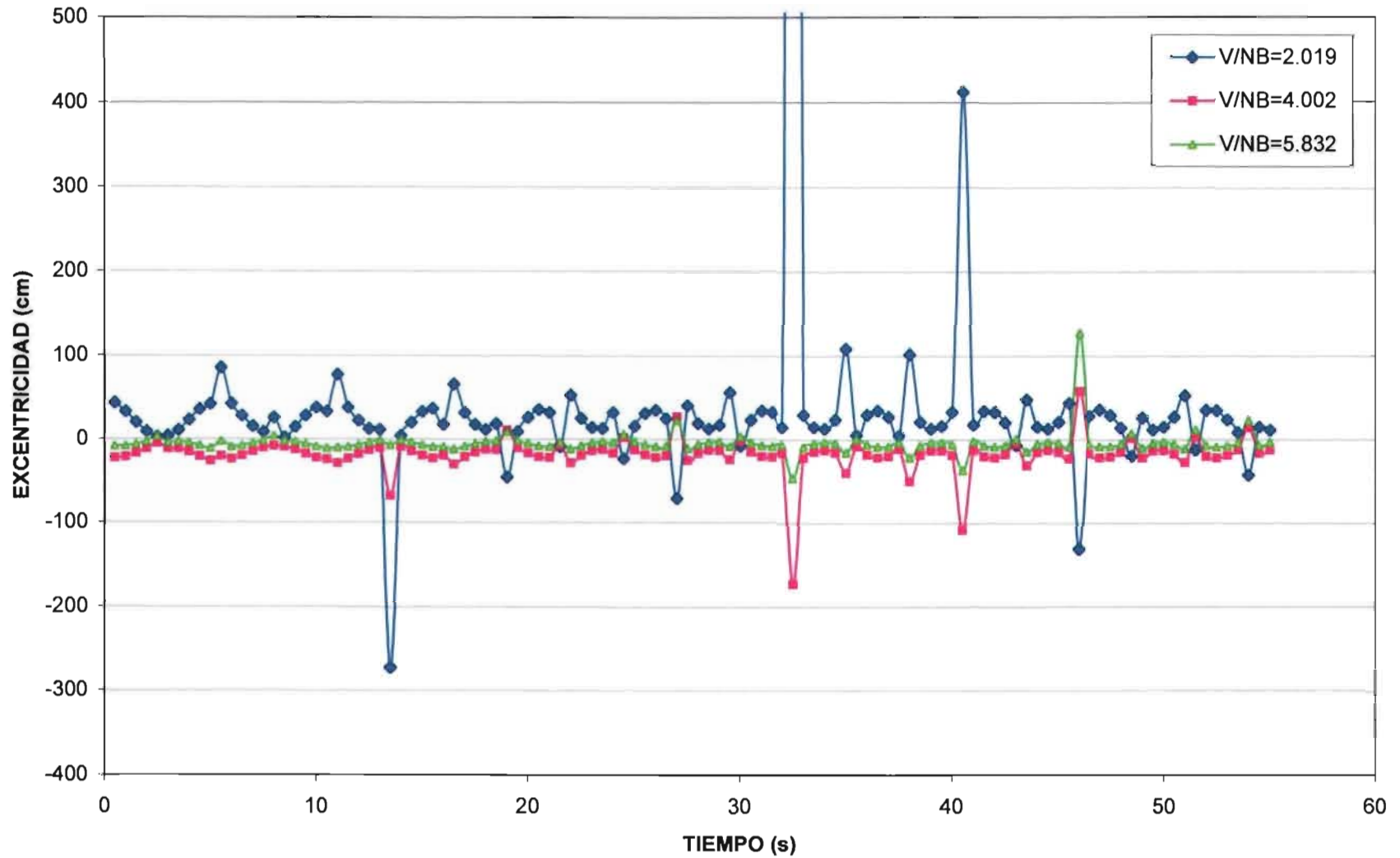
### EXCENTRICIDAD





EH=0.00  
ET=0.00

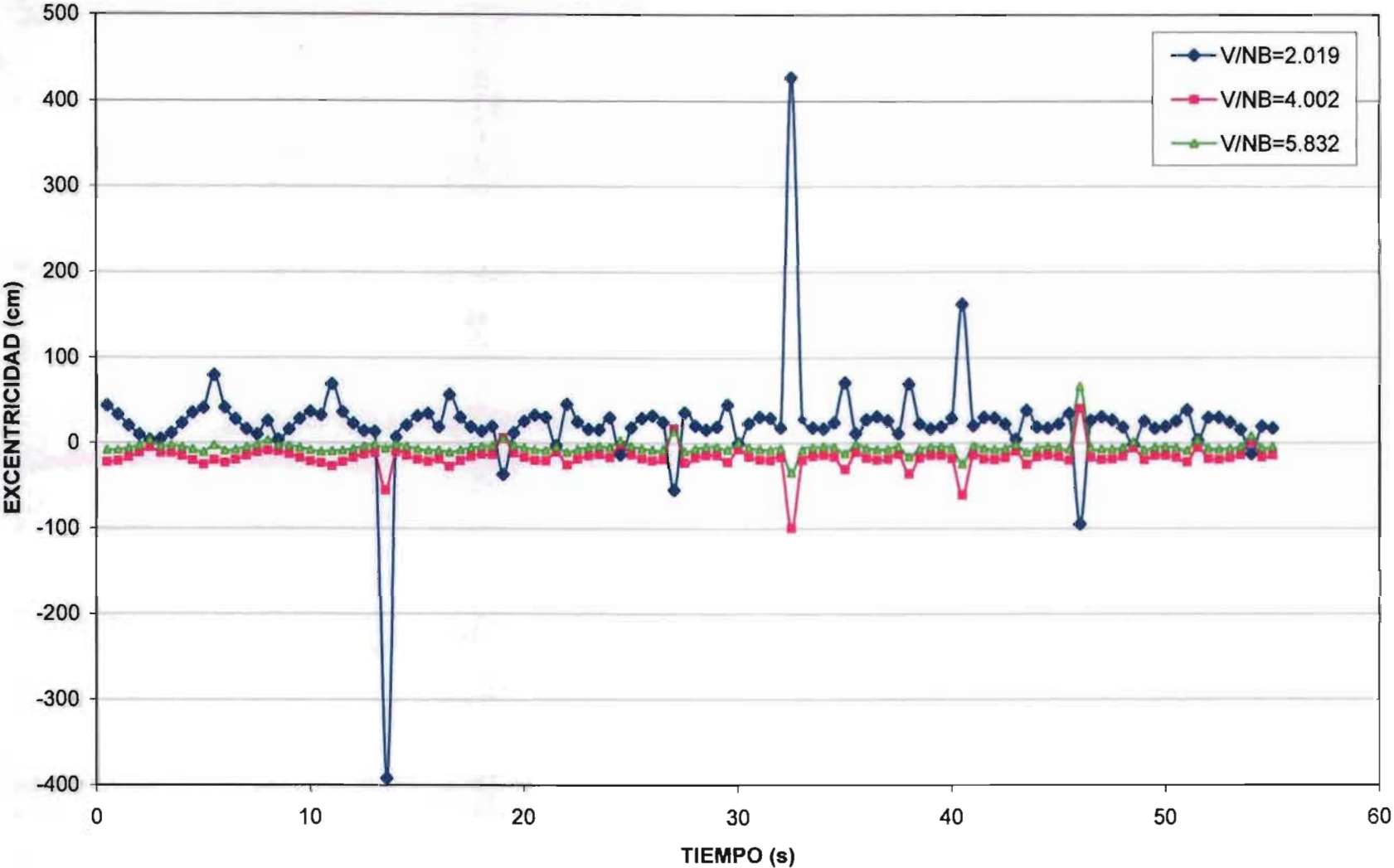
COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL  
MÉTODO DE EULER



EH=0.1

ET=0.1

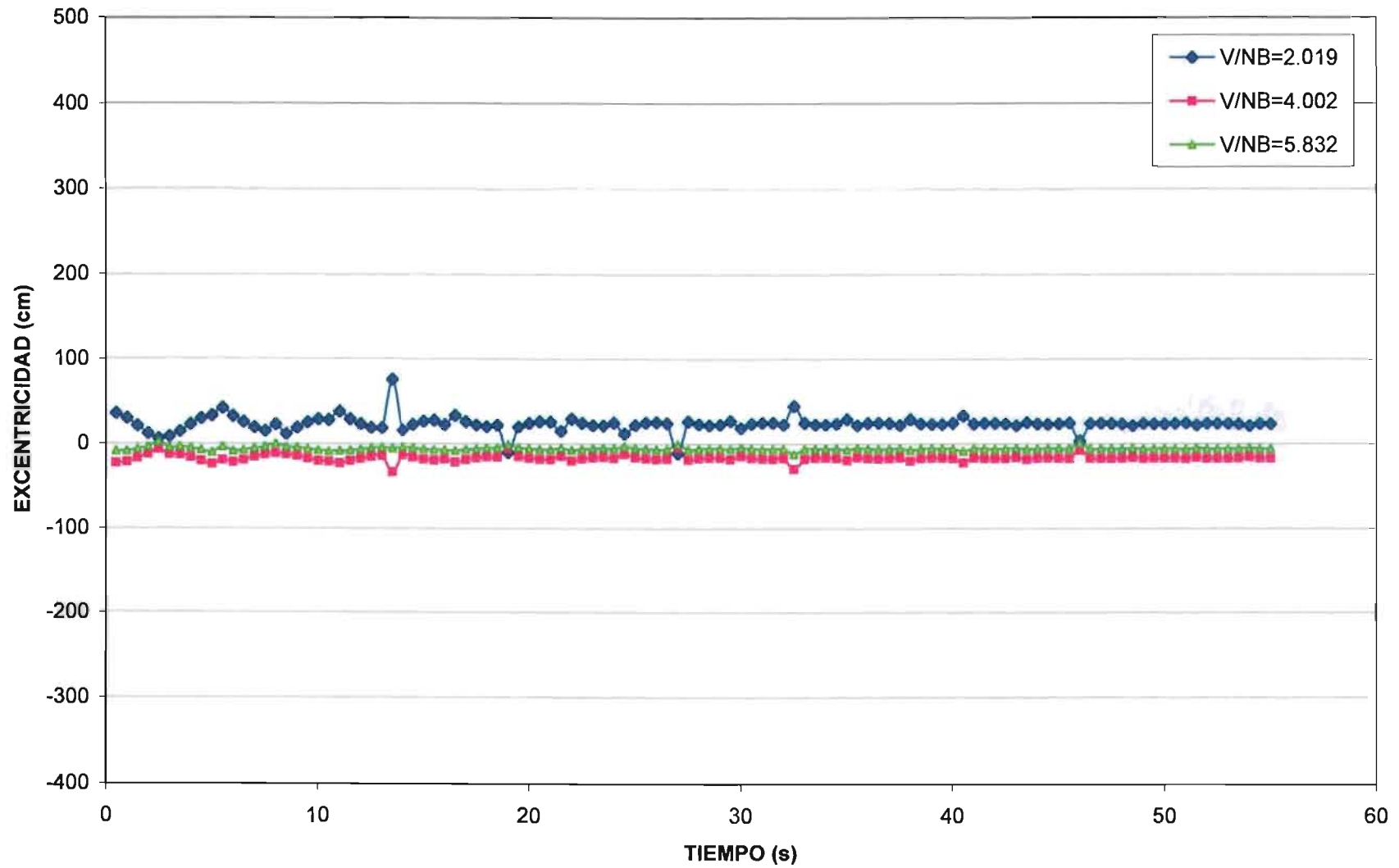
COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EULER



