



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 3125			
Título del proyecto: Estudio experimental del período fundamental de vibración de las estructuras con modelos reducidos.			
Facultad o Instituto Académico:FAI			
Departamento o Escuela:ARQUITECTURA			
Grupo (s) de investigación:			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	MAURICIO DOMINGUEZ	440	440
Coinvestigadores			
Otros participantes	Alexander Zuluaga Trujillo (código 1031998)	84	84
	José Leonardo Martínez Arbeláez (Código 0825978)	84	84

1. Resumen ejecutivo:

El proyecto estudia experimentalmente el período fundamental de vibración de las edificaciones mediante modelos reducidos de diferentes características , ensayados en una mesa vibratoria unidireccional y monitoreados con acelerómetros para medición de frecuencias , aceleraciones y desplazamientos.

El período fundamental de vibración determina la aceleración que tendrá una edificación durante eventos sísmicos, valiéndose de espectros de diseño especificados por los Reglamentos de Construcción y este valor de aceleración espectral permite calcular la magnitud de las fuerzas sísmicas al multiplicarse por la masa total de la edificación.

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

El proyecto busca experimentalmente la influencia que sobre el valor del Período Fundamental de una edificación tienen las masas de los pisos que la conforman, la rigidez de sus elementos estructurales, la altura de la edificación y la configuración regular o irregular que pueda tener la estructura.

Dada su importancia el tema requiere mayor nivel de investigación.

En base a los modelos ensayados se pudo concluir:

- 1) A mayor masa mayor período, el incremento en la masa hace la estructura más flexible.
- 2) A mayor rigidez menor período.
- 3) A mayor altura mayor período.

En base a los resultados de investigación 3115 anteriormente realizada acerca de la influencia que tiene las características de irregularidad en el comportamiento sísmico de las edificaciones, se puede concluir que:

- 4) Edificios con irregularidad en planta tipo 2P – Retrocesos en las esquinas con plantas en formas de L,T,Z,X,Y, son más rígidas que las de configuraciones regulares de igual altura y por lo tanto de menor período.
- 5) Edificios con irregularidad en alzada tipo 1 A – Piso flexible son de mayor período que configuraciones regulares de igual altura
- 6) Edificios con irregularidad en alzada tipo 3 A – Geométrica tienen cuerpos de diferente altura y su período resulta menor que edificios de configuración regular de la altura del cuerpo más alto y mayor que la regular de altura igual al cuerpo más bajo.

Además, ensayos con péndulos empotrados donde se simula la influencia del tipo de suelo con materiales de diferente rigidez permite concluir:

- 7) El período de vibración depende del tipo de suelo, cuando el suelo es blando su período aumenta con relación al péndulo empotrado en suelo duro pues el suelo se deforma haciendo que el conjunto suelo-estructura se torne más flexible.

Por todo esto se concluye que estimar el período de vibración de un edificio de una manera simplificada como una fracción del número de pisos, sin tener en cuenta las demás variables, puede conducir a un error en la estimación de la fuerza sísmica de diseño.

1. Executive Summary

The project experimentally studies the fundamental period of vibration of buildings using scale models of different characteristics, tested in a unidirectional vibrating table and monitored with accelerometers for measuring frequencies, accelerations and displacements.

The fundamental period of vibration acceleration determined to have a building during seismic events, using design spectra specified by the Building Regulations and the spectral acceleration value to calculate the magnitude of the seismic forces when multiplied by the total mass of the building.

The project seeks experimentally the influence on the value of the Fundamental Period of a building with floors masses that form, the rigidity of its structural elements, the height of the building and regular or irregular configuration may have the structure.

Given its importance the issue requires further investigation level.

Based on the tested models it can be concluded:

- 1) The greater the mass period, the increase in mass makes the structure more flexible.
- 2) A stiffer shorter period.
- 3) At higher altitudes greater period.

Based on the research results above 3115 made about the influence of the characteristics of irregularity in the seismic performance of buildings, it can be concluded that:

- 4) Buildings irregularity 2P ground - Setbacks in the corners with plants in forms of L, T, Z, X, Y, are more rigid than regular configurations of equal height and therefore less period.
- 5) Buildings irregularity in type 1 A lump - Flexible Floor period are larger than regular configurations of equal height
- 6) buildings with irregular lump type 3 A - Geometrical have bodies of different height and period buildings is lower than regular pattern height taller and larger body than regular height equal to the lower body.

In addition, tests with pendulums built where the influence of soil type is simulated with materials of different stiffness can be concluded:

- 7) The vibration period depends on the type of soil when the ground is soft the period increases relative to the pendulum embedded in hard ground as the ground is deformed so that the whole ground-structure becomes more flexible.

