Pequeña Introducción

Descripción del banco de pruebas

Descripción de la experimentación

Descripción de la metodología

Resultados

Experimentos para la identificación de los parámetros de un *riser* de acero en catenaria

Lizeth Torres, Flavia Borges, Cristina Verde, Carlos Magluta y Ney Roitman

Universidad Nacional Autónoma de México
Universidade Federal do Rio de Janeiro

15 de octubre de 2014

Overview

1. Pequeña Introducción
2. Descripción del banco de pruebas
3. Descripción de la experimentación
4. Descripción de la metodología
5. Resultados

¿Qué es un *riser*?

Los risers marinos —tuberías ascendentes— son la conexión entre una plataforma y el cabezal de un pozo en el fondo del mar, y pueden utilizarse para transportar petróleo, para proteger la columna de perforación o para transportar el lodo resultante cuando se está perforando.

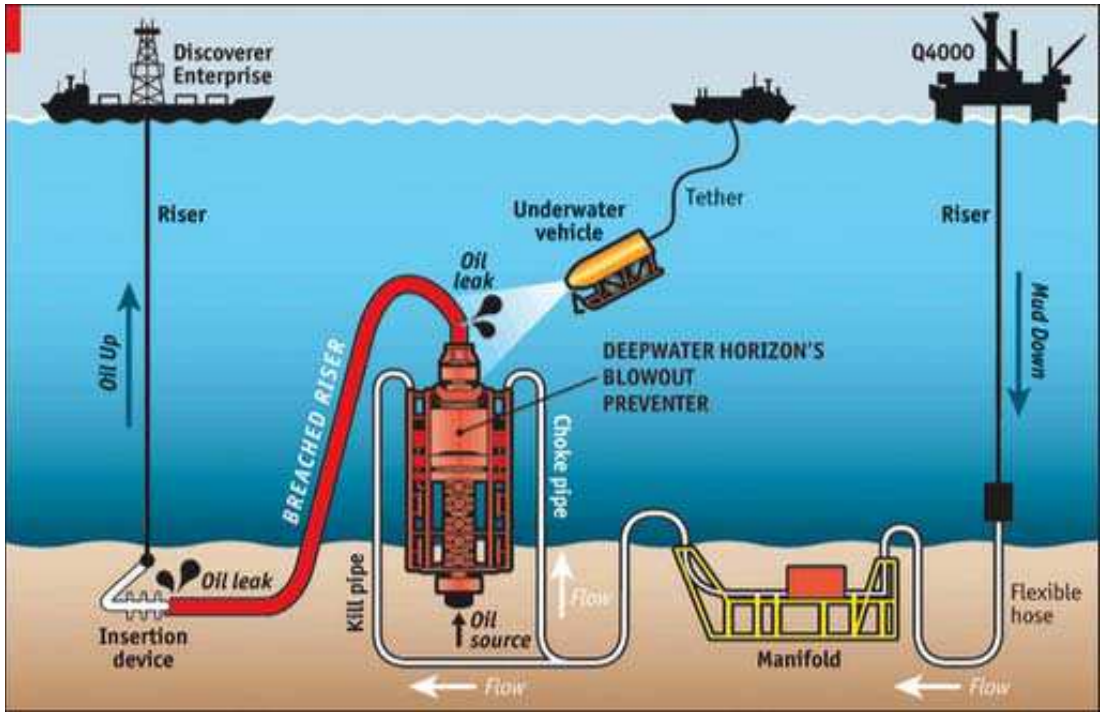


Figura: https://materread.wordpress.com

¿Cuáles son los tipos de *riser* que existen?

Según DET NORSKE VERITAS

Función

- *Riser* de producción, 1, 2, 3, 4
- *Riser* de inyección, 1, 2, 3, 4
- *Riser* de elevación por inyección de gas, 1
- *Riser* de servicio, 1
- *Riser* de exportación/importación, 1, 2, 3, 4
- *Riser* de finalización/reacondicionamiento, 1
- *Riser* marino de perforación, 1
- Umbilical, 2

Geometría

1. *Riser* tensionado desde superficie (TTR, Top Tensioned Riser)
2. *Riser* flexible (Compliant riser)
3. *Riser* híbrido
4. *Riser* de acero en catenaria (SCR, Steel Catenary Riser)

¿Cuáles son los tipos de *riser* que existen?

Según DET NORSKE VERITAS

Función

- *Riser* de producción, 1, 2, 3, 4
- *Riser* de inyección, 1, 2, 3, 4
- *Riser* de elevación por inyección de gas, 1
- *Riser* de servicio, 1
- *Riser* de exportación/importación, 1, 2, 3, 4
- *Riser* de finalización/reacondicionamiento, 1
- *Riser* marino de perforación, 1
- Umbilical, 2

Geometría

1. *Riser* tensionado desde superficie (TTR, Top Tensioned Riser)
2. *Riser* flexible (Compliant riser)
3. *Riser* híbrido
4. *Riser* de acero en catenaria (SCR, Steel Catenary Riser)

¿Cuáles son los tipos de *riser* que existen?