EH=0.1

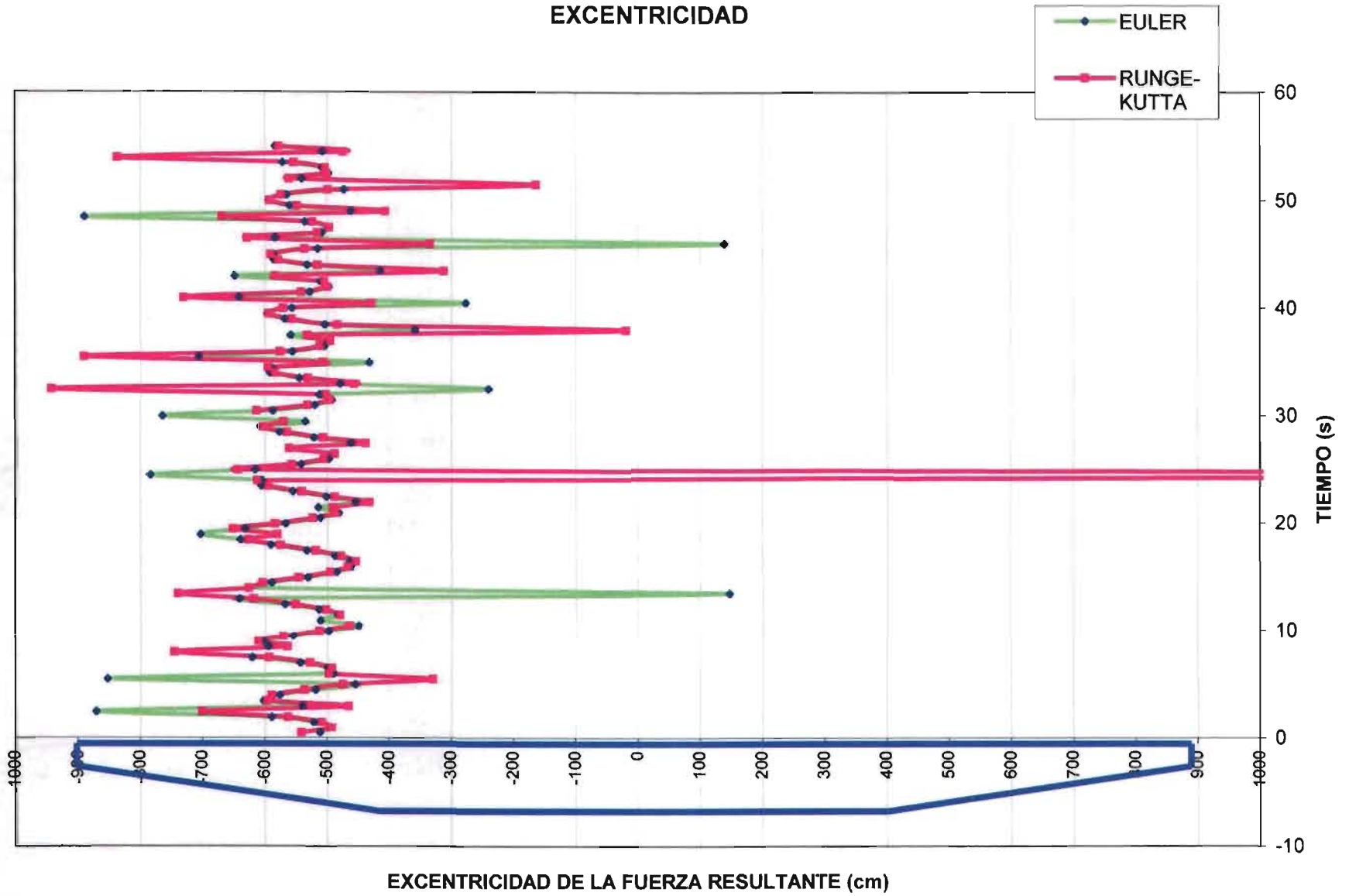
ET=0.3

### COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EULER



V/NB=2  
EH=0.00; ET=0.00

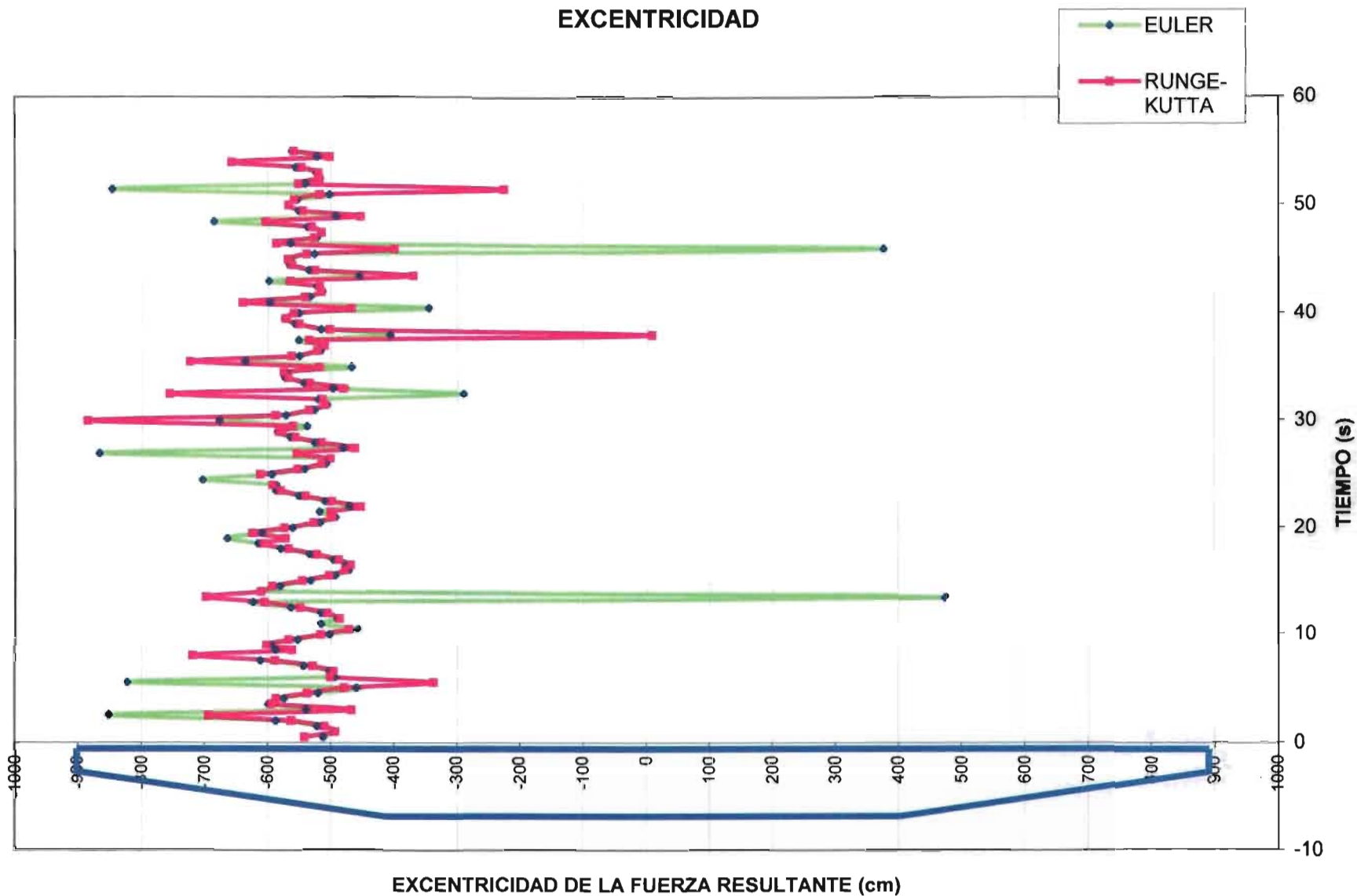
EXCENTRICIDAD



EXCENTRICIDAD DE LA FUERZA RESULTANTE (cm)

