

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**AISLADORES DE BASE FPS (FRICCIONAL PENDULUM SYSTEM),
PRIMERA GENERACIÓN**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

GABRIELA ALEXANDRA CUEVA FIERRO

SANGOLQUÍ, MARZO DEL 2009

EXTRACTO / ABSTRACT

En el presente estudio se determina el comportamiento de estructuras con aislamiento sísmico de tipo FPS, además se analiza el desempeño de los aisladores de base tipo FPS, se compararan algunos modelos de análisis sísmico para estructuras con FPS. Los resultados obtenidos son comparados con propuestas y normativas existentes.

Además se analiza un modelo de 2gdl para estructuras con aisladores elastoméricos para poder entender su comportamiento.

The present study determines the behavior of structures with seismic isolation type FPS also analyzes the performance of the FPS type base isolators, comparing models for seismic analysis of structures with FPS. The results are compared with proposed and existing regulations.

It also discusses a model for 2gdl structures with elastomeric isolators in order to understand their behavior.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la señorita: **CUEVA FIERRO GABRIELA ALEXANDRA** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, Marzo del 2009

Dr. Ing. Roberto Aguiar F.
DIRECTOR

Ing. Marcelo Guerra A.
CODIRECTOR

REVISADO POR

Ing. Jorge Zúñiga Gallegos

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a **mis padres** quienes son un ejemplo de lucha constante, son ha quienes mas amo en mi vida los que siempre me han guiado y han apoyado incondicionalmente.

A mi hermano **Andrés**, por ser el que alegra y llena de vida nuestro hogar.

A **mis amigos**, por todos los años que pasamos juntos las experiencias y las ocurrencias vividas.

A **mi familia**, quienes con su amor siempre supieron alentarme.

AGRADECIMIENTO

A **Dios**, porque sin la ayuda de él no podríamos lograr nada, siempre esta presente en nuestras vidas y nuestros corazones, gracias por llenar la mía de inmensas alegrías y sobre todo por darme salud y vida.

A **mis padres**, que son las personas más maravillosas y buenas que he conocido gracias por su amor, su comprensión y su paciencia. Gracias por siempre estar prestos a escucharme, por apoyarme en todo momento.

A **mi familia**, abuelitos, tíos y primos, no importa que tan lejos estén siempre han logrado ser una parte importante en mi vida.

A **Paty G** y **Dany G** los cuales a parte de ser mis primos han sido siempre unos grandes amigos.

A **mis amigos**, por tantos momentos vividos, sus ocurrencias, y sus consejos; en especial a **Dani** que siempre estuvo presente en los buenos y en los malos momentos brindándome su apoyo y mostrándome la luz al final del túnel, gracias por todo, en verdad ha sido maravilloso poder contar contigo.

A mi Director **Dr. Roberto Aguiar**, a mi Codirector **Ing. Marcelo Guerra** y a todos mis profesores, quienes siempre han mostrado ser grandes personas. Gracias por su apoyo, dedicación y profesionalismo; han sido pilares fundamentales en el desarrollo de esta tesis.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES	2
1.2.- TIPO DE AISLADORES FPS	3
1.2.1- Aisladores de Primera Generación (Simple péndulo)	3
1.2.2.- Aisladores de Segunda Generación (Doble Péndulo)	6
1.2.3.- Aisladores de Tercera Generación (Triple péndulo)	8
1.3.- COMPARACIÓN DEL AISLADOR TRIPLE Y SIMPLE PÉNDULO	11
1.4.- FUNDAMENTO GENERAL DE LOS AISLADORES FPS	12
1.4.1.- Factor de amortiguamiento	12
1.4.2.- Concepto de Aislación Basal	19
1.4.3.- Amortiguamiento Viscoso	20
1.4.4.- Amortiguamiento de Coulomb	21
1.4.5.- Obtención de espectros para diferentes factores de amortiguamiento	22
1.4.6.- Periodo Objetivo (Tobj)	26

CAPÍTULO II

AISLADORES DE BASE TIPO PÉNDULO DE FRICCIÓN FPS

2.1.- MODELO NUMÉRICO DE CÁLCULO	29
2.2.- MATRICES DE RIGIDEZ, MASA Y AMORTIGUAMIENTO DE SUPERESTRUCTURA	31
2.2.1.- Matriz de rigidez	31
2.2.2.- Matriz de masa	32
2.2.3.- Matriz de amortiguamiento	33
2.3 MATRIZ DE RIGIDEZ, MASA Y AMORTIGUAMIENTO DE SISTEMA DE AISLAMIENTO.	34
2.3.1.- Matriz de rigidez	34
2.3.2.- Matriz de masa	35
2.3.3.- Matriz de amortiguamiento	36
2.4.- MÉTODO DE MASA CORREGIDA	38
2.5.- USO DE PROGRAMA MASACORREGIDA AISLAMIENTOFRICCIONAL	38