For all this we conclude that estimate the period of vibration of a building in a simplified manner as a fraction of the number of floors, regardless of other variables, can lead to an error in the estimation of seismic design force.

2. Síntesis del proyecto:

Tema

Período fundamental de vibración de los edificios

Objetivo General :

Determinar experimentalmente la relación que existe entre el período fundamental de vibración de una estructura y sus características dinámicas .

Objetivos Específicos :

Determinar la influencia de la altura de la edificación en el periodo fundamental de una edificación.

Establecer experimentalmente la relación entre la rigidez de una estructura y el período fundamental de vibración.

Considerar la variación que pueda presentar el período fundamental de vibración de una estructura de acuerdo a la magnitud de las masas que lo afectan.

Investigar de qué manera el período fundamental de vibración de una estructura depende de su configuración y del tipo de suelo en que se apoya.

Metodología

La metodología de investigación experimental consiste en la elaboración de modelos reducidos

de diversos tipos de estructuras con sistema de pórticos, haciendo variaciones en altura, número de pisos, masa, rigidez y configuración .

Los modelos son sometidos a vibraciones producidas por el desplazamiento unidireccional de la base del simulador sísmico que se encuentra en el Laboratorio de Estructuras de la Escuela de Arquitectura .

El período fundamental de vibración de cada modelo se determina mediante el monitoreo con acelerómetros digitales instalados en los modelos reducidos . El programa que controla la mesa vibradora y su dispositivo de adquisición de datos permite conocer frecuencias de vibración, aceleraciones y desplazamientos.

Estableciendo relaciones entre los valores obtenidos se determina la influencia que tienen la masa , la rigidez y la altura de la edificación en el período fundamental de vibración .

El material empleado en la fabricación de modelos son láminas y platinas de aluminio. Las columnas se simulan con platinas y los entrepisos con láminas.

Se fabricaron modelos de tres alturas diferentes : 4 , 6 y 8 pisos. Para obtener dos valores diferentes de rigidez para cada altura se utilizaron láminas de dos rigideces diferentes, K1 de platina delgada (2 mm) y K2 en platina gruesa (3 mm) Para conseguir dos valores de masa en cada nivel se instalaron pesos adicionales , llamando m1 a los que tienen la masa correspondiente a su peso propio y m2 a los que tienen una masa adicional, obteniendo en total 12 tipos de modelos diferentes.

La siguiente tabla relaciona los tipos de modelos ensayados :

MODELO	# PISOS	MASA	RIGIDEZ
1	4	m1	K1
2	4	m2	k1
3	4	m1	k2
4	4	m2	k2
5	6	m1	K1
6	6	m2	k1

MODELO	# PISOS	MASA	RIGIDEZ
7	6	m1	k2
8	6	m2	k2
9	8	m1	K1
10	8	m2	k1
11	8	m1	k2
12	8	m2	k2

A cada modelo se le determinan sus parámetros : masa , rigidez, altura , estableciendo mediante hojas de cálculo la influencia que tiene cada una de estas variables en el valor del período fundamental de vibración , estableciendo relaciones entre los valores obtenidos.

El valor de rigidez para los dos tipos de modelos en cada caso de número de pisos se determinó aplicando una carga horizontal en el extremo superior y haciendo la lectura del desplazamiento , tomando como Rigidez K la relación $K = \text{Fuerza aplicada} / \text{Desplazamiento horizontal}$.

Resultados obtenidos

La siguiente tabla resume las características de los modelos ensayados y los resultados obtenidos.

MODELO	ALTURA		RIGIDEZ (K)		MASA (m)		F (Hz)	T (seg)
	N° PISOS	cm	K1(gr/mm)	K2(gr/mm)	m1(gr)	m2(gr)	FUND	FUND
1	4	68,3	46,00		1.740		4,40	0,23
2		68,3	46,00			3.326	2,30	0,43
3		68,2		67,32	1.900		5,40	0,19
4		68,2		67,32		3.486	2,90	0,34
5	6	102,8	40,59		2.200		3,80	0,26
6		102,8	40,59			4.578	2,10	0,48
7		102,3		70,77	2.560		4,90	0,20
8		102,3		70,77		4.938	2,70	0,37
9	8	136,3	34,50		2.680		3,10	0,32
10		136,3	34,50			5.851	1,70	0,59
11		136,4		72,63	3.680		4,40	0,23
12		136,4		72,63		6.851	2,40	0,42