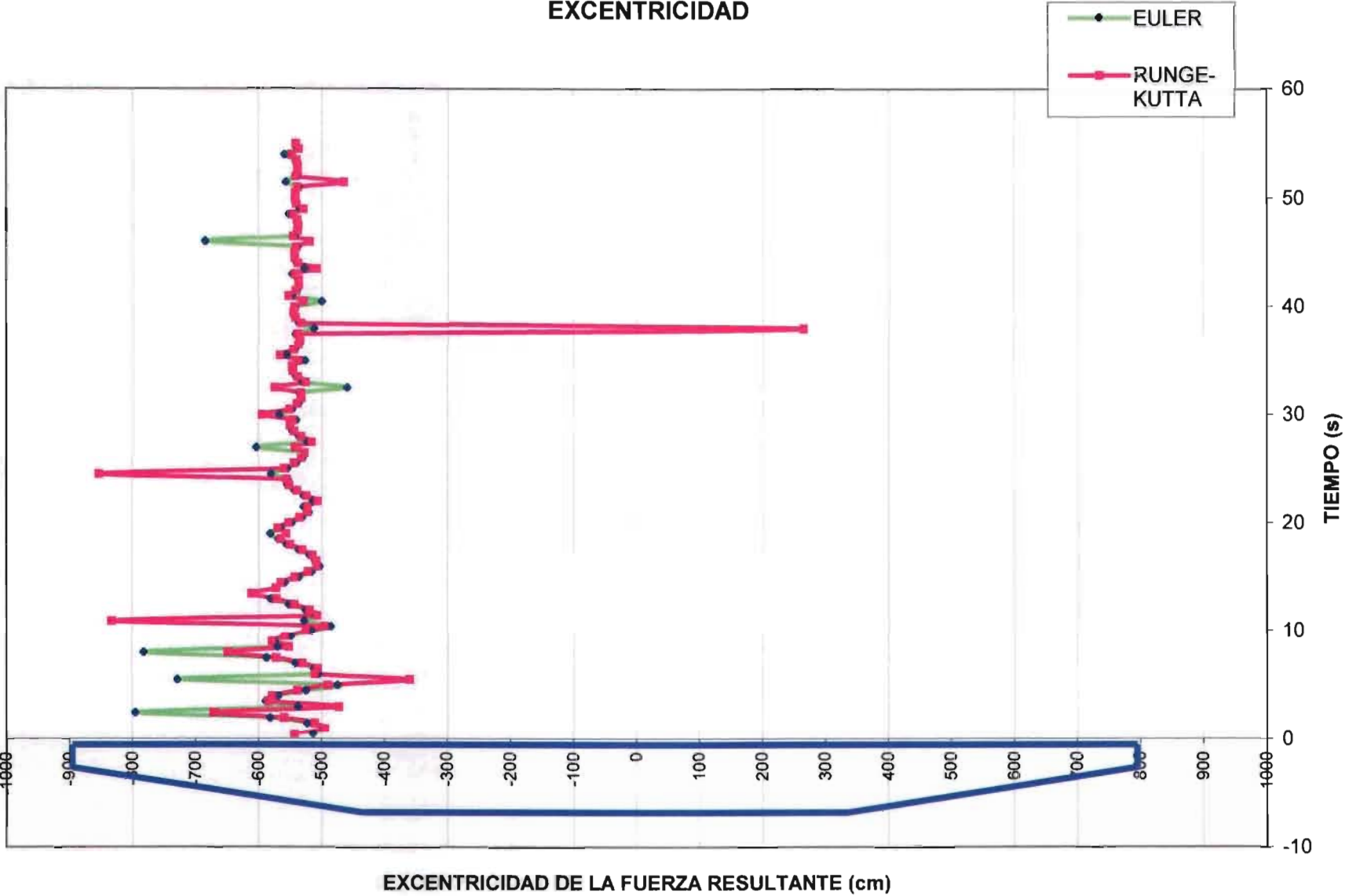
V/NB=2  
EH=0.1;ET=0.1

EXCENTRICIDAD



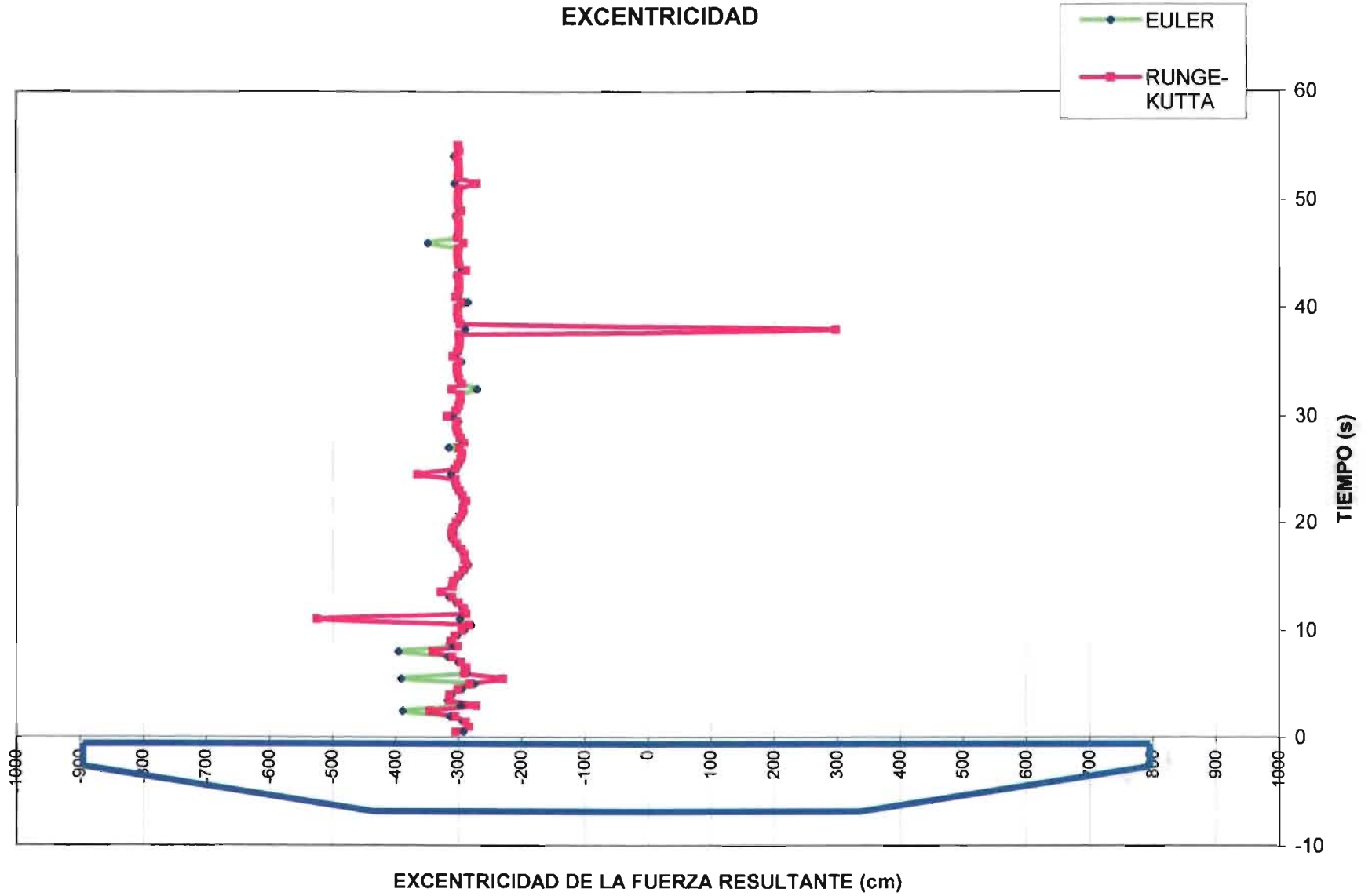
V/NB=2  
EH=0.1; ET=0.3

EXCENTRICIDAD



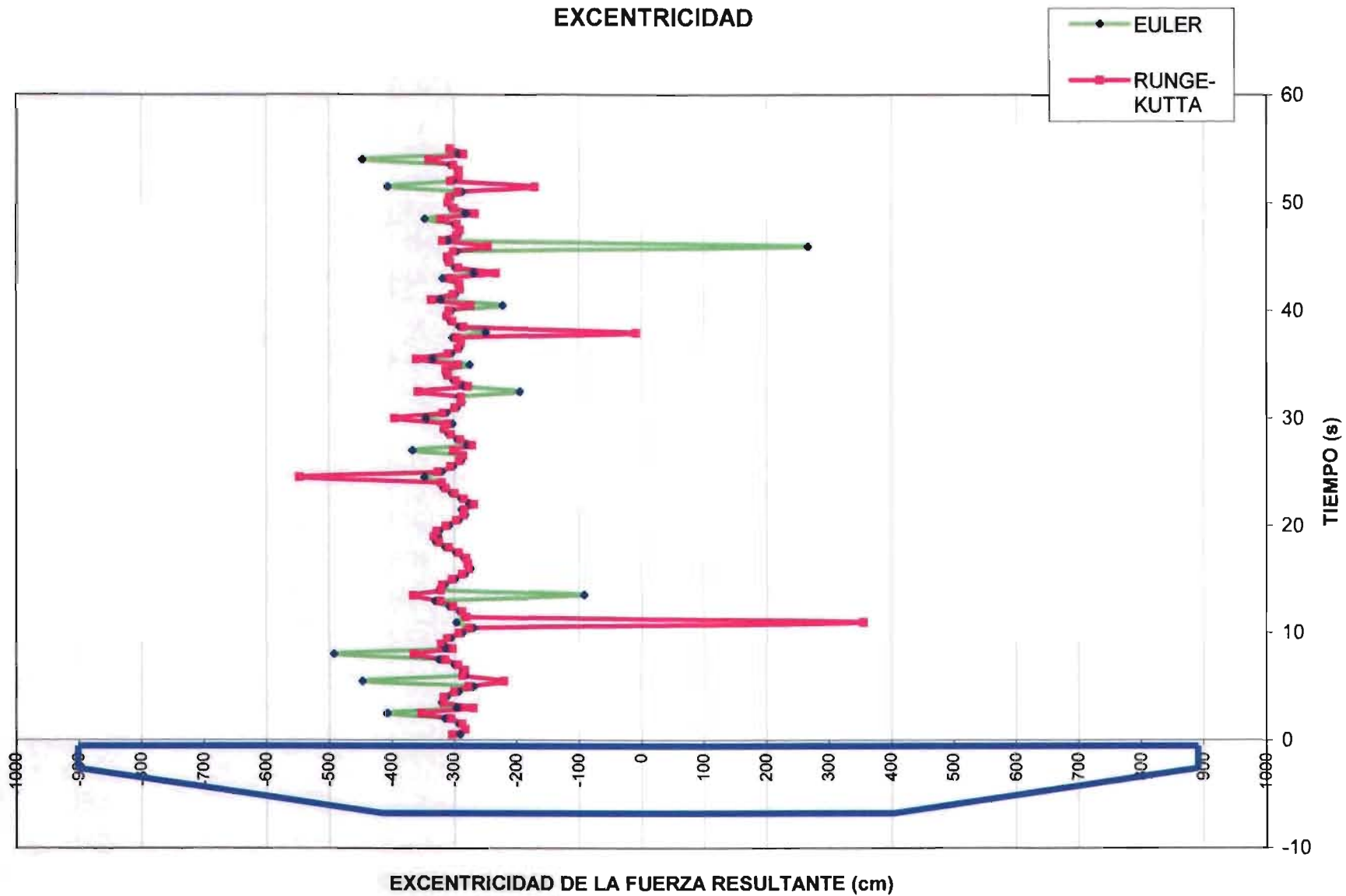
V/NB=4  
EH=0.1; ET=0.3

EXCENTRICIDAD



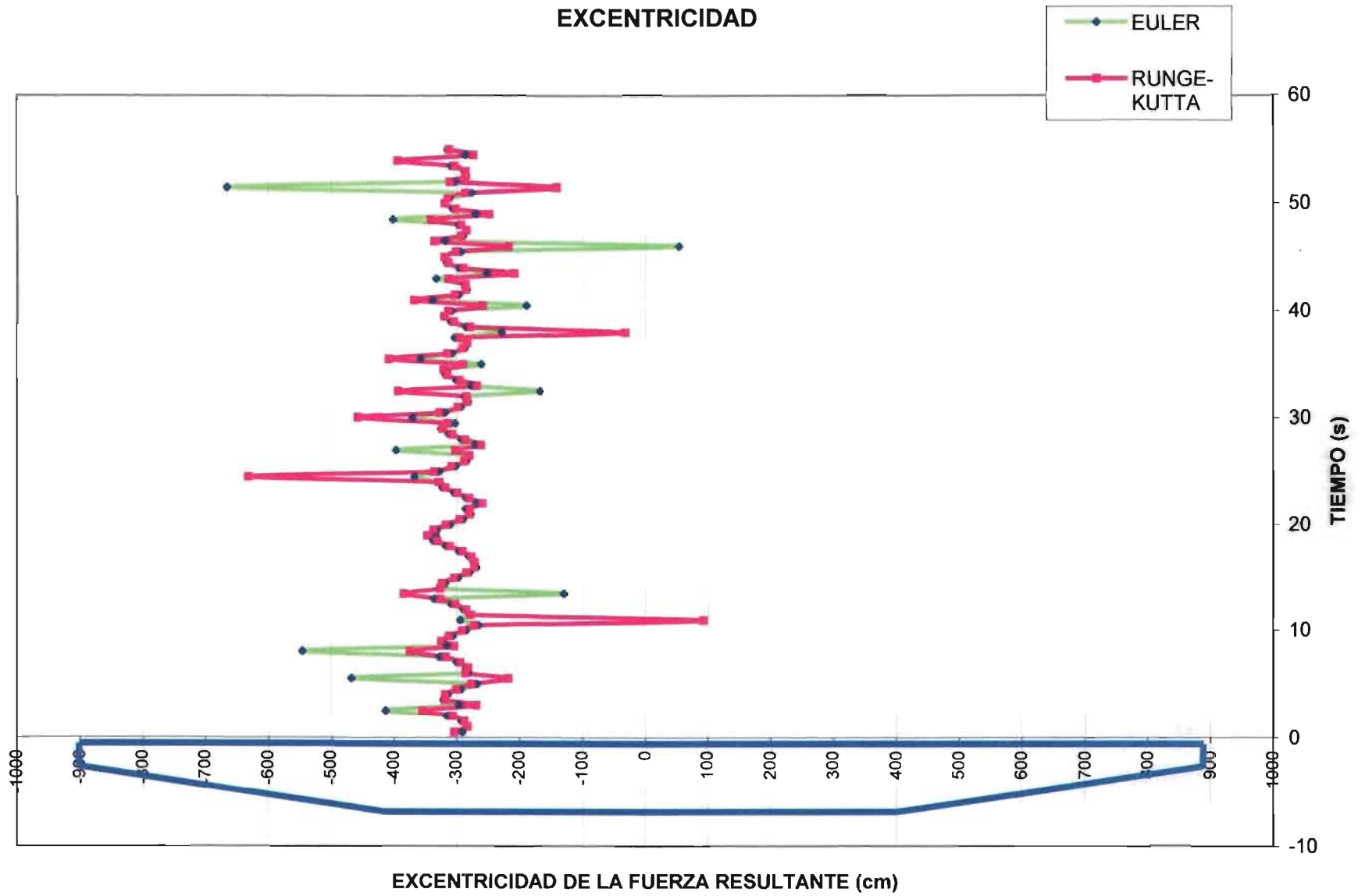
V/NB=4  
EH=0.1; ET=0.1

EXCENTRICIDAD



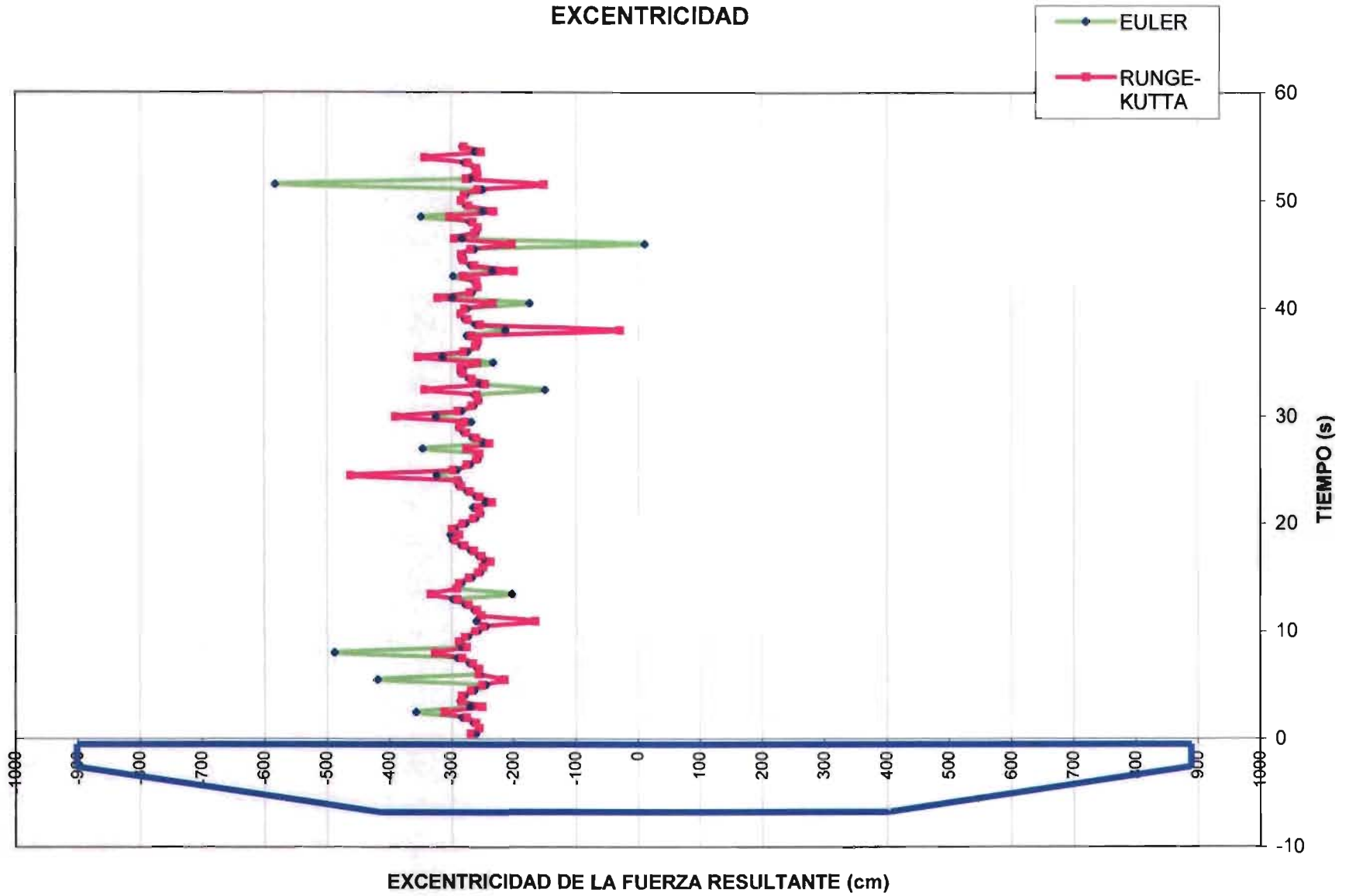


V/NB=4  
EH=0.00; ET=0.00



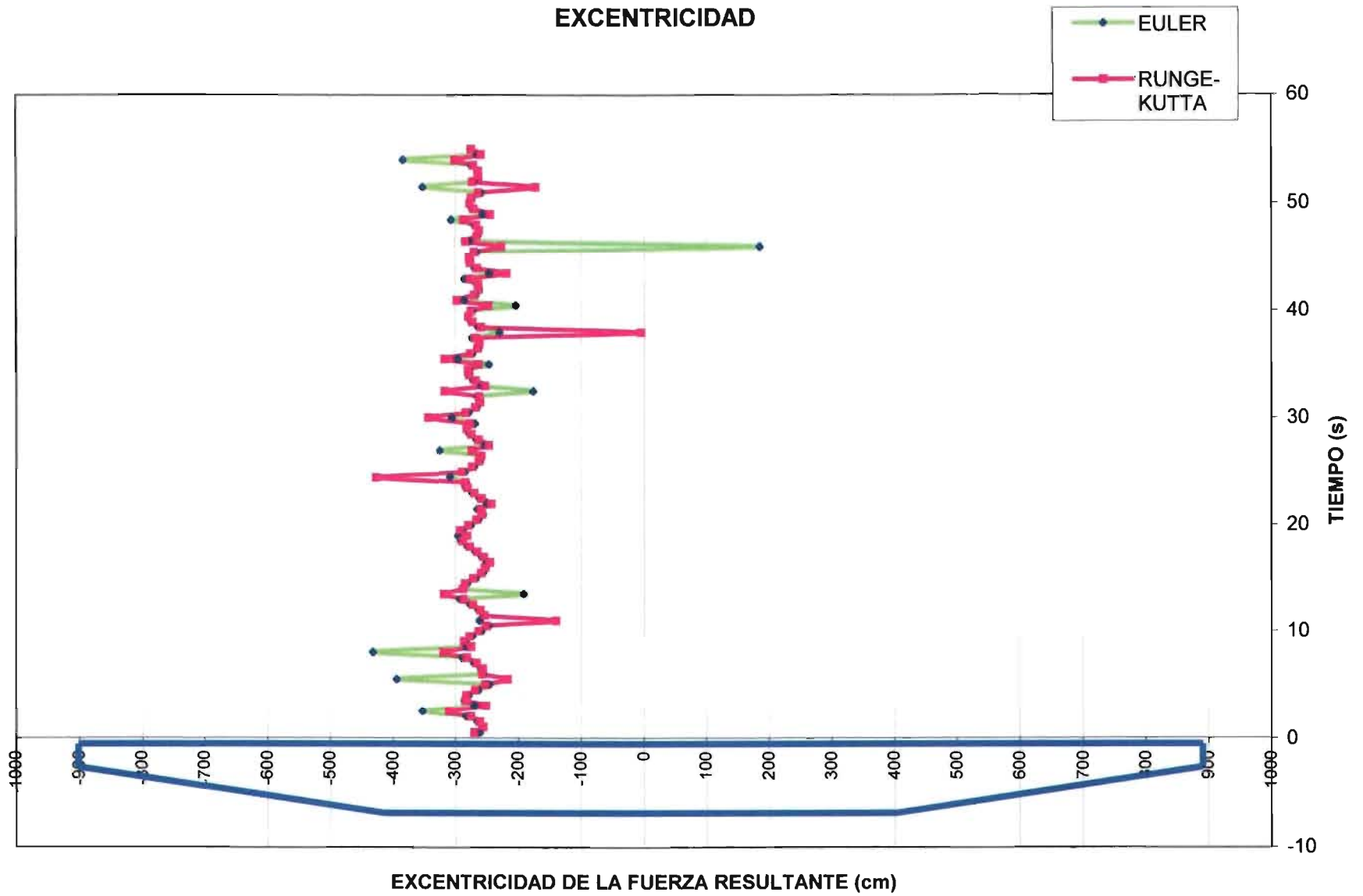
V/NB=6  
EH=0.00; ET=0.00

EXCENTRICIDAD



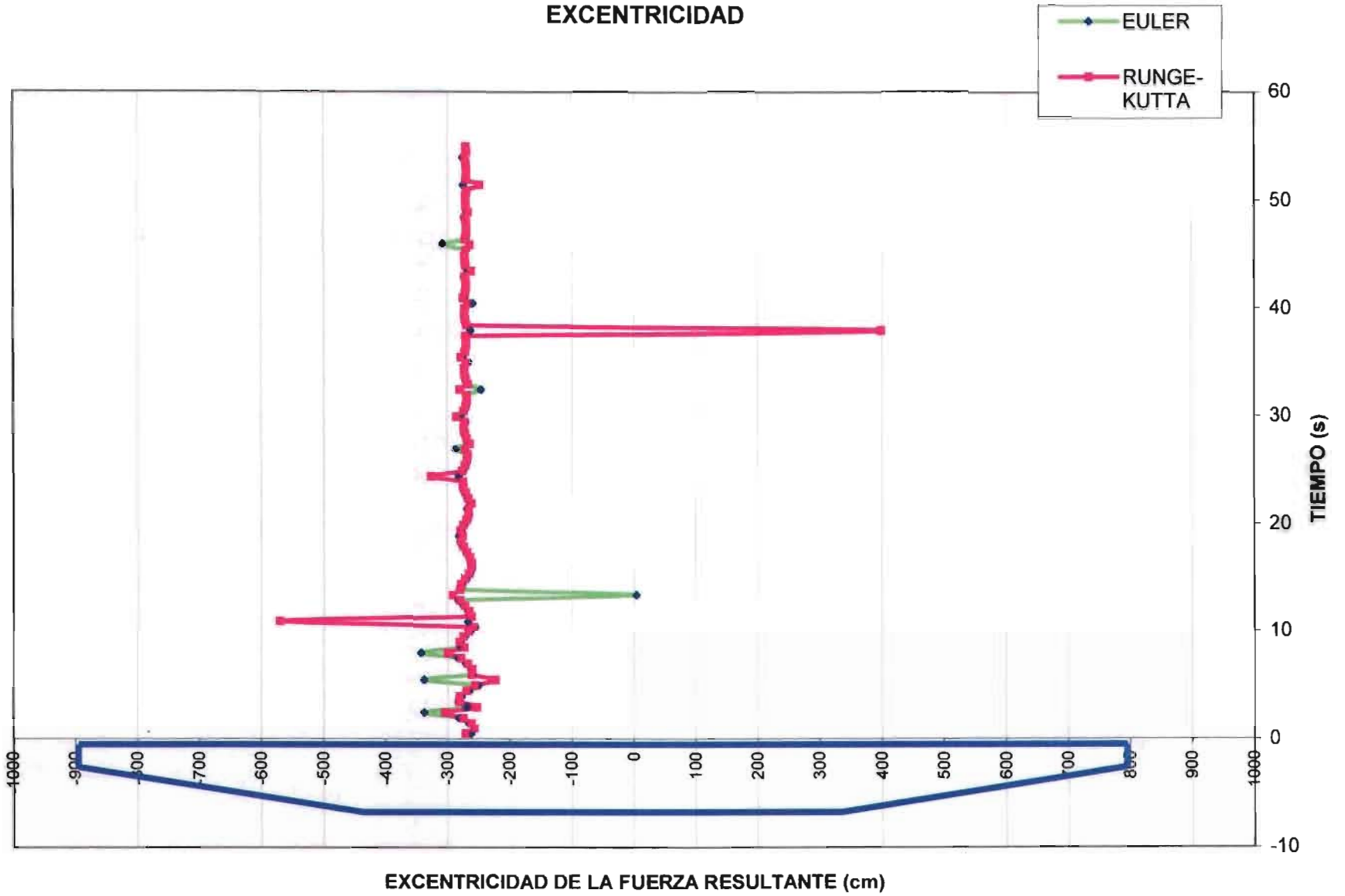
