



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL DE UNA ESTRUCTURA  
A PORTICADA DE CONCRETO CON ÉNFASIS EN EL ANÁLISIS  
MATRICIAL CONSIDERANDO REQUISITOS DE LA NEC.

CALLE CALLE WILLIAM ARMANDO  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL DE UNA ESTRUCTURA  
APORTICADA DE CONCRETO CON ÉNFASIS EN EL ANÁLISIS  
MATRICIAL CONSIDERANDO REQUISITOS DE LA NEC.

CALLE CALLE WILLIAM ARMANDO  
INGENIERO CIVIL

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL DE UNA ESTRUCTURA APORTICADA DE  
CONCRETO CON ÉNFASIS EN EL ANÁLISIS MATRICIAL CONSIDERANDO  
REQUISITOS DE LA NEC.

CALLE CALLE WILLIAM ARMANDO  
INGENIERO CIVIL

ORDÓÑEZ FERNANDEZ JOSÉ LUIS

MACHALA, 22 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA  
22 de febrero de 2022

# Calle Calle William

*por* William Calle Calle

---

**Fecha de entrega:** 10-feb-2022 11:20p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1759809818

**Nombre del archivo:** Calle\_Calle\_William.docx (134.2K)

**Total de palabras:** 3073

**Total de caracteres:** 16455

# Calle Calle William

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

tesis.ipn.mx

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

1%

3

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

4

Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral

Trabajo del estudiante

<1%

5

Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador

Trabajo del estudiante

<1%

6

Mario Lázaro Navarro. "The Eigenvalue Problem in Linear Viscoelastic Structures: New Numerical Approaches and the Equivalent Viscous Model", Universitat Politecnica de Valencia, 2013

Publicación

<1%

7

1library.co

Fuente de Internet

<1%

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CALLE CALLE WILLIAM ARMANDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Análisis Dinámico Espectral de una estructura aporticada de concreto con énfasis en el análisis matricial considerando requisitos de la NEC., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de febrero de 2022

  
CALLE CALLE WILLIAM ARMANDO  
0704474089

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi madre por ser un apoyo incondicional en mi carrera universitaria. A mi pareja que estuvo conmigo en todo el proceso educativo en especial en los últimos años y por último a mi persona por el esfuerzo que conlleva cumplir este logro profesional y personal.

## RESUMEN

Ecuador es considerado uno de los países con alto riesgo de peligrosidad sísmica, es por ello, imprescindible analizar la dinámica de las edificaciones. El objetivo del presente trabajo es ejecutar un Análisis Dinámico Espectral de una estructura aporticada de concreto con énfasis en el análisis matricial considerando requisitos de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). El caso de estudio es un bloque de aula de un centro educativo de la Ciudad de Machala, donde se realizó un análisis modal para determinar los modos de vibración, frecuencias, periodos, e influencia en la dinámica total para después continuar con un análisis espectral a partir de un espectro de respuesta en aceleraciones establecida por las características de emplazamiento. Como resultado del análisis, se obtuvo que el diseño de los elementos y cambios de sus inercias, comprendido en modificaciones de la matriz de rigidez está ponderado por el control del periodo fundamental ( $T = 0.53 s$ ) con respecto al periodo aproximado en un 30% mayor ( $1.3T = 0.54s$ ) estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

**Palabras claves:** Sismo, Vibración, Dinámica



## **ABSTRACT**

Ecuador is considered one of the countries with a high risk of seismic hazard, which is why it is essential to analyze the dynamics of buildings. The objective of this work is to execute a Spectral Dynamic Analysis of a concrete framed structure with emphasis on matrix analysis considering the requirements of the Ecuadorian Construction Standard (NEC). The case study is a classroom block of an educational center in the City of Machala, where a modal analysis was carried out to determine the vibration modes, frequencies, periods, and influence on the total dynamics to then continue with a spectral analysis from a response spectrum in accelerations established by the characteristics of the site. As a result of the analysis, it was obtained that the design of the elements and changes in their inertia, included in modifications of the stiffness matrix, is weighted by the control of the fundamental period ( $T=0.53$  s) with respect to the approximate period by 30% higher ( $1.3T=0.54$ s) stipulated in the Ecuadorian Construction Standard.

**Keywords:** Earthquake, vibration, dynamics

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>Objetivo General</b>	7
<b>2. DESARROLLO</b>	8
<b>2.1 Descripción del caso de estudio</b>	8
<b>2.2 Norma Ecuatoriana de la Construcción</b>	8
<b>2.3 Matriz de Rigidez</b>	9
<b>2.4 Sistema de Múltiples grados de Libertad</b>	9
<b>2.5 Restricciones Cinemáticas</b>	9
<b>2.7 Masa</b>	9
<b>2.8 Análisis Dinámico</b>	10
<b>2.8.1 Análisis Modal</b>	10
<b>2.8.1.1 Modos de vibración</b>	10
<b>2.8.1.2 Frecuencia y Período</b>	11
<b>2.8.1.4 Participación de Masa</b>	12
<b>2.8.1.4 Combinación Modal</b>	12
<b>2.8.2 Análisis Espectral</b>	12
<b>2.8.2.1 Espectro de Diseño en Aceleraciones</b>	12
<b>2.8.2.2 Aceleraciones y Desplazamiento Espectrales</b>	13
<b>2.8.2.3 Fuerzas</b>	13
<b>2.9 Derivas</b>	14
<b>2.10 Cortante Basal</b>	15
<b>3. CONCLUSIONES</b>	16
<b>4. BIBLIOGRAFÍA</b>	17

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Distribución de elementos estructurales.	12
<b>Tabla 2.</b> Cálculo de Masa	14
<b>Tabla 3.</b> Factor de Participaciones Modales	15
<b>Tabla 4.</b> Participación de la masa efectiva	16

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Espectro de diseño en Aceleraciones	17
<b>Ilustración 2.</b> Derivas máximas elásticas	18
<b>Ilustración 3.</b> Control de derivas por cambio de inercias	19
<b>Ilustración 4.</b> Cortante Basal Dinámico	20

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador al estar en una zona de alto riesgo sísmico, resulta imprescindible analizar la dinámica de las edificaciones y los efectos del sismo en el mismo, el país ha sufrido a lo largo de su historia movimientos telúricos. Tal es el caso del sismo ocurrido en el 2016 con epicentro en las costas de Pedernales que tuvo como consecuencia pérdidas humanas y destrucción de las edificaciones, en ese sentido, ha existido una mayor preocupación por parte de especialistas, técnicos y ciudadanía por los movimientos telúricos y en especial en las ciudades de la costa que se encuentran en la zona 5 y 6 de la zonificación sísmica que representa un peligro sísmico alto.

Desde ese punto de vista, se analizará una estructura destinada a un bloque de aula de un centro educativo en la Ciudad de Machala, constituido de marcos ortogonales de elementos estructurales de hormigón armado modificando sus propiedades mecánicas, de ello teniendo como consecuencia la modificación de la rigidez de la estructura para caracterizar la dinámica del edificio y determinar un diseño óptimo. El estudio se realizará mediante análisis modal para determinar los modos de vibración, frecuencias, periodos, factores de participación modal y porcentaje de participación de masas y su influencia en la dinámica total de la estructura para después continuar con un análisis espectral a partir de un espectro de respuesta en aceleraciones establecidas por las características de emplazamiento para determinar aceleraciones y desplazamientos producidos principalmente por fuerzas sísmicas de preocupación en diseños de edificaciones.