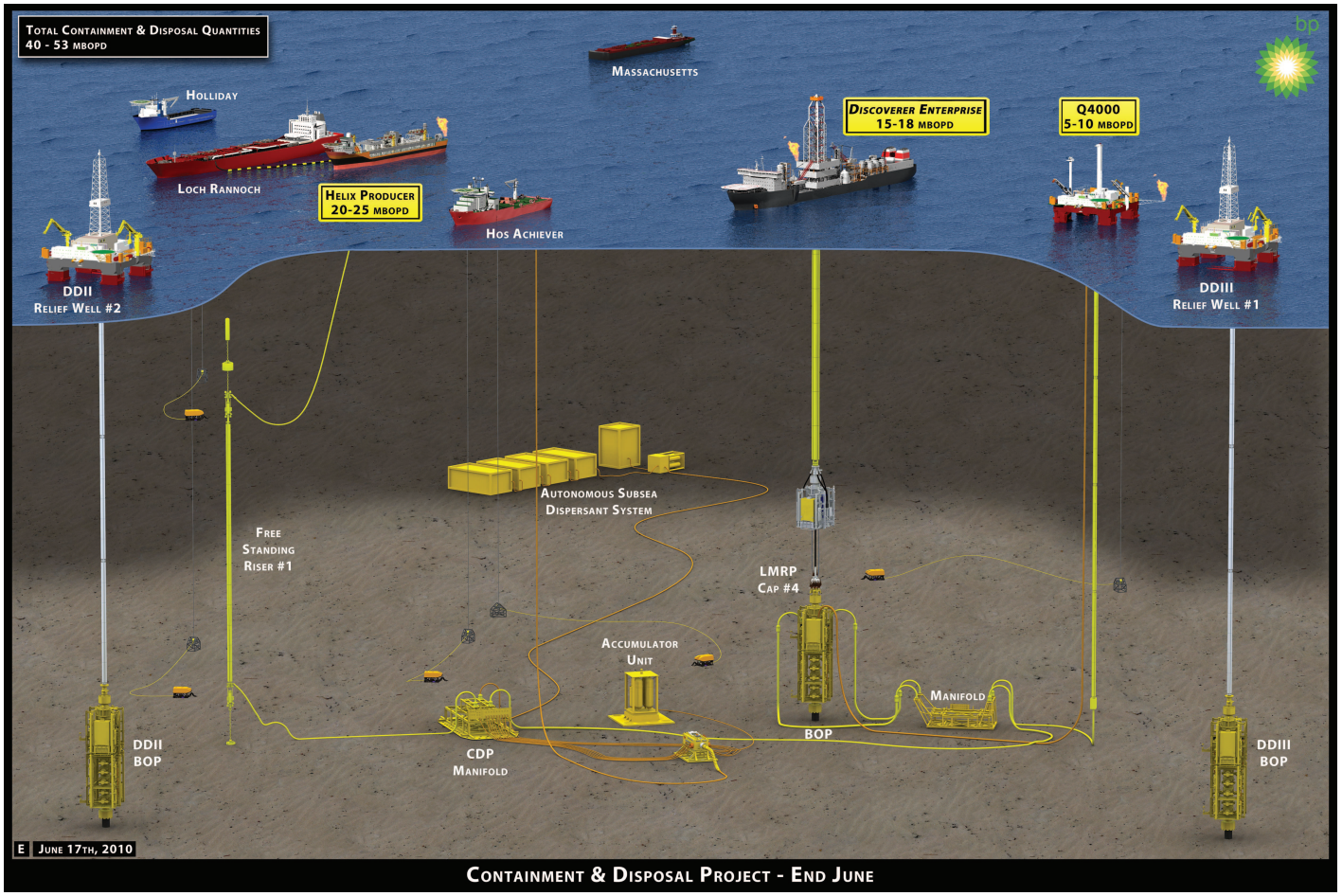


Figura: http://www.eoearth.org/

¿En qué condiciones operan?

Vórtices, olas superficiales, corrientes de viento, corrientes marinas ⇒ Vibración y largos desplazamientos

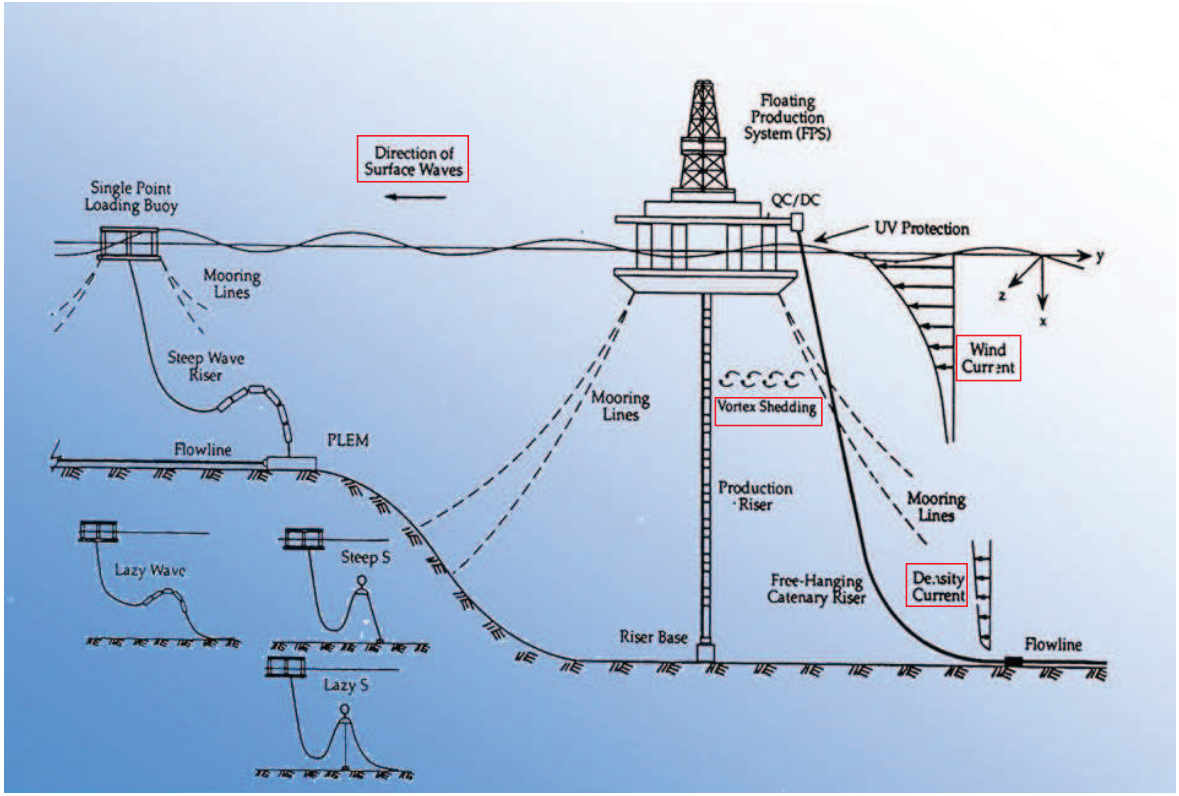


Figura: http://oceantecllc.com

¿Cuáles son los retos que involucran control automático?