MODELOS DE 4 PISOS

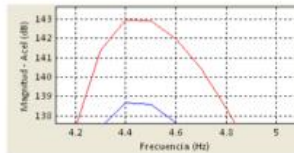


Modelos 1 y 3 . Peso propio

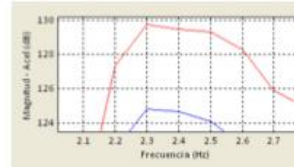


Modelos 2 y 4 . Peso propio + peso adicional

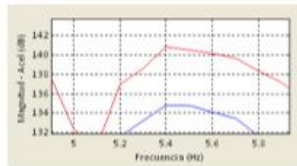
Modelo #1
Rigidez K1
Masa m1
f = 4,4 Hz



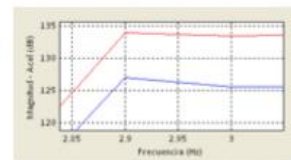
Modelo #2
Rigidez K1
Masa m2
f = 2,3 Hz



Modelo #3
Rigidez K2
Masa m1
f = 5,4 Hz



Modelo #4
Rigidez K2
Masa m2
f = 2,9 Hz



MODELOS DE 6 PISOS

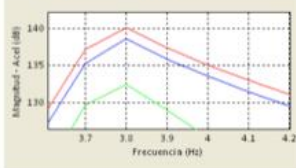


Modelos 5 y 7 . Peso propio

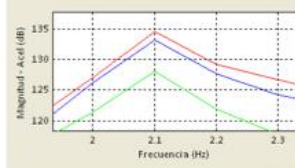


Modelo 6 y 8 . Peso propio + peso adicional

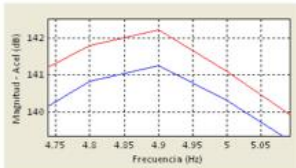
Modelo #5
Rigidez K1
Masa m1
 $f = 3,8 \text{ Hz}$



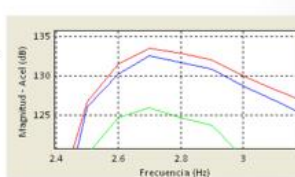
Modelo #6
Rigidez K1
Masa m2
 $f = 2,1 \text{ Hz}$



Modelo #7
Rigidez K2
Masa m1
 $f = 4,9 \text{ Hz}$



Modelo #8
Rigidez K2
Masa m2
 $f = 2,7 \text{ Hz}$



MODELOS DE 8 PISOS

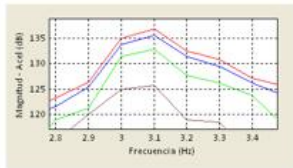


Modelos 9 y 11 . Peso propio

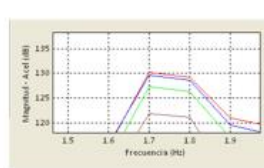


Modelos 10 y 12 . Peso propio + peso adicional

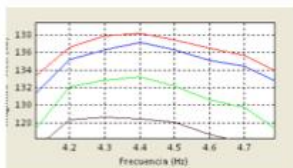
Modelo #9
Rigidez K1
Masa m1
 $f = 3,1 \text{ Hz}$



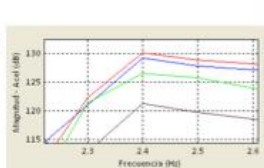
Modelo #10
Rigidez K1
Masa m2
 $f = 1,7 \text{ Hz}$



Modelo #11
Rigidez K2
Masa m1
 $f = 4,4 \text{ Hz}$



Modelo #12
Rigidez K2
Masa m2
 $f = 2,4 \text{ Hz}$



La influencia del tipo de configuración se establece para tres tipologías de irregularidad estudiadas en anterior investigación (3115 Influencia de la configuración irregular en el comportamiento sísmico de las edificaciones).