Así mismo, el proyecto está basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción específicamente en el capítulo de **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** en el que se presentan especificaciones y limitantes de periodo, cortante basal y derivas. Factores primordiales para la toma de decisiones en el diseño de edificios sismo resistentes.

## **1.1 Objetivo General**

Ejecutar un Análisis Dinámico Espectral de una estructura aporticada de concreto con énfasis en el análisis matricial considerando requisitos de la NEC.

### ***1.1.1 Objetivos Específicos***

- Caracterizar las propiedades de elementos y su participación en la matriz de rigidez y masa de la estructura.
- Desarrollar un análisis modal de la estructura.
- Realizar el análisis espectral del edificio en cada dirección ortogonal.
- Determinar valores de respuesta y límites permitidos en la norma ecuatoriana de construcción.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Descripción del caso de estudio

El caso de estudio se realizó en un edificio (bloque de aulas) de un Instituto educativo, el cual consta de 3 niveles. Los dos primeros niveles están destinados para aulas educativas y el tercer nivel para uso de biblioteca y laboratorio de computación, presentando ortogonalidad en sus pórticos, con una base de entrepiso de losa maciza reforzada. Los elementos estructurales son de hormigón armado con una resistencia de compresión de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  para columnas y vigas utilizando un coeficiente para el módulo de elasticidad de:

$$E = 14500\sqrt{f'c} \quad (1)$$

La sección de columnas y vigas del edificio está distribuido como se puede ver en la tabla 1.

**Tabla 1.** Distribución de elementos estructurales.

NIVEL	ALTURA	COLUMNAS	VIGAS
<b>1ER NIVEL</b>	3.5 m	60 x 60 cm	40 x 60 cm
<b>2DO NIVEL</b>	3 m	40 x 40 cm	35 x 60 cm
<b>3ER NIVEL</b>	3 m	35 x 35 cm	30 x 50 cm

**Fuente:** Elaborado por el autor

### 2.2 Norma Ecuatoriana de la Construcción

El estado ecuatoriano resguarda la seguridad de vidas humanas en las construcciones en el país mediante especificaciones y criterios técnicos que rigen diferentes tipos de edificaciones en la nación, estos criterios están comprendidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en diferentes capítulos como: Riesgo Sísmico, Geotecnia y Cimentaciones, Mampostería Estructural y Estructuras de Acero, Hormigón Armado y Madero. Para el caso de estudio se consideró los capítulos: Cargas no Sísmicas y Peligro Sísmico. [1]

### **2.3 Matriz de Rigidez**

La matriz de rigidez es la descripción fundamental del método matricial de la rigidez que relaciona la aplicación de una fuerza con la deformada en ese desplazamiento posible, es decir, por la aplicación de la carga  $Q_i$  se deforma  $q_j$  dando como producto el valor en la matriz de  $k_{ij}$ . [2]

### **2.4 Sistema de Múltiples grados de Libertad**

Un sistema de múltiples grados de libertad se refiere a la existencia de más de una orientación del movimiento posible visto desde una perspectiva dinámica del sistema, con ello se pueden suponer las posibles direcciones de las aceleraciones del sistema. Dicho esto, para el presente caso se tomó en consideración un análisis bidireccional con los desplazamientos traslacionales de la estructura. [3]

### **2.5 Restricciones Cinemáticas**

Dependiendo de las propiedades y características de la estructura pueden existir restricciones cinemáticas reduciendo los desplazamientos por nodo en un número menor de grados de libertad; por ejemplo, la consideración de la distribución de la masa sobre la losa formando un diafragma rígido por piso forjando la posibilidad de un desplazamiento por piso sin existir mucha diferencia en resultados significativos. La opción de considerar las columnas axialmente rígidas es otra restricción cinemática. [4]

### **2.6 Condensación Estática**

Se refiere al método de suprimir grados de libertad en función de grados de libertad que se desea analizar, para el caso en estudio condensamos los giros en función de los desplazamientos laterales con ello obtenemos la matriz de rigidez lateral que sirve para analizar la vibración de la estructura. [5]

### **2.7 Masa**

Por la distribución del uso de los niveles de la estructura tenemos una carga viva mayor en el último nivel; por ello se toma en consideración la participación de la carga viva a la masa. Según lo establecido en la **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** [6] como se observa en la ecuación 2.

$$M = 100\% D + 25\% L \quad (2)$$

**Tabla 2.** Cálculo de Masa

<b>MASA</b>				
Nivel	Carga Muerta (Tn)	Carga Viva (Tn)	Ptotal (Tn) D + 0.25L	Masa (Tn/cm/s2) P/gravedad
1er nivel	283.28	64.60921925	299.435724	0.305339462
2do nivel	184.70	104.6228835	210.8578082	0.215015126
3er nivel	149.65	10.27873943	152.2195133	0.155220706
		<b>Total:</b>	<b>662.513 Tn</b>	<b>0.676 Tn/cm/s2</b>

**Fuente:** Elaborado por el autor

La relación del peso total del edificio con respecto al área total es de 1.15 Ton/m2.

## 2.8 Análisis Dinámico

La dinámica de una estructura se basa en las respuestas de un espectro que relaciona las características de la situación sísmica de la región, sintetizando las variables complejas de la interacción suelo – estructura. [7]

### 2.8.1 Análisis Modal

El análisis modal tiene como objetivo determinar las características dinámicas de la estructura, su frecuencia y las formas de vibración del sistema, para seguir con un espectro que determinen las respuestas máximas y así evaluar el diseño de un edificio. [8]

En un sistema de vibración libre y nulo amortiguamiento con la cual está representado su dinámica con la ecuación de movimiento siguiente:

$$[M] \times \ddot{u} + [K] \times \{u\} = 0 \quad (3)$$

Resolviendo la ecuación se convierte en un problema de autovalores y autovectores. La raíz de los autovalores es la frecuencia natural y los autovectores son las formas de vibrar de la estructura. [3]

$$|[K] - [M] \times \{\omega^2\}| = 0 \quad (4)$$

#### 2.8.1.1 Modos de vibración

En un edificio de múltiples grados de libertad tiene tantos modos de vibración como grados de libertad por piso, siendo el primer modo el del mayor período y disminuye con los modos consiguientes. [10]



### 2.8.1.2 Frecuencia y Período

Un factor importante de respuesta de un edificio ante un sismo, es el periodo. Aquí es importante tomar en cuenta los modos de vibración del periodo, el cual se entiende como el tiempo que el sistema toma en llegar hasta su desplazamiento máximo y regrese a su punto de origen; es decir el tiempo de una oscilación completa; mientras que la frecuencia es el número de oscilaciones que cumple en un determinado tiempo. Esos parámetros dependen de las características de masa y rigidez del edificio, por ello modificando secciones y distribución de los elementos estructurales se puede obtener periodos más óptimos para un edificio. [9]

La **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** estipula que, el periodo calculado por el método 2 no debe ser superior en un 30% al periodo aproximado calculado por el método 1.

**Método 1:** 
$$T = C_t h_n^\alpha \quad (5)$$

$C_t$ : Coeficiente que depende del tipo de edificio

$H_n$ : Altura máxima de la edificación de  $n$  pisos, en metros.