1. Control de posición (Reentry control)
2. Control de vibraciones o Control VIV
3. Detección de daños

Es necesario conocer los parámetros modales (modos de vibración y factor de amortiguamiento), ya que se debe evitar que el riser oscile. La vibración causa tensión mecánica, desencadenando problemas de fatiga y propagación de grietas.

Detección de daños

Para evaluar las condiciones actuales del riser (e.g. calcular fatiga, el tiempo de vida util (Remaining Useful Life), cambios de rigidez que indiquen reducción del espesor de las paredes, etc.)

¿Cuáles son los retos que involucran control automático?

1. Control de posición (Reentry control)
2. Control de vibraciones o Control VIV
3. Detección de daños

Es necesario conocer los parámetros modales (modos de vibración y factor de amortiguamiento), ya que se debe evitar que el riser oscile. La vibración causa tensión mecánica, desencadenando problemas de fatiga y propagación de grietas.

Detección de daños

Para evaluar las condiciones actuales del riser (e.g. calcular fatiga, el tiempo de vida util (Remaining Useful Life), cambios de rigidez que indiquen reducción del espesor de las paredes, etc.)

¿Cuáles son los retos que involucran control automático?

1. Control de posición (Reentry control)
2. Control de vibraciones o Control VIV
3. Detección de daños

Es necesario conocer los parámetros modales (modos de vibración y factor de amortiguamiento), ya que se debe evitar que el riser oscile. La vibración causa tensión mecánica, desencadenando problemas de fatiga y propagación de grietas.

Detección de daños

Para evaluar las condiciones actuales del riser (e.g. calcular fatiga, el tiempo de vida util (Remaining Useful Life), cambios de rigidez que indiquen reducción del espesor de las paredes, etc.)

¿Cuáles son los retos que recaen el área de control automático?

Figura: Plataforma semisumergible (MODU) Deepwater Horizon. La cabeza del pozo de BP se equipó con un Blowout Preventer (BOP) pero no se equipó correctamente con el control remoto

¿Cuáles son las aportaciones principales de este artículo?

- Obtener un banco de datos de aceleración y carga para identificar cambios en los parámetros estructurales de un *riser* de acero en catenaria.
- Calcular los modos de vibración y el factor de amortigumiento de un *riser* marino utilizando la transformada onduleta y la transformada de Hilbert.
- Ejecutar la metodología utilizando datos reales.

¿Cuáles son las aportaciones principales de este artículo?

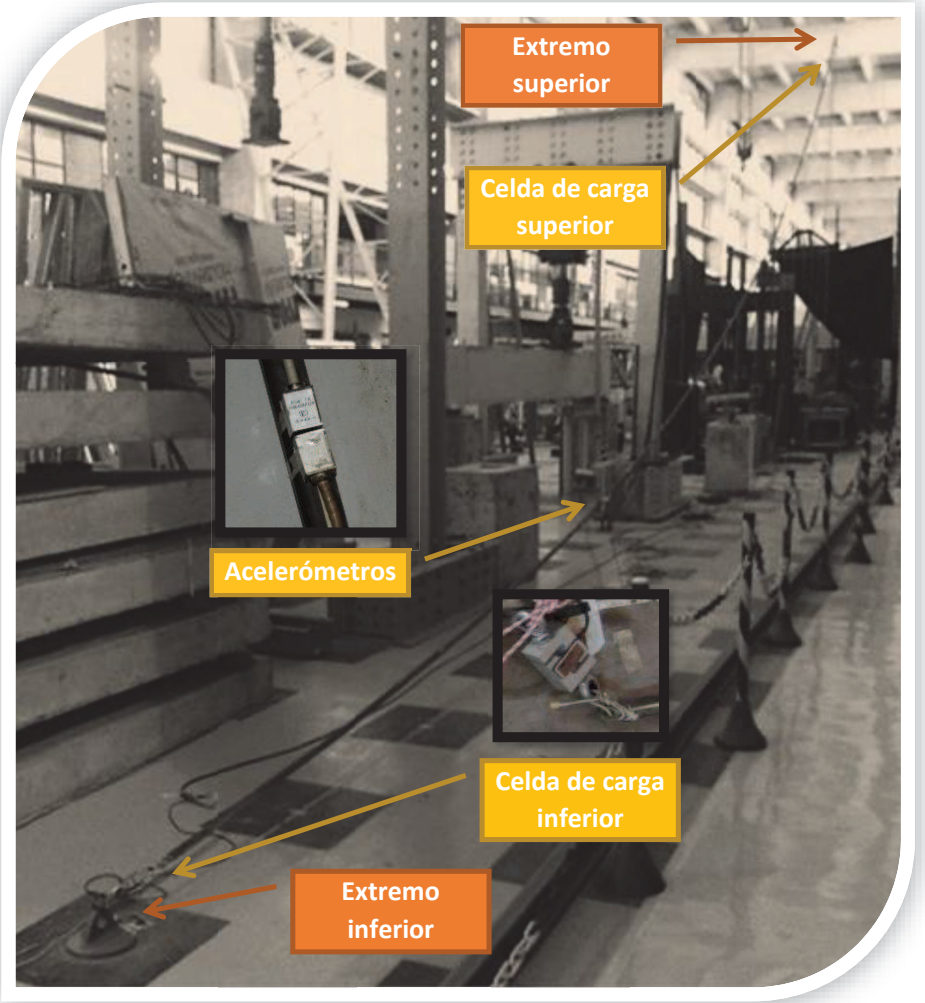
- Obtener un banco de datos de aceleración y carga para identificar cambios en los parámetros estructurales de un *riser* de acero en catenaria.
- Calcular los modos de vibración y el factor de amortigumiento de un *riser* marino utilizando la transformada onduleta y la transformada de Hilbert.
- Ejecutar la metodología utilizando datos reales.

