

Tabla de Contenido

Capítulo 1 Introducción	1-1
1.1. Motivación	1-1
1.2. Estado del arte.....	1-5
1.3. Objetivos.....	1-7
1.3.1. Objetivos generales	1-7
1.3.2. Objetivos específicos	1-7
1.4. Metodología	1-9
1.4.1. Revisión bibliográfica sobre el comportamiento de estanques de almacenamiento de líquidos	1-9
1.4.2. Montaje Experimental de estructura a escala.....	1-9
1.4.3. Ensayos en laboratorio.....	1-10
1.4.3.1. Inputs y Outputs.....	1-10
1.4.4. Aplicación del Método ITD.....	1-10
1.4.5. Aplicación del Método DSI por pequeñas ventanas de tiempo.....	1-10
1.4.6. Aplicación de Espectrogramas.....	1-11
1.4.7. Aplicación del Método Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF)	1-11
1.4.8. Comparación de métodos.....	1-11
1.4.9. Implementación y aplicación del método SMFDD.....	1-11
1.4.10. Determinación de parámetros dinámicos.....	1-11
1.4.11. Análisis y validación de resultados.....	1-12
Capítulo 2 Antecedentes	2-13
2.1. Método de Housner (1963): modelo dinámico de estanques.....	2-13
2.1.1. API 650 “Welded Steel tanks for oil storage”.....	2-15
2.1.1.1. Período de vibración estructural	2-16
2.1.2. ACI 350 “Seismic Design of Liquid Containing Concrete Structures”.....	2-17

2.1.2.1.	Masas equivalentes del líquido en aceleración (excluyendo la presión base).	2-19
2.1.2.2.	Alturas de los centros de gravedad (excluyendo la presión base).....	2-20
2.1.2.3.	Altura de los centros de gravedad (incluyendo la presión base).....	2-22
2.1.2.4.	Propiedades dinámicas.....	2-23
Capítulo 3 Ensayo Modal de Estructuras.....		3-26
3.1.	Etapas del Ensayo modal	3-27
3.1.1.	Montaje del sistema experimental.....	3-27
3.1.2.	Adquisición de datos y estimación de las funciones de respuesta en frecuencia (FRF)	3-27
3.1.3.	Identificación de los parámetros dinámicos mediante Análisis Modal.....	3-28
3.1.4.	Validación de resultados	3-28
3.2.	Métodos de Análisis Modal.....	3-28
Capítulo 4 Métodos de análisis modal.....		4-31
4.1.	Método de identificación de Ibrahim en el dominio del tiempo (ITD).....	4-31
4.1.1.	Descripción del método ITD utilizado.....	4-31
4.2.	Método de Identificación Deterministic-Stochastic Subspace Identification (DSI)	4-37
4.2.1.	Descripción del método DSI utilizado.....	4-37
4.2.2.	Criterios de estabilidad en la estimación de las propiedades dinámicas	4-40
4.2.3.	Propiedades dinámicas invariantes y variantes en el tiempo	4-42
4.2.3.1.	Propiedades dinámicas invariantes en el tiempo.....	4-42
4.2.3.2.	Propiedades dinámicas variantes en el tiempo.....	4-43
4.2.4.	Largo de ventana de tiempo.....	4-44
4.3.	Métodos de Identificación en Tiempo-Frecuencia	4-45
4.3.1.	Espectrograma	4-45
4.3.2.	Función de Transferencia por pequeñas ventanas de tiempo (tfTF).....	4-47
4.4.	Método de identificación a través de la descomposición en el dominio de la frecuencia para el caso sísmico (SMFDD).....	4-49

4.4.1.	Descripción del método Frequency Domain Decomposition para el caso sísmico (SMFDD).....	4-49
Capítulo 5 Ensayos en Laboratorio		5-59
5.1.	Descripción de Estructura	5-59
5.1.1.	Sistema principal	5-59
5.1.2.	Sistema secundario.....	5-62
5.1.2.1.	Elementos del sistema de almacenamiento	5-62
5.1.2.2.	Elementos del sistema de restitución.....	5-62
5.2.	Montaje en Laboratorio	5-65
5.2.1.	Elementos de medición.....	5-65
5.2.1.1.	Acelerómetros	5-65
5.2.1.2.	Sensores Ultrasónicos.....	5-66
5.2.1.3.	Medidor de agua potable domiciliario	5-67
5.2.2.	Sistema de adquisición de datos.....	5-68
5.2.2.1.	Convertidor analógico digital (ADC)	5-70
5.2.3.	Cámaras de video.....	5-70
5.2.4.	Equipo secundario.....	5-71
5.2.5.	Disposición de sensores	5-72
5.2.5.1.	Configuración A de sensores.....	5-73
5.2.5.2.	Configuración B de sensores.....	5-75
5.3.	Generación de registros de señales aleatorias	5-77
5.3.1.	Registro aleatorio suave.....	5-77
5.3.1.1.	Teórico.....	5-77
5.3.1.2.	Experimental	5-80
5.3.2.	Registro aleatorio fuerte.....	5-85
5.3.2.1.	Teórico.....	5-85
5.3.2.2.	Experimental	5-88
5.4.	Metodología de Ensayos experimentales.....	5-93
5.4.1.	Ensayos preliminares.....	5-93
5.4.2.	Ensayo de impacto.....	5-94
5.4.3.	Ensayos con excitación basal.....	5-94