$f=4.5\text{Hz}$



$f=3.2\text{Hz}$

IRREGULARIDAD EN PLANTA TIPO 2P Frecuencias de los modelos irregular - regular

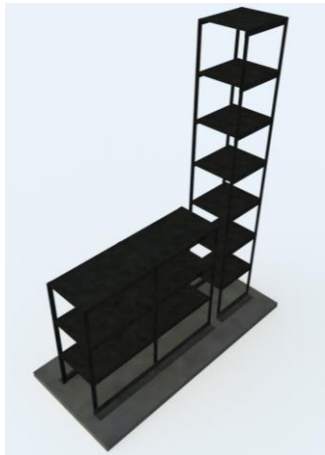


$f=1.6\text{Hz}$



$f=1.9\text{Hz}$

IRREGULARIDAD EN ALTURA TIPO 1 A Modelos irregular – regular



IRREGULARIDAD
ALTURA TIPO 3 A

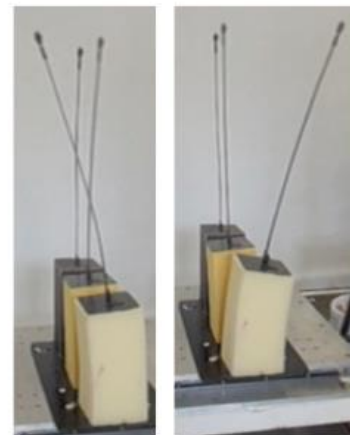
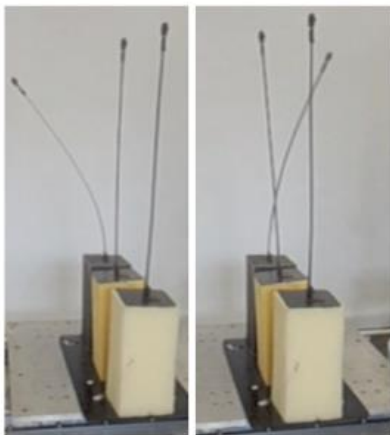
EN

$f = 2,7 \text{ Hz}$

$f=8,6 \text{ Hz}$ $f=2,3\text{Hz}$

Frecuencias de los modelos irregular – regular

La influencia del tipo del suelo en el valor del período de vibración se modela con tres péndulos de iguales características empotradas en bases de diferente rigidez, una base en madera que simula un suelo duro, otra base en espuma de alta densidad que simula un suelo de rigidez intermedia y una base en espuma de baja densidad que simula un suelo blando. Al ser sometidos a desplazamientos vibratorios se encuentra que el modelo empotrado en "suelo duro" presenta la mayor frecuencia, mientras que la menor frecuencia corresponde al "suelo blando".



SUELO DURO
 $f = 2.6 \text{ Hz}$

SUELO INTERMEDIO
 $f = 1.9 \text{ Hz}$

SUELO BLANDO
 $f = 1.6 \text{ Hz}$

Principales conclusiones y recomendaciones :

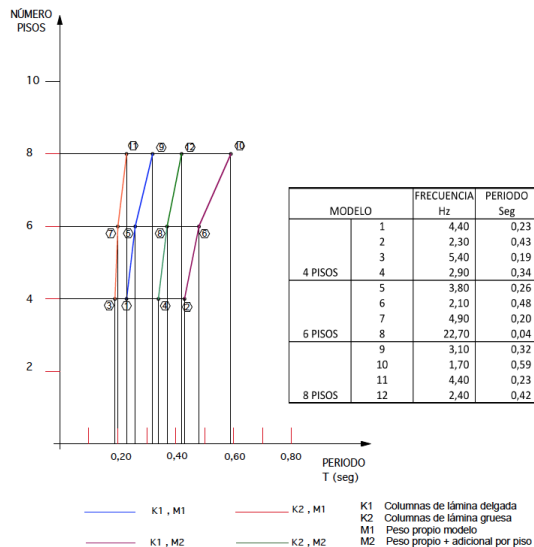
Siendo que el valor del período fundamental de vibración de una estructura condiciona la magnitud de la fuerza sísmica de diseño, siendo este el paso inicial en el análisis de una estructura (estimar períodos más altos que el verdadero conduce a trabajar con fuerzas sísmicas menores y viceversa) , es conveniente desarrollar mayores estudios sobre este tema.

Del ensayo experimental con los modelos reducidos se pudo establecer :

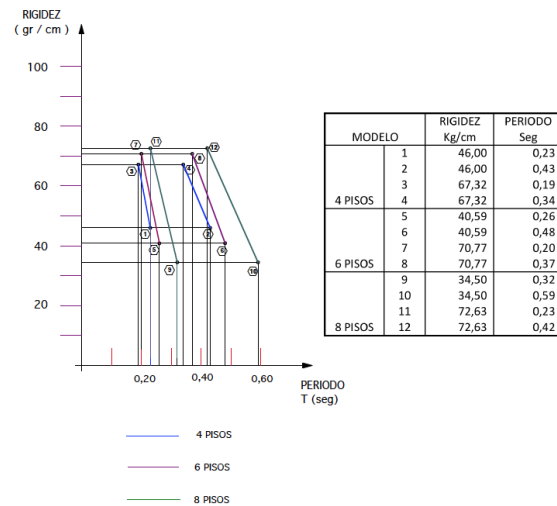
- 1) Ensayando modelos de rigidez similar con variaciones de la masa se encontró una variación aproximadamente lineal del Período T en relación a la Masa M.
- 2) Ensayando modelos de masa similar con variaciones en la rigidez se encontró que el Periodo T varía con la raíz cuadrada de la Rigidez K
- 3) Ensayando modelos de masas y rigideces de columnas similares con variaciones en la altura se encontró que a mayor altura corresponde un mayor valor del período.