$T$ : Período de vibración

**Método 2:** Periodo calculado mediante un análisis modal para el caso de estudio.

**Método 1:**  $T_x = 0.417 \text{ seg}$

**Método 2:**  $T_x = 0.528 \text{ seg}$

$T_y = 0.417 \text{ seg}$

$T_y = 0.417 \text{ seg}$

### 2.8.1.3 Factores de Participación Modal

Representan la participación de la masa en los modos de vibración del edificio [12].

$$r_i = \frac{\sum_{r=1}^n M_r \phi_{ri}}{\sum_{r=1}^n M_r \phi_{ri}^2} \quad (6)$$

**Tabla 3.** Factor de Participaciones Modales

		Eje X	Eje Y
<b>Modo 1</b>	$r_i =$	0.682	0.667
<b>Modo 2</b>	$r_i =$	-0.357	-0.467
<b>Modo 3</b>	$r_i =$	0.287	0.108

**Fuente:** Elaborado por el autor

#### 2.8.1.4 Participación de Masa

La **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** establece que, la sumatoria de las masas participativas en los modos de vibración deben sumar al menos el 90% de contribución de la masa total.

**Tabla 4.** Participación de la masa efectiva

		Eje X	Eje Y
Modo 1	%Mp =	69%	66%
Modo 2	%Mp =	19%	32%
Modo 3	%Mp =	12%	2%
	Σ =	100%	100%

**Fuente:** Elaborado por el autor

#### 2.8.1.4 Combinación Modal

Al no existir concurrencias en las respuestas máximas modales en el tiempo, es importante la necesidad de realizar un análisis dinámico espectral para elaborar aproximaciones a partir de combinaciones modales que aproximan valores máximos mediante la variabilidad estadística de la ocurrencia de los puntos máximos de respuestas. En ese sentido se considera los métodos de La Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados (SQSS) y la Combinación Cuadrática Completa (CQC). [13]

$$SQSS \rightarrow R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2} \quad (7)$$

#### 2.8.2 Análisis Espectral

##### 2.8.2.1 Espectro de Diseño en Aceleraciones

Representa la función sísmica en relación de aceleraciones y el período de la estructura para determinar fuerzas laterales que simulan los efectos que tendría un sismo en la estructura basado en las características de suelo, irregularidad en planta y altura todo esto reducido por el factor R que simboliza la ductilidad del edificio; es decir, si se escoge un valor de R mayor se tendrá una sollicitación sísmica menor; mientras que si se considera un R menor se tendrá un sismo con reducción mínima, por ello se recomienda valores comprendidos entre tres y siete. [12]

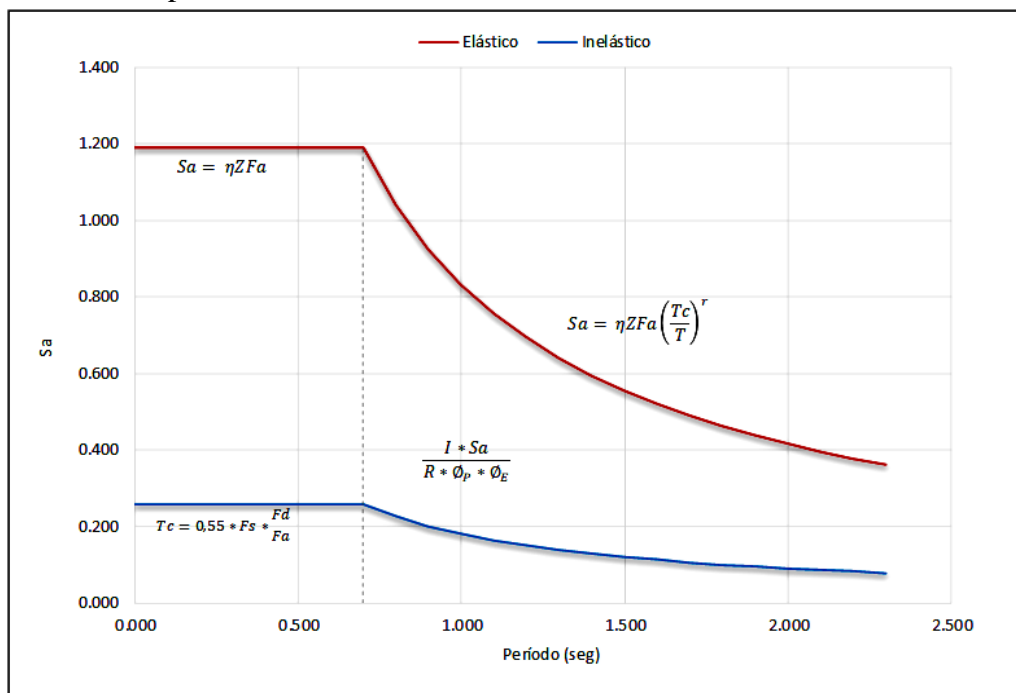
Para el caso del proyecto la características del emplazamiento de la estructura está en la ciudad de Machala, suelo tipo D, y el edificio es regular tanto en planta como en altura [9]. Conforme a la **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** se establece las características de la ubicación y arquitectura del edificio como se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 5.** Características de emplazamiento del edificio

Características	
Zona sísmica	4
$z$	0.4
Tipo de suelo	D
$\phi_P$	1
$\phi_E$	1
I	1.3

**Fuente:** Elaborado por el autor

**Ilustración 1.** Espectro de diseño en Aceleraciones



**Fuente:** Elaborado por el autor

### 2.8.2.2 Aceleraciones y Desplazamiento Espectrales

La relación entre la pseudo-aceleración y el pseudo-desplazamiento se puede expresar para la relación con la frecuencia angular (Ecuación 8). [9]

$$Sd = \frac{Sa}{\omega} \quad (8)$$

### 2.8.2.3 Fuerzas

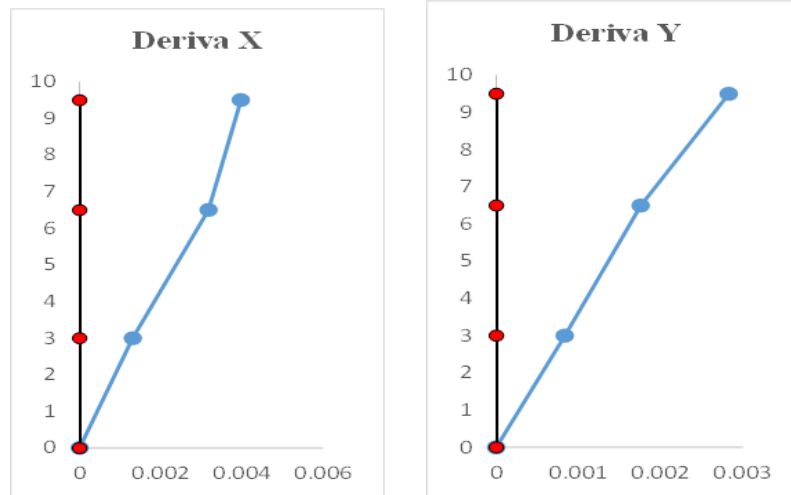
Las fuerzas se calculan de acuerdo al principio de la segunda ley de newton:

$$F_i = m \cdot a_i \quad (9)$$

## 2.9 Derivas

Las derivas son desplazamiento relativos entre pisos y se calcula mediante la diferencia de altura de pisos consecutivos dividido por la altura de entrepiso, Según la **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** para estructura de concreto no debe sobrepasar el valor de deriva inelástica máximo de  $\Delta_{max} = 0.02$