V/NB=6  
EH=0.1; ET=0.1

EXCENTRICIDAD



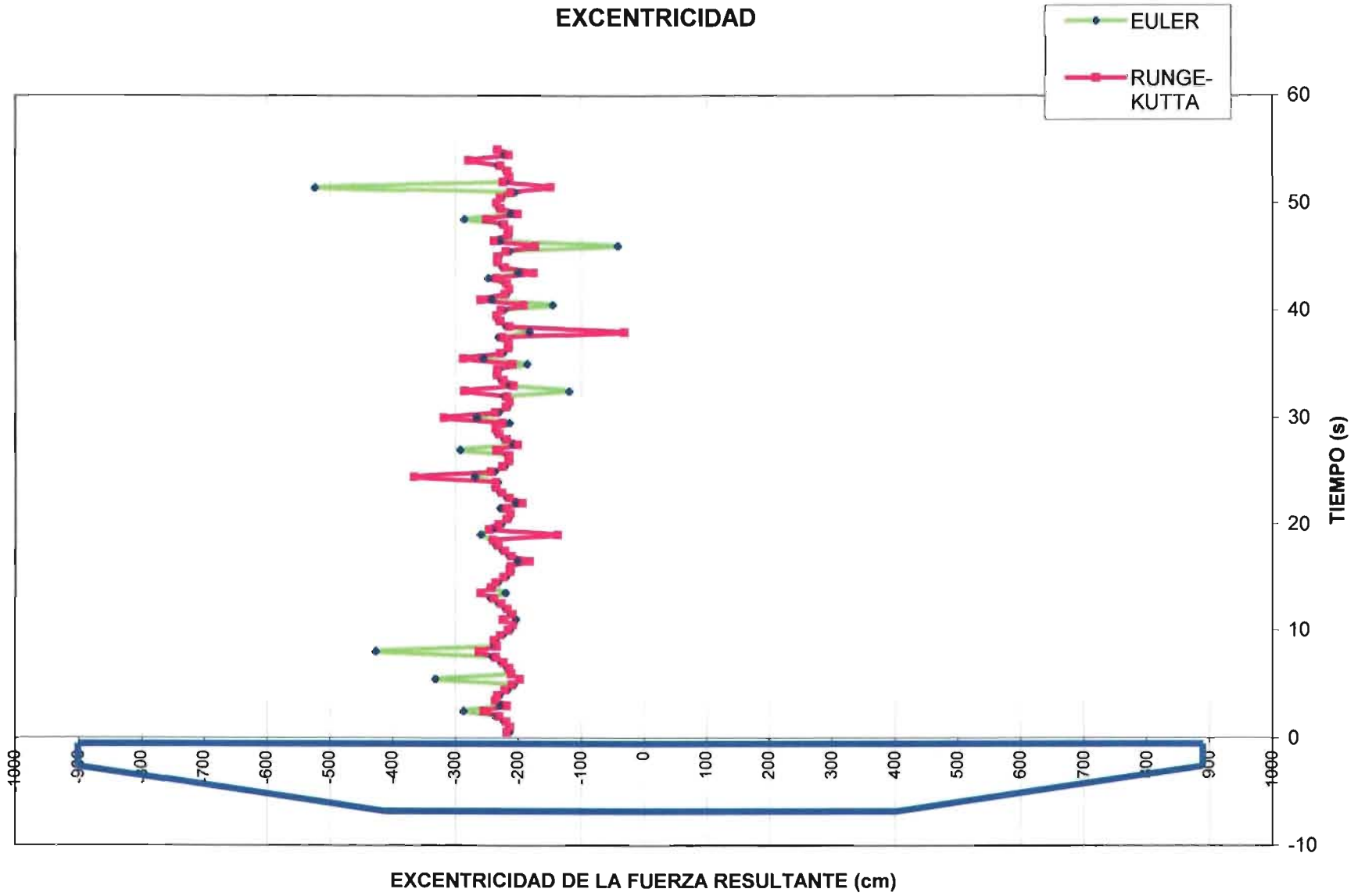
V/NB=6  
EH=0.1; ET=0.3

EXCENTRICIDAD



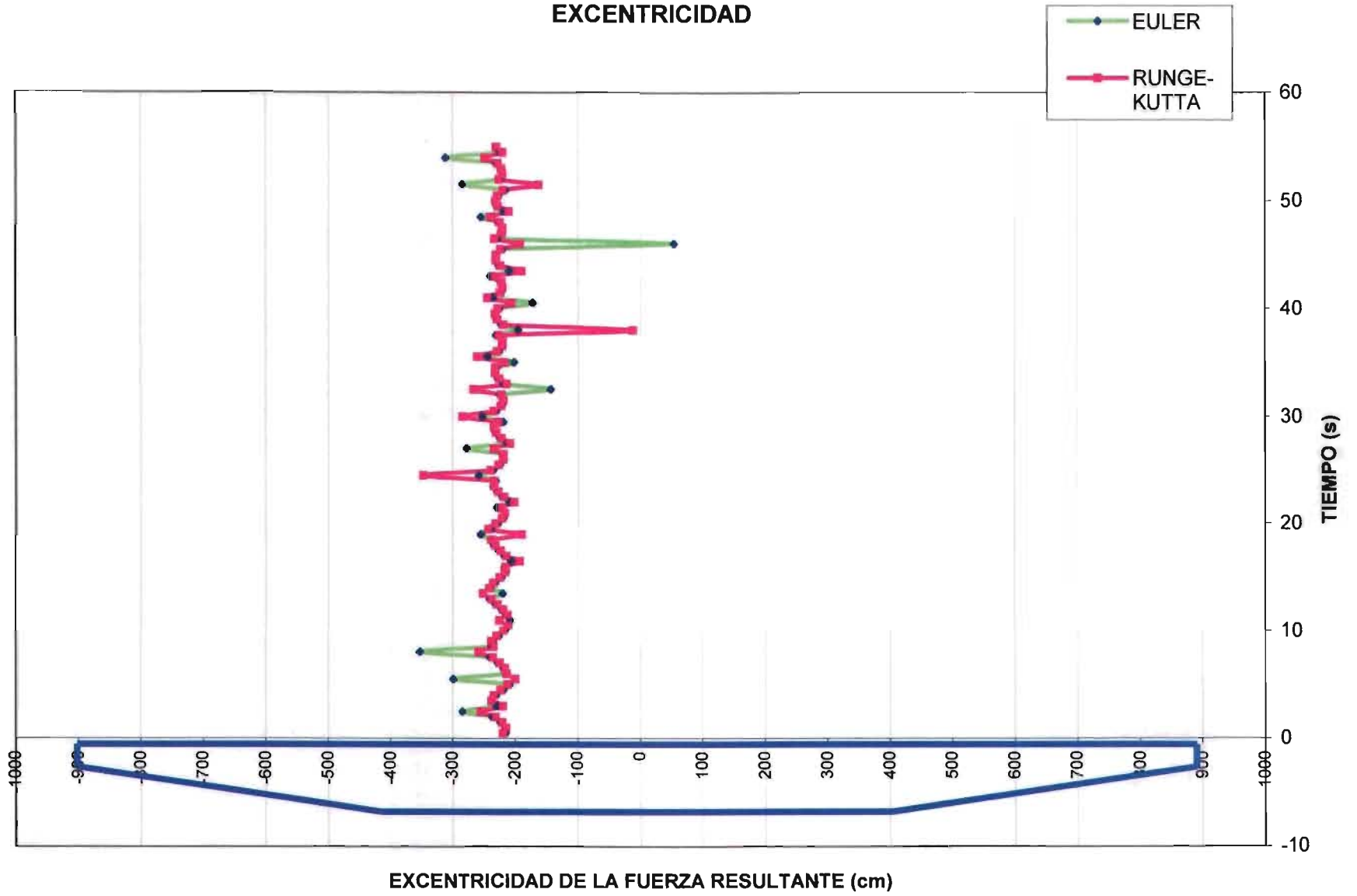
V/NB=8  
EH=0.00; ET=0.00

EXCENTRICIDAD



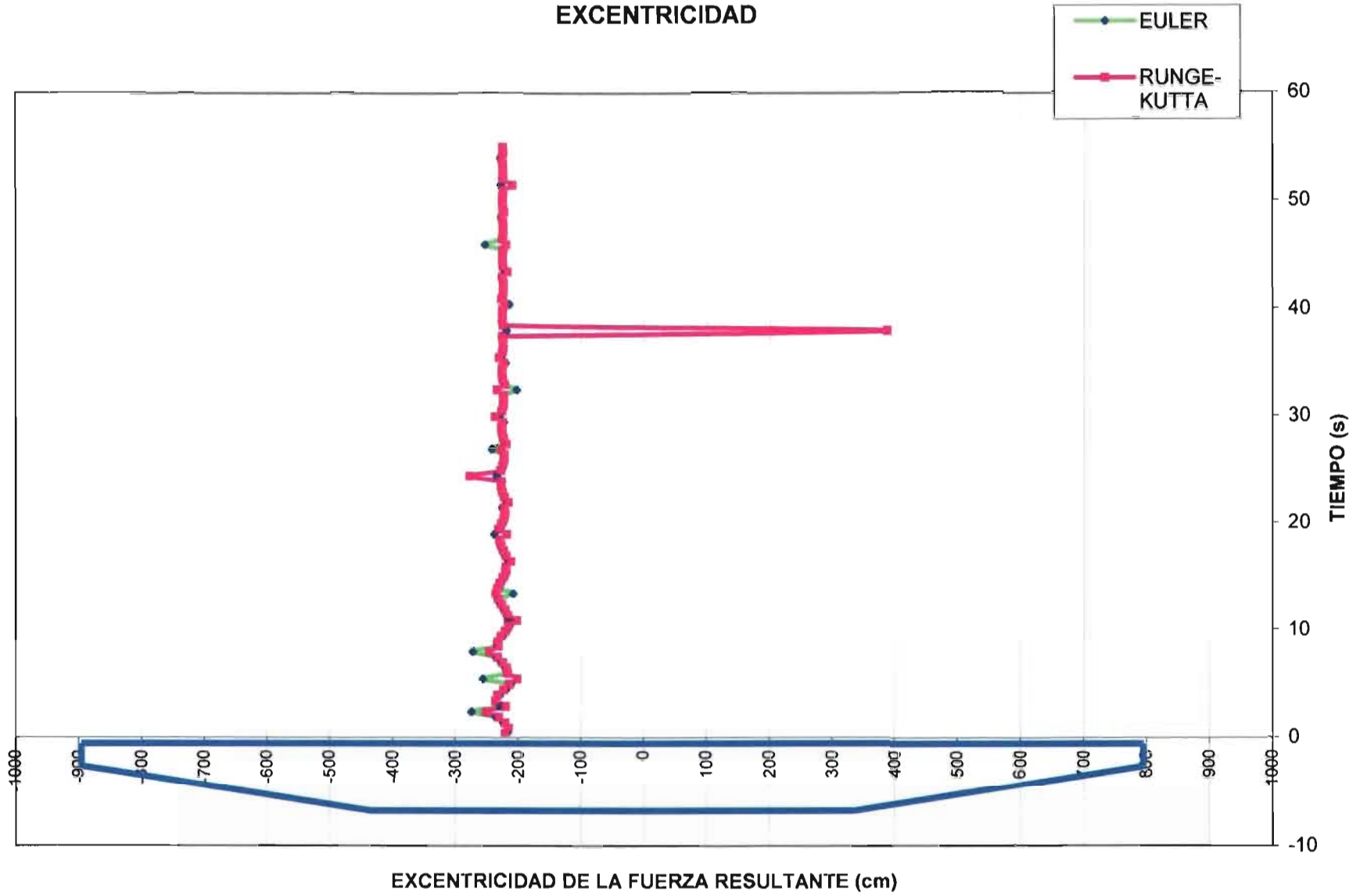
V/NB=8  
EH=0.1; ET=0.1

EXCENTRICIDAD



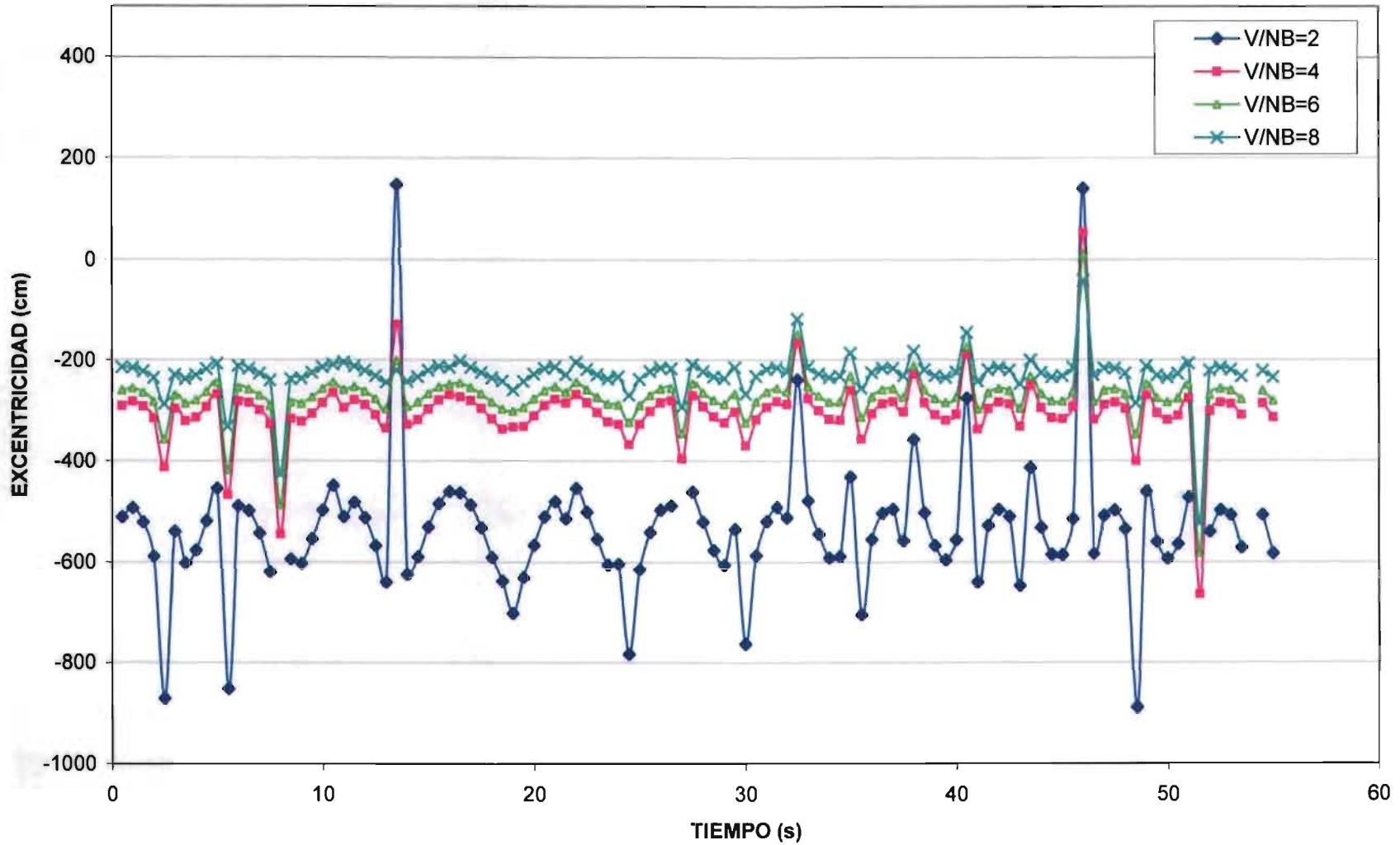
V/NB=8  
EH=0.1; ET=0.3

EXCENTRICIDAD



EH=0.00  
ET=0.00

COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL  
MÉTODO DE EULER

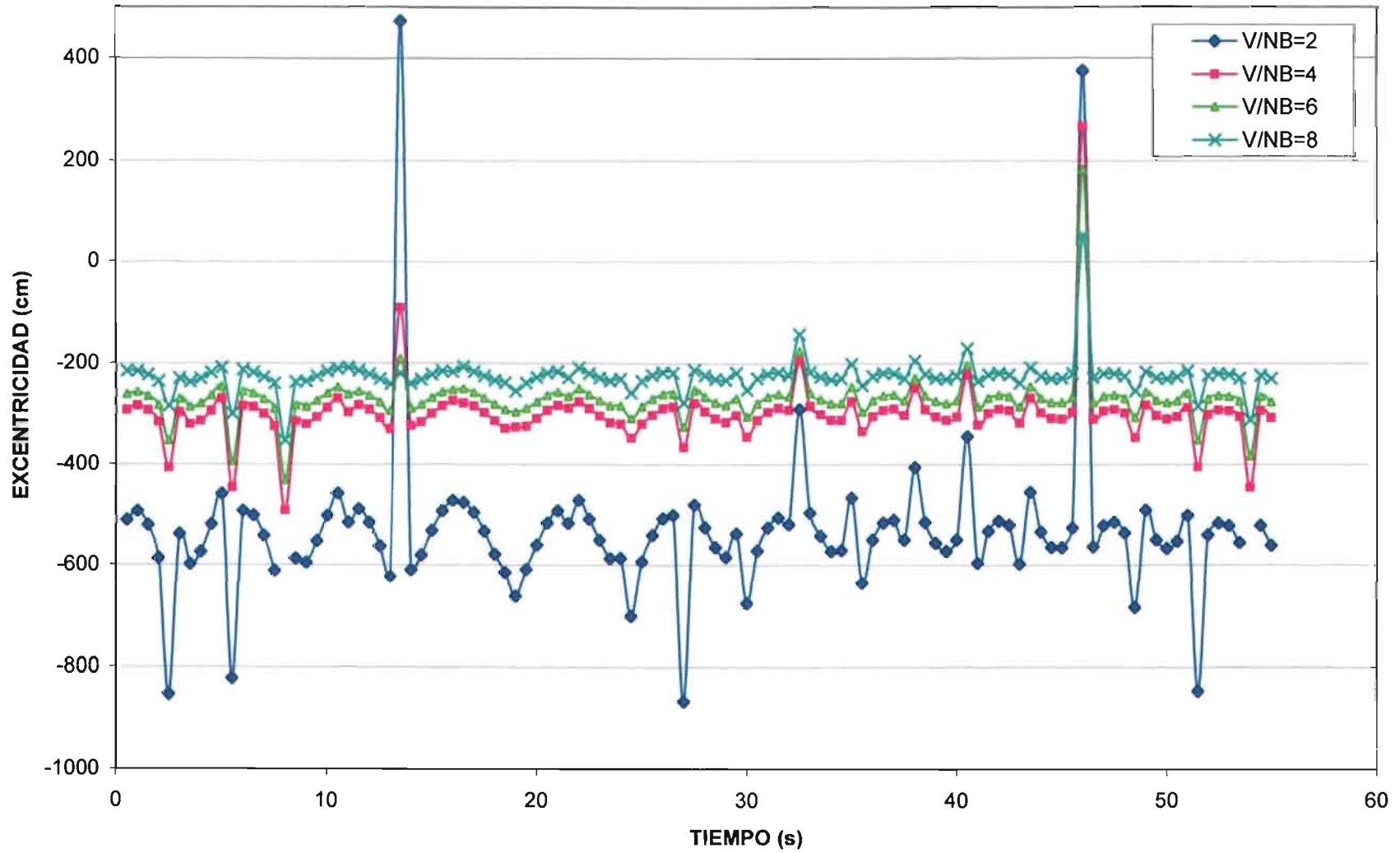




EH=0.1

ET=0.1