¿Cuáles son las aportaciones principales de este artículo?

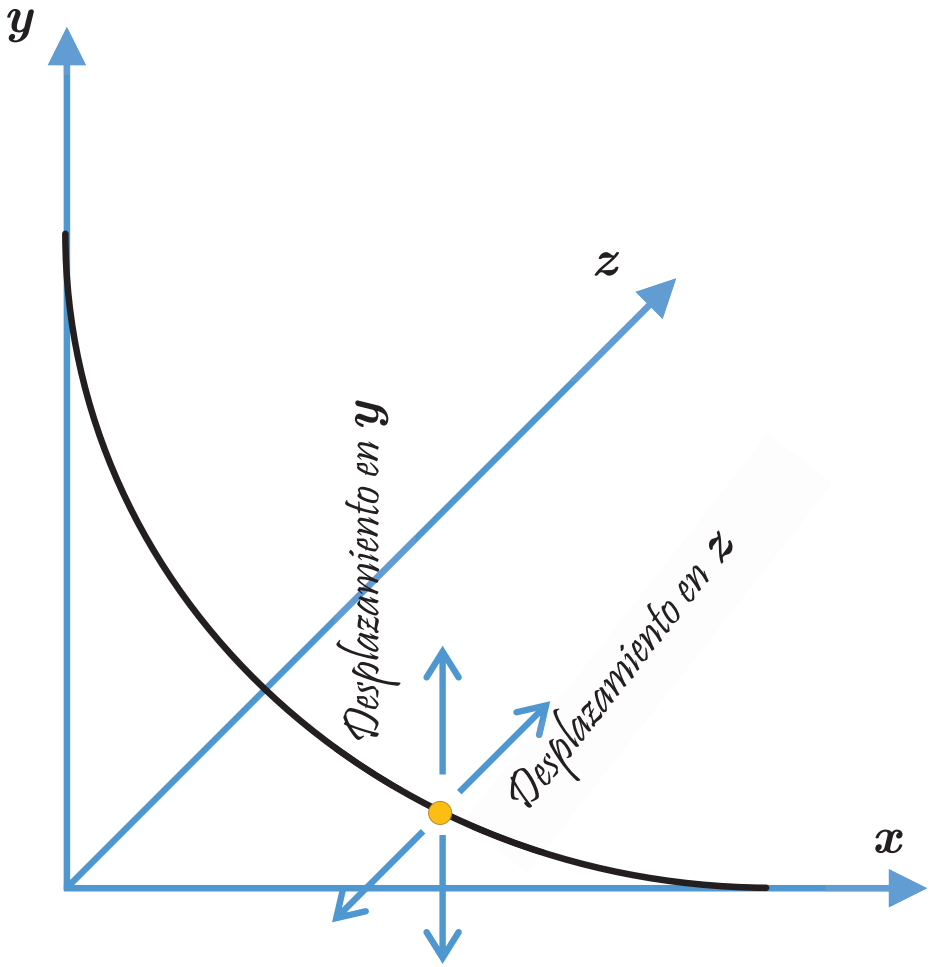
- Obtener un banco de datos de aceleración y carga para identificar cambios en los parámetros estructurales de un *riser* de acero en catenaria.
- Calcular los modos de vibración y el factor de amortigumiento de un *riser* marino utilizando la transformada onduleta y la transformada de Hilbert.
- Ejecutar la metodología utilizando datos reales.

Descripción de la maqueta

Descripción de la maqueta



Descripción de la maqueta



Descripción de la experimentación

Objetivo

Registrar los cambios producidos en la vibración del SCR cuando se modifica el amortiguamiento.

Para esta modificación, se utlizaron capas de material viscoelástico para envolver el SCR.

Descripción de la experimentación

Objetivo

Registrar los cambios producidos en la vibración del SCR cuando se modifica el amortiguamiento.

Para esta modificación, se utlizaron capas de material viscoelástico para envolver el SCR.

Descripción de la experimentación

Caso 1: El SCR sin material viscoelástico.

Caso 2: El SCR tiene tiene seis capas de material viscoelástico con una separación entre cada una de ellas.

Caso 3: El SCR tiene seis capas de material viscoelástico empatadas una con otra con el mismo material.

Descripción de la experimentación

Caso 1: El SCR sin material viscoelástico.

Caso 2: El SCR tiene tiene seis capas de material viscoelástico con una separación entre cada una de ellas.

Caso 3: El SCR tiene seis capas de material viscoelástico empatadas una con otra con el mismo material.

Descripción de la experimentación

Caso 1: El SCR sin material viscoelástico.

Caso 2: El SCR tiene tiene seis capas de material viscoelástico con una separación entre cada una de ellas.

Caso 3: El SCR tiene seis capas de material viscoelástico empatadas una con otra con el mismo material.

Descripción de la experimentación

Para los tres casos, se aplicaron golpes de martillo para emular señales impulso cerca del acelerómetro sobre el eje z.