Las Características de irregularidad que tengan las edificaciones alteran el valor del período fundamental en relación a estructuras regulares de la misma altura :

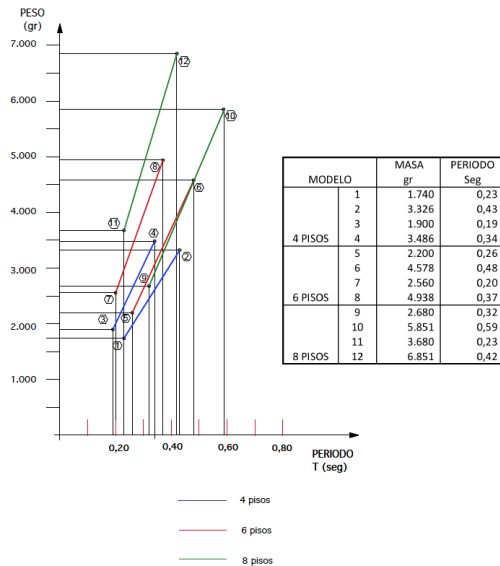
- 4) Irregularidades en planta tipo 2P – Retrocesos en las esquinas propias de plantas arquitectónicas en formas de L , T , X , Y , Z , conducen a edificaciones más rígidas, y por lo tanto, de menor período.



VARIACION DEL PERIODO EN RELACION CON EL # DE PISOS
PARA DISTINTAS CONDICIONES DE MASA Y RIGIDEZ



VARIACION DEL PERIODO
EN RELACION CON LA RIGIDEZ Y EL # DE PISOS



VARIACION DEL PERIODO EN RELACION CON LA MASA

- 5) En edificios con irregularidad en alzada tipo 1 A – Piso flexible la presencia de un piso de mayor altura que los demás hace que sean más flexibles y por lo tanto de mayor período .
 - 6) Los edificios con configuración irregular en alzada tipo 3 A – Geométrica , con distintas alturas van a tener menor período que edificios de configuración regular de su misma altura mayor pues la presencia de las zonas de menor altura lo rigidizan.
 - 7) El período de vibración depende también del tipo de suelo , en suelos duros o roca el edificio se puede considerar empotrado pero cuando el suelo es blando se deforma ante el giro ocasionado por el momento de volcamiento del edificio , haciendo que el conjunto suelo-estructura se torne más flexible y aumente su período de vibración.
- Por todo esto se concluye que estimar el período de vibración de un edificio de una manera simplificada como una fracción del número de pisos, sin tener en cuenta las demás variables, puede conducir a un error en la estimación de la fuerza sísmica de diseño.

3. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de nuevos conocimientos				
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	-		-	
Artículo completo publicados en revistas B	1		-	
Artículo completo publicados en revistas C	-		1	
Libros de autor que publiquen resultados de investigación	-		-	
Capítulos en libros que publican resultados de investigación	-		-	
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados	-		-	
☐ Prototipos y patentes	-		-	
☐ Software	-		-	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	-		-	
Normas basadas en resultados de investigación	-		-	
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	-	1	-
Semillero de Investigación	-	-	-	-
Estudiantes de maestría	-	-	-	-
Estudiantes de doctorado	-	-	-	-
Productos de divulgación				

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Publicaciones en revistas no indexadas	-		-	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales 1	No. de ponencias internacionales s -	No. de ponencias nacionales 1	No. de ponencias internacionales -
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		-	

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe RedALyC
Nombre Particular:	Artículo : Períodos de vibración de las edificaciones
Ciudad y fechas:	Agosto 2.014
Participantes:	Mauricio Domínguez Caicedo
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	Laboratorio de Estructuras Escuela de Arquitectura

4. Impactos actual o potencial:

Al habitar una de las zonas más sísmicas del planeta el tema de la sismo resistencia está asociado a la protección de la vida y del patrimonio de sus habitantes .

Si tenemos en cuenta que los análisis sísmicos tienen como punto de partida la determinación del período de vibración de cada edificación a fin de determinar las posibles fuerzas que van a actuar en caso de un evento sísmico , es necesario estimar acertadamente dicho parámetro pues un error deriva en que todo el análisis estará errado.

El impacto de esta investigación se daría en la medida que sea conocido y estudiado por los



profesionales dedicados al análisis estructural y pueda incidir en sus estimaciones de los períodos de vibración de las edificaciones objeto de su labor.

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2