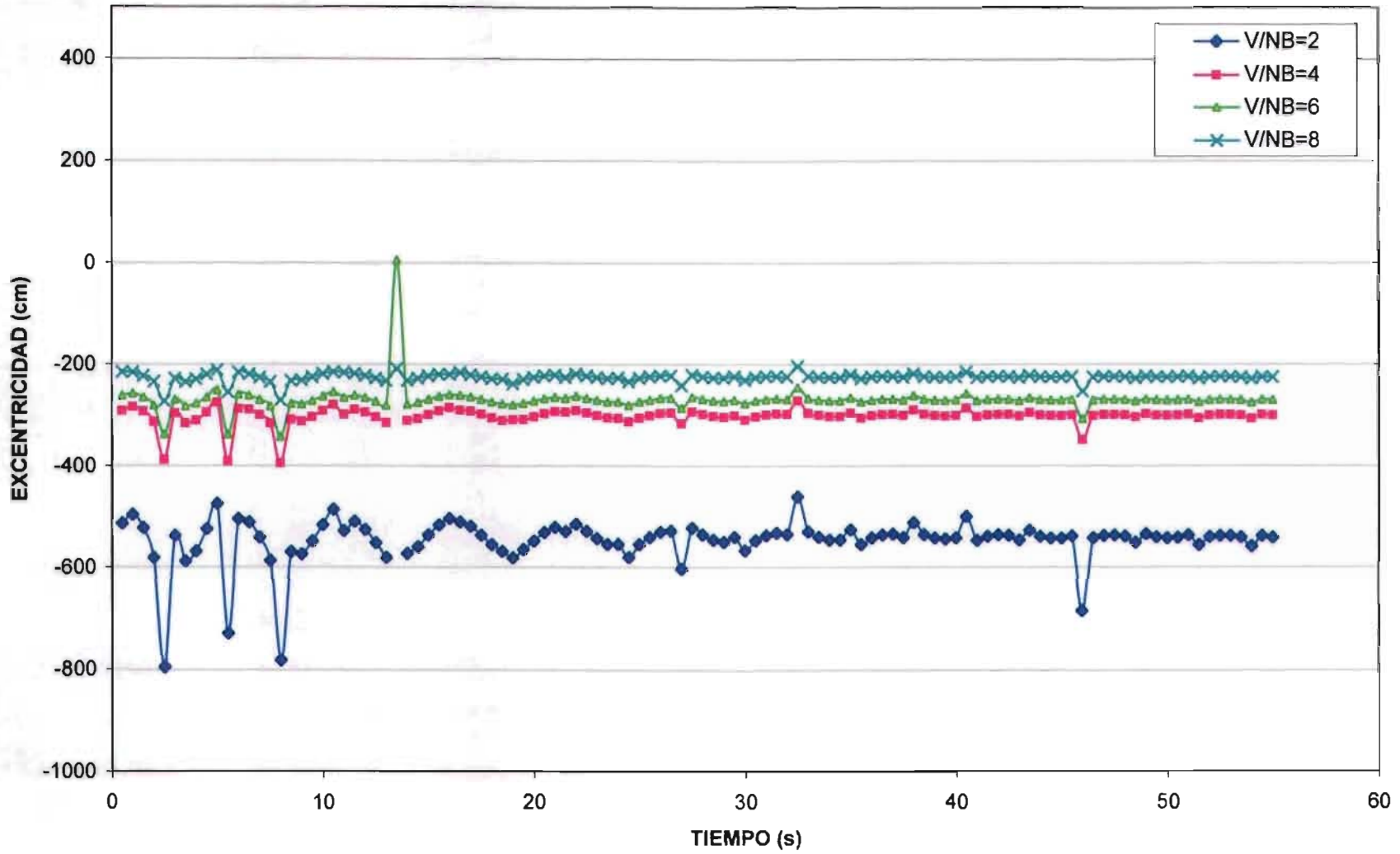
COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL  
MÉTODO DE EULER



EH=0.1

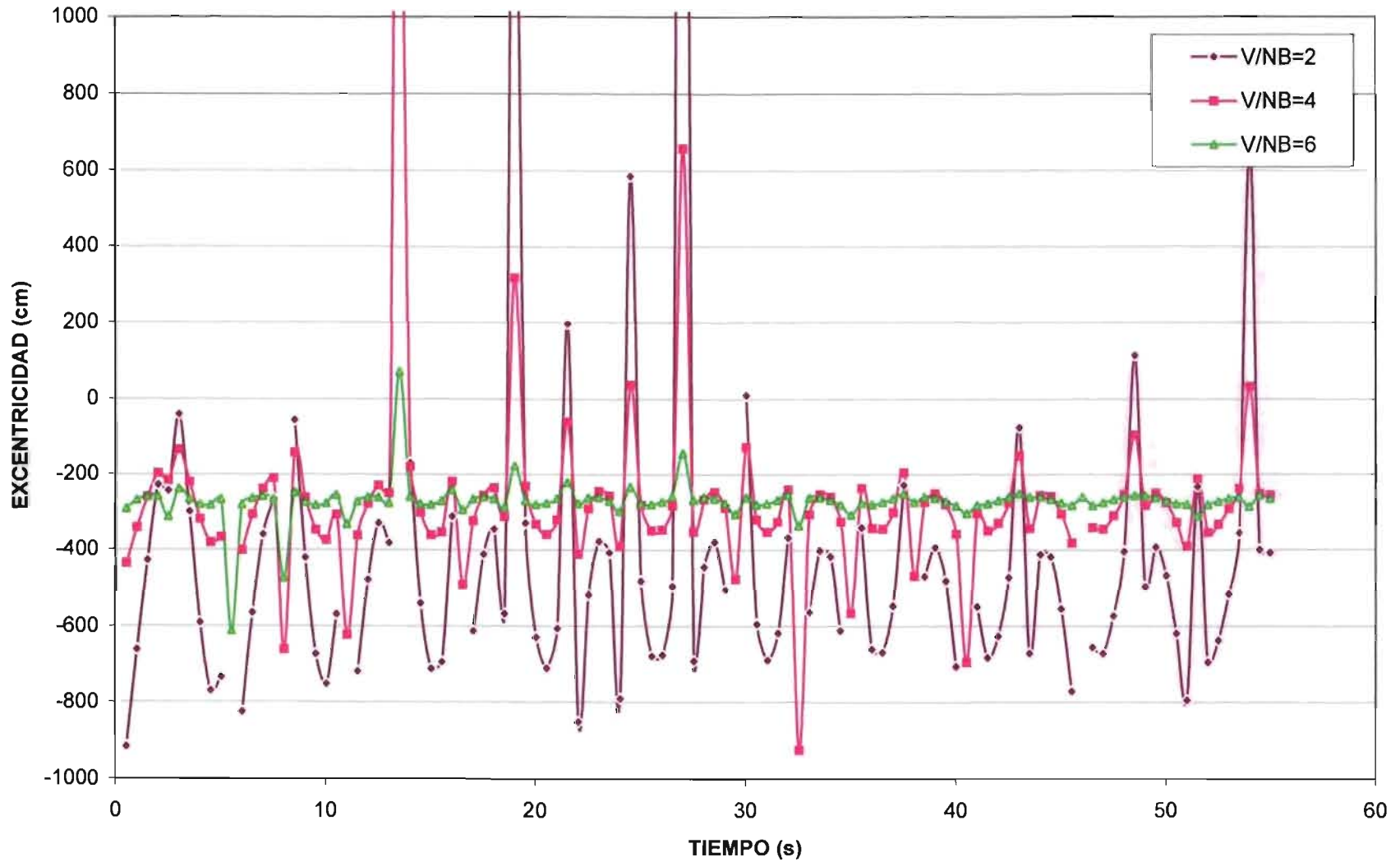
ET=0.3

COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL  
MÉTODO DE EULER



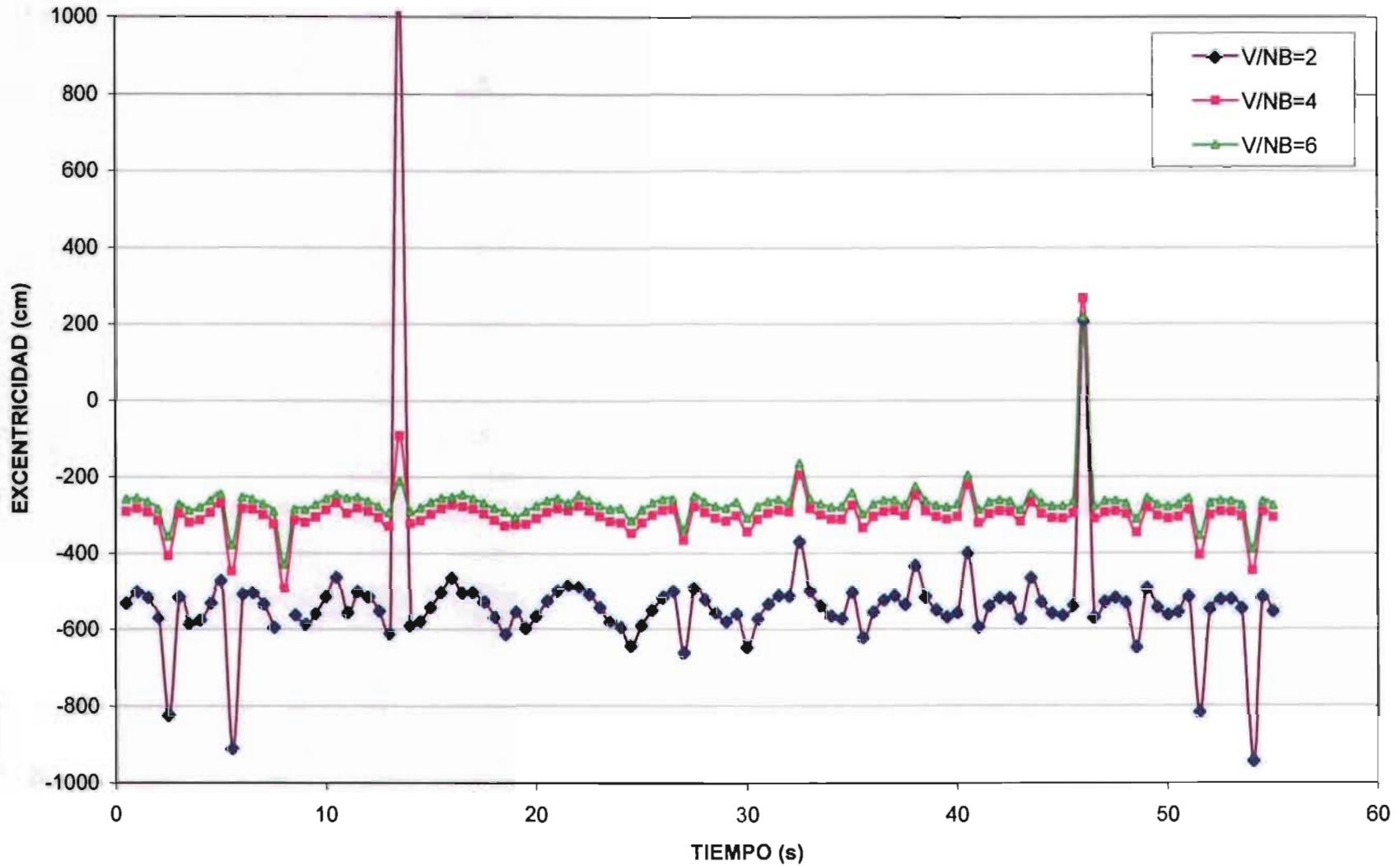
# COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN 1

## COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EULER



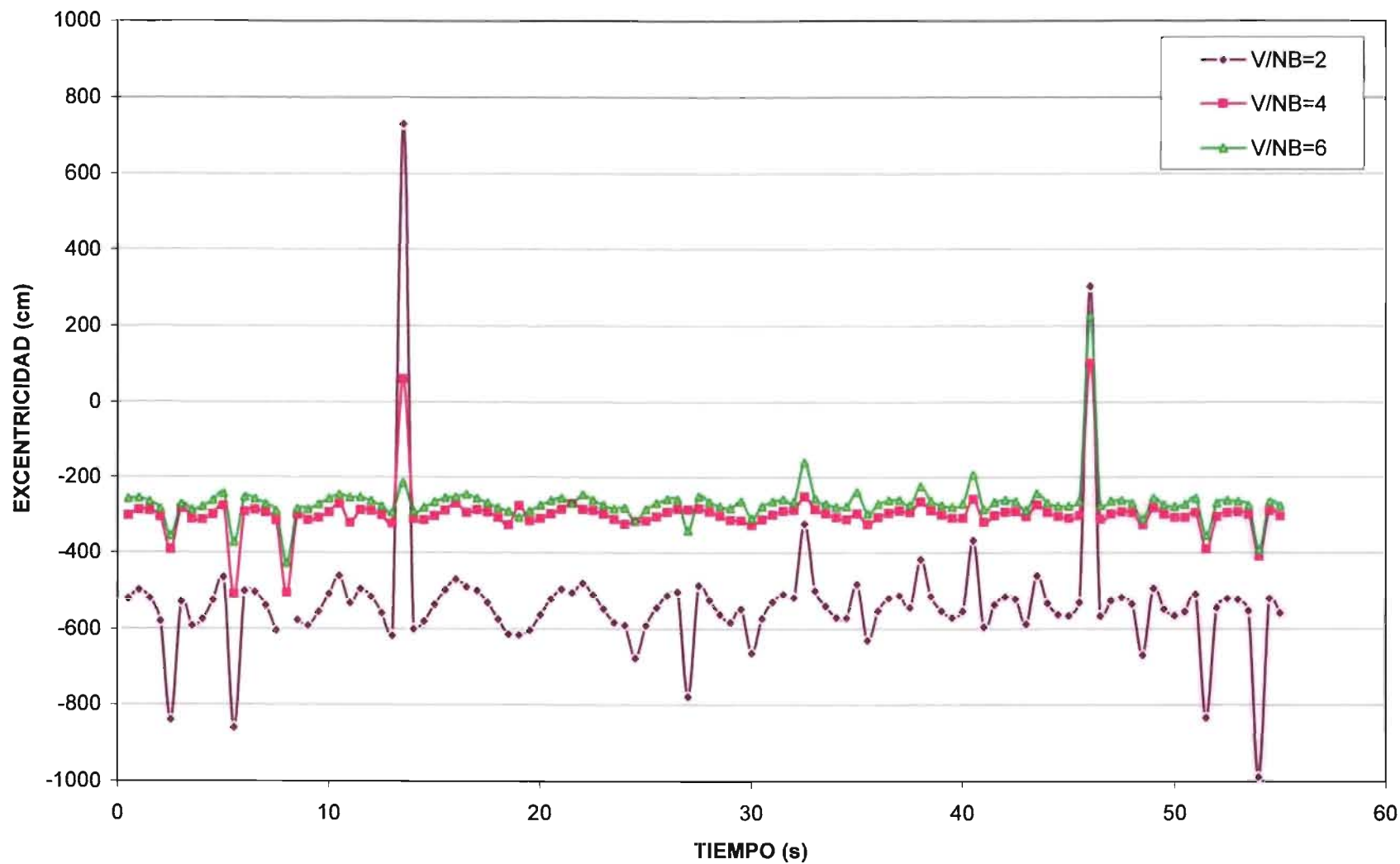
## COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN 2

### COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EULER



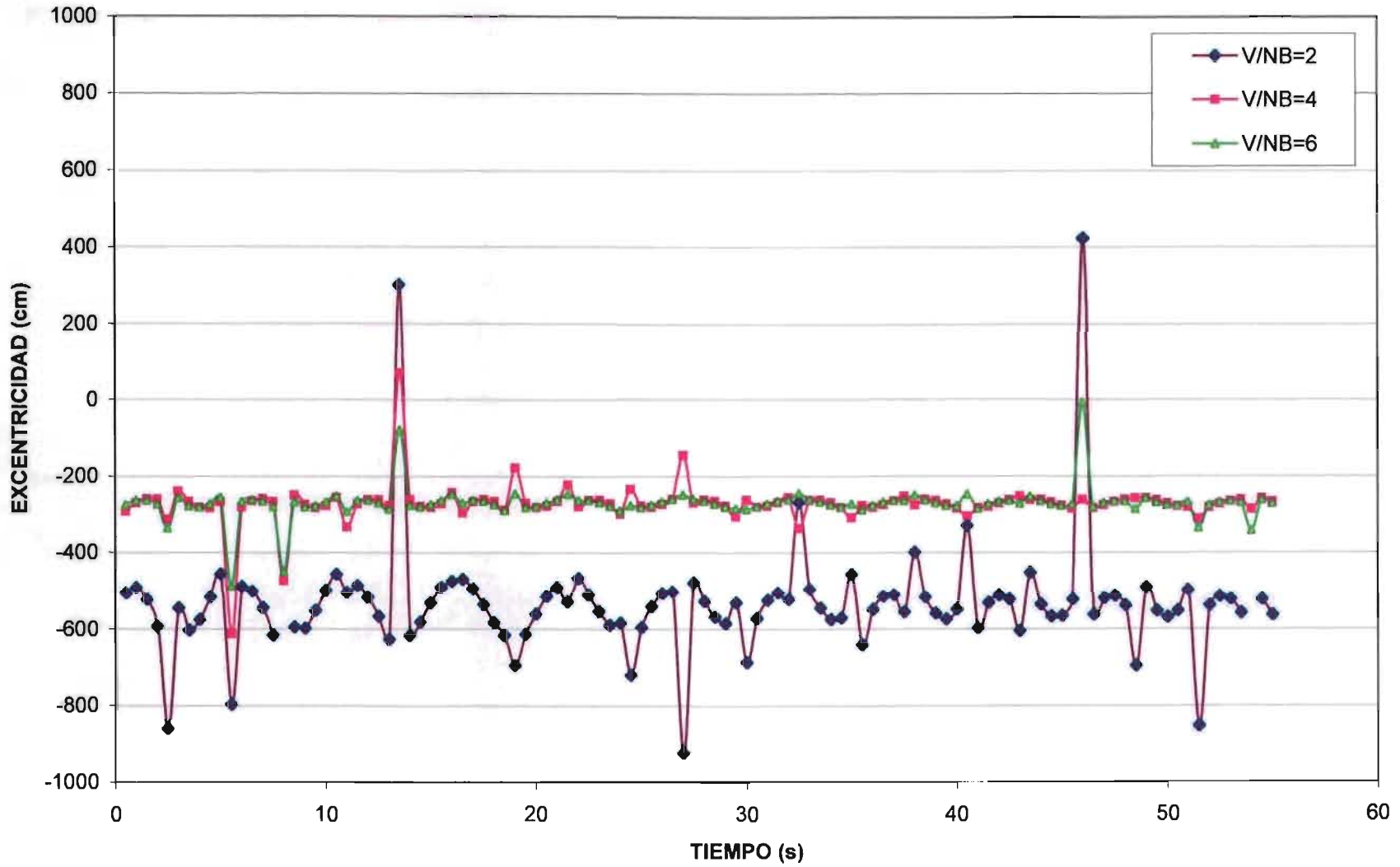
## COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN 3

### COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EULER



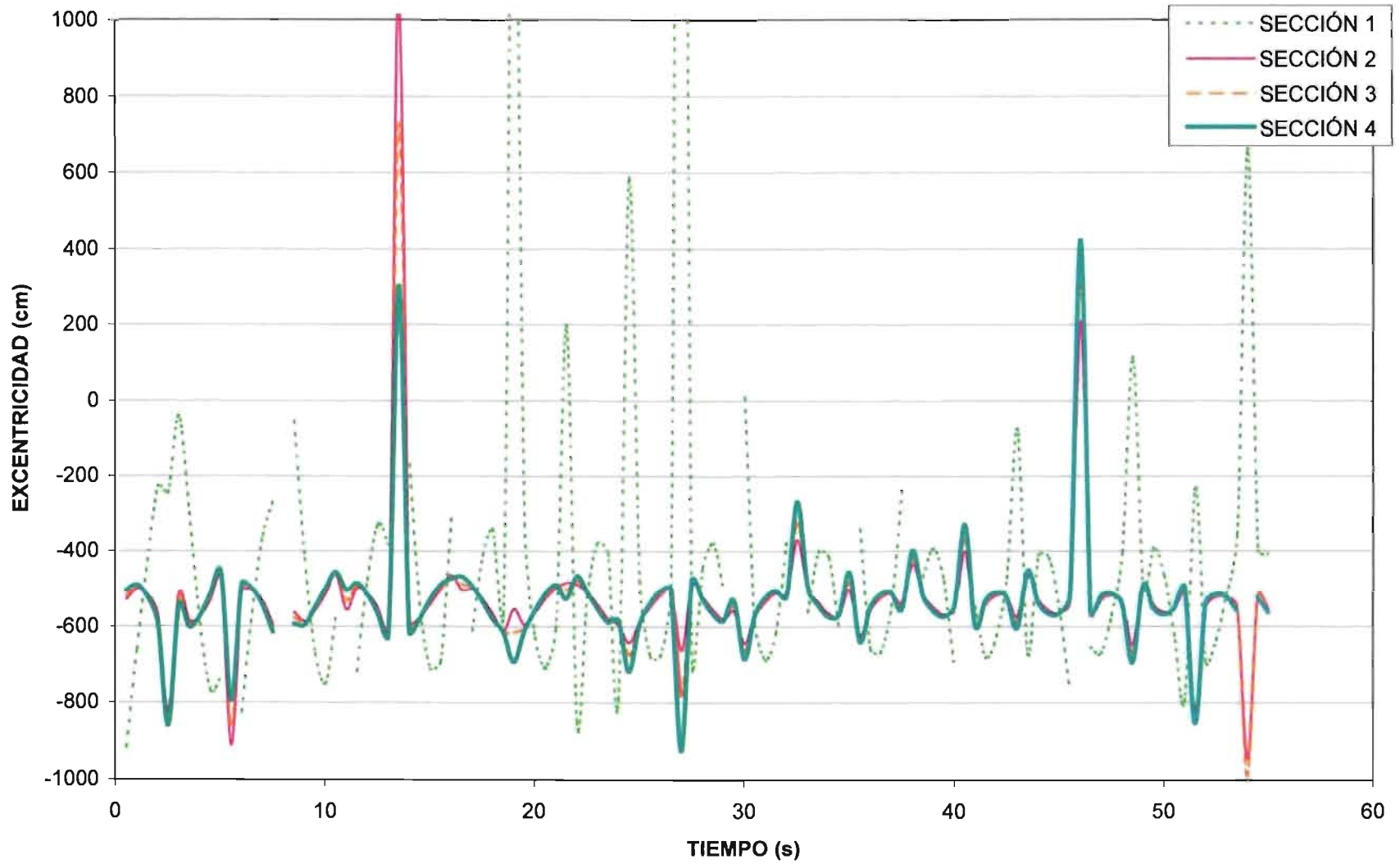
# COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN 4

## COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS CON EL MÉTODO DE EULER



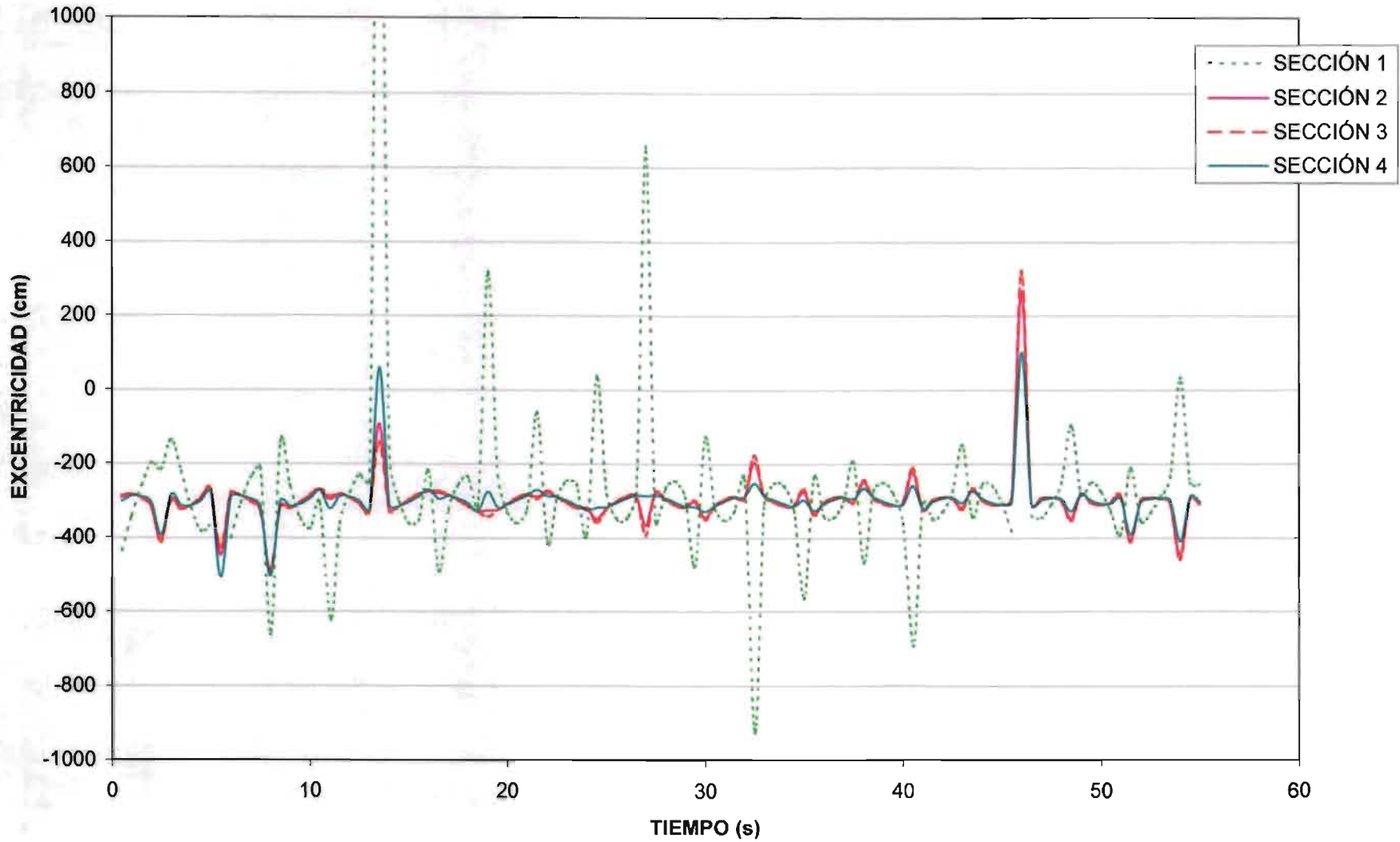
# VARIACIÓN DE GEOMETRÍA (Modificación de A\*2)

## COMPARACIÓN DE EXCENTRICIDADES CUANDO $V/NB=2$



# VARIACIÓN DE GEOMETRÍA (Modificación de A\*2)

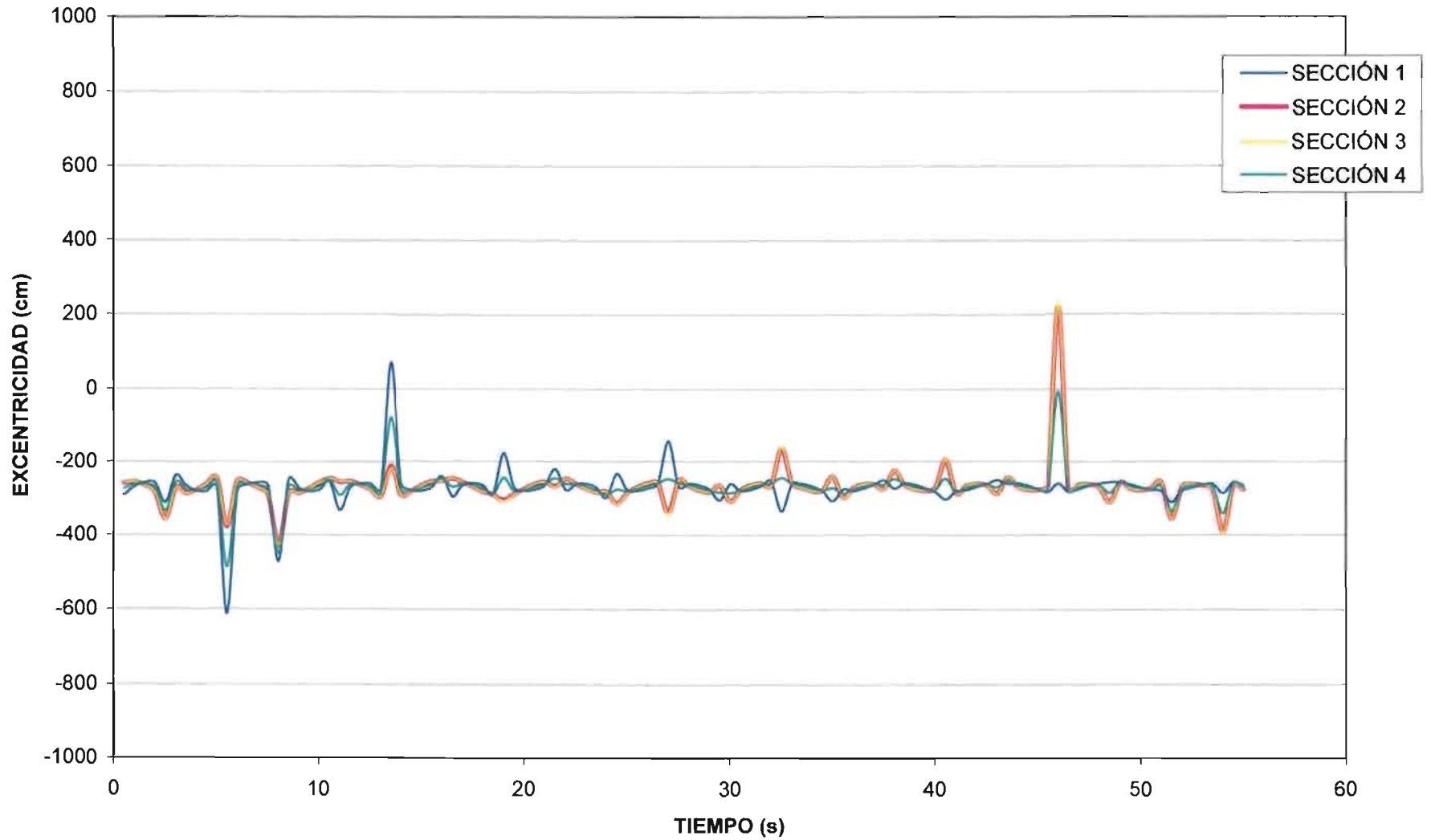
## COMPORTAMIENTO DE SECCIÓN CUANDO $V/NB=4$



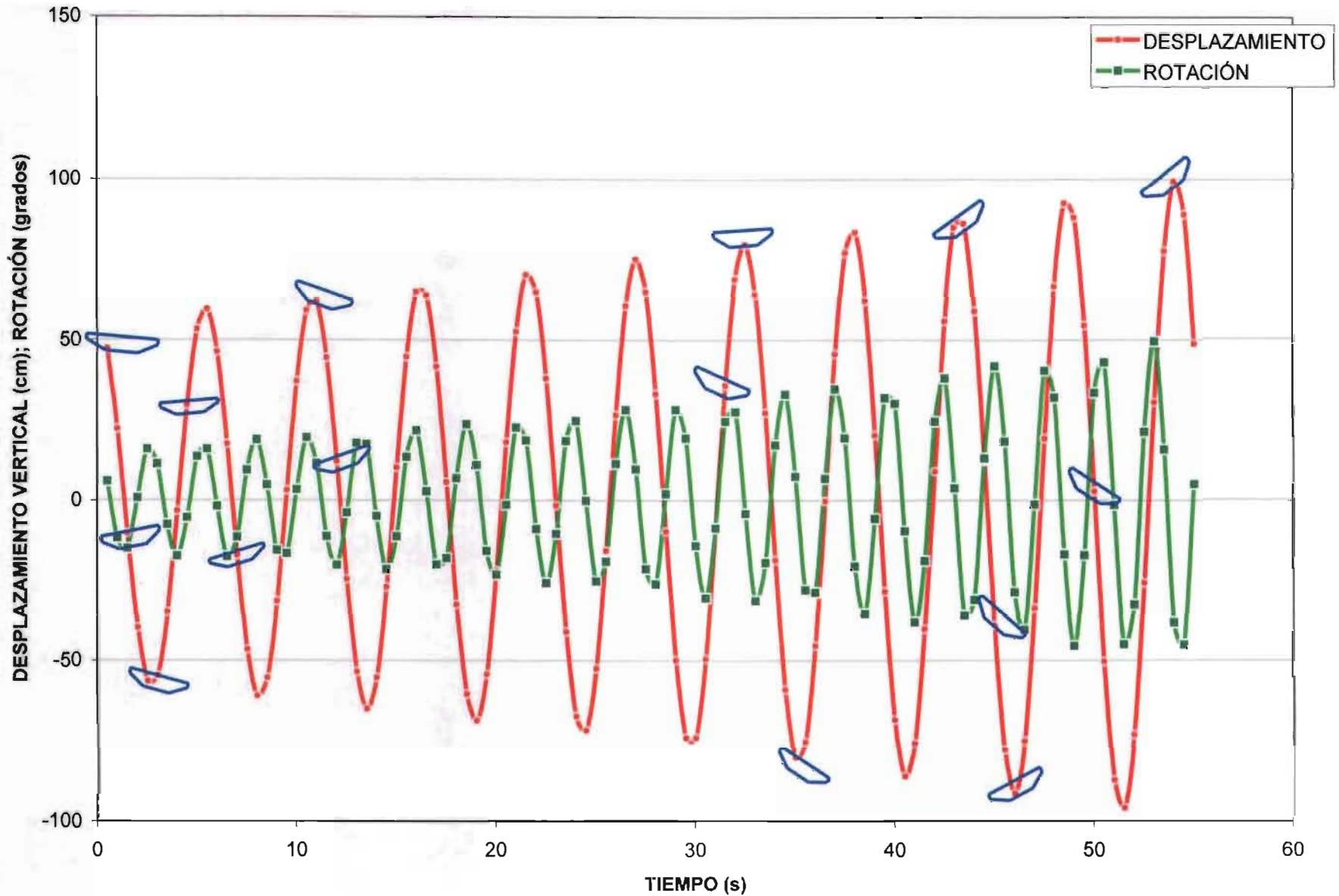


# VARIACIÓN DE GEOMETRÍA (Modificación de A\*2)

## COMPORTAMIENTO DE SECCIÓN CUANDO $V/NB=6$



# REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DE UN TRAMO SECCIONAL DE UN PUENTE ATIRANTADO CON AMORTIGUAMIENTO NEGATIVO (EH=ET=-0.009)