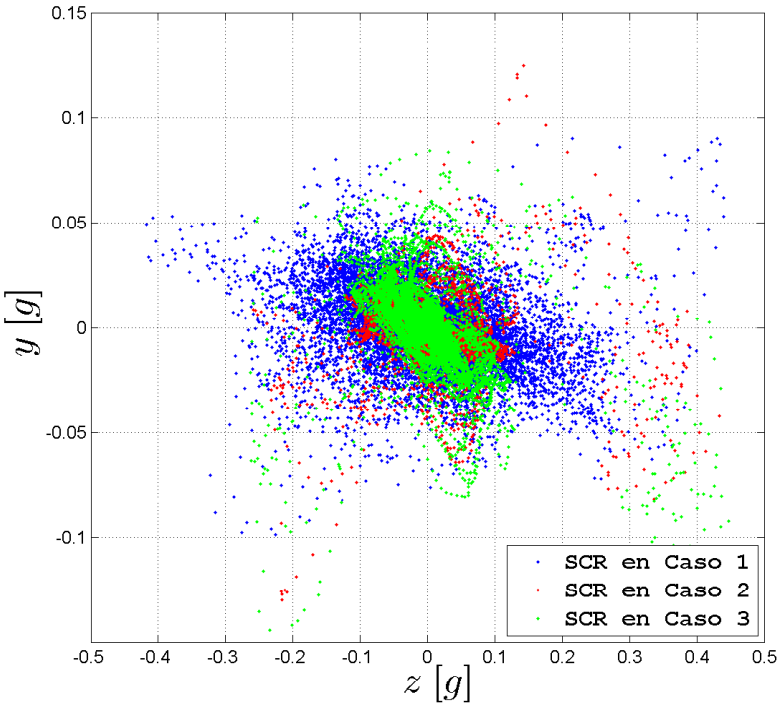


Figura: Retrato de fase de la aceleración en z

Descripción de la experimentación

Para los tres casos, se aplicaron golpes de martillo para emular señales impulso cerca del acelerómetro sobre el eje z.

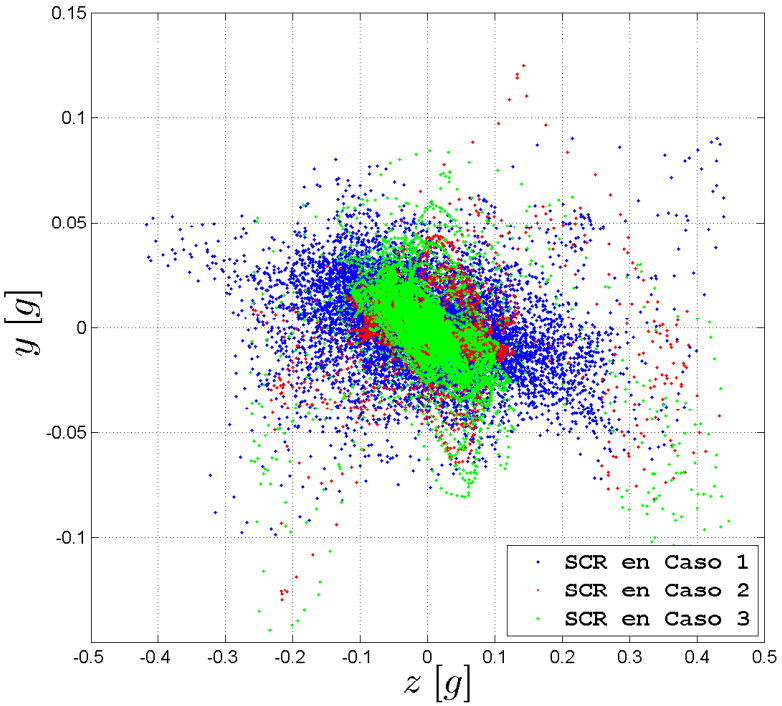


Figura: Retrato de fase de la aceleración en z

Descripción de la metodología

1. Se identifican las frecuencias y el ancho de banda de los modos de vibración de la estructura utilizando la transformada rápida de Fourier.

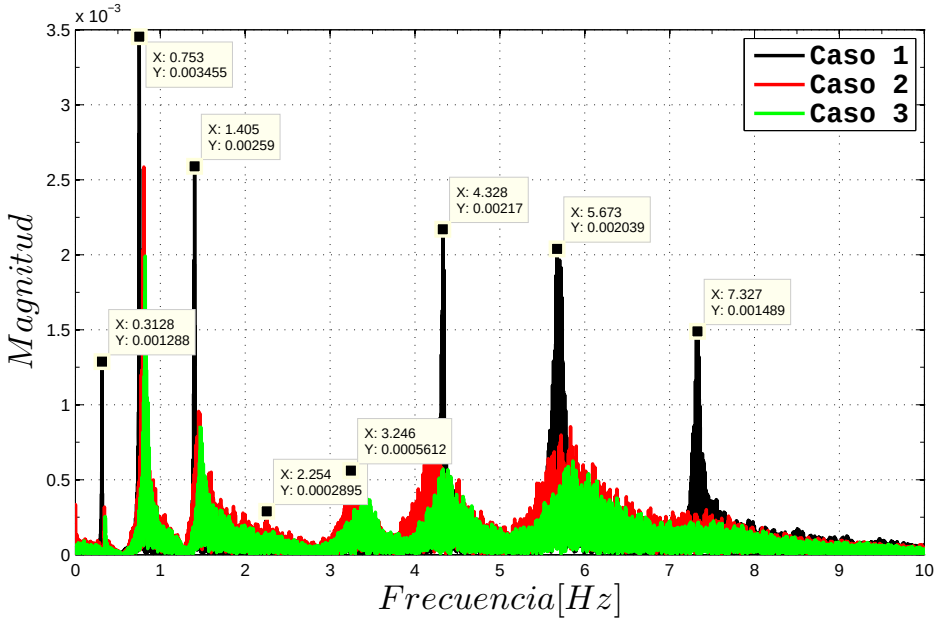


Figura: Respuesta frecuencial de la aceleración sobre el eje z

Descripción de la metodología

2. Con la información del ancho de banda se ajustan los parámetros de la transformada onduleta y se aíslan los modos de vibración.