**Ilustración 2.** Derivas máximas elásticas



**Fuente:** Elaborado por el autor

$$\Delta_{max} = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_{max} = 0.75 * 6 * 0.00397$$

$$\Delta_{max} = 0.0179 < 0.02$$

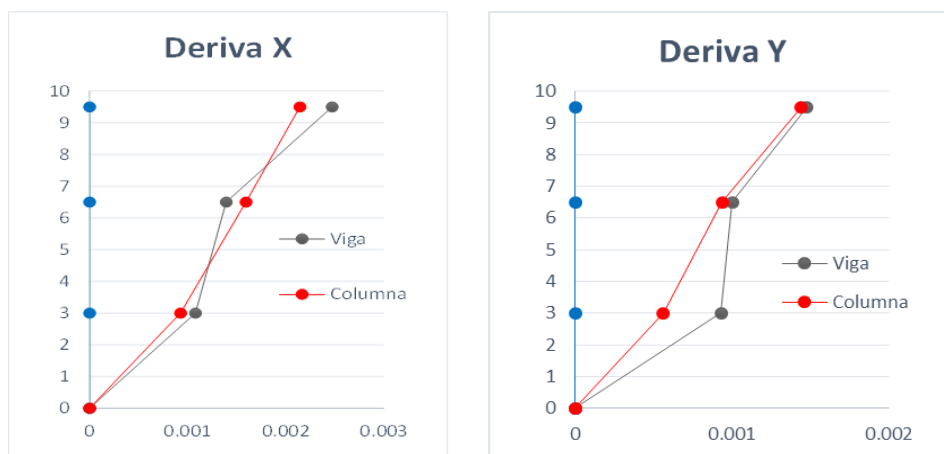
$$\Delta_{max} = 0.75 * R * \Delta_E \quad (10)$$

$$\Delta_{max} = 0.75 * 6 * 0.00283$$

$$\Delta_{max} = 0.0128 < 0.02$$

Para reducir las derivas máximas aumentamos en un 25% en las dimensiones de columnas y vigas en todos los pisos.

**Ilustración 3.** Control de derivas por cambio de inercias



**Fuente:** Elaborado por el autor

Derivas máximas por aumento de sección en vigas.

$$\Delta_{max} = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_{max} = 1.11\%$$

Derivas máximas por aumento de sección en columnas.

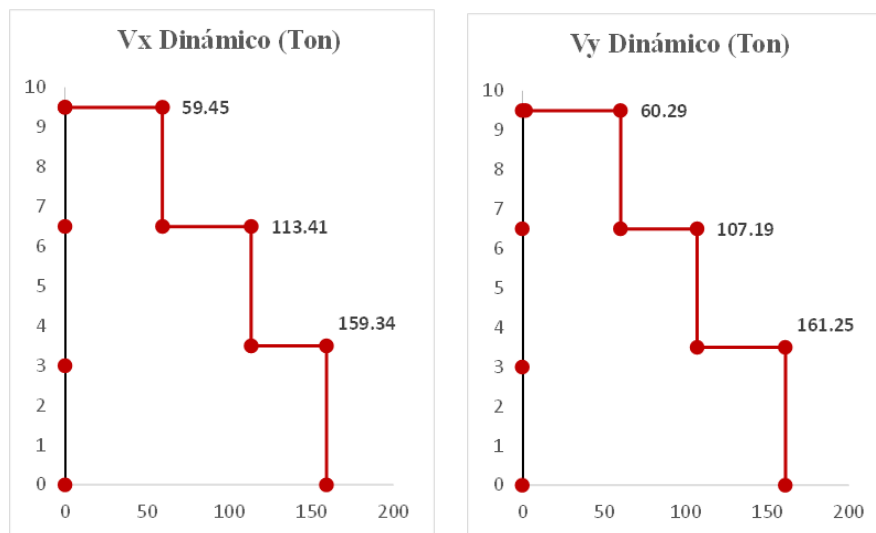
$$\Delta_{max} = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_{max} = 0.97\%$$

## 2.10 Cortante Basal

Como resultados del accionar del sismo se obtienen fuerzas laterales, a la sumatoria de estas fuerzas aplicada en la base de la estructura se la denomina Cortante Basal. La **NEC-SE-DS Peligro Sísmico** establece que el cortante basal dinámico no debe ser menor al 80% del cortante basal estático.

### Ilustración 4. Cortante Basal Dinámico



**Fuente:** Elaborado por el autor

### 3. CONCLUSIONES

- El sentido de análisis más crítico se efectúa en la dirección **X**, donde se producen las mayores derivas de piso de la estructura, con un periodo de vibración de  **$T_x = 0.53s$** , cortante basal dinámica **159.34 Ton** que representa el 93% del cortante estático, deriva máxima inelástica en el tercer piso de **1.79%**, y la sumatoria de la participación de la masa del **100%** verificando el cumplimiento de las especificaciones según lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Según la comparación de resultados, en el aumento del 25% de las dimensiones de columnas y vigas con respecto al diseño del edificio, para modificación de vigas se obtiene una deriva máxima inelástica del **1.11%** y para la modificación de columnas del **0.97%** en el sentido más crítico del análisis. Por lo tanto, se concluye que, el aumento de inercia en columnas aporta mayor rigidez a la estructura reduciendo los desplazamientos relativos.
- El diseño de los elementos y cambios de inercias, comprendido en modificaciones de la matriz de rigidez una vez realizado el análisis espectral y a falta de un análisis de esfuerzos de los elementos está ponderado por el control del periodo fundamental ( $T = 0.53 s$ ) con respecto al periodo aproximado en un 30% mayor ( $1.3T = 0.54s$ ) estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