*"(...) me asomé a la lectura por la curiosidad que derivaba de mi inclinación"*  
Eva Perón

# Referencias

## Básicas

- Ref. B-1** **Álvarez S., H.** *Efecto del viento en puentes atirantados*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1992, 209 pág.
- Ref. B-2** **Andrews, D.**, *An Introduction to Atmospheric Physics*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000, 229 pág.
- Ref. B-3** **AppNet Designs**, *Historic Rockbridge county Lexington and Buena Vista Virginia. Natural wonders , great American heroes, and charming towns*, Copyright 2003 Lexington and the Rockbridge Area Visitor Center,  
[http://www.lexingtonvirginia.com/natural\\_bridge.htm](http://www.lexingtonvirginia.com/natural_bridge.htm), (July, 2003).
- Ref. B-4** **Arboleda, J.** *Disipación de Energía en estructuras en vibración*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1988, 206 pág.
- Ref. B-5** **Billington, D.-Nazmy, A.**, *History and aesthetics of cable-stayed bridges*, Journal of Structural Engineering, ASCE, No. 10, Vol. 117, Octubre 1991, págs. 3103-3134
- Ref. B-6** **BridgePros**, *Strait of Messina Bridge Project*, Last updated: 7 April 2003, Florida, U.S.A.,  
[http://bridgepros.com/projects/Strait\\_of\\_Messina\\_Bridge/](http://bridgepros.com/projects/Strait_of_Messina_Bridge/), (May, 2003).
- Ref. B-7** **Crowe, C. – Elger, D. - Robertson, J.**, *Mecánica de fluidos*, Ed. CECSA, 7ª edición, México, D.F., 2002, 711 pág.
- Ref. B-8** **DGM**, Archivo 2001.pdf, 11 pág. 219.7 KB, Descargado 3 Octubre 2001.
- Ref. B-9** **Diez E., J. R.**, *Historia contemporánea de Alemania (1945-1995)*, Ed. Síntesis, Colección Historia Universal Contemporánea No. 27, 7ª edición, 1998, 303 pág.
- Ref. B-10** **Disaster Center**, *The Fujita Scale of Tornado Damage*, FEMA, Updated: September 5, 2002, <http://www.disastercenter.com/tornado/fujita.htm>, (January, 2003)
- Ref. B-11** **Dupré, J.**, *Bridges: a history of the world's most famous and important spans*, Ed. Black Dog & Levental Publishers Inc., New York, USA, 1997, 128 pág.
- Ref. B-12** **Dyrbye C. - Hansen S.**, *Wind loads on structures*. Ed. John Wiley & Sons, 1ª reimp, England, London, 1999, 229 pág.

- Ref. B-13 Editor,** *Cable Stayed Bridges*, Brantacan, 350 pages and 4000 images, [http://www.brantacan.co.uk/cable\\_stayed.htm](http://www.brantacan.co.uk/cable_stayed.htm), (January, 2003).
- Ref. B-14 Editor,** *Cable Stayed Bridge*, NOVA Online, Updated: October 2000, <http://www.pbs.org/wgbh/nova/bridge/meetcable.html>, (January, 2003)
- Ref. B-15 Editor,** *Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica*, Museo virtual, Milano, Italia, Actualiz. en 2003, <http://www.museoscienza.org/english/leonardo/pontegirevole.html>, (July, 2003)
- Ref. B-16 Editor,** *Tacoma Narrows Bridge Failure*, from Smith, D. "A Case Study and Analysis of the Tacoma Narrows Bridge Failure", Carleton University, Canada, Ottawa, 1974, file has GIF images at about 8 KBytes per image, [http://www.civeng.carleton.ca/Exhibits/Tacoma\\_Narrows/DSmith/photos.html](http://www.civeng.carleton.ca/Exhibits/Tacoma_Narrows/DSmith/photos.html) (July, 2003).
- Ref. B-17 Escudero, J.,** *Los puentes*, 800x600, España, Plasencia, Cáceres, Extremadura, Actualizado en: 2000, <http://puentes.galeon.com>, (Julio, 2003).
- Ref. B-18 Escudero, J.,** *Los puentes: ayuda*, 800x600, España, Plasencia, Actualizado en: 2000, <http://www.geocities.com/jescud2000/lospuentes/ayuda.htm>, (Julio, 2003).
- Ref. B-19 Fernández, C.,** *Oficina de Proyectos*, Madrid, España, <http://www.cfcs.com/>, (Enero 2004)
- Ref. B-20 Ghiocel, D. – Lungu, D.,** *Wind, snow and temperature effects on structures base and probability*, Abacus Press, Romania, Bucharest, 1975, 390 pág.
- Ref. B-21 Godfrey, B.,** *Post-War Developments in German Steel Bridges and Structures*, The Structural Engineer, Vol. XXXV, No. 2, Feb. 1957, págs. 53-68.
- Ref. B-22 Honshu-Shikoku Bridge Authority,** *Tatara Bridge-World's Longest Cable-stayed Bridge*, Big Bridge, Copyright 1996, [http://www.hsba.go.jp/bridge/tata\\_inf.htm](http://www.hsba.go.jp/bridge/tata_inf.htm), (July, 2003)
- Ref. B-23 Institution of Structural Engineers,** *Post-War Developments in German Steel Bridges and Structures. Discussion on the Paper by Godfrey, G.,* The Structural Engineer, October 1957, págs. 390-398.
- Ref. B-24 Jackson, P.,** *The Peter de Colechurch Bridge: Late Mediaeval*, FSA London Bridge Museum & Educational Trust, <http://www.oldlondonbridge.com/latemediaeval.shtml>, (June, 2003)

- Ref. B-25** **Janberg N.**, *Internacional Database and Gallery of Structures Internet Content Services*, Structure-ID: str00075, File created on: 28/10/1998, Last Updated: 08/03/2003 version 4.5 / © 1998-2003. Design by Tarsl Georges, <http://www.structurae.de>, (April, 2003).
- Ref. B-26** **Koerte, A.**, *Firth of Forth. Two Railway Bridges of an Era*, Ed. Birkhäuser Verlag Basel, Germany, Berlin, 1992, 223 pág.
- Ref. B-27** **Kovach, W.**, *Menai Strait Bridges*, Copyright 2000, Wales. U. K., <http://www.anglesey-history.co.uk/places/bridges/>, (March, 2003).
- Ref. B-28** **Krohn, Sören**, *Danish Wind Industry Association*, Internacional Edition, Copyright 1997-2003, Updated 1 June 2003, Copenhagen V, Denmark, <http://www.windpower.org>, (July, 2003).
- Ref. B-29** **Laurent, A.**, Author obtained the photo from W.C. Schroeder's son Roger Schroeder of the Door County Historical Society, <http://www.greenbayroute.com/ahwbridge.htm>, (January, 2004).
- Ref. B-30** **Levi, E.**, *Elementos de Mecánica del Medio Continuo*. Ed. Limusa-Wiley, México, D.F., 1973.
- Ref. B-31** **Lipschutz, S. – Poe, A.**, *Programación con FORTRAN*, Ed. Mc Graw Hill, serie Schaum, traducción de 1ª edición, México, D. F., 1979, 314 pág.
- Ref. B-32** **Matthews, K. and Artifice, Inc.**, *Brooklyn Bridge*, [http://www.greatbuildings.com/buildings/Brooklyn\\_Bridge.html](http://www.greatbuildings.com/buildings/Brooklyn_Bridge.html), (July, 2003)
- Ref. B-33** **Peralta-Fabi, R.**, *Fluidos: Apellido de líquidos y gases*, Ed. Fondo de Cultura Económica, Colección La Ciencia desde México, México, D.F., 1993, 151 pág.
- Ref. B-34** **Potter, M. - Wiggert, D.**, *Mecánica de fluidos*, Ed. Thomson, Colección Ciencias e Ingenierías, 3ª edición, México, D.F., 2002, 769 pág.
- Ref. B-35** **Proceedings of the Seminar of Yokohama, Japan**, *Cable-Stayed Bridges: Recent Developments and their future*, Ed. Elsevier, Japan, Yokohama, 1991, 438 pág.
- Ref. B-36** **Ralston, A.**, *Mathematical Methods for Digital Computers*, Ed. John Wiley & Sons Inc., U.S.A., 1962, 293 pág.
- Ref. B-37** **Reyes G., R.**, *Fuerzas y momentos que actúan en puentes atirantados en flujo inestable de viento*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1993, 218 pág.
- Ref. B-38** **Sánchez, J.**, *Ciencias de la Tierra*, Ed. Trillas, México, D.F., 1996, 246 pág.

- Ref. B-39** **Sanz, M.**, *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*, Ediciones Del Laberinto, Colección Proyecto Teseo, España, Madrid, 1999, 447 pág.
- Ref. B-40** **Secretaría de Comunicaciones y Transportes**, *La construcción de Puentes en México*, Ed. Talleres de Litográfica México S.A., México, D.F., 1985, 250 pág.
- Ref. B-41** **Sistemas Avanzados de Computo**, *Puente Tampico 2*, Tampico, Tamps., Mexico, 2002, <http://www.hotelinglaterra.com.mx/tam.htm>, (November, 2002)
- Ref. B-42** **Stretto di Messina S.p.A.**, *Il sito ufficiale della Società Stretto di Messina S.p.A.*, Copyright 2002, <http://www.strettodimessina.it/>, (2003).
- Ref. B-43** **Varios**, *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*, Editorial Editex, Colección Ciencias de la naturaleza y de la salud, España, Madrid, 2000, 497 pág.
- Ref. B-44** **WGBH Educational Foundation**, *Bridges*, Produced for PBS 2000-2001, <http://www.buildingbig.com>, (August, 2003).

## Complementarias

- Ref. C-1** **Auch, I.**, *How a rolling lift bridge works*, designed by Sear-Brown Visualization Services, <http://www.ororkebridge.com/basculc.htm>, (2001).
- Ref. C-2** **Bartee, T.**, *Basic*, Ed. Harla, México, D.F., 1992, 337 pág.
- Ref. C-3** **Boyce, W. - DiPrima, R.**, *Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera*, Ed. Limusa-Wiley, 1ª reimp., México, D.F., 1971, 564 pág.
- Ref. C-4** **Burden, R. - Faires, J.**, *Análisis numérico*, Ed. Internacional Thompson, 6ª edición, México, D.F., 1999, 812 pág.
- Ref. C-5** **Cavazos, T.**, *Seminario Variabilidad Climática en Norte América -Interanual a Decadal-*, <http://oceanografia.cicese.mx/~tcavazos/Decadal.html>, (2003).
- Ref. C-6** **Gómez, M.**, *Curso completo de Basic*, Ed. Paraninfo, Madrid, España, 1988, 174 pág.
- Ref. C-7** **Editor**, *Beaufort wind scales*, Sizes, Inc., Last revised: 24 June 2003, <http://www.sizes.com/natural/beaufort.htm#land>, (2003).

- Ref. C-8** **Fernández, C. - Martínez J.,** *Hormigón pretensado. La arquitectura del ingeniero, estructuras mixtas, teoría y práctica.* Realizaciones españolas, Manuales de la A.T.E.P., Publicaciones M.O.P.T.
- Ref. C-9** **Meli, R. - Olivares, A. – Esteva, L.,** *Efecto de viento en puentes flexibles,* Facultad de Ingeniería UNAM, México, D.F., 36 pág.
- Ref. C-10** **Ojesto M., R.,** *Concurso Puente Portátil,* Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, D.F., 2000, archivo electrónico PPT, (2002).
- Ref. C-11** **Otaola, J. – Mendoza, B. – Pérez, R.,** *El Sol y la Tierra una relación tormentosa,* Fondo de Cultura Económica, Colección La ciencia desde México, México, D.F., 119 pág.
- Ref. C-12** **Redacción,** *CDN: Cadena de Noticias,* Santo Domingo, República Dominicana, <http://www.elcaribecd.com.do>, (2002).
- Ref. C-13** **Redacción,** *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniería Civil,* Universidade da Coruña, <http://www.iccp.udc.es> (2003).
- Ref. C-14** **Redacción,** *Puentes atirantados,* <http://www.launidad.org.mx/galeria.htm>, (2002).
- Ref. C-15** **Swokovsky, E.,** *Cálculo con geometría analítica,* Grupo Editorial Iberoamérica, 2ª ed., México, D.F., 1996, 1097 pág.
- Ref. C-16** **Walker, J. – Taylor, T.,** *Basic CGOS (Columbia Guide Online Style) Style,* Columbia University Press, last modified: 18 November 2002, <http://www.columbia.edu>, (2003).
- Ref. C-17** **Weather Channel,** *Glosario del tiempo,* The Weather Channel Interactive Inc., <http://espanol.weather.com/glossary/>, (2005).



*"Un hombre puede ser sabio y no saber que lo es"*  
Sócrates

# Glosario

## A

**Aeroelasticidad.** Ciencia dedicada al estudio de los fenómenos de interacción entre fuerzas aeroelásticas y movimiento de las estructuras.

**Aerodinámico.** Cuerpo que tiene una forma adecuada para disminuir la resistencia del aire.

**Amortiguamiento.** Disminución progresiva, en el tiempo, de un fenómeno periódico.

## C

**Calor.** Aumento en la temperatura de un cuerpo.

**Centroide.** Punto donde se supone que está concentrado el peso de un cuerpo.

**Condensación.** Cambio de un sistema del estado gaseoso al estado líquido.

**Convección.** Movimiento de las partículas de un fluido, que van desde los puntos calientes a los fríos recíprocamente, lo que determina un paso de calor de los primeros a los segundos.

## D

**Deflector.** Superficie capaz de desviar o alterar el sentido de un flujo.

**Deformación.** Cambio en la forma de un cuerpo debido a la aplicación de fuerzas. **Elástica**, cuando cesan las fuerzas que actúan sobre un

cuerpo, éste recupera su forma original; **plástica**, cuando la deformación persiste al dejar de actuar las fuerzas que la provocan.

**Densidad.** Cantidad de masa por unidad de volumen.

## E

**Elasticidad.** Propiedad que tienen los materiales de recobrar su forma original cuando cesa la fuerza exterior que los había deformado.

**Energía.** Capacidad de un cuerpo o de un sistema de cuerpos para producir trabajo.

**Esfuerzo.** Fuerza aplicada por unidad de área.

**Normal**, cuando la fuerza es paralela al eje de mayor dimensión del cuerpo; **cortante**, cuando la fuerza es perpendicular al eje de mayor dimensión del cuerpo.

**Estabilidad.** Situación de equilibrio caracterizada porque al desplazar un cuerpo de su posición inicial, las fuerzas que actúan sobre él, tienden a devolverlo a su posición original.

## F

**Fatiga.** Alteración de las características elásticas de un material después de haber sido sometido a muchas pruebas.

**Flexión.** Deformación que sufren los cuerpos elásticos al aplicarles una fuerza perpendicular a la dirección de su dimensión mayor.

**Fortran.** Lenguaje de programación computacional diseñado para resolver fórmulas.

**Fotosíntesis.** Proceso de fijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por las plantas verdes para la síntesis de hidratos de carbono.