La transformada onduleta se define como la convolución de la señal $y(t)$ con una familia de funciones $\Psi_{a,b}$. La familia de funciones u onduletas con que se se convoluciona la señal $y(t)$ se expresa como

$$\Psi_{a,b} = |a|^{-1/2}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in \mathbb{R}^+, b \in \mathbb{R} \tag{1}$$

Mediante el parámetro a se modifica la resolución frecuencial en el plano tiempo-frecuencia.

La traslación del tiempo de la familia de onduletas se ajusta con el parámetro b.

Descripción de la metodología

2. Con la información del ancho de banda se ajustan los parámetros de la transformada onduleta y se aíslan los modos de vibración.

La transformada onduleta se define como la convolución de la señal $y(t)$ con una familia de funciones $\Psi_{a,b}$. La familia de funciones u onduletas con que se se convoluciona la señal $y(t)$ se expresa como

$$\Psi_{a,b} = |a|^{-1/2}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in \mathbb{R}^+, b \in \mathbb{R} \tag{1}$$

Mediante el parámetro a se modifica la resolución frecuencial en el plano tiempo-frecuencia.

La traslación del tiempo de la familia de onduletas se ajusta con el parámetro b.

Descripción de la metodología

2. Con la información del ancho de banda se ajustan los parámetros de la transformada onduleta y se aíslan los modos de vibración.

La transformada onduleta se define como la convolución de la señal $y(t)$ con una familia de funciones $\Psi_{a,b}$. La familia de funciones u onduletas con que se se convoluciona la señal $y(t)$ se expresa como

$$\Psi_{a,b} = |a|^{-1/2}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in \mathbb{R}^+, b \in \mathbb{R} \tag{1}$$

Mediante el parámetro a se modifica la resolución frecuencial en el plano tiempo-frecuencia.

La traslación del tiempo de la familia de onduletas se ajusta con el parámetro b.

Descripción de la metodología

La transformada onduleta para una señal continua denotada CWT (*Continous Time Wavelet Transform*) se expresa como:

$$CWT(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t)\Psi_{a,b}(t)dt =< y, \Psi_{a,b} > \tag{2}$$

La convolución con los varios niveles de onduletas es equivalente a filtrar la señal $y(k)$ con familia de funciones de transferencia correspondientes a varias escalas de frecuencia.

Descripción de la metodología

Es este trabajo se considera la onduleta Morlet que se expresa

$$g(t) = e^{j\omega_0 t} e^{-t^2/2} \tag{3}$$

donde ω_0 es la frecuencia de la onduleta.
Si se considera una señal armónica simple

$$x(t) = k(t)\cos(\varphi(t))t \tag{4}$$

donde $k(t)$ y $\varphi(t)$ son las funciones variantes en el tiempo de la envolvente y la fase, la transformada onduleta de $x(t)$ se expresa

$$W(a,b) = \sqrt{a}k(t)e^{-(a\varphi(t)-\omega_0)^2} e^{j\phi(t)b} \tag{5}$$

donde

$$\begin{aligned} |W(a,b)| &= \sqrt{a}k(t)e^{-(a\varphi(t)-\omega_0)^2} \\ \angle[W(a,b)] &= \varphi(t)b \end{aligned} \tag{6}$$

Descripción de la metodología

Es este trabajo se considera la onduleta Morlet que se expresa

$$g(t) = e^{j\omega_0 t} e^{-t^2/2} \tag{3}$$

donde ω_0 es la frecuencia de la onduleta.
Si se considera una señal armónica simple

$$x(t) = k(t)\cos(\varphi(t))t \tag{4}$$

donde $k(t)$ y $\varphi(t)$ son las funciones variantes en el tiempo de la envolvente y la fase, la transformada onduleta de $x(t)$ se expresa

$$W(a,b) = \sqrt{a}k(t)e^{-(a\varphi(t)-\omega_0)^2} e^{j\phi(t)b} \tag{5}$$

donde

$$\begin{aligned} |W(a,b)| &= \sqrt{a}k(t)e^{-(a\varphi(t)-\omega_0)^2} \\ \angle[W(a,b)] &= \varphi(t)b \end{aligned} \tag{6}$$

Descripción de la metodología

Es este trabajo se considera la onduleta Morlet que se expresa

$$g(t) = e^{j\omega_0 t} e^{-t^2/2} \tag{3}$$

donde ω_0 es la frecuencia de la onduleta.
Si se considera una señal armónica simple

$$x(t) = k(t)\cos(\varphi(t))t \tag{4}$$

donde $k(t)$ y $\varphi(t)$ son las funciones variantes en el tiempo de la envolvente y la fase, la transformada onduleta de $x(t)$ se expresa

$$W(a,b) = \sqrt{a}k(t)e^{-(a\varphi(t)-\omega_0)^2} e^{j\phi(t)b} \tag{5}$$

donde

$$\begin{aligned} |W(a,b)| &= \sqrt{a}k(t)e^{-(a\varphi(t)-\omega_0)^2} \\ \angle[W(a,b)] &= \varphi(t)b \end{aligned} \tag{6}$$

Descripción de la metodología

Expresando la respuesta en un punto del sistema MDOF como la superposición de los n modos mas relevantes del *riser*, esto es:

$$x(t) = \sum_{j=1}^{n} A_j e^{-\zeta_j \omega_{nj} t} \sin(\omega_{dj} t) \tag{7}$$

donde j es el índice del modo.
La transformada onduleta es un transformación lineal, así que la trasformada onduleta de $x(t)$ definida en la ecuación (7) es:

$$W_j(a,b) = \sqrt{a} \sum_{j=1}^{n} A_j e^{-\zeta_j \omega_{nj} t} e^{-(a\omega_{dj} - \omega_0)^2} e^{j\omega_{dj} b} \tag{8}$$

Descripción de la metodología

El término $e^{-(a\omega_{dj}-\omega_0)^2}$ es una ventana Gaussiana en el dominio de la frecuencia que opera como un filtro pasa banda. Para un valor fijo del parámetro de dilatación ($a = a_j = \frac{\omega_0}{2\pi f}$), sólo el modo cuya frecuencia es frecuencia es:

$$\omega_{dj} = \frac{\omega_0}{a_j} \rightarrow e^{-(a\omega_{dj}-\omega_0)^2} \cong 1 \tag{9}$$

da una contribución relevante en la ecuación (8)
Por esta razón, para $a = a_j$:

$$W_j(a,b) = \sqrt{a_j} \sum_{j=1}^{n} A_j e^{-\zeta_j \omega_{nj} t} e^{j\omega_{dj} b} \tag{10}$$

Así pues, se puede estimar el factor de amortiguamiento y la frecuencia asociada al modo aislado j.