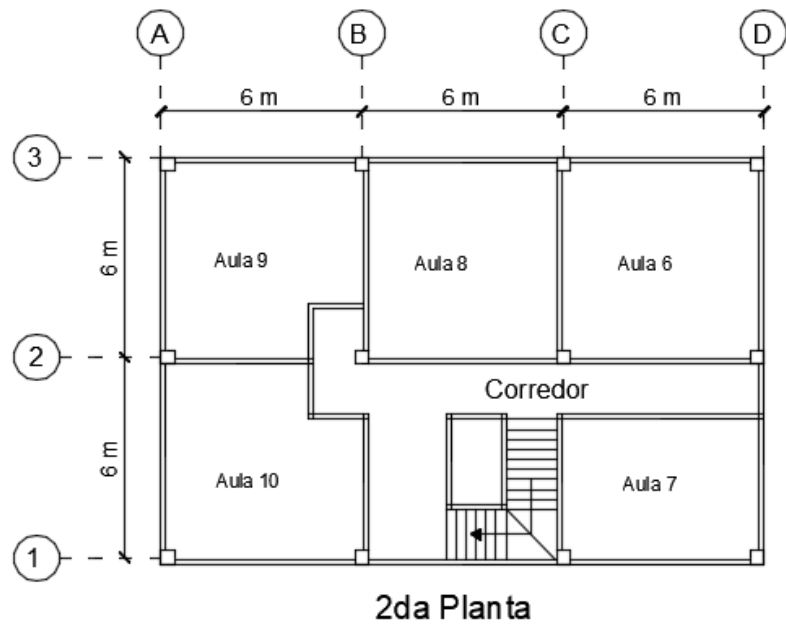
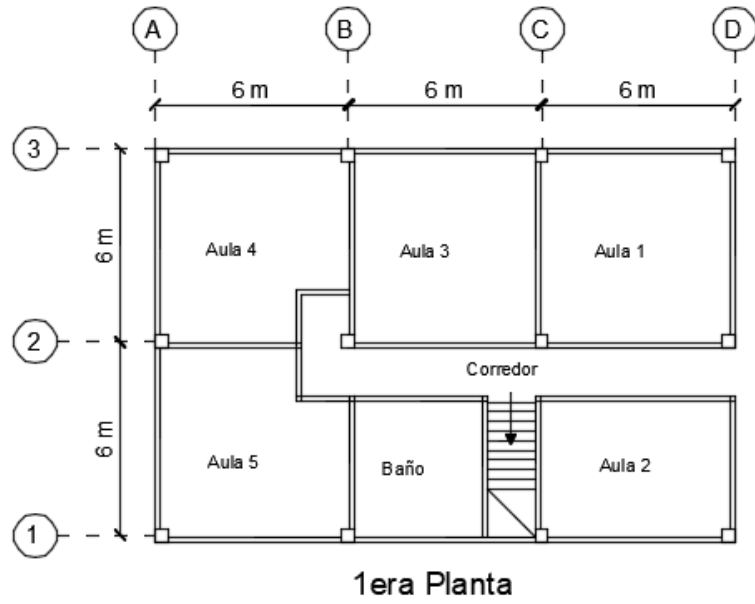
- [1] A. J. R. L. Pérez-Gavilán JJ, «Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México,» *salud pública de méxico*, vol. 60, nº 1, pp. S41-S51, 2018.
- [2] R. Moreano Cevallos y D. Criollo Sandoval, «Cálculo de la Matriz de Rigidez de un Elemento de Sección Variable con Diferencias Finitas,» *Revista CIENCIA*, vol. 17, nº 2, pp. 275-325, 2015.
- [3] A. Tapia Andrade y W. Torres Berni, «Evaluación de las propiedades dinámicas de un pórtico plano (MDOF) en una mesa vibratoria,» *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, nº 26, pp. 49-72, 2021.
- [4] D. E. CARABALÍ IMBAQUINGO, Análisis modal espectral mediante el uso de Vectores Ritz aplicadas a una estructura, Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2020.
- [5] F. Ávila, E. Puertas, A. Martínez-Castro y R. Gallego, Cálculo Matricial de Estructuras, Granada: Universidad de Granada, 2021.
- [6] M. d. D. U. y. Vivienda, «NEC-SE-DS Peligro Sísmico, diseño sismo resistente,» Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Quito, 2014.
- [7] E. F. Roldán Pinargote, R. M. Suárez Balcázar, L. J. García Vinces y M. G. Zevallos Loor , «Análisis estructural del edificio de docentes nº1 de la Universidad Técnica de Manabí, comparando los espectros sísmicos de la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015, el determinado por el estudio de la Microzonificación Sísmica de Portoviejo, y el,» *Revista RIEMAT*, vol. 4, nº 2, pp. 21-27, 2019.
- [8] R. Godfrey Montero, V. Schmidt Díaz, L. C. Esquivel Salas y Y. C. Liu Kuan, «Identificación de modos de torsión empleando la medición de vibraciones ambientales y el análisis espectral en dos edificios de concreto reforzado,» *Revista de Ingeniería Sísmica N*, nº 104, pp. 72-99, 2021.
- [9] M. Domínguez Caicedo, «Períodos de vibración de las edificaciones,» *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 8, nº 2, pp. 1-13, 2014.
- [10] M. E. Rodríguez, «Una revisión crítica de las normativas de diseño sismorresistente en el Perú: E.030 Sismo y E.060 Concreto Armado,» *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 23, nº 1, pp. 47-71, 2018.
- [11] S. L. ABAD MENDOZA y F. G. MAZA ESPINOZA, Análisis del método para encontrar el punto de desempeño en una estructura propuesto en la ASCE 41-17 NSP, Cuenca: Universidad Del Azuay, 2021.
- [12] H. Noguera Montilla, Comparación de la respuesta estructural en edificaciones aporticadas de concreto reforzado aplicando Análisis dinámico Lineal y No Lineal, Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2018.

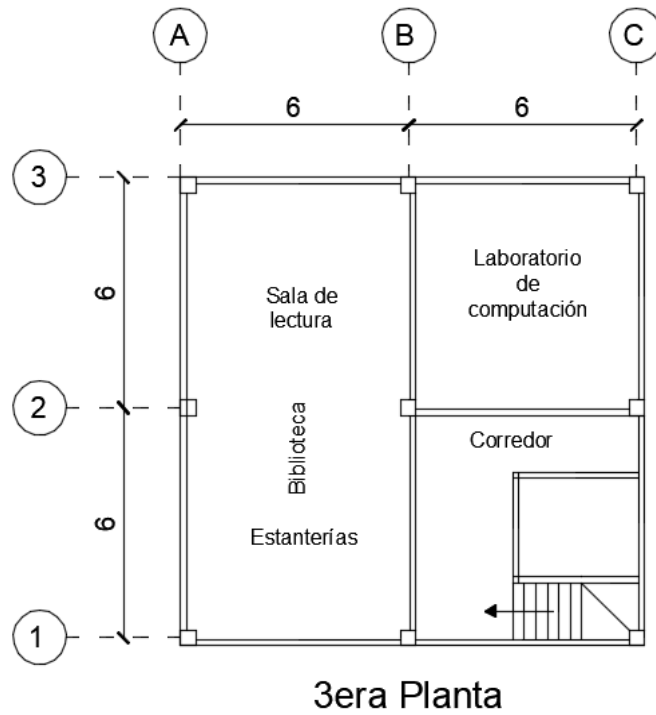
- [13] J. J. Olivera López y C. A. Oyarzo Vera, «Diagnóstico estructural de un edificio de hormigón armado basado en su perfil,» *Obras y Proyectos*, vol. 27, pp. 95-106, 2020.
- [14] J. C. Vielma Pérez, M. M. Mulder Montes de Oca y W. Lobo Quintero, «Procedimiento alternativo para determinar el Factor de Reducción de Respuesta para Edificios Dúctiles de concreto armado.,» *Revista Gaceta Técnica*, vol. 19, nº 1, pp. 43-55, 2018.
- [15] C. M. Piscal-Arévalo y . F. López-Almansa, «Propuesta para la futura norma de aislamiento sísmico de edificaciones en Colombia,» *Revista DYNA*, vol. 85, nº 207, pp. 306-315, 2018.



# ANEXOS

## Anexo A. Diseño arquitectónico





### Anexo B. Rigidez lateral

#### Rigidez Lateral en el Eje X

Nivel 3	<b>106.7700076</b>	-143.8569455	45.56117305
Nivel 2	-143.8569455	<b>465.561825</b>	-460.4539073
Nivel 1	45.56117305	-460.4539073	<b>988.0505326</b>

#### Rigidez Lateral en el Eje Y

Nivel 3	<b>105.8371159</b>	-147.0221423	51.36894685
Nivel 2	-147.0221423	<b>465.8836414</b>	-462.2467383
Nivel 1	51.36894685	-462.2467383	<b>978.8697058</b>

## Anexo C. Cálculo de masa

CARGA MUERTA							
Nivel	A (m2)	Plosa	Precub	Pparedes	Pcolumnas	Pvigas	Ptotal
1er nivel	216	1296	86.4	557.58	250.56	587.52	2778.06 kn
2do nivel	216	1296	86.4	428.91	108.81	514.08	1811.31 kn
3er nivel	144	1296	0	171.56	39.69	259.2	1467.56 kn

CARGA VIVA			
Nivel	Apaño (m2)	Wtotal (kn/m2)	Ptotal
1er nivel	36	17.6	633.6 kn
2do nivel	36	28.5	1026 kn
3er nivel	36	2.8	100.8 kn