2.6.- EJEMPLO NUMÉRICO CON SUPERESTRUCTURA FLEXIBLE CON FPS	40
2.7.- EJEMPLO NUMÉRICO CON SUPERESTRUCTURA RÍGIDA CON FPS	45
2.8.- COMPARACIÓN DE RESPUESTA ENTRE FPS Y ELASTOMÉRICO	46
2.8.1.- Comparación de varios casos con FPS	46
2.8.2.- Comparación de varios casos con Elastoméricos	49

CAPÍTULO III

METODO MODAL ESPECTRAL EN ESTRUCTURAS CON AISLADORES FPS Y ELASTOMÉRICOS

3.1.- MÉTODO MODAL ESPECTRAL	56
3.2.- ESTRUCTURAS Y SISMOS DE ANÁLISIS	64
3.3.- USO DE PROGRAMA MODALESPECTRAL AISLAMIENTO AISLAMIETO	66
3.4.- ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON FPS CON MÉTODO MODAL ESPECTRAL Y MÉTODO DE MASA CORREGIDA	66
3.5.- ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON MÉTODO MODAL ESPECTRAL Y MÉTODO DE MASA CORREGIDA	68
3.6.-COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE METODO MODAL ESPECTRAL CON MÉTODO DE MASA CORREGIDA	71
3.6.1.- Resultados en superestructura	71
3.6.2.- Resultados en el sistema de aislación	73

CAPÍTULO IV

MODELO SIMPLIFICADO DE 1 GDL PARA ANÁLISIS SISMICO DE ESTRUCTURAS CON FPS

4.1.- OBTENCIÓN DE SISTEMA EQUIVALENTE DE 1 GDL A PARTIR DE SISTEMA DE MGD L	79
4.2.- MODELO SIMPLIFICADO LINEAL DE BOZZO Y MAHIN	80
4.3.- ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON FPS CON MODELO DE 1GDL Y CON SISTEMA DE MGD L	80
4.3.1.- Estructuras de análisis	
4.3.2.- Sismos de análisis	82
4.5.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELO DE 1GDL LINEAL Y MODELO MGD L	8

CAPITULO V

SISTEMA DE DOS GRADOS DE LIBERTAD CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS

5.1.- ECUACIÓN DIFERENCIAL	96
5.2.- VALORES PROPIOS	98
5.3.- MODOS DE VIBRACIÓN	99
5.4.- FACTORES DE PARTICIPACIÓN MODAL	101
5.5.- FRECUENCIA Y PERIODO DE VIBRACIÓN	102
5.6.- EJEMPLO DE APLICACIÓN	102
5.6.1.- Valores propios	103
5.6.2.- Vectores propios	104
5.6.3.- Modos de vibración	105
5.6.4.- Factores de participación modal	105
5.6.5.- Comparación	105

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO II

AISLADORES DE BASE TIPO PÉNDULO DE FRICCIÓN FPS

Tabla 2.1 Desplazamientos máximos en estructuras analizadas. Aisladores FPS	47
Tabla 2.2 Desplazamientos máximos en estructuras analizadas. Aisladores Elastoméricos.	52

CAPITULO III

METODO MODAL ESPECTRAL EN ESTRUCTURAS CON AISLADORES FPS Y ELASTOMÉRICOS

Tabla 3.1 Dimensiones y período de vibración de estructuras analizadas.	65
Tabla 3.2 Diferencia que se obtiene en el Método de Masa Corregida	

	con respecto al Modal	72
Tabla 3.3	Desplazamientos laterales máximos en el sistema de aislamiento	73
Tabla 3.4	Incremento de los desplazamientos con respecto a MME	74

CAPITULO IV

MODELO SIMPLIFICADO DE 1 GDL PARA ANÁLISIS SISMICO DE ESTRUCTURAS CON FPS

Tabla 4.1	Dimensiones y período de vibración de estructuras analizadas.	81
Tabla 4.2	Desplazamientos y error entre modelos de mgdl y 1gdl	93