Descripción de la metodología

3 Se obtiene la respuesta temporal de cada modo de vibración.

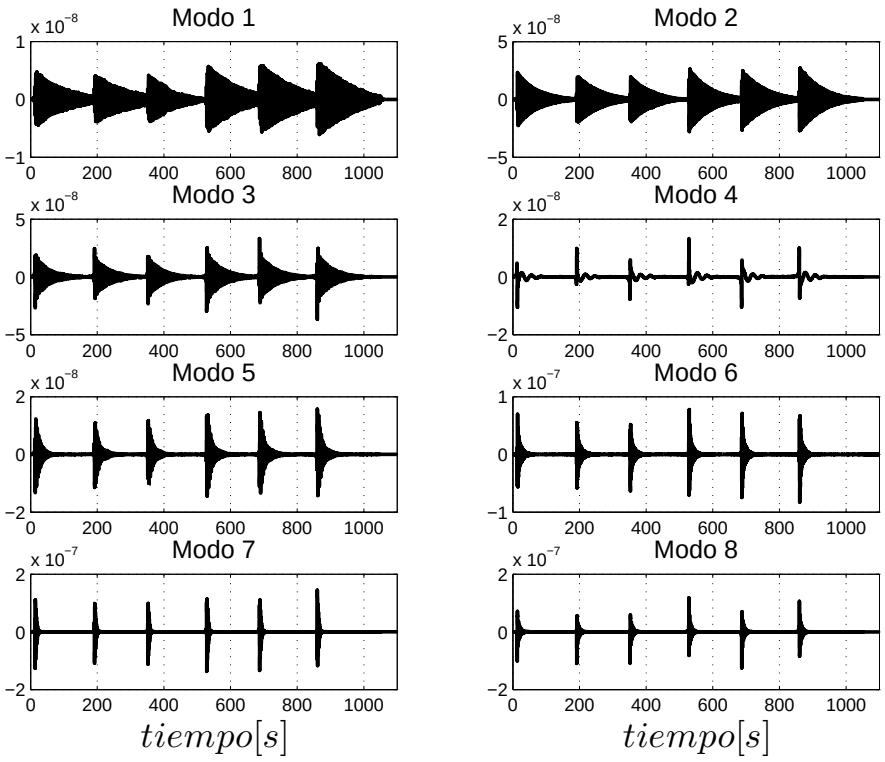


Figura: Respuesta temporal de cada modo aislado

Descripción de la metodología

4. Se calcula la transformada de Hilbert para cada respuesta temporal con el fin de extraer su respectiva envolvente exponencial.

$$X_H(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \tag{11}$$

Esta transformación puede emplearse para calcular una nueva señal a partir de la señal original con la misma amplitud y contenido frecuencial, incluyendo la fase de la señal original.

$$\bar{x}(t) = x(t) - iX_H(t) \tag{12}$$

donde la parte real es la señal original y la parte imaginaria es un versión de la original desfasada 90°.

Descripción de la metodología

La respuesta al impulso de un sistema de un sólo grado de libertad (SDOF, acrónimo de Single Degree Of Freedom) viscosamente amortiguado es:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t) \tag{13}$$

donde A es la magnitud, ω_n es la frecuencia angular no amortiguada, ω_d es la frecuencia angular amortiguada ($\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$) y ζ es el factor de amortiguamiento.

$$X_H = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos\omega_d t$$

$$\bar{x}(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)$$

$$|\bar{x}(t)| = \sqrt{Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)} = Ae^{-\zeta\omega_n t}$$

$$\ln|\bar{x}(t)| = \ln(A) - \zeta\omega_n t = \ln(A) - mt$$

$$\zeta = \frac{m}{\omega_n}$$

Descripción de la metodología

La respuesta al impulso de un sistema de un sólo grado de libertad (SDOF, acrónimo de Single Degree Of Freedom) viscosamente amortiguado es:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t) \tag{13}$$

donde A es la magnitud, ω_n es la frecuencia angular no amortiguada, ω_d es la frecuencia angular amortiguada ($\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$) y ζ es el factor de amortiguamiento.

$$X_H = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos\omega_d t$$

$$\bar{x}(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)$$

$$|\bar{x}(t)| = \sqrt{Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)} = Ae^{-\zeta\omega_n t}$$

$$\ln|\bar{x}(t)| = \ln(A) - \zeta\omega_n t = \ln(A) - mt$$

$$\zeta = \frac{m}{\omega_n}$$

Descripción de la metodología

La respuesta al impulso de un sistema de un sólo grado de libertad (SDOF, acrónimo de Single Degree Of Freedom) viscosamente amortiguado es:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t) \tag{13}$$

donde A es la magnitud, ω_n es la frecuencia angular no amortiguada, ω_d es la frecuencia angular amortiguada ($\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$) y ζ es el factor de amortiguamiento.

$$X_H = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos\omega_d t$$

$$\bar{x}(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)$$

$$|\bar{x}(t)| = \sqrt{Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)} = Ae^{-\zeta\omega_n t}$$

$$\ln|\bar{x}(t)| = \ln(A) - \zeta\omega_n t = \ln(A) - mt$$

$$\zeta = \frac{m}{\omega_n}$$

Descripción de la metodología

La respuesta al impulso de un sistema de un sólo grado de libertad (SDOF, acrónimo de Single Degree Of Freedom) viscosamente amortiguado es:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t) \tag{13}$$

donde A es la magnitud, ω_n es la frecuencia angular no amortiguada, ω_d es la frecuencia angular amortiguada ($\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$) y ζ es el factor de amortiguamiento.