MASA				
Nivel	Carga Muerta (Tn)	Carga Viva (Tn)	Ptotal (Tn) D + 0.25L	Masa (Tn/cm/s2) P/gravedad
1er nivel	283.28	64.60921925	299.435724	0.305339462
2do nivel	184.70	104.6228835	210.8578082	0.215015126
3er nivel	149.65	10.27873943	152.2195133	0.155220706
<b>Total:</b>			<b>662.513 Tn</b>	<b>0.676 Tn/cm/s2</b>

MATRIZ DE MASA			
Nivel 1	0.30533946	0	0
Nivel 2	0	0.21501513	0
Nivel 3	0	0	0.15522071

## Anexo D. Matriz Dinámica

Eje X

$$D = \begin{bmatrix} 2258.94863 & -783.677447 & 58.0929048 \\ -1112.88752 & 1119.15456 & -340.806963 \\ 114.276354 & -472.093279 & 380.806876 \end{bmatrix}$$

Eje Y

$$D = \begin{bmatrix} 1679.6574 & -619.158614 & 69.6128887 \\ -879.257018 & 1735.66616 & -594.630523 \\ 136.937672 & -823.695242 & 606.868373 \end{bmatrix}$$

## Anexo E. Cálculo de Frecuencia y período

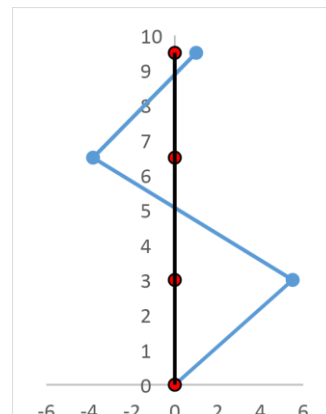
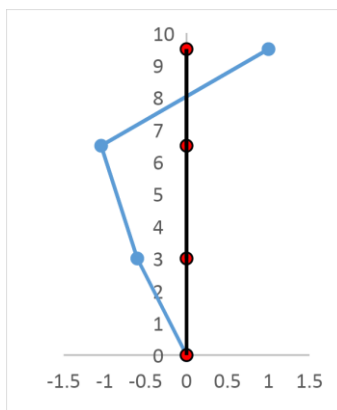
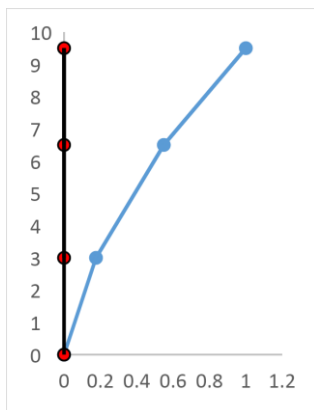
Eje X			
	Valores propios	Frecuencia	Periodo
Modo 1	141.81471	11.90859815 rad/s	<b>0.5276 seg</b>
Modo 2	804.07734	28.35625751 rad/s	0.2216 seg
Modo 3	2813.01799	53.03789202 rad/s	0.1185 seg

Eje y			
	Valores propios	Frecuencia	Periodo
Modo 1	227.28955	15.07612517 rad/s	<b>0.417 seg</b>
Modo 2	1177.30339	34.31185495 rad/s	0.183 seg
Modo 3	2617.59898	51.16247629 rad/s	0.123 seg

## Anexo F. Modos de vibración

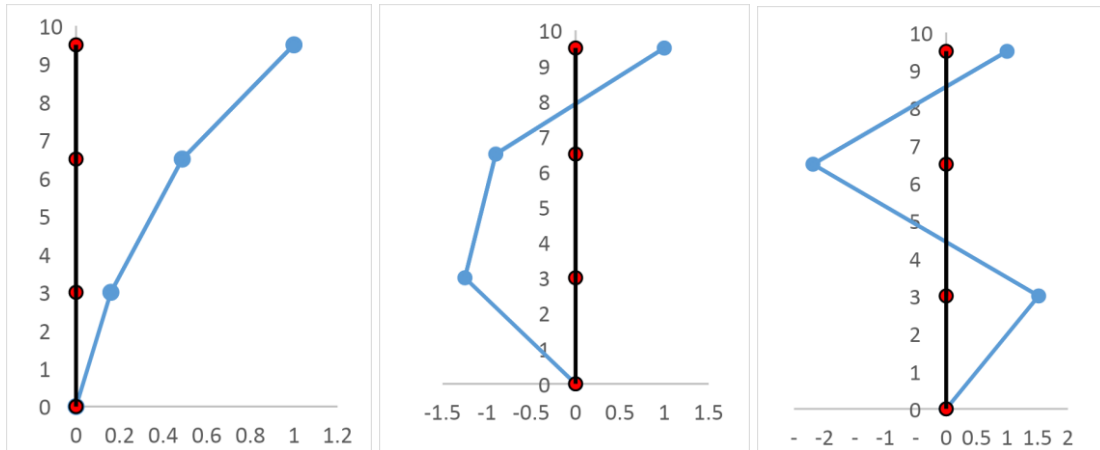
Vector Propio (Eje X) =

Modo 1	Modo 2	Modo 3
0.17569	-0.60128	5.50651
0.54876	-1.04213	-3.81904
1	1	1



Vector Propio (Eje Y) =

Modo 1	Modo 2	Modo 3
0.15985	-1.2478	-1.51895
0.48739	-0.89997	-2.18858
1	1	1



### Anexo G. Matriz Normalizada

$$\phi N (\text{Eje X}) = \begin{bmatrix} 0.36682195 & -0.8510822 & 1.55439364 \\ 1.14575226 & -1.47508365 & -1.07804971 \\ 2.08789318 & 1.41545071 & 0.28228291 \end{bmatrix}$$

Comprobación:

1	0.0	0.0
0.0	1	0.0
0.0	0.0	1

$$\phi N (\text{Eje X}) = \begin{bmatrix} 0.3454657 & -1.39092808 & 1.10499052 \\ 1.05334081 & -1.00320047 & -1.59212625 \\ 2.16118676 & 1.11470435 & 0.72746998 \end{bmatrix}$$

Comprobación:

1	0.0	0.0
0.0	1	0.0
0.0	0.0	1

### Anexo H. Factor de Participación Modal

		Eje X	Eje Y
<b>Modo 1</b>	$r_i =$	0.682	0.667
<b>Modo 2</b>	$r_i =$	-0.357	-0.467
<b>Modo 3</b>	$r_i =$	0.287	0.108

### Anexo I. Participación de Masa

		Eje X	Eje Y
Modo 1	<b>%Mp =</b>	69%	66%
Modo 2	<b>%Mp =</b>	19%	32%
Modo 3	<b>%Mp =</b>	12%	2%
	$\Sigma =$	100%	100%

## Anexo J. Espectro de diseño en Aceleraciones

Coeficientes obtenidos de la NEC "Peligro Sísmico"			
Zona:	VI		
Tipo de perfil	D	Perfiles de suelos rígidos que cumpan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	0
Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad:			Z = 0.4
Coeficiente de amplificación del suelo en zona de período corto (Aceleraciones)			Fa = 1.2
Coeficiente de amplificación del suelo en zona de período corto (Desplazamientos)			Fd = 1.19
Coeficiente de amplificación de los suelos. Comportamiento no lineal de los suelos			Fs = 1.28
Depende de la ubicación del proyecto			r = 1
Razón entre la aceleración espectral Sa(T=0,1) y el PGA para el período de retorno seleccionado			η = 2.48
Coeficiente de regularidad en planta			ϕp = 1
Coeficiente de regularidad en elevación			ϕE = 1
Coeficiente de importancia			I = 1.3
Factor de reducción de resistencia sísmica			R = 6