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Figura 1.1	Detalle de un aislador FPS de Primera Generación	3
Figura 1.2	Detalle de un aislador FPS de Primera Generación	4
Figura 1.3	Edificio, Hayward City Hall, con aisladores FPS	5
Figura 1.4	Detalle de un aislador de Segunda Generación	6
Figura 1.5	Detalle de un aislador de Segunda Generación	7
Figura 1.6	Comportamiento de un aislador de Segunda Generación	7
Figura 1.7	Aislador de Tercera Generación	8
Figura 1.8	Detalle de un Aislador de Tercera Generación	9
Figura 1.9	Comportamiento Aislador de Tercera Generación	10
Figura 1.10	Pasadena City Hall, California	10
Figura 1.11	Aeropuerto Internacional de San Francisco	11
Figura 1.12	Comportamiento Aislador de primera generación y tercera generación	11
Figura 1.13	Constitutiva del sistema de péndulo friccional	13
Figura 1.14	Movimiento de una estructura con FPS	14

Figura 1.15	Comportamiento de histéresis de un aislador FPS	17
Figura 1.16	Sistema de 1 gdl con amortiguamiento viscoso	21
Figura 1.17	Espectro de diseño para $\xi=0.05$	24
Figura 1.18	Espectro de diseño para $\xi=0.03$	25
Figura 1.19	Espectro de diseño para $\xi=0.09$	25

CAPITULO II

AISLADORES DE BASE TIPO PÉNDULO DE FRICCIÓN FPS

Figura 2.1	Modelo de tres grados de libertad por planta	30
Figura 2.2	Descripción de estructura de ejemplo	41
Figura 2.3	Acelerograma de El Centro de 1940 y espectro de desplazamientos para $\xi = 0.05$	42
Figura 2.4	Respuesta en el tiempo del sistema de aislación y del último piso de la superestructura flexible	43
Figura 2.5	Respuesta en el tiempo del sistema de aislación y del último piso de la superestructura rígida	45
Figura 2.6	Respuesta en el tiempo para CASOS 1 y 2. Aisladores FPS	47
Figura 2.7	Respuesta en el tiempo para CASOS 3 y 4. Aisladores FPS	48
Figura 2.8	Respuesta en el tiempo para CASOS 5 y 6. Aisladores FPS.	48
Figura 2.9	Respuesta en el tiempo para CASOS 7 y 8. Aisladores FPS.	48
Figura 2.10	Respuesta en el tiempo para CASOS 9 y 10. Aisladores FPS.	49
Figura 2.11	Respuesta en el tiempo para CASOS 1 y 2. Aisladores elastoméricos.	50
Figura 2.12	Respuesta en el tiempo para CASOS 3 y 4. Aisladores elastoméricos.	50
Figura 2.13	Respuesta en el tiempo para CASOS 5 y 6. Aisladores elastoméricos.	51
Figura 2.14	Respuesta en el tiempo para CASOS 7 y 8. Aisladores elastoméricos.	51
Figura 2.15	Respuesta en el tiempo para CASOS 9 y 10. Aisladores elastoméricos.	51

CAPITULO III

METODO MODAL ESPECTRAL EN ESTRUCTURAS CON AISLADORES FPS Y ELASTOMÉRICOS

Figura 3.1	Vista en elevación de estructuras de 4 y 6 pisos.	64
Figura 3.2	Espectros de respuesta elásticos considerados en el estudio	65
Figura 3.3	Comparación de las respuestas obtenidas en la superestructura con FPS	69
Figura 3.4	Comparación de las respuestas obtenidas en la superestructura con aisladores elastoméricos.	71

CAPITULO IV

MODELO SIMPLIFICADO DE 1 GDL PARA ANÁLISIS SISMICO DE ESTRUCTURAS CON FPS

Figura 4.1	Sistema equivalente de un grado de libertad	79
Figura 4.2	Vista en elevación de estructuras de 2 y 6 pisos.	81
Figura 4.3	Acelerograma y espectro de respuesta sismo Centro.	82
Figura 4.4	Acelerograma y espectro de respuesta sismo Mendoza.	82
Figura 4.5	Acelerograma y espectro de respuesta sismo Perú.	83
Figura 4.6	Acelerograma y espectro de respuesta sismo Chile.	83
Figura 4.7	Acelerograma y espectro de respuesta sismo Chile.	84
Figura 4.8	Acelerograma y espectro de respuesta sismo Chile.	84

CAPITULO V

SISTEMA DE DOS GRADOS DE LIBERTAD CON ASILADORES ELASTOMÉRICOS

Figura 5.1	Sistema de dos grados de libertad	96
-------------------	-----------------------------------	----