5.4.3.1.	Sismo aleatorio en dos direcciones.....	5-95
5.4.3.2.	Sismos de Concepción al 55% y Constitución al 50%	5-95
5.4.3.3.	Sismo aleatorio en una dirección.....	5-96
5.4.4.	Matrices de ensayo.....	5-96

Capítulo 6 Identificación de propiedades dinámicas mediante métodos de Análisis Modal.....6-99

6.1. Identificación de propiedades dinámicas a partir de ensayos de impacto a través del método de Ibrahim en el dominio del tiempo (ITD)..... 6-100

6.1.1.	Registro de respuesta de aceleración a08pullback735.....	6-101
6.1.2.	Registro de respuesta de aceleración b07pullback601	6-104
6.1.3.	Resumen y análisis de resultados, método ITD	6-107
6.1.3.1.	Análisis de las formas modales perpendiculares.....	6-110

6.2. Método de Identificación Deterministic-Stochastic Subspace Identification (DSI) 6-113

6.2.1.	Identificación de propiedades dinámicas variantes en el tiempo	6-113
6.2.1.1.	Vaciado de estanque sometido a excitación basal AS694, altura de agua h_{inicial} = 60,3 cm	6-114
6.2.1.2.	Vaciado de estanque sometido a excitación basal AS696, altura de agua h_{inicial} = 69,4 cm	6-119
6.2.2.	Identificación de propiedades dinámicas para estanque con nivel de agua invariante en el tiempo	6-124
6.2.2.1.	Altura de agua constante h = 0 cm , excitación basal AS692	6-125
6.2.2.2.	Altura de agua constante h = 73,5 cm , excitación basal AS692.....	6-130
6.2.3.	Resumen y análisis de resultados, método DSI.....	6-135

6.3. Métodos de identificación tiempo-frecuencia: Espectrograma y Función de Transferencia por pequeñas ventanas (tfTF)..... 6-137

6.3.1.	Nivel de altura de agua variable	6-137
6.3.1.1.	Vaciado de estanque sometido a excitación basal AS694, altura de agua h_{inicial} = 60,3 cm	6-138
6.3.1.2.	Vaciado de estanque sometido a excitación basal AS696, altura de agua h_{inicial} = 69,4 cm	6-140
6.3.2.	Nivel de altura de agua constante.....	6-141

6.3.2.1.	Altura de agua constante $h = 0 \text{ cm}$, excitación basal AS692	6-142
6.3.2.2.	Altura de agua constante $h = 73,5 \text{ cm}$, excitación basal AS692.....	6-143
6.4.	Método de identificación a través de la descomposición en el dominio de la frecuencia para el caso con excitación basal (SMFDD)	6-144
6.4.1.	Nivel de altura de agua variable	6-144
6.4.1.1.	Vaciado de estanque sometido a excitación basal AS692, altura de agua h inicial = 73,1 cm.....	6-144
6.4.1.2.	Vaciado de estanque sometido a excitación basal AF691, altura de agua h inicial = 62,3 cm.....	6-149
6.4.2.	Resumen y análisis de resultados, método SMFDD.....	6-154
6.5.	Resumen general y validación del método SMFDD	6-156
Capítulo 7 Conclusiones y comentarios		7-162
Capítulo 8 Bibliografía.....		8-165
Capítulo 9 Anexos		9-168
9.1.	Anexo A: Datos experimentales.....	9-168
9.2.	Anexo B: Mesa vibradora (Moog Inc., 2008).....	9-173
9.3.	Anexo C: Normas de diseño sísmico de estanques de almacenamiento..	9-179
9.4.	Anexo D: Cálculo de período convectivo e impulsivo mediante método de Housner y Normas.....	9-182
9.5.	Anexo E: Identificación de propiedades dinámicas mediante métodos de identificación de sistemas	9-189