### Limites para período de vibración

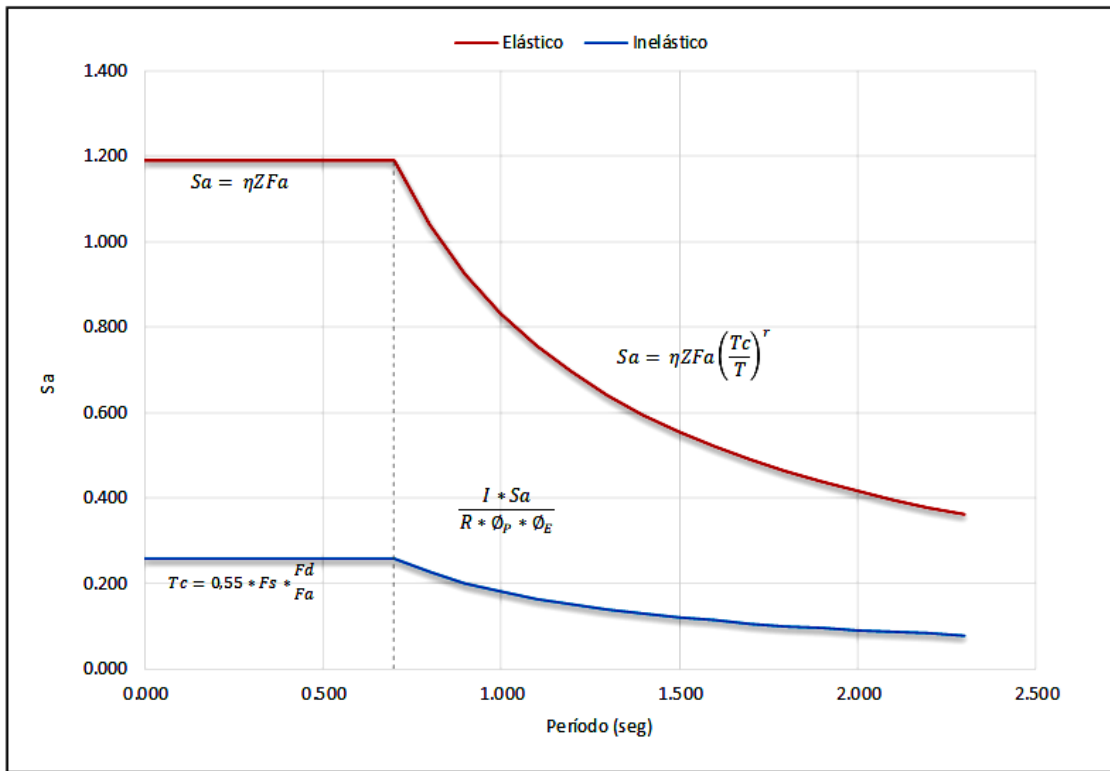
Período límite de vibración (desplazamientos)	$T_L = 2,4 * Fd ; T_L < 4 s$	T <sub>L</sub> = 2.856	seg
Período límite de vibración (elástico)	$T_c = 0,55 * F_s * \frac{Fd}{Fa}$	T <sub>c</sub> = 0.69813333	seg
Período límite de vibración (elástico)	$T_o = 0,1 * F_s * \frac{Fd}{Fa}$	T <sub>o</sub> = 0.12693333	seg

### Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

Para  $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta Z F_a \quad S_a = 1.1904$$

T (s)	S <sub>a</sub>	(I*S <sub>a</sub> )/(R.ϕp.ϕE)
0.000	1.190	0.258
0.127	1.190	0.258
0.698	1.190	0.258
0.798	1.041	0.226
0.898	0.925	0.200
0.998	0.833	0.180
1.098	0.757	0.164
1.198	0.694	0.150
1.298	0.640	0.139
1.398	0.594	0.129
1.498	0.555	0.120
1.598	0.520	0.113
1.698	0.489	0.106
1.798	0.462	0.100
1.898	0.438	0.095
1.998	0.416	0.090
2.098	0.396	0.086
2.198	0.378	0.082
2.298	0.362	0.078



### Anexo K. Desplazamiento y aceleraciones espectrales

Eje X					
Modo	T (s)	Wn (rad/s)	Sa (cm/s <sup>2</sup> )		D
1	0.5276	11.9085982	0.25792 g	<b>252.933</b>	1.78354641
2	0.2216	28.3562575	0.25792 g	<b>252.933</b>	0.31456317
3	0.1185	53.037892	0.25792 g	<b>252.933</b>	0.08991521

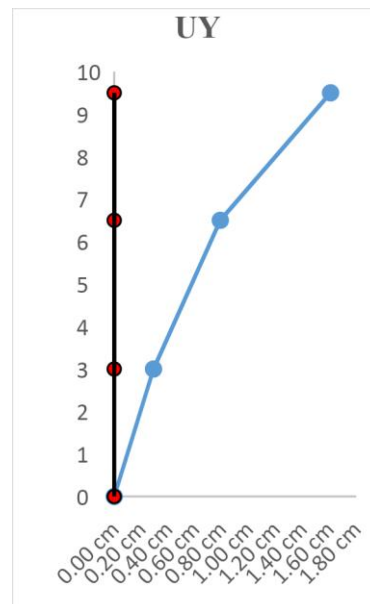
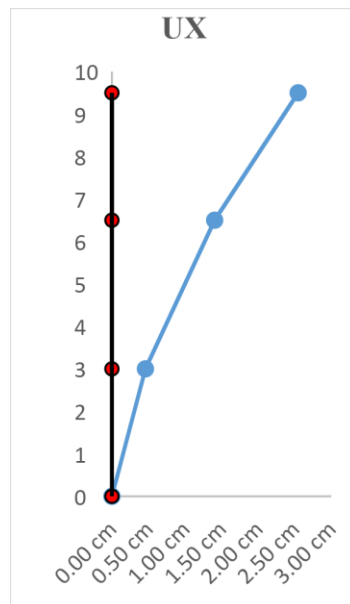
Eje Y					
Modo	T (s)	Wn (rad/s)	Sa (cm/s <sup>2</sup> )		D
1	0.4168	15.0761252	0.25792 g	<b>252.933</b>	1.11282334
2	0.1831	34.3118549	0.25792 g	<b>252.933</b>	0.21484107
3	0.1228	51.1624763	0.25792 g	<b>252.933</b>	0.09662791

## Anexo L. Desplazamientos Totales

Eje X				
Nivel		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	$D_i$ (cm) =	0.45 cm	0.10 cm	0.04 cm
2	$D_i$ (cm) =	1.39 cm	0.17 cm	-0.03 cm
3	$D_i$ (cm) =	2.54 cm	-0.16 cm	0.01 cm

Eje Y				
Nivel		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	$D_i$ (cm) =	0.26 cm	0.14 cm	0.01 cm
2	$D_i$ (cm) =	0.78 cm	0.10 cm	-0.02 cm
3	$D_i$ (cm) =	1.61 cm	-0.11 cm	0.01 cm

Procedimiento SRSS		Desp. Totales	
Nivel		Eje X	Eje Y
1	$D_i$ (cm) =	<b>0.46 cm</b>	<b>0.29 cm</b>
2	$D_i$ (cm) =	<b>1.40 cm</b>	<b>0.79 cm</b>
3	$D_i$ (cm) =	<b>2.55 cm</b>	<b>1.61 cm</b>