$$X_H = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos\omega_d t$$

$$\bar{x}(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)$$

$$|\bar{x}(t)| = \sqrt{Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)} = Ae^{-\zeta\omega_n t}$$

$$\ln|\bar{x}(t)| = \ln(A) - \zeta\omega_n t = \ln(A) - mt$$

$$\zeta = \frac{m}{\omega_n}$$

Descripción de la metodología

La respuesta al impulso de un sistema de un sólo grado de libertad (SDOF, acrónimo de Single Degree Of Freedom) viscosamente amortiguado es:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t) \tag{13}$$

donde A es la magnitud, ω_n es la frecuencia angular no amortiguada, ω_d es la frecuencia angular amortiguada ($\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$) y ζ es el factor de amortiguamiento.

$$X_H = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos\omega_d t$$

$$\bar{x}(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)$$

$$|\bar{x}(t)| = \sqrt{Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)} = Ae^{-\zeta\omega_n t}$$

$$\ln|\bar{x}(t)| = \ln(A) - \zeta\omega_n t = \ln(A) - mt$$

$$\zeta = \frac{m}{\omega_n}$$

Descripción de la metodología

La respuesta al impulso de un sistema de un sólo grado de libertad (SDOF, acrónimo de Single Degree Of Freedom) viscosamente amortiguado es:

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_d t) \tag{13}$$

donde A es la magnitud, ω_n es la frecuencia angular no amortiguada, ω_d es la frecuencia angular amortiguada ($\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$) y ζ es el factor de amortiguamiento.

$$X_H = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos\omega_d t$$

$$\bar{x}(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)$$

$$|\bar{x}(t)| = \sqrt{Ae^{-\zeta\omega_n t}(\sin\omega_d t - i\cos\omega_d t)} = Ae^{-\zeta\omega_n t}$$

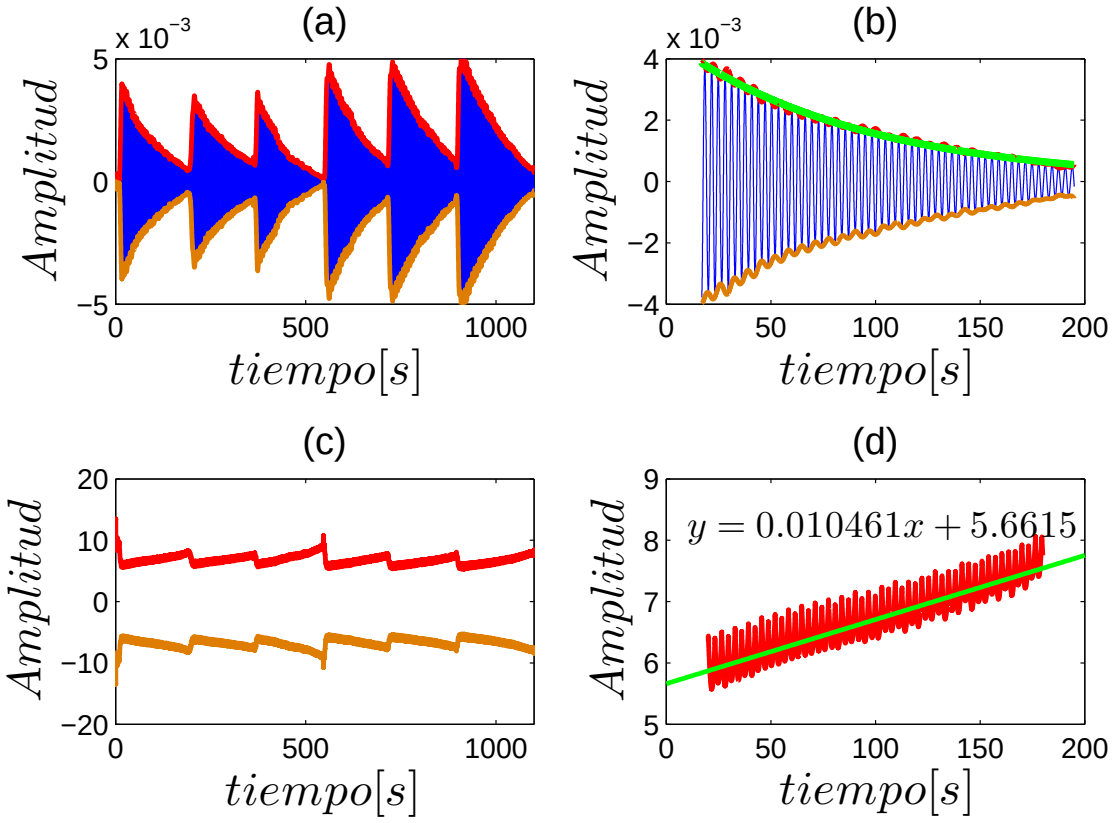
$$\ln|\bar{x}(t)| = \ln(A) - \zeta\omega_n t = \ln(A) - mt$$

$$\zeta = \frac{m}{\omega_n}$$

Descripción de la metodología

Descripción de la metodología

5. Se calcula el logaritmo natural de las envolventes para obtener su pendientes.
6. Se calculan los factores de amortiguamiento de cada modo de vibración.



Resultados

Cuadro: Factores de amortiguamiento estimados

Modo	Caso 1	Caso 2	Caso 3
1	0.5759	0.7698	1.0053
2	0.37587	1.8441	2.2944
3	0.27856	1.4976	3.4588
4	0.25692	-	-
5	0.35822	1.6424	2.1206
6	0.369	1.2853	1.5682
7	0.84183	1.0955	1.9388
8	0.3249	-	-

GRACIAS