**Frecuencia.** Número de vibraciones completas por unidad de tiempo. *Natural*, vibración libre debida a las fuerzas de inercia que actúan sobre un cuerpo y debidas a su distribución de masas. Un cuerpo puede tener varias frecuencias naturales.

**Fuerza.** Aquello provoca movimiento.

## I

**Inercia.** Incapacidad de los cuerpos para modificar su estado de reposo o de movimiento sin la intervención de alguna fuerza.

## M

**Momento.** Tendencia de un cuerpo a girar.

## N

**Nervadura.** Viga secundaria que forma parte de un sistema de varios elementos que disminuyen el

volumen del material total a emplear sin disminuir la rigidez del conjunto.

## O

**Oscilación.** Valor o posición que varía de una magnitud a otra de modo alternado, es decir, “ida y vuelta” del movimiento.

## P

**Periódico.** Fenómeno que repite un cuerpo para poder recuperar su posición original.

**Pilón.** Torre, soporte, pila, elemento estructural que soporta los cables de los puentes suspendidos.

**Presión.** Fuerza ejercida perpendicularmente a una superficie por unidad de ésta.

## R

**Resonancia.** Coincidencia de la frecuencia del sistema de fuerzas aplicadas con una de las frecuencias naturales del cuerpo.

**Rigidez.** Índice que proporciona una medida de la resistencia que un cuerpo opone a los cambios de forma.

**Romo.** Obtuso y sin punta.

**Rotación.** Movimiento de un cuerpo con respecto a un eje.

## T

**Temperatura.** Energía de movimiento promedio de las moléculas de un cuerpo o sustancia.

**Torsión.** Estado de tensión que se establece en un sólido cuando se le imprime una rotación sobre su eje longitudinal.

## V

**Vibración.** Variación periódica de un estado físico provocada por una perturbación del equilibrio mecánico, perturbación que origina una fuerza recuperadora que tiende a restablecer el equilibrio.

*"(...) El ingeniero Ciro Smith, a fin de hacerse comprender mejor de sus compañeros,  
había dibujado un plano de la meseta, con lo cual su proyecto quedó  
inmediatamente entendido en conjunto (...)"*  
Julio Verne

# Índice de apoyos gráficos

# Información básica

## FIGURAS

- |    |  |    |  |    |   |
|----|--|----|--|----|---|
| 5  | <b>Fig. 1-1</b> Puente Lexington, Virginia, Estados Unidos [Ref. 16]     | 11 | <b>Fig. 1-9</b> Diagrama de un puente basculante [Ref. 2]            | 14 | <b>Fig. 1-17</b> Diagrama de funcionamiento de un puente transbordador [Ref. 2].                  |
| 5  | <b>Fig. 1-2</b> Puente peatonal moderno (arquitectura orgánica) [Ref. 1] | 11 | <b>Fig. 1-10</b> Puente basculante construido [Ref. 2]               | 14 | <b>Fig. 1-18</b> Ejemplo de un puente transbordador [Ref. 2].                                     |
| 8  | <b>Fig. 1-3</b> Tipos de vigas para puentes                              | 12 | <b>Fig. 1-11</b> Diagrama de puente giratorio                        | 15 | <b>Fig. 1-19</b> Puente de barcas en África [Ref. 2].   |
| 8  | <b>Fig. 1-4</b> Ejemplos de marcos para puentes                          | 12 | <b>Fig. 1-12</b> <i>Sturgeon Bay, Swing Bridge</i> [Ref. 8]          | 15 | <b>Fig. 1-20</b> "Puente de pontones sobre Sano en Kozuke", autor Katsushika Hokusai (1760-1849). |
| 9  | <b>Fig. 1-5</b> Armaduras y su posición en puentes                       | 12 | <b>Fig. 1-13</b> Diagrama de puente con elevación vertical [Ref. 2]. |    |   |
| 9  | <b>Fig. 1-6</b> Ejemplo de un puente a base de armaduras                 | 13 | <b>Fig. 1-14</b> Puente con elevación vertical [Ref. 2].             |    |   |
| 10 | <b>Fig. 1-7</b> Forma general de un puente colgante                      | 13 | <b>Fig. 1-15</b> <i>Colocación del puente portátil.</i>              |    |   |
| 10 | <b>Fig. 1-8</b> Forma general de un puente atirantado                    | 14 | <b>Fig. 1-16</b> <i>Puente portátil en uso.</i>                      |    |   |

## GRÁFICAS

## TABLAS

# Capítulo 1

## FIGURAS

- 18 Fig. 1-21** Hombre primitivo [Ref. 2].
- 19 Fig. 1-22** Puente colgante [Ref. 2].
- 19 Fig. 1-23** Puente colgante [Ref. 2].
- 22 Fig. 1-24** *Aelius*, puente romano 135 A.C., Italia [Ref. 9].
- 24 Fig. 1-25** *Old Bridge of London* [Ref. 13].
- 25 Fig. 1-26** Modelo del puente de Leonardo Da Vinci [Ref. 1].
- 28 Fig. 1-27** *Menai Bridge*, Gran Bretaña [Ref. 3].
- 29 Fig. 1-28** *Brooklyn Bridge*, Estados Unidos [Ref. 4].
- 32 Fig. 1-29** *Pont de Cassagne*, Pirineos Orientales, Francia [Ref. 5].
- 34 Fig. 1-30** *George Washington Bridge*, Estados Unidos [Ref. 5].
- 35 Fig. 1-31** Puente *Tacoma Narrows*, [Ref. 10].
- 38 Fig. 1-32** *North Bridge*, Dusseldorf, Alemania [Ref. 5].
- 40 Fig. 1-33** *Akashi Kaikyo*, Japón [Ref. 5].
- 41 Fig. 1-33** *Sunshine Skyway Bridge*, Estados Unidos [Ref. 7].
- 41 Fig. 1-35** Puente Tampico, Tamaulipas, México [Ref. 6].
- 42 Fig. 1-36** *Tatara Bridge*, Japón. El puente atirantado más largo del mundo [Ref. 5].
- 43 Fig. 1-37** *Öresund*, Dinamarca-Suecia [Ref. 5].
- 43 Fig. 1-38** Viaducto, México, D.F., Foto. M. Espinosa, 2003.
- 45 Fig. 1-39** Elementos de un puente atirantado.
- 46 Fig. 1-40** Claros múltiples. Puente *Rion Antirion*, Grecia [Ref. 11].
- 48 Fig. 1-41** Puente peatonal con arreglo de cables espacial. Malecón, España [Ref. 15].
- 48 Fig. 1-42** Tipos de cables usados.
- 49 Fig. 1-43** Algunos tipos de pilones usados.
- 50 Fig. 1-44** Puente sobre el Río Grijalva, México [Ref. 11].
- 52 Fig. 1-45** Viaducto con torres tipo diamante, Venezuela [Ref. 15].
- 57 Fig. 1-46** Puente *Messina*, Italia [Ref. 21].

## GRÁFICAS

- 20 Gráfica 1.** Evolución en el uso de materiales para construcción de puentes.
- 30 Gráfica 2.** Construcción e incremento de longitud de puentes en el tiempo.
- 37 Gráfica 3.** Aproximación de puentes dañados o destruidos por la guerra en Alemania [Ref. 15].
- 44 Gráfica 4.** Puentes atirantados construidos y proyectados en el mundo.

## TABLAS

- 37 **Tabla 1.** Comparación entre tonelajes de material según el año.
- 42 **Tabla 2.** Puentes atirantados en el mundo
- 43 **Tabla 3.** Puentes atirantados desarrollados en los últimos 5 años en el mundo
- 51 **Tabla 4.** Ejemplos de arreglos para sistemas de piso para puentes atirantados.

## Capítulo 2

### FIGURAS

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>66 <b>Fig. 2-1</b> Incidencia de los rayos solares en la Tierra [Ref. 24].</li><li>67 <b>Fig. 2-2</b> Circulación atmosférica teórica; se muestra zonas de comportamiento diferente [Ref. 20].</li><li>68 <b>Fig. 2-3</b> Movimientos de convección y advección [Ref. 18].</li><li>70 <b>Fig. 2-4</b> Ubicación del viento general en el planeta.</li><li>71 <b>Fig. 2-5</b> Diagrama de la rotación en espiral de ciclones y anticiclones [Ref. 18].</li><li>72 <b>Fig. 2-6</b> Imagen vía satélite de un ciclón [Ref. 23].</li><li>73 <b>Fig. 2-7</b> Movimiento de las</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>brisas de mar y tierra [Ref. 24].</li><li>74 <b>Fig. 2-8</b> Representación gráfica de un tornado y los movimientos de las masas de aire que lo conforman.</li><li>75 <b>Fig. 2-9</b> Corriente a chorro al norte del Océano Atlántico [Ref. 25].</li><li>77 <b>Fig. 2-10</b> Desviación de la trayectoria del viento ante un obstáculo [Ref. 21].</li><li>76 <b>Fig. 2-11</b> Gradientes de velocidad del viento [Ref. 21].</li><li>77 <b>Fig. 2-12</b> Movimiento del viento en zonas arboladas [Ref. 21].</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>78 <b>Fig. 2-13</b> Temporal según la Escala de Beaufort [Ref. 24].</li><li>84 <b>Fig. 2-14</b> Distribución de velocidad planteada por Newton [Ref. 29].</li><li>86 <b>Fig. 2-15</b> Flujo alrededor de una superficie aerodinámica [Ref. 29].</li><li>86 <b>Fig. 2-16</b> Flujo laminar en que la velocidad depende del tiempo [Ref. 29].</li><li>87 <b>Fig. 2-17</b> Flujo turbulento donde la velocidad depende del tiempo [Ref. 29].</li><li>87 <b>Fig. 2-18</b> Flujo intermitente [Ref. 29].</li><li>88 <b>Fig. 2-19</b> Flujo en la capa límite</li></ul> |
|---|--|---|



- de una placa plana [Ref. 29].
- 89 Fig. 2-20** Flujo viscido (arriba) y flujo real (abajo) sobre una superficie esférica de una placa plana [Ref. 29].
- 91 Fig. 2-21** Fuerza de arrastre del viento
- 91 Fig. 2-22** Fuerza de levantamiento del viento
- 91 Fig. 2-23** Volteo en sección de puente
- 92 Fig. 2-24** Ángulo de ataque del viento.
- 95 Fig. 2-25** Formación de vórtices [Ref. 29]

- 95 Fig. 2-26** Patrón regular de vórtices de Karman [Ref. 27].
- 96 Fig. 2-27** Comparación del Número de Strouhal contra el Número de Reynolds para un flujo alrededor de un cilindro circular [Ref. 28].
- 96 Fig. 2-28** Golpeteo o vaivén horizontal.
- 96 Fig. 2-29** Galopeo o vaivén vertical.
- 97 Fig. 2-30** Aleteo o flameo.
- 98 Fig. 2-31** Túnel de viento de Yokohama [Ref. 31].

- 98 Fig. 2-32** Modelo del puente Tatara y su terreno circundante en el túnel de viento de Yokohama [Ref. 31].
- 100 Fig. 2-33** Sección de puente sin deflectores [Ref. 33]
- 100 Fig. 2-34** Sección de puente con deflectores [Ref. 33]
- 101 Fig. 2-35** Representación esquemática de la velocidad crítica.

## GRÁFICAS

- 65 Gráfica 5.** Estructura atmosférica.

## TABLAS

- 62 Tabla 5.** Composición de gases en la homósfera según el año.
- 63 Tabla 6.** Composición de la heterósfera
- 79 Tabla 7.** Clases de rugosidad según el terreno [Ref. 30]
- 80 Tabla 8.** Escala de Beaufort [Ref. 19]
- 81 Tabla 9.** Escala Fujita [Ref. 27]
- 83 Tabla 10.** Valores de densidad, peso específico y viscosidad del aire
- 93 Tabla 11** Valores aproximados del coeficiente de arrastre para cuerpos diversos [Ref. 28]
- 99 Tabla 12.** Escalas para maquetas según prueba a realizar en el túnel de viento [Ref. 32].

# Capítulo 3

## FIGURAS

- 107 **Fig. 3-1** Amortiguamiento positivo [Ref. 27]
- 108 **Fig. 3-2** Amortiguamiento nulo [Ref. 27]
- 108 **Fig. 3-3** Amortiguamiento negativo [Ref. 27]
- 109 **Fig. 3-4** Diagrama de viento horizontal en sección [Ref. 32]
- 109 **Fig. 3-5** Diagrama de viento con

- ángulo de ataque diferente de cero [Ref. 32].
- 111 **Fig. 3-6** Grados de libertad en la sección del puente
- 113 **Fig. 3-7** Diagrama de flujo
- 114 **Fig. 3-8** Calibración del programa para intervalos de tiempo, se observan

- desplazamientos.
- 115 **Fig. 3-9** Calibración del programa para intervalos de tiempo, se observan rotaciones.

## GRÁFICAS

## TABLAS

- 116 **Tabla 13.** Comportamiento de la sección del puente al variar las fracciones de amortiguamiento (resumen).

# Capítulo 4

## FIGURAS

- 121 **Fig. 4-1** Coeficientes  $H^*i$ .
- 122 **Fig. 4-2** Coeficientes  $A^*i$ .
- 122 **Fig. 4-3** Coeficientes  $A^*2$   
para la sección 1.
- 123 **Fig. 4-4** Coeficientes  $A^*2$   
para la sección 2.
- 123 **Fig. 4-5** Coeficientes  $A^*2$   
para la sección 3.
- 123 **Fig. 4-6** Coeficientes  $A^*2$   
para la sección 4.

## GRÁFICAS

-

## TABLAS

- 120 **Tabla 14.** Valores iniciales  
para el análisis.
- 121 **Tabla 15.** Fracción de  
amortiguamiento.
- 121 **Tabla 16.** Valores ocupados  
para el análisis.
- 122 **Tabla 17.** Valores ocupados  
para el análisis.
- 123 **Tabla 18.** Variación de la  
geometría del puente.

# Notación

$\alpha$	Grado de libertad rotación	<b>ET</b>	Amortiguamiento crítico en torsión
$\gamma$	Peso específico	<b>E<sub>v</sub></b>	Módulo de elasticidad o coeficiente de compresibilidad
$\eta$	Fracción de amortiguamiento	<b>F<sub>A</sub>, A</b>	Fuerza de arrastre
$\mu$	Viscosidad dinámica o coeficiente de viscosidad dinámico	<b>F<sub>L</sub>, L</b>	Fuerza de levantamiento
$\nu$	Viscosidad cinemática	<b>g</b>	Constante de gravedad
$\rho$	Densidad	<b>H, h<sub>i</sub></b>	Altura
$\tau$	Esfuerzo cortante	<b>h</b>	Grado de libertad vertical
$\omega, f$	Frecuencia	<b>Hi*,</b>	Coefficientes aerodinámicos
$\omega_i$	Frecuencia angular	<b>Pi*, Ai*</b>	
<b>AL</b>	Rotación, desplazamiento angular	<b>Ip</b>	Momento másico de inercia
<b>A<sub>p</sub></b>	Área proyectada del cuerpo en la dirección del flujo	<b>k</b>	Constante de rigidez
<b>B</b>	Longitud de la cubierta o ancho	<b>K</b>	Frecuencia reducida de oscilación
<b>c</b>	Velocidad del sonido	<b>L</b>	Longitud
<b>C</b>	Coeficiente de amortiguamiento	<b>m</b>	Masa
<b>C<sub>A</sub></b>	Coeficiente de arrastre	<b>M</b>	Número de Mach
<b>C<sub>i</sub></b>	Constantes de la solución general a una ecuación de segundo grado	<b>M<sub>T</sub></b>	Momento torsionante o volteo
<b>C<sub>L</sub></b>	Coeficiente de levantamiento	<b>p</b>	Presión
<b>C<sub>M</sub></b>	Coeficiente de momento	<b>p<sub>T</sub></b>	Presión total
<b>dp</b>	Cambio de presión	<b>Re</b>	Número de Reynolds
$\left(\frac{dV}{dy}\right)$	Gradiente de velocidad, cambio de velocidad respecto a la distancia en que ocurre el cambio	<b>St</b>	Número de Strouhal
<b>D</b>	Diámetro	<b>t</b>	Tiempo
<b>EH</b>	Amortiguamiento crítico en flexión	<b>V</b>	Velocidad
		$\left(\frac{V}{NB}\right)' \frac{1}{K}$	Velocidad reducida
		<b>x</b>	Desplazamiento
		<b>x(t)</b>	Desplazamiento con respecto al tiempo transcurrido

La tesis "*Movimiento de tramos seccionales de puentes atirantados ante la acción del viento*" se terminó de imprimir a color el 22 de mayo de 2005 en papel opalina extrablanco tamaño carta de 125g. (20 ejemplares).