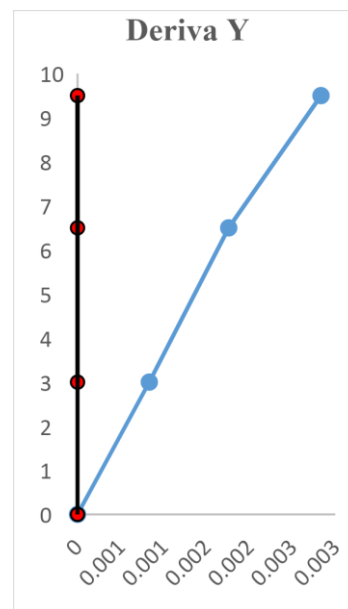
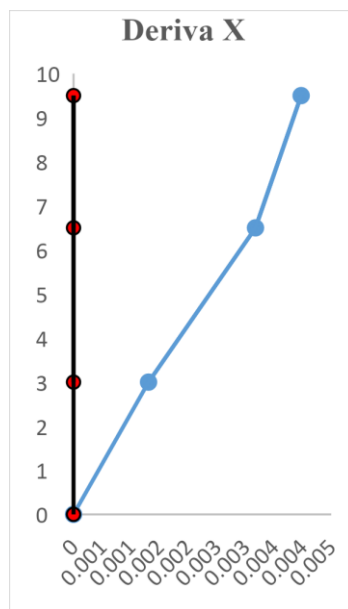


## Anexo M. Derivas Totales

Eje X				
Nivel	Hpiso (cm)	Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	350	0.00127567	0.000273324	0.00011446
2	300	0.0031603	0.000233797	-0.00022615
3	300	0.00382248	-0.001083005	0.00011687

Eje Y				
Nivel	Hpiso (cm)	Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	350	0.000733109	0.00039905	3.2942E-05
2	300	0.001752536	-0.00012978	-9.3808E-05
3	300	0.002742772	-0.00070888	8.0678E-05

Procedimiento SRSS		Derivas Totales	
Nivel		Eje X	Eje Y
1	$\Delta p_{iso} =$	0.00130963	0.000835329
2	$\Delta p_{iso} =$	0.003177	0.001759837
3	$\Delta p_{iso} =$	0.00397466	0.002834047
	$\Delta E =$	<b>0.00397466</b>	<b>0.002834047</b>



## Anexo N. Aceleraciones Totales

Eje X				
Nivel		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	$A_i (cm/s^2) =$	63.318	76.921	112.693
2	$A_i (cm/s^2) =$	197.771	133.318	-78.159
3	$A_i (cm/s^2) =$	360.397	-127.928	20.465

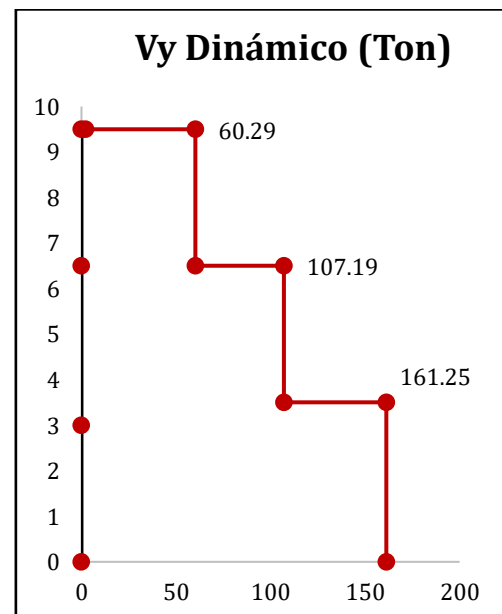
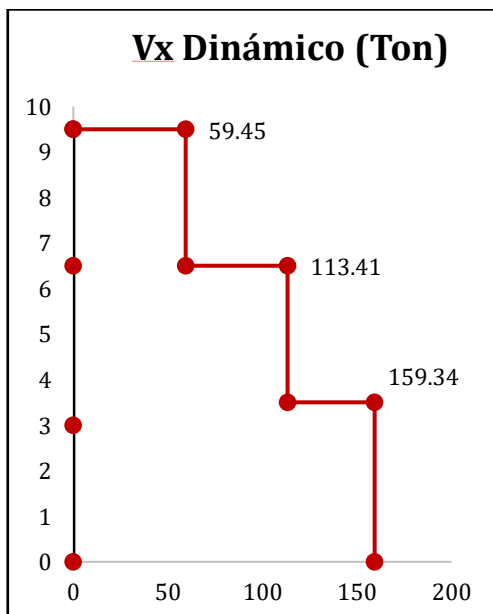
Eje Y				
Nivel		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	$A_i (cm/s^2) =$	58.32 cm	164.43 cm	30.18 cm
2	$A_i (cm/s^2) =$	177.82 cm	118.60 cm	-43.49 cm
3	$A_i (cm/s^2) =$	364.84 cm	-131.78 cm	19.87 cm

## Anexo O. Fuerzas totales y Cortante Basal Dinámico

Eje X				
Nivel		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	$F_i (Tn) =$	19.3335086	23.48691621	34.4097652
2	$F_i (Tn) =$	42.5238087	28.66534769	-16.8052725
3	$F_i (Tn) =$	55.9410159	-19.85710612	3.17666921

Eje X				
Nivel		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	$F_i (Tn) =$	17.80733542	50.20725885	9.21527226
2	$F_i (Tn) =$	38.23393421	25.49973329	-9.35003409
3	$F_i (Tn) =$	56.63084153	-20.4544707	3.084121

Procedimiento SRSS		Cortante Basal			
Nivel		Eje X	Vx	Eje Y	Vy
1	$F_i (Tn) =$	45.928768	159.3410815	54.0628456	161.252143
2	$F_i (Tn) =$	53.9665975	113.4123135	46.8987554	107.189297
3	$F_i (Tn) =$	59.445716	59.44571599	60.2905414	60.2905414
	$\Sigma =$	<b>159.341</b>	$\Sigma =$	<b>161.252</b>	



## Anexo P. Cortante Basal Estático

**Gravedad (g) :** 980.665 cm/s<sup>2</sup>  
**Espectro de aceleraciones :** 0.25792 g  
**Peso del Edificio ( W ) :** 662.513 Tn

$$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

**Vx = 170.875 Tn**

Niveles	$W_i(Tn)$	$h_i(m)$	$W_i * h_i^k$	$W_i * h_i^k / \Sigma$	V	$F_x(Tn)$	$V_x(Tn)$
3	152.220	9.500	1491.747	0.403	170.875	<b>68.88</b>	68.88
2	210.858	6.000	1296.840	0.350	170.875	<b>59.88</b>	128.76
1	299.436	3.000	912.039	0.246	170.875	<b>42.11</b>	<b>170.88</b>
	$\Sigma =$		3700.625		$\Sigma =$	170.875	

**Gravedad (g) :** 980.665 cm/s<sup>2</sup>  
**Espectro de aceleraciones :** 0.25792 g  
**Peso del Edificio ( W ) :** 662.513 Tn

$$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

**Vy = 170.875 Tn**

Niveles	$W_i(Tn)$	$h_i(m)$	$W_i * h_i^k$	$W_i * h_i^k / \Sigma$	V	$F_y(Tn)$	$V_y(Tn)$
3	152.220	9.500	1491.747	0.403	170.875	<b>68.88</b>	68.88
2	210.858	6.000	1296.840	0.350	170.875	<b>59.88</b>	128.76
1	299.436	3.000	912.039	0.246	170.875	<b>42.11</b>	<b>170.88</b>
	$\Sigma =$		3700.625		$\Sigma =$	